Český hydrometeorologický ústav

Aktualizace Komplexní studie dopadů, zranitelnosti a zdrojů rizik souvisejících se změnou klimatu v ČR z roku 2015

ZADAVATEL: **MINISTERSTVO ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ**

HLAVNÍ ZPRACOVATEL: **Český hydrometeorologický ústav**

ČERVEN 2019

ŘEŠITELSKÝ TÝM

ČHMÚ – odpovědný řešitel	kap.[1] 2, 3, 4.3, 4.11, 4.12, 6.3, 7, 8
RNDr. Radim Tolasz, Ph.D. RNDr. Jan Daňhelka, Ph.D. Ing. Jaroslav Kinkor Mgr. Vít Kodeš, Ph.D. Ing. Jan Kubát Dis. Hana Stehlíková	

EKOTOXA s.r.o. – odpovědný řešitel studie z roku 2015	kap. 4.6, 4.7, 6.6, 6.7
Mgr. Petr Birklen Mgr. Zdeněk Frélich Mgr. Michaela Koucká	

Centrum dopravního výzkumu, v. v. i.	kap. 4.9, 6.9
RNDr. Leoš Pelikán, Ph.D. Mgr. Zdeněk Hejkal Mgr. Roman Ličbinský Mgr. Ivo Dostál	

IFER – Ústav pro výzkum lesních ekosystémů	kap. 4.1
RNDr. Jana Beranová doc. Ing. Emil Cienciala, Ph.D.	

Univerzita Palackého, Přírodovědecká fakulta, Katedra rozvojových a environmentálních studií, Olomouc	kap. 4.4, 6.4
Doc. Ing. Ivo Machar, Ph.D.	

Ústav výzkumu globální změny AV ČR, v. v. i.	kap. 2, 3, 4.1, 4.2, 5, 6.1, 6.2
prof. Mgr. Ing. Miroslav Trnka, Ph.D. Mgr. Petr Štěpánek, Ph.D. prof. Ing. Zdeněk Žalud, Ph.D. doc. Ing. Petr Hlavinka, Ph.D. Mgr. Pavel Zahradníček, Ph.D. Mgr. Petr Skalák Mgr. Aleš Farda, Ph.D. Mgr. Jan Meitner Mgr. Ondřej Lhotka, Ph.D. RNDr. Martin Dubrovský, Ph.D. Ing. Daniela Semerádová, Ph.D. Bc. Jan Balek Ing. František Jurečka, doc. Ing. Emil Cienciala, Ph.D. doc. Ing. Dalibor Janouš, CSc. a Kolektiv Oddělení společenského rozměru globální změny pod vedením Mgr. Davy Vačkářů, Ph.D.	

[1] Odkazy jsou jen na kapitoly, kde byly autorské týmy hlavními dodavateli aktualizovaných textů. Zároveň se členové autorských týmů průběžně podíleli na diskusích i k ostatním kapitolám.

Výzkumný ústav bezpečnosti práce, v. v. i.	kap. 4.8, 4.10, 6.8, 6.10
prof. RNDr. Pavel Danihelka, CSc. Ing. Jan Smolka Ing. Kamila Kempná Ing. Petr Novotný, Ph.D.	

Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti, v. v. i.	kap. 4.1
doc. Ing. Vít Šrámek, Ph.D. Ing. Miloš Knížek, Ph.D Ing. Jan Liška Ing. Petr Fabiánek	

Zdravotní ústav se sídlem v Ústí nad Labem	kap. 4.5, 6.5
MUDr. Eva Rychlíková, Ph.D.	

Doc. Ing. Miroslav Hájek, Ph.D. kap. 5, 6, 6.11

OBSAH

1. ÚVOD 5
2. OČEKÁVANÁ ZMĚNA KLIMATU PRO ČESKOU REPUBLIKU 6
2.1 Úvod 6
2.2 Změna klimatu v celosvětovém kontextu 6
2.3 Změna klimatu v Evropě 7
2.4 Data a metody použité v této studii 9
2.5 Změna klimatu v ČR – současnost a budoucí vývoj 10
2.6 Porovnání současného stavu poznání s výsledky předchozí studie 30
2.7 Porovnání současného stavu poznání s výsledky předchozí studie – přehled 33
3. ODBORNÉ AKTIVITY V ČR SE ZAMĚŘENÍM NA PŘEDMĚT STUDIE, MEZINÁRODNÍ SOUVISLOSTI (BEST PRACTISES) 35
3.1 Přehled odborných aktivit v ČR 35
4. ANALÝZA DOPADŮ PREDIKOVANÝCH SCÉNÁŘŮ ZMĚNY KLIMATU NA JEDNOTLIVÉ PRIORITNÍ OBLASTI ZÁJMU 46
4.1 Lesní hospodářství 48
4.2 Zemědělství 61
4.3 Vodní režim a vodní hospodářství 95
4.4 Biodiverzita a ekosystémové služby 124
4.5 Zdraví a hygiena 141
4.6 Urbanizovaná krajina 170
4.7 Cestovní ruch 188
4.8 Průmysl a energetika 204
4.9 Doprava 224
4.10 Mimořádné události a ochrana obyvatelstva a životního prostředí 236
4.11 Návrh indikátorů – souhrn 254
4.12 Kaskádové jevy 259
5. EKONOMICKÉ ASPEKTY ZMĚNY KLIMATU 263
5.1 Ekonomické metody analýzy změny klimatu a adaptačních opatření 263
5.2 Limitace ekonomického hodnocení 266
6. EKONOMICKÁ ANALÝZA OČEKÁVANÝCH DOPADŮ ZMĚNY KLIMATU NA JEDNOTLIVÉ SEKTORY A NÁKLADŮ NA ADAPTAČNÍ OPATŘENÍ 271
6.1 Lesní hospodářství 274
6.2 Zemědělství 278
6.3 Vodní hospodářství a vodní režim 284
6.4 Biodiverzita a ekosystémové služby 291
6.5 Zdraví a hygiena 296
6.6 Urbanizovaná krajina 302
6.7 Cestovní ruch 306
6.8 Průmysl a energetika 310
6.9 Doprava 316
6.10 Mimořádné události a ochrana obyvatelstva a životního prostředí 320
6.11 Souhrn 326
7. KRITÉRIA PRO STANOVOVÁNÍ INVESTIČNÍCH PRIORIT V ZÁVISLOSTI NA RIZIKU 329
7.1 Kritéria pro stanovení investičních priorit 329
7.2 Doporučení pro výběr investičních priorit 329
8. SOUHRN 342
8.1 Základní shrnutí provedených analýz 342
8.2 Možnosti provázání adaptačních opatření a OPŽP 343
9. PŘEHLED POUŽITÝCH ZDROJŮ 345
10. SEZNAM TABULEK 371
11. SEZNAM OBRÁZKŮ 375

1. ÚVOD

Komplexní studii dopadů, zranitelnosti a zdrojů rizik souvisejících se změnou klimatu v ČR z roku 2015 připravil autorský tým pod vedením odborné poradenské společnosti EKOTOXA, s.r.o., na základě zadání Ministerstva životního prostředí (MŽP). Po téměř čtyřech letech je zřejmé, že s postupující změnou klimatu a prohlubováním jejich dopadů, nastal čas pro aktualizaci této studie. Koordinací pověřilo MŽP Český hydrometeorologický ústav (ČHMÚ).

Změnou klimatu se rozumí kombinace dlouhodobých změn klimatického systému, včetně přirozené variability klimatu a změn způsobených lidskou činností, přičemž přirozenou a antropogenní složku změny klimatu nelze od sebe zcela oddělit.

Díky změně klimatu probíhá a bude probíhat řada změn – jsou předpokládány zejména zvýšené teploty, zkracování délky zimního období, pokles srážek v letním období a nárůst extrémních meteorologických jevů, jako jsou dlouhá suchá období, přívalové deště, vlny horka apod. Tyto změny s sebou přinášejí řadu negativních důsledků a rizik. Cílem této studie je zejména podrobná analýza těchto rizik, tj. jejich identifikace a kvantifikace v členění na základní tematické oblasti, kterými jsou:

1) Lesní hospodářství
2) Zemědělství
3) Vodní hospodářství
4) Biodiverzita
5) Zdraví a hygiena
6) Urbanizovaná krajina
7) Cestovní ruch
8) Průmysl a energetika
9) Doprava
10) Mimořádné události

Dalším z cílů je určení nejvýznamnějších rizik, predikce jejich budoucího vývoje a identifikace nejvíce zranitelných oblastí, ať už z hlediska geografického, tak i společenského. Dále jsou řešeny ekonomické souvislosti jak rizik, tak adaptačních opatření. Identifikace rizik je základním předpokladem pro jejich eliminaci, snížení zranitelnosti a zvýšení odolnosti vůči dopadům změny klimatu. Studie tvoří základní znalostní bázi pro přípravu a hodnocení navazujících adaptačních opatření.

Problematika rizik souvisejícími se změnami klimatu a adaptace na ně patří k prioritním tématům environmentální politiky Evropské unie. Jedním z důležitých souvisejících materiálů na evropské úrovni je např. studie Climate Change, Impacts and Vulnerability in Europe 2012 (Klimatická změna, dopady a zranitelnost v Evropě 2012), kterou zpracovala Evropská agentura pro životní prostředí (European Environment Agency).

Studie byla aktualizována v období od ledna do června 2019. Na jejím zpracování se podílel široký tým různých expertních pracovišť zodpovědných za jednotlivé tematické oblasti. Složení odborného týmu je uvedeno výše v úvodu dokumentu. Zadavatelem studie i její aktualizace je Ministerstvo životního prostředí ČR, které je také hlavním garantem řešení této problematiky na úrovni ČR.

2. OČEKÁVANÁ ZMĚNA KLIMATU PRO ČESKOU REPUBLIKU

2.1 ÚVOD

Navazujeme na předešlou Komplexní studii dopadů, zranitelnosti a zdrojů rizik souvisejících se změnou klimatu v ČR z roku 2015. V úvodních kapitolách jsou uvedeny nejnovější poznatky ohledně změny klimatu v celosvětovém kontextu, poté je zaměřena pozornost na Evropu a následují kapitoly o očekávané změně klimatu podle nejnovějších poznatků na úrovni České republiky. Na závěr je uveden souhrn těchto poznatků s ohledem na návazné dopadové studie a adaptační opatření. Zpráva pracuje s tzv. RCP scénáři (Representative Concentration Pathways), pro které není implicitně stanovena pravděpodobnost jejich naplnění. Scénář RCP2.6 relativně nejblíže reprezentuje vývoj klimatu při naplnění tzv. Pařížské dohody. Nicméně pro tento konkrétní scénář byl v době přípravy zprávy k dispozici znatelně menší počet výstupů z regionálních i globálních cirkulačních modelů. I proto je většina výstupů připravena pro RCP4.5 a RCP8.5.

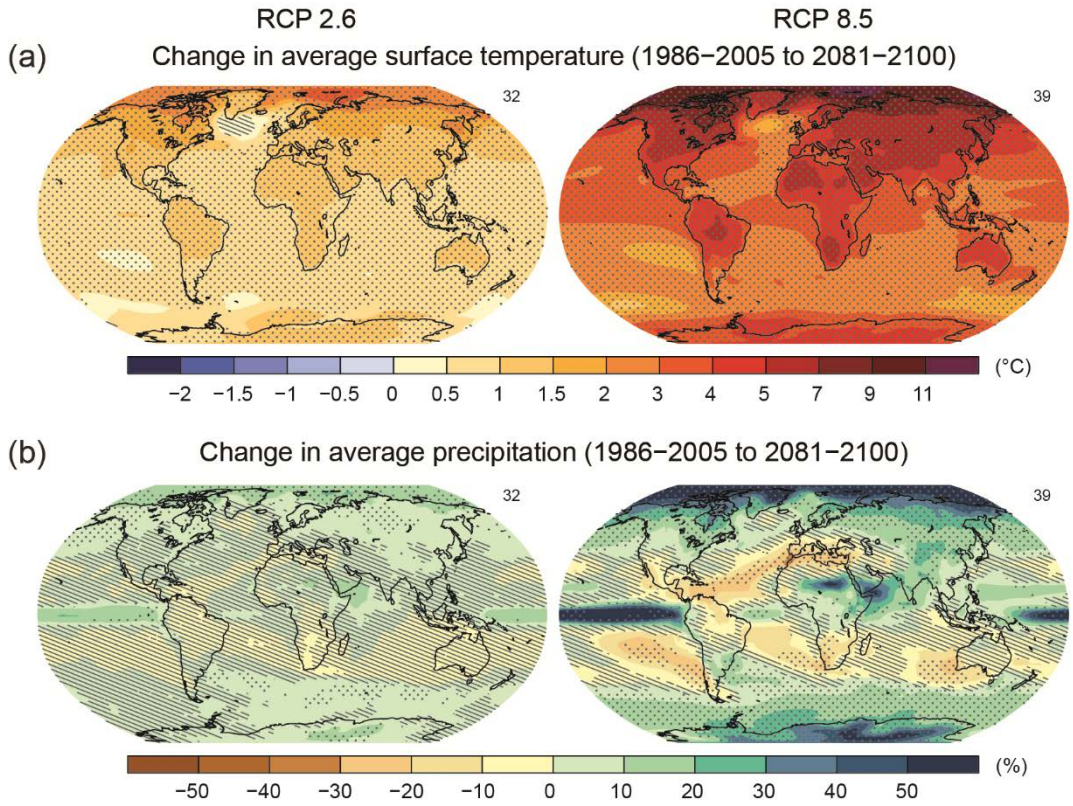
2.2 ZMĚNA KLIMATU V CELOSVĚTOVÉM KONTEXTU

Probíhající globální změna klimatu je předmětem všeobecného velkého zájmu laické i odborné veřejnosti. Aktuální poznatky o jejím průběhu shrnují vždy jednou za několik let hodnotící zprávy Mezivládního panelu pro změnu klimatu (Intergovernmental Panel on Climate Change, dále jen IPCC). Poslední hodnotící zpráva IPCC vydaná v roce 2013 shrnuje několik hlavních pozorovaných projevů změny klimatu (IPCC, 2013). Mezi ty se řadí globální zvýšení průměrné teploty vzduchu, nárůst koncentrací skleníkových plynů v atmosféře, oteplování oceánu a zvyšování jeho hladiny nebo tání velkých pevninských ledovců a značný úbytek mořského zalednění v Arktidě.

Globální průměrná roční teplota vzduchu se mezi roky 1880 až 2012 zvýšila o přibližně 0,85 °C (IPCC, 2013); pro rok 2017 se přitom odhad nárůstu oproti preindustriálnímu období pohybuje kolem 1 °C (IPCC, 2018). Oteplování atmosféry je výraznější na severní než na jižní polokouli a podobně je výraznější nad pevninou než nad hladinou oceánu. Od poloviny 20. století přibývá extrémně teplých (a ubývá extrémně studených) dní, jak co do jejich četnosti, tak síly (IPCC, 2013). Horké vlny se vyskytují častěji a mají delšího trvání. Vývoj srážkových úhrnů od počátku 20. století naproti tomu neposkytuje tak jednoznačný obrázek. V některých částech světa se roční úhrny snížily (např. v řadě oblastí kolem Středozemního moře), jinde se zvýšily (např. ve Skandinávii), změny však většinou nejsou statisticky významné.

V průběhu 21. století předpokládají globální klimatické modely z CMIP5 projektu[1] další nárůst průměrné teploty vzduchu. Míra předpokládaného oteplení je různá napříč jednotlivými modely a uvažovanými scénáři a liší se rovněž geograficky (viz např. obrázek SPM.8 z IPCC AR5 WG1 Summary for Policymakers, 2013). Na konci 21. století (2081–2100) vzroste globální průměrná roční teplota vzduchu oproti konci 20. století (1986–2005) dle středního odhadu o 1,0 °C (scénář RCP2.6[2]) nebo 1,8 °C (scénář RCP4.5) popř. až 3,7 °C (scénář RCP8.5), obr. 2.21. Největší oteplení se předpokládá v mírných a vysokých zeměpisných šířkách severní polokoule. Signál změny srážek mezi modely není jednotný (některé modely předpokládají nárůst, jiné zase úbytek celkových ročních úhrnů srážek) a je výraznější u scénářů předpokládající větší oteplení. Velmi zjednodušeně lze říci, že pokles srážek modely předpokládají v místech jejich současného nedostatku a naopak předpokládají jejich nárůst tam, kde i v současném klimatu jsou srážky relativně hojné. Dobrá shoda mezi modely je v případě nárůstu srážek ve vysokých zeměpisných šířkách obou polokoulí (obr. 2.2.1).

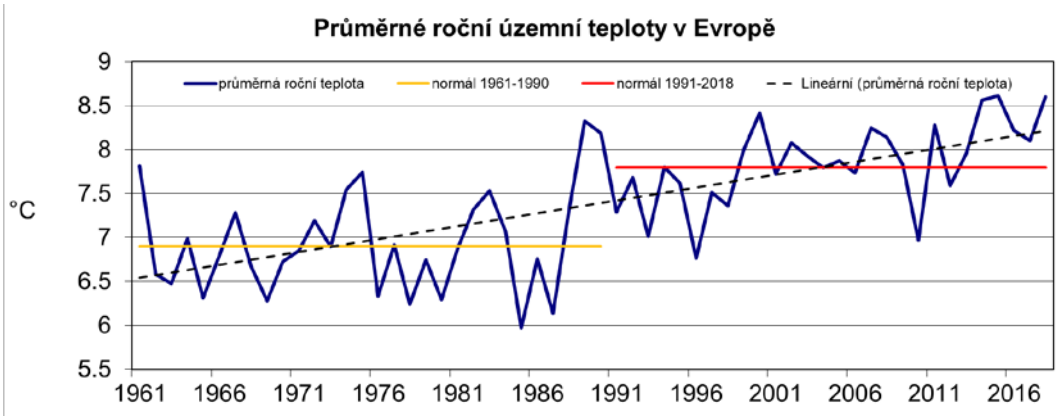
[1] CMIP5 je 5. fáze mezinárodního projektu Coupled Model Intercomparison Project, jehož cílem je poskytnout nejnovější informace o změnách klimatu Země prostřednictvím simulací globálních klimatických modelů.
[2] Representative Concentration Pathways – RCP



Obr. 2.2.1 Střední změna teploty a srážek na konci 21. století dle globálních klimatických modelů z CMIP5 ansámblu pro scénáře RCP2.6 a RCP8.5 (Zdroj: IPCC 2013)

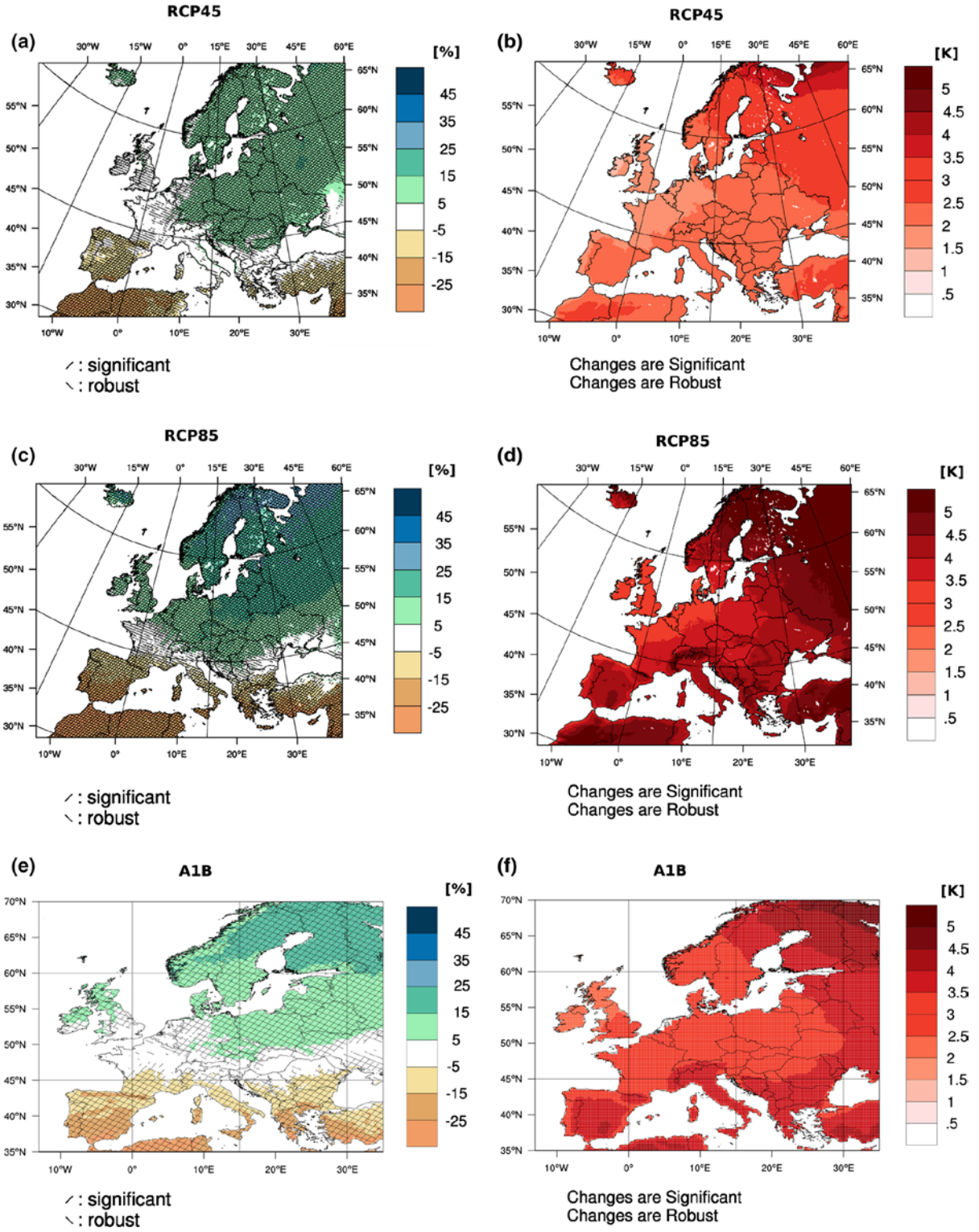
2.3 ZMĚNA KLIMATU V EVROPĚ

Oteplování planety je patrné rovněž z pozorovaných měření také v Evropě. Průměrná roční teplota vzduchu se mezi roky 1961 a 2018 zvyšuje tempem 0,3 °C za desetiletí, přičemž za posledních 28 let (1991–2018) narostla oproti průměru 1961–1990 podobně jako v ČR o 0,9 °C (obr. 2.3.1).



Obr. 2.3.1 Změna průměrné roční teploty vzduchu v Evropě dle E-OBS datasetu

Změna srážek v Evropě není opět uniformní, nicméně více srážek v průběhu roku za období od roku 1961 pozorujeme ve Skandinávii či severně od našeho území.



Obr. 2.3.2 Změna průměrného úhrnu srážek (vlevo) a teploty vzduchu (vpravo) na konci 21. století (2071–2100) vůči konci 20. století (1971–2000) dle Euro-CORDEX modelů a scénářů RCP4.5 a RCP8.5. Pro srovnání jsou v posledním řádku rovněž zobrazeny projekce starší generace modelů dle scénáře A1B.

Podrobnější výhled vývoje teplot a srážek na území Evropy vychází ze simulací regionálních klimatických modelů. Tyto simulace patří do evropské části globálního CORDEX experimentu (obr. 2.3.2). V případě evropského CORDEX experimentu (EURO-CORDEX) proběhlo pomocí regionálních modelů zjemnění globálních modelů až do sítě 0,11°, což odpovídá prostorovému rozlišení

přibližně 12,5 km. Projekce EURO-CORDEX modelů (Jacob et al., 2014) potvrzují nárůst teploty vzduchu v Evropě o 1,5–4,5 °C (scénář RCP4.5), resp. o 2,5–5,5 °C (scénář RCP8.5) na konci 21. století (2071–2100) vůči konci 20. století (1971–2000). Na většině evropského kontinentu by měly narůst roční úhrny srážek, nejvíce přitom v severní a severovýchodní Evropě. Naopak ve Středozemí by roční úhrny srážek měly poklesnout. Oproti dřívějším odhadům by oblast mírného nárůstu srážek měla být větší, než se dosud předpokládalo.

2.4 DATA A METODY POUŽITÉ V TÉTO STUDII

Práce pokývá dvě referenční období. Pro pozorovanou současnou změnu klimatu je používán normál 1961–1990, který se donedávna široce používal, navíc v tomto období bylo podnebí relativně stabilní (veličiny nevykazují výrazné vzestupné nebo klesající trendy). Pro vyhodnocení stavu budoucího klimatu je ale toto období méně vhodné (především s ohledem na fakt, že se jedná o historii), a jeví se tedy vhodnější provést porovnání s hodnotami naměřenými za poslední sledované období (aktuální třicetiletí), tj. 1981–2010.

2.4.1 Modelové simulace

Analýza budoucího klimatu je zpracována na základě dvou zdrojů dat. Pro většinu závěrů byly použity regionální klimatické modely. Pro vybrané grafické výstupy byly využity rovněž globální klimatické modely (GCM[3]), které lépe poukazují na možný rozptyl budoucího vývoje.

Pro zkoumání budoucího klimatu jsou použity nejnovější regionální klimatické modely (RCM) vycházející v současnosti z iniciativy CORDEX (součást WCRP[4], http://www.wcrp-climate.org/). Projekt CORDEX (http://wcrp-cordex.ipsl.jussieu.fr/) je momentálně nejvýznamnějším výzkumem v oblasti regionálního modelování, část projektu zabývající se oblastí Evropy se nazývá EURO-CORDEX (www.euro-cordex.net). Výsledky regionálního modelování EURO-CORDEX jsou použity jako vstupy pro studování změny klimatu a jejích dopadů, včetně adaptačních opatření v páté hodnotící zprávě IPCC. EURO-CORDEX využívá nových emisních RCP scénářů a vychází ze simulací globálních klimatických modelů CMIP5 až do roku 2100. Rozlišení regionálních modelů je zhruba 12 km (v této studii byly použity výstupy z EUR-11, tedy 0,11° zeměpisné šířky a délky), což je již dostačující pro dopadové a adaptační studie. Celkově bylo zpracováno 11 simulací regionálních modelů (tab. 2.4.1 včetně řídících globálních modelů), tak jak byly dostupné v červenci 2015.

Jak už bylo zmíněno, pro některé výstupy byly v této zprávě použity GCM modely. Z těchto GCM dat bylo vybráno pouze 28 simulačních běhů, pro které byly v červenci roku 2015 k dispozici výstupy pro šest meteorologických charakteristik potřebných pro analýzy v rámci projektu CzechAdapt (tj. globální radiace, maximální a minimální teplota, úhrn srážek, rychlost větru a relativní vlhkost vzduchu). Jelikož nebylo technicky schůdné prezentovat výstupy všech 28 GCM, byla vybrána reprezentativní sada 5 GCM modelů. Při výběru této sady byla zohledněna 2 kritéria: sada dobře reprezentuje mezimodelovou variabilitu všech GCM, a přitom obsahuje maximum GCM modelů, které jsou použity k řízení regionálních klimatických modelů (RCM) v projektu Euro-CORDEX, které rovněž byly používány v rámci této zprávy.

Tab. 2.4.1 Vybrané EURO-CORDEX regionální modely a jejich řídící globální modely

RCM	Řídící GCM	GCM ensemble člen	Scénáře
ALADIN53	CNRM-CM5	r1i1p1	RCP4.5, RCP8.5
CCLM4-8-17	CNRM-CM5	r1i1p1	RCP4.5, RCP8.5
	EC-EARTH	r12i1p1	RCP4.5, RCP8.5
	MPI-ESM-LR	r1i1p1	RCP4.5, RCP8.5
HIRHAM5	EC-EARTH	r3i1p1	RCP4.5, RCP8.5
RACMO22E	EC-EARTH	r1i1p1	RCP4.5, RCP8.5
RCA4	CNRM-CM5	r1i1p1	RCP4.5, RCP8.5
	EC-EARTH	r12i1p1	RCP2.6, RCP4.5, RCP8.5
	HadGEM2-ES	r1i1p1	RCP4.5, RCP8.5
	IPSL-CM5A-MR	r1i1p1	RCP4.5, RCP8.5
	MPI-ESM-LR	r1i1p1	RCP4.5, RCP8.5

[3] Global Climate Model
[4] World Climate Research Programme

Získané RCM modely prošly korekcí chyb modelů (bias korekce), aby lépe odpovídaly realitě zkoumaného území (s ohledem na současná měření a pozorování ve staniční síti ČHMÚ). V prvním kroku byly porovnány výstupy modelů v kontrolním běhu se skutečnými naměřenými údaji. Na základě zjištěných rozdílů byly pomocí kvantilové korekce modely korigovány. Princip vychází z metody podle Déqué et al., 2007, použitá metoda je popsaná v práci Štěpánek et al., 2016, vyhodnocení metody popisuje Gutiérrez et al., 2018.

2.4.2 Staniční měření

Pro porovnání výstupů klimatických modelů byla využita staniční měření. K tomu byla použita statisticky zkontrolovaná meteorologická data ČHMÚ. Každá časová řada obsahuje chyby měření, nehomogenity časových řad a také chybějící hodnoty. Aby byl omezen vliv těchto problémů na výsledky analýzy, vybrané časové řady prošly kontrolou kvality dat, byla testována jejich nehomogenita a případné detekované zlomy v časových řadách byly opraveny. Na závěr byly interpolačními metodami doplněny všechny chybějící údaje. Zpracování proběhlo v denním kroku.

Kontrola kvality dat kombinuje více přístupů, které zaručují lepší výsledek, jak v detekci pravých chyb, tak v rámci snížení počtu falešných detekcí. Byla použita metoda a software (MetQC), který byl vyvinut a dokončen v rámci projektu Copernicus (C3Surf). Kromě výpočtu mezikvartilových odchylek je testovaná stanice podrobena porovnání s okolními stanicemi a také s vypočtenou tzv. „očekávanou“ hodnotou z těchto okolních stanic. Takto detekované chyby jsou v datovém souboru nahrazeny chybějící hodnotou.

Po kontrole kvality dat dochází k detekci nehomogenit v časové řadě. To je prováděno na měsíčních datech pomocí Alexandersonova SNHT testu (Alexandersson, 1986) a Maronna a Yohai bivariate testu (Maronna, Yohai, 1978). Detekované nehomogenity jsou poté porovnány s metadaty. Oprava nehomogenit probíhá v denním kroku pomocí metody DAP (Distribution Adjusting by Percentiles, Štěpánek et al., 2009), která je založena na opravě pomocí jednotlivých percentilů a vychází z metody pro korekci regionálních klimatických modelů (Déqué 2007).

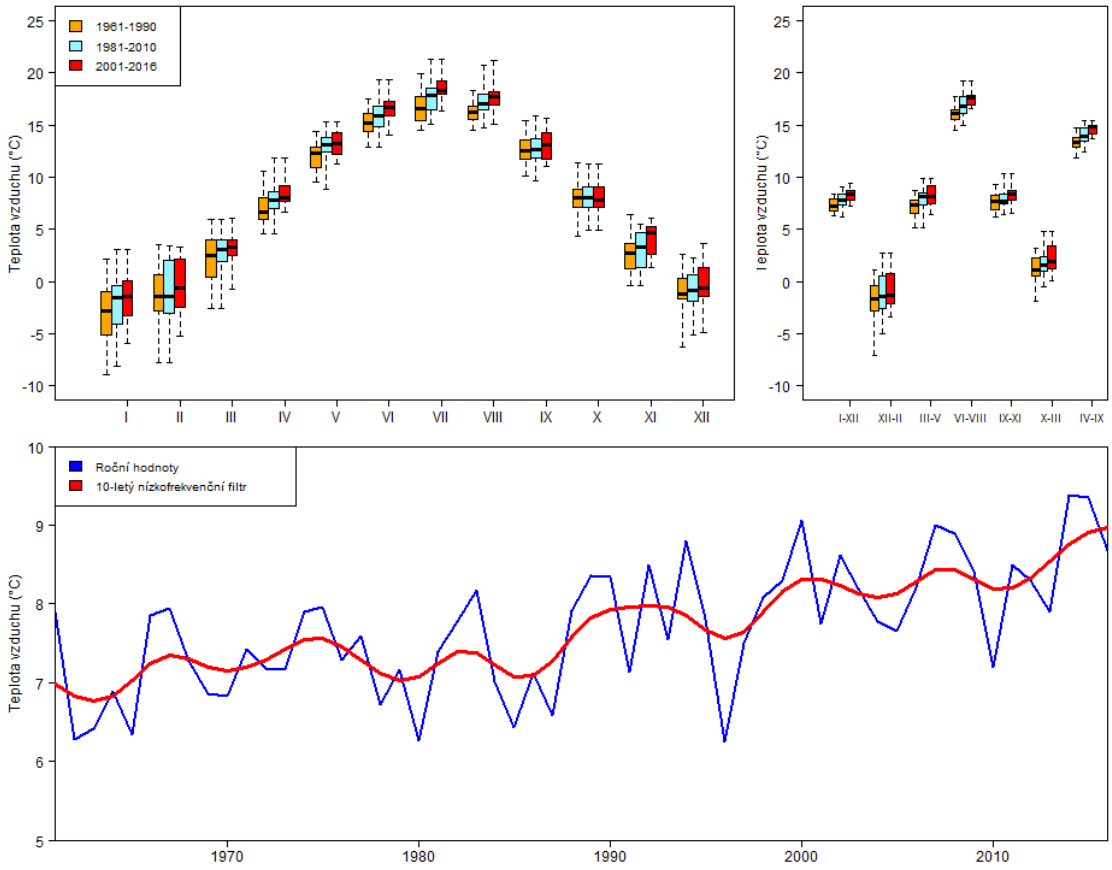
Po kontrole kvality dat a homogenizaci je přikročeno k doplnění chybějících hodnot. To funguje na principu prostorového doplnění za použití interpolačních metod. Ty zohledňují geografické aspekty každé stanice. Vše bylo provedeno pomocí software ProClimDB (www.climahom.eu). Více o použitých metodách a výsledcích lze najít v relevantní odborné literatuře (například Štěpánek et al. 2011a, 2011b, Štěpánek et al. 2013).

Následně byla data interpolována v denním kroku do gridových vrstev s rozlišením 500x500 m pomocí vlastní interpolační metody založené na regresním krigingu. Jako projekce pro vstupní digitální model terénu a tedy i samotné výstupy byl zvolen v Evropě používán systém EPSG 3035 (ETRS89/ETRS-LAEA). Nadmořská výška použitá jako prediktor v regresi byla v případě srážek a slunečního svitu shlazena, naopak v případě maximální, minimální teploty vzduchu, větru a vlhkosti vzduchu byl používán neshlazený terén. Jinak u tzv. pomocných prediktorů jako je drsnost terénu, sklon a expozice, bylo použito shlazení u všech prvků. Tímto způsobem bylo vyprodukováno více než 100 tis. výsledných gridových vrstev a kolem 1 milionu pomocných výstupů.

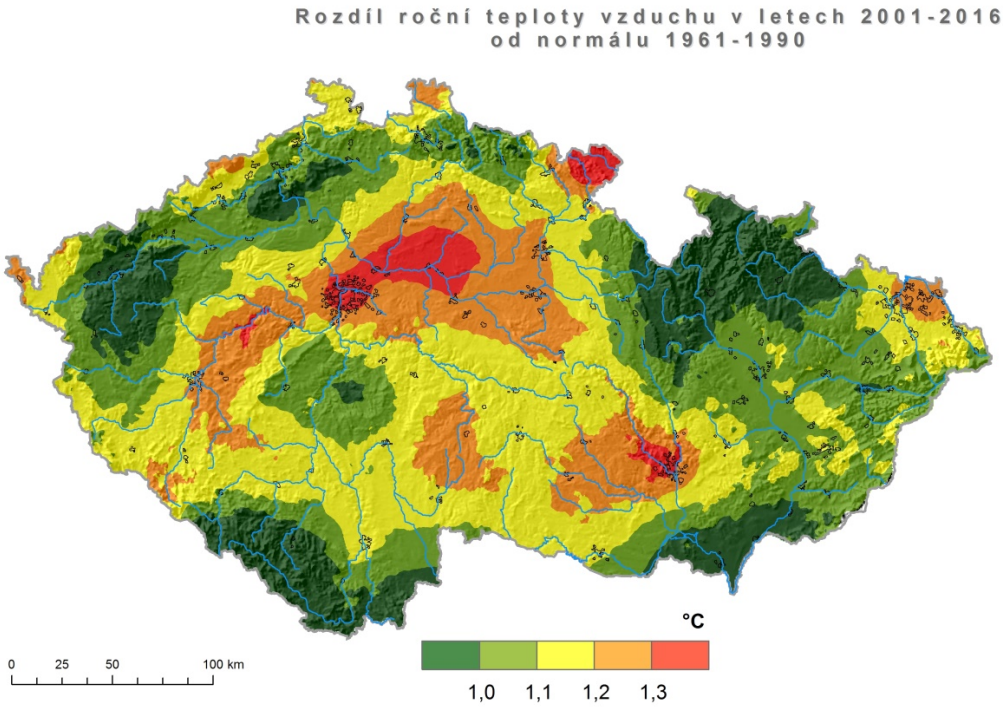
2.5 ZMĚNA KLIMATU V ČR – SOUČASNOST A BUDOUCÍ VÝVOJ

2.5.1 Teplota vzduchu

Od 60. let 20. století je pozorován postupný růst teplot vzduchu, který se zintenzivnil především od 80. let 20. století. Jak lze vidět na obr. 2.5.1, nejteplejší období ze všech zvolených je posledních 15 let, tedy období mezi lety 2001 a 2016. V tomto období dosahovala průměrná teplota vzduchu pro Českou republiku 8,4 °C. Oproti tomu dosahovala průměrná teplota vzduchu v České republice v normálovém období 1961–1990 jen 7,3 °C, v porovnání se současným stavem se tak jedná o 1,1 °C nižší hodnotu. Největší oteplení je pozorováno hlavně ve velkých městech jako je Praha a Brno, kde zároveň působí tepelný ostrov města (obr. 2.5.2). Dále došlo k výraznějšímu nárůstu teplot vzduchu v Polabí, v okolí města Brna a na Broumovsku.

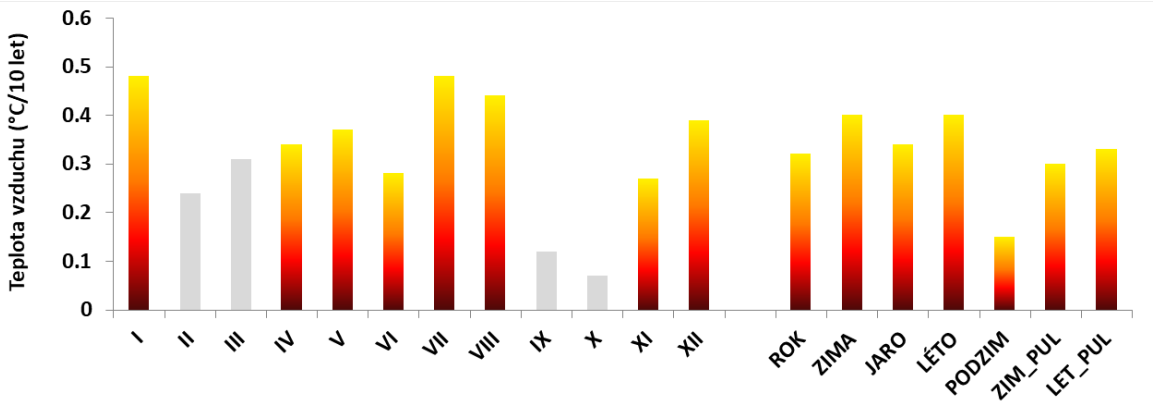


Obr. 2.5.1 Průměrná teplota vzduchu v České republice pro tři zvolená období (1961–1990, 1981–2010 a 2001–2016; nahoře) a vývoj teplot za celé období 1961–2016 (dole)



Obr. 2.5.2 Odchylka průměrné roční teploty vzduchu v letech 2001–2016 od normálu 1961–1990

Růst teplot vzduchu pro období 1961–2016 je statisticky významný ve všech sezónách. Pro roční hodnoty v období 1961–2016 je pozorován pozitivní trend 0,32 °C/10 let (tab. 2.5.1). Nejrychleji se otepluje v zimě a létě (0,40 °C/10 let). Jak lze vidět na obr. 2.5.3, nejmenší trend se naopak vyskytuje na podzim (0,15 °C/10 let). V jednotlivých měsících je pozorován statisticky významný trend v lednu (0,48 °C/10 let), dubnu (0,34 °C/10 let), květnu (0,37 °C/10 let), červnu (0,28 °C/10 let), červenci (0,48 °C/10 let), srpnu (0,44 °C/10 let) a prosinci (0,39 °C/10 let).



Obr. 2.5.3 Lineární trendy průměrné teploty vzduchu (°C/10 let) v České republice za období 1961–2016 (barevné sloupečky přísluší teplotním vzestupům statisticky významným na hladině významnosti p=0,05)

Tab. 2.5.1 Trendy průměrné teploty vzduchu (°C/10 let), úhrnů srážek (mm/10 let), vlhkosti vzduchu (%/10 let) a počtu tropických dní (dny/10 let) v České republice za období 1961–2016 pro jednotlivé měsíce, sezóny a rok (tučně jsou znázorněny hodnoty statisticky významné na hladině p = 0,05)

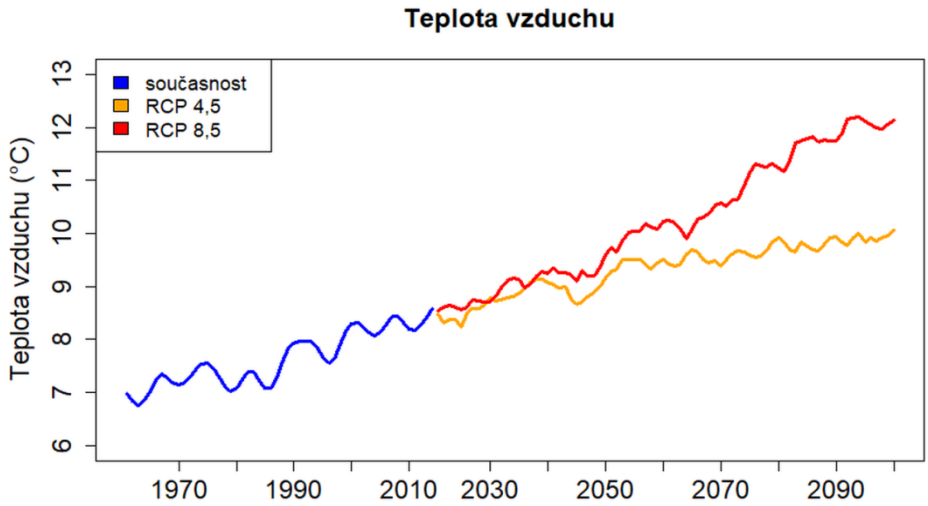
	I	**II**	**III**	**IV**	**V**	**VI**	**VII**	**VIII**	**IX**	**X**	**XI**	**XII**
Teplota vzduchu	0,48	0,24	0,31	0,34	0,37	0,28	0,48	0,44	0,12	0,07	0,27	0,39
Srážkové úhrny	2,55	0,00	1,31	–2,30	–0,95	–1,72	4,23	0,38	2,35	1,09	–1,05	–0,47
Vlhkost vzduchu	–0,45	–1,04	–1,08	–1,12	–0,93	–0,63	–0,75	–0,93	–0,18	0,35	0,14	0,01
Počet tropických dnů	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,32	0,68	0,51	0,02	0,00	0,00	0,00
	Rok	**Zima**	**Jaro**	**Léto**	**Podzim**							
Teplota vzduchu	0,32	0,40	0,34	0,40	0,15							
Srážkové úhrny	5,43	2,32	–1,93	2,89	2,39							
Vlhkost vzduchu	–0,55	–0,50	–1,04	–0,77	0,11							
Počet tropických dnů	1,58	0,00	0,05	1,51	0,02							

Aby bylo možné lépe posoudit možné změny na základě všech dostupných experimentů, z individuálních korigovaných modelových výstupů byl vytvořen ensemblový průměr modelů. Před vytvořením celkového výstupu byly hodnoty jednotlivých experimentů shlazeny dvacetiletým nízkofrekvenčním Gaussovským filtrem, aby byl odstraněn problém s časovou neporovnatelností individuálních ročních hodnot jednotlivých experimentů.

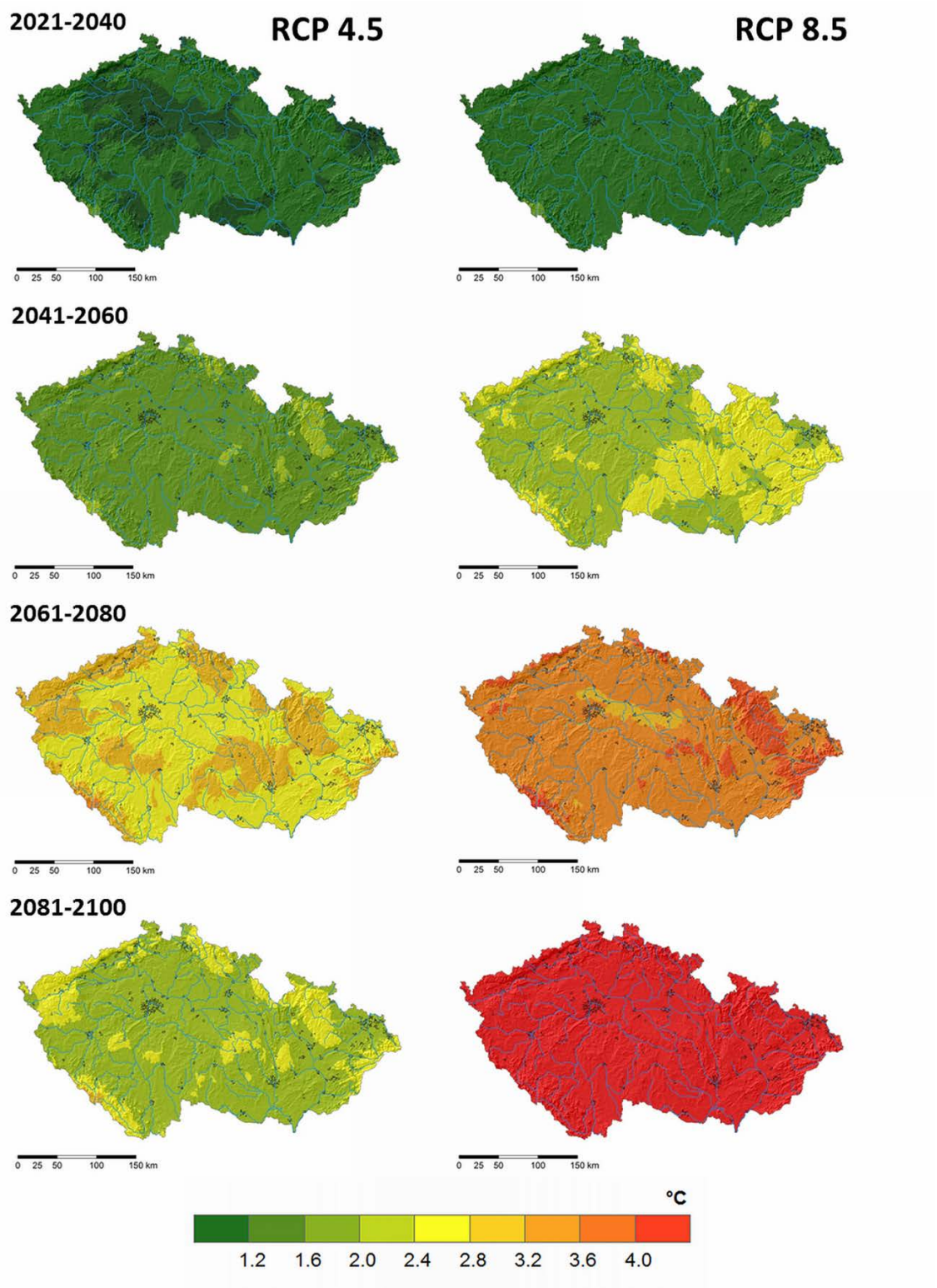
V České republice se na základě všech dostupných experimentů zvýší roční teplota vzduchu do konce 21. století o 2,0 °C (RCP4.5) nebo o 4,1 °C v případě scénáře RCP8.5 a to ve srovnání s referenčním obdobím (1981–2010). Jak je vidět na obr. 2.5.4, teplota vzduchu se bude zvyšovat podobným tempem do roku 2050 bez ohledu na použitý emisní scénář. Teplota bude v období 2021–2040 vyšší o 1 °C v porovnání s obdobím 1981–2010. Po roce 2050 vidíme rostoucí rozdíly mezi emisními scénáři.

Dochází k tzv. rozevírání nůžek. Teplota simulovaná RCP8.5 se prudce zvyšuje a například experiment HadGEM2-ES RCA předpokládá ke konci tohoto století klimatické oteplení o 5 °C ve srovnání s referenčním obdobím 1981–2010 (obr. 2.5.5). Naopak scénář RCP4.5 od roku 2061 poukazuje na prakticky stabilní klima s vyšší teplotou kolem 2 °C ve srovnání se současností. Podle scénáře RCP2.6, který předpokládá zásadní úspěch mitigačních opatření a tedy podstatné a velmi rychlé snížení emisí skleníkových plynů sledujeme ke konci 21. století postupnou stabilizaci klimatu a „návrat" k rozsahu teplot z let 1981-2010. Z této analýzy vyplývá, že do roku 2050 nastartované změny již prakticky nemůžeme ovlivnit. Změna chování člověka bude naopak zcela zásadní pro vývoj klimatu po roce 2050. U jednotlivých sezón (obr. 2.5.6 a tab. 2.5.2) se předpokládá, že k nejintenzivnějšímu nárůstu průměrné teploty vzduchu bude docházet v zimě. Na konci 21. století by zimní teplota měla být vyšší o 2,4–4,9 °C v závislosti na použitém RCP scénáři. U dalších sezón je pozorovaný nárůst teplot vzduchu mezi 1,7–3,8 °C.

K výraznější změně dojde u maximální a minimální teploty vzduchu. Modely předpokládají, že k nejvyššímu nárůstu maximálních teplot vzduchu dojde v zimě a k nejmenšímu na jaře. Roční maximální teploty se zvýší o 2,3 až 4,6 °C do konce století v závislosti na RCP scénáři. V zimě z výstupů vyplývá nárůst 3,4–6,0 °C. Očekává se, že minimální teploty se zvýší ještě razantněji, zejména v zimě (4,5 °C) a pak na jaře (3,5 °C) pro RCP4.5, respektive 8,3 °C (v zimě) a 8,3 °C (jaro) pro RCP8.5, v ročních hodnotách jsou výsledky podobné těm zimním.



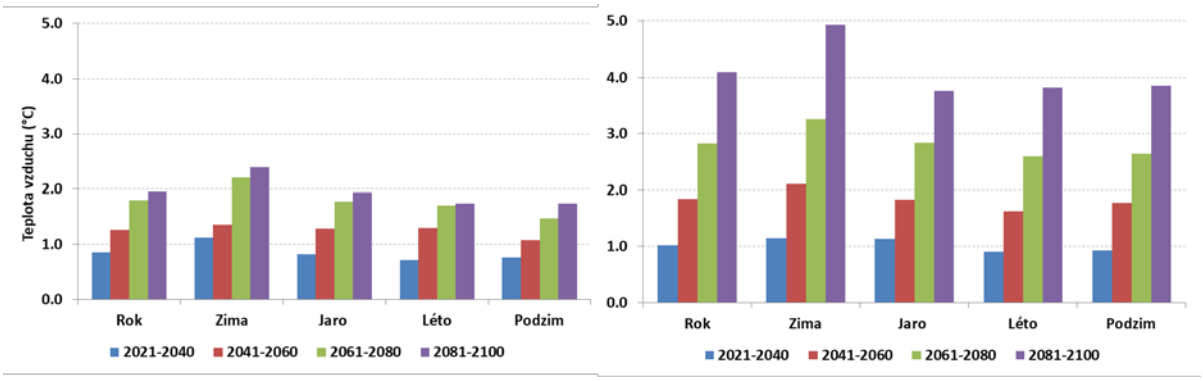
Obr. 2.5.4 Vývoj roční teploty vzduchu pro ČR podle ensemblového průměru 11 realizací RCM modelů (shlazeno 10letým nízkofrekvenčním filtrem)



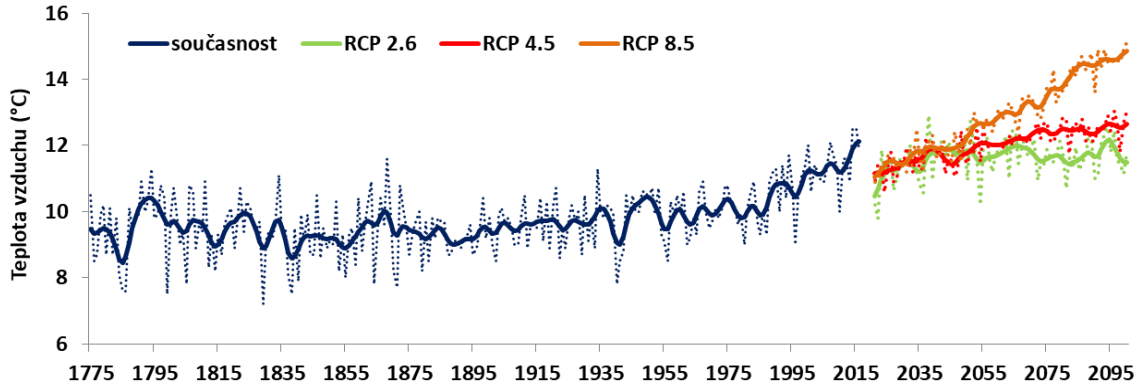
Obr. 2.5.5 Rozdíl průměrných ročních teplot vzduchu v budoucnosti vzhledem k referenčnímu období (1981–2100) pro vybraný model HadGEM2-ES-RCA

Tab. 2.5.2 Rozdíl teploty vzduchu (°C) pro ČR podle ensemblového průměru 11 realizací RCM modelů pro jednotlivé období a sezóny v porovnání s referenčním obdobím 1981–2010

Emisní scénář	Období	Rok	Zima	Jaro	Léto	Podzim
RCP4.5	**2021–2040**	0,9	1,1	0,8	0,7	0,8
	2041–2060	1,3	1,4	1,3	1,3	1,1
	2061–2080	1,8	2,2	1,8	1,7	1,5
	2081–2100	2,0	2,4	1,9	1,7	1,7
RCP8.5	**2021–2040**	1,0	1,1	1,1	0,9	0,9
	2041–2060	1,8	2,1	1,8	1,6	1,8
	2061–2080	2,8	3,3	2,8	2,6	2,6
	2081–2100	4,1	4,9	3,8	3,8	3,9



Obr. 2.5.6 Rozdíl teploty vzduchu (°C) pro ČR podle ensemblového průměru 11 realizací RCM modelů pro jednotlivé období a sezóny v porovnání s referenčním obdobím 1981–2010 (RCP4.5 vlevo, RCP8.6 vpravo)

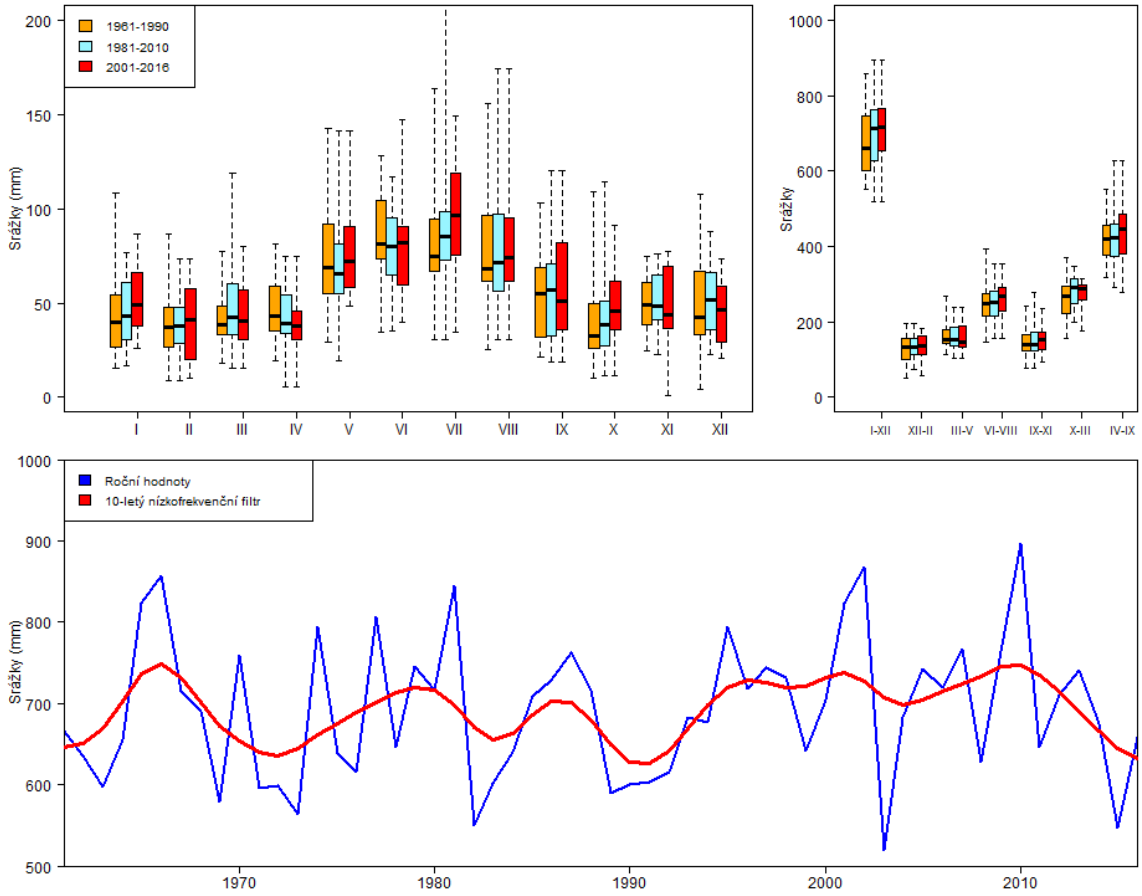


Obr. 2.5.7 Vývoj roční teploty vzduchu podle ensemblového průměru 11 realizací RCM modelů v Praze – Klementinum (1775–2100; 1775–2017 současnost, 2021–2100 modelová predikce)

2.5.2 Srážkové úhrny

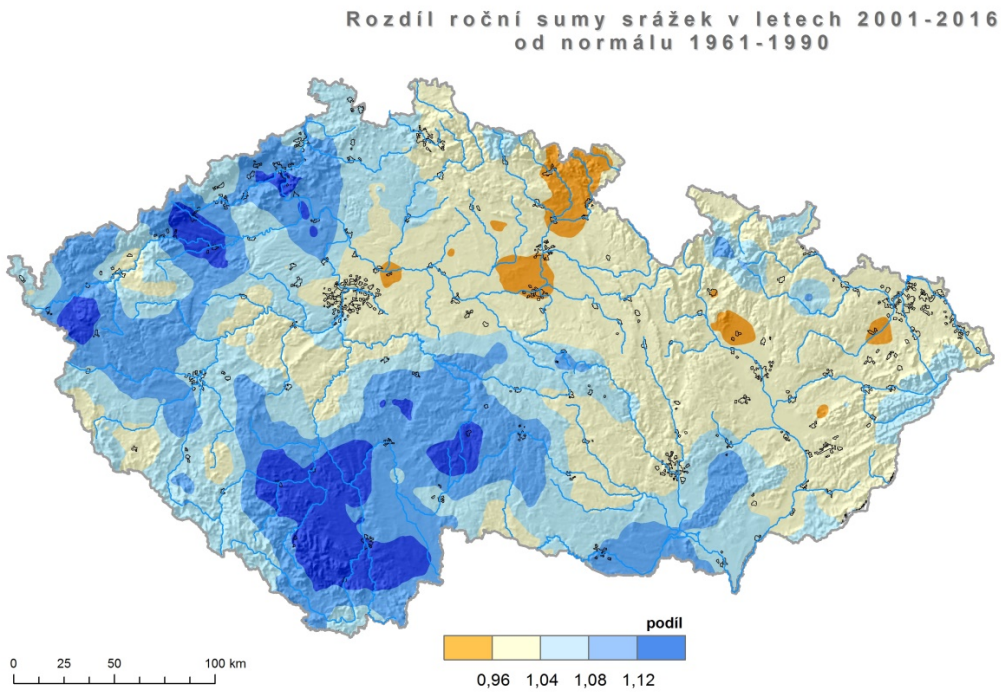
Srážky v České republice jsou velmi variabilní. Suché a vlhké roky/periody/měsíce se významně střídají. To je důvod, proč u srážek není vykazován statisticky významný trend (tab. 2.5.3). Dochází ale ke změně charakteru srážek. Statisticky významně nám roste počet dní s vyššími úhrny srážek, které jsou způsobeny většinou bouřkovou činností v letních měsících. Oproti tomu roste počet a délka epizod, kdy prší jen velmi málo či vůbec.

V normálovém období 1961–1990 byl průměrný roční úhrn srážek za Českou republiku 682 mm, což bylo méně než v posledních 35 letech (obr. 2.5.8). V období 1981–2010 byly naměřeny průměrné srážky 703 mm a v posledních 15 letech (2001–2016) dokonce 712 mm. I přesto nejde o statisticky významný nárůst, jelikož je zde velká fluktuace, která je charakteristická pro klima střední Evropy. Nejvíce srážek spadne v letních měsících, a to hlavně díky bouřkovým situacím, které mají za následek spíše odtok vody z krajiny. Naopak nejméně srážek spadne v zimě. K nejmenší změně dochází v jarních měsících, kdy jsou úhrny v jednotlivých obdobích téměř stejné.



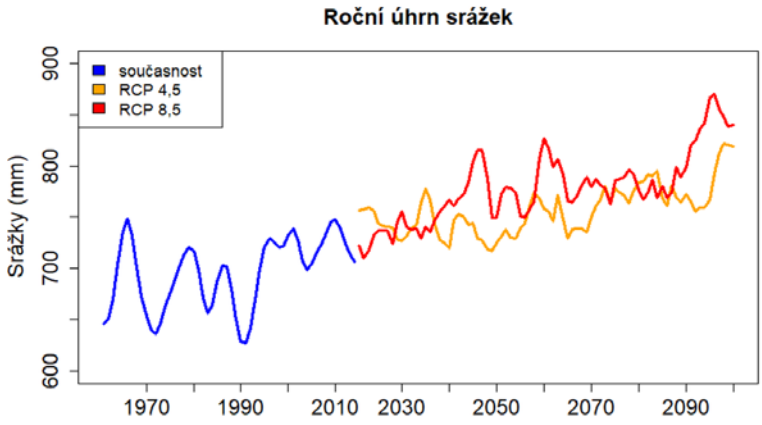
Obr. 2.5.8 Roční úhrn srážek v České republice pro tři zvolená období (1961–1990, 1981–2010 a 2001–2016; nahoře) a vývoj srážek za celé období 1961–2016 (dole)

K největší změně srážek došlo na území jižních Čech, kde sledujeme nárůst i přes 10 %. K nárůstu srážek došlo i na západě republiky. Na zbytku území republiky jsou většinou změny do 4 % (obr. 2.5.9).



Obr. 2.5.9 Podíl průměrného ročního úhrnu srážek v období 2001–2016 vzhledem k normálu 1961–1990

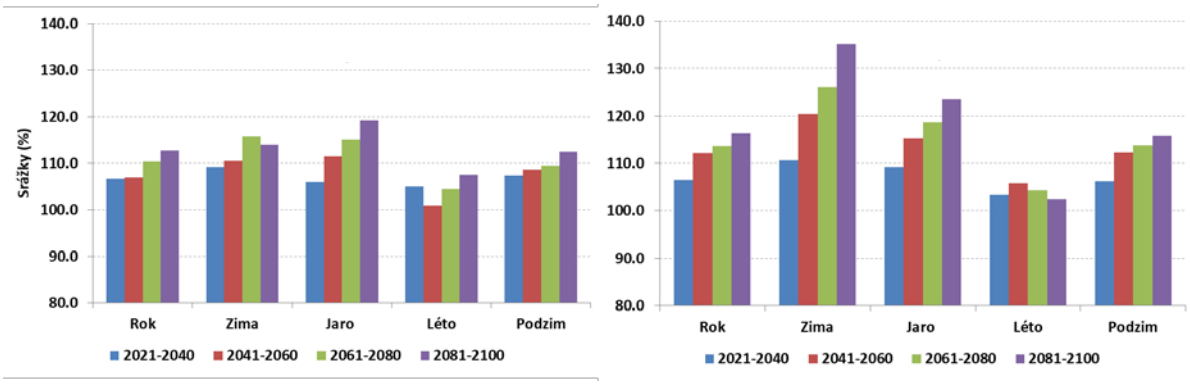
Predikce srážek založených na všech 11 RCM experimentech ukazují mírné zvýšení o 7–13 % pro RCP4.5 nebo 6–16 % pro RCP8.5. Vyšší množství srážek je pozorováno do konce 21. století (obr. 2.5.10). Statistický významný trend (8,3 mm/10 let) byl zjištěn pro RCP4.5 pro období 2061–2100. Emisní scénáře 8,5 udávají statisticky významný trend 16 mm/10 let v období 2021–2060 a 13 mm/10 let v období 2061–2100. RCP2.6 předpokládá zvýšení srážek pouze v prvním období 2021–2060 (14,7 mm/10 let). Největší rozdíl se projevuje u zimních srážek, jejichž nárůst může být do konce 21. století až 35% (obr. 2.5.11, 2.5.12 a tab. 2.5.3). Naopak v letních srážkách lze očekávat nejmenší změnu.



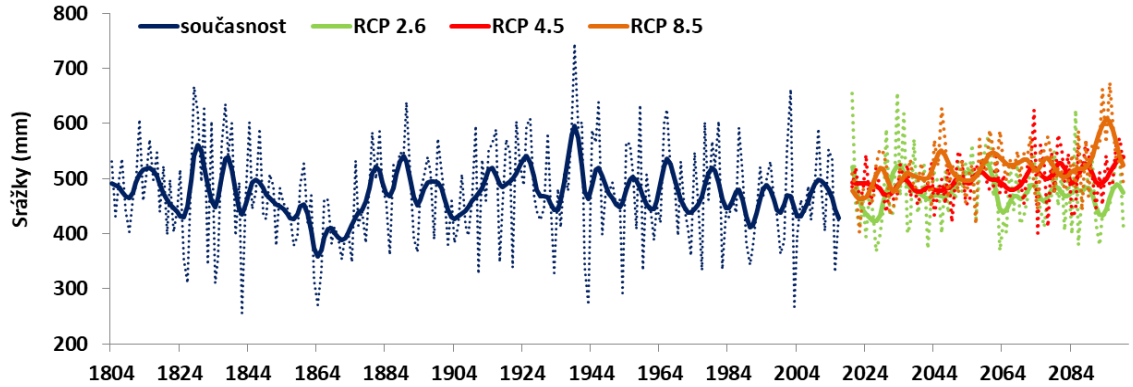
Obr. 2.5.10 Vývoj průměrných ročních srážkových úhrnů (mm) pro ČR podle ensemblového průměru 11 realizací RCM modelů (shlazeno 10letým nízkofrekvenčním filtrem)

Tab. 2.5.3 Procento srážkových úhrnů pro ČR podle ensemblového průměru 11 realizací RCM modelů pro jednotlivé období a sezóny v porovnání s referenčním obdobím 1981–2010

Emisní scénář	Období	Rok	Zima	Jaro	Léto	Podzim
RCP4.5	**2021–2040**	106,6	109,3	105,9	105,0	107,4
	2041–2060	107,0	110,5	111,5	100,9	108,7
	2061–2080	110,3	115,9	115,1	104,4	109,5
	2081–2100	112,7	114,0	119,3	107,5	112,4
RCP8.5	**2021–2040**	106,5	110,6	109,3	103,4	106,2
	2041–2060	112,2	120,4	115,4	105,8	112,3
	2061–2080	113,7	126,1	118,7	104,3	113,8
	2081–2100	116,3	135,1	123,5	102,4	115,9

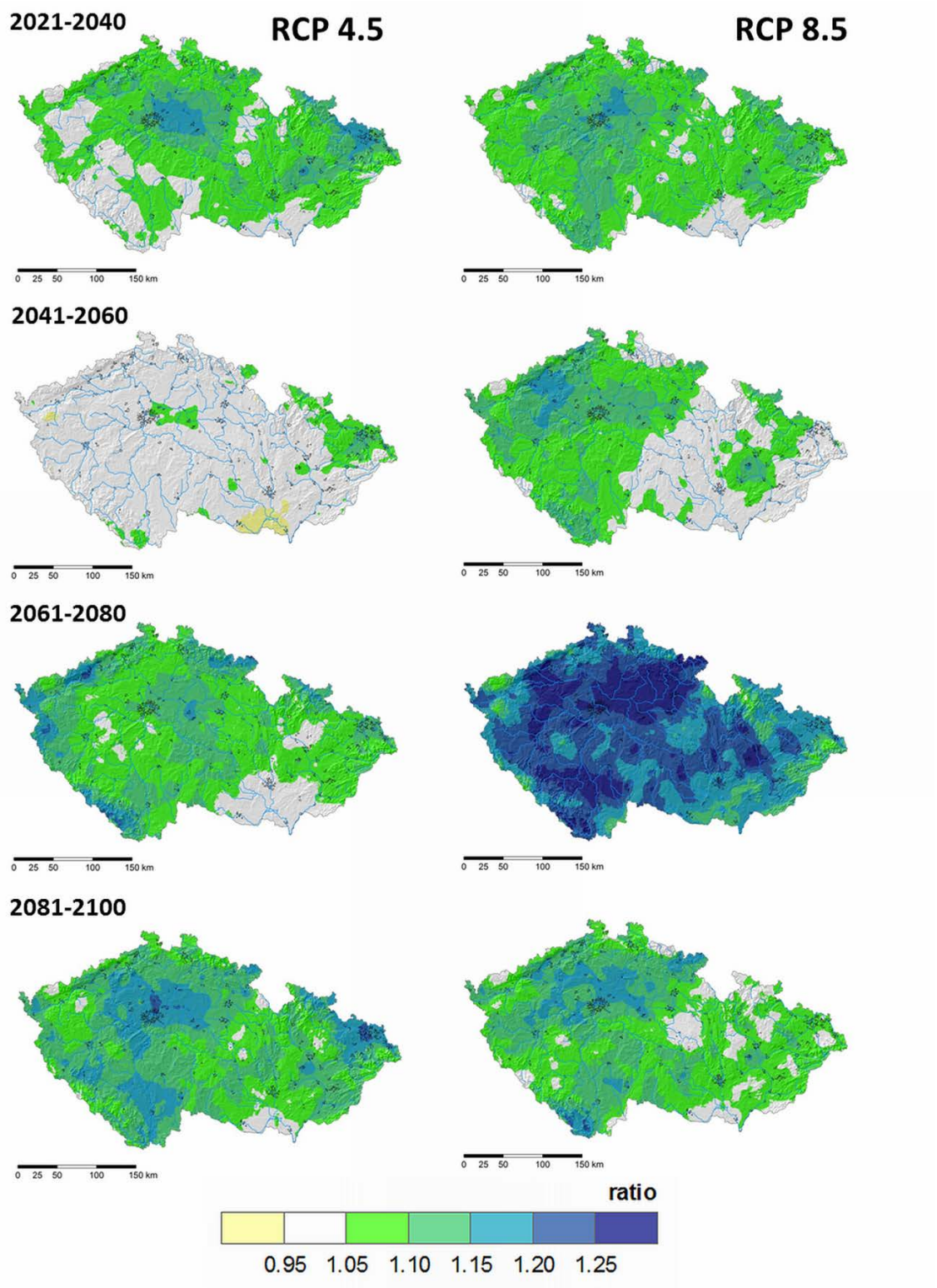


Obr. 2.5.11 Procento srážkových úhrnů pro ČR podle ensemblového průměru 11 realizací RCM modelů pro jednotlivá období a sezóny v porovnání s referenčním obdobím 1981–2010



Obr. 2.5.12 Vývoj ročních srážkových úhrnů (mm) podle ensemblového průměru 11 realizací RCM modelů v Praze-Klementinu (1804–2100)

Jak je zřejmé z obr. 2.5.13, změny srážek nejsou prostorově konzistentní. Na příkladu experimentu HadGEM2-ES RCA se ukazuje, že k nejmenšímu nárůstu by mělo dojít na jižní Moravě, která patří k nejdůležitějším zemědělským oblastem. Rozdíly mezi obdobími a emisními scénáři jsou velké. Značné rozdíl lze pozorovat mezi obdobími 2041–2060 (RCP4.5) a 2061–2080 (RCP8.5). V prvním případě jsou předpovídány podobné srážkové úhrny jako v referenčním období 1981–2010, ale v druhém případě jsou modelovány výrazně vyšší hodnoty srážek, a to o více než 20 %.



Obr. 2.5.13 Poměr průměrných ročních úhrnů srážek v budoucnosti vzhledem k referenčnímu období (1981–2100) pro vybraný model HadGEM2-ES-RCA

2.5.3 Charakteristiky výskytu sucha

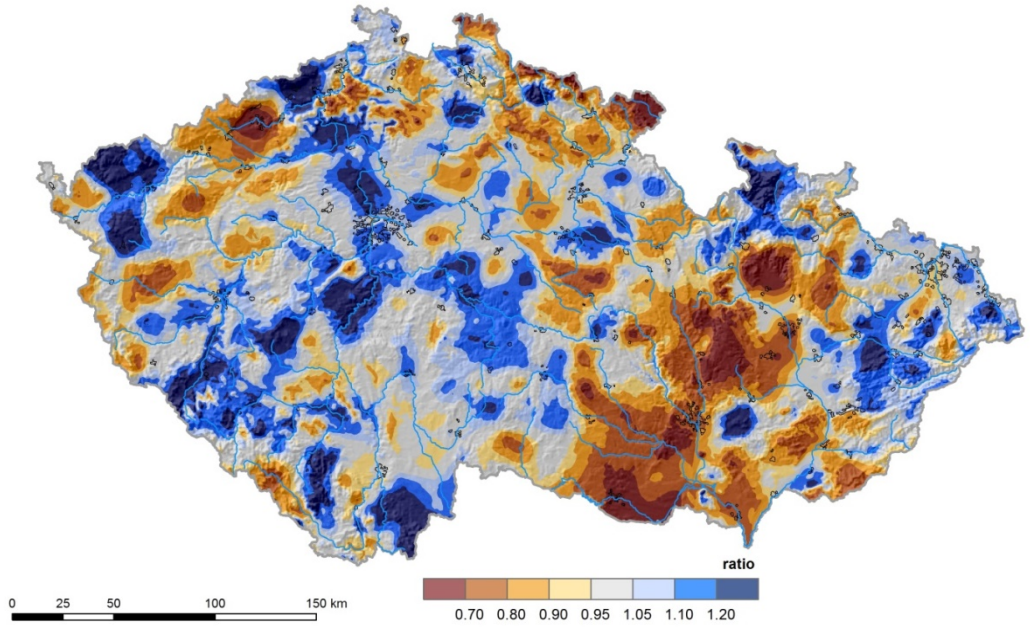
Změny teplotního a srážkového režimu se bezprostředně promítají též do výskytu suchých epizod, s významnými dopady zejména v kontextu střednědobé a dlouhodobé variability vlhkostního režimu. Různorodost oborových definic sucha se odráží v existenci celé řady kvantitativních charakteristik (indexů sucha), použitelných jak pro analýzy v rámci klimatologického výzkumu, tak i posouzení ekonomických a ekologických dopadů sucha v návazných oborech. Mezi nejčastěji aplikované

kvantifikátory intenzity sucha přitom patří standardizovaný srážkový index (SPI), standardizovaný srážkový evapotranspirační index (SPEI) a Palmerův index intenzity sucha, jakož i hodnoty půdní vlhkosti. Jak ukazuje analýza dostupných instrumentálních měření, v rámci ČR lze v období 1961–2012 pozorovat obecnou tendenci k výskytu sušších podmínek, jak z pohledu meteorologického sucha, tak i půdní vlhkosti (Brázdil et al. 2015a, 2015b). Tento trend lze přitom připsat převážně nárůstu teploty, globálního záření a s tím souvisejícího sytostního doplňku. Analýza meteorologických such během období 1805–2012 pak naznačuje převládající tendenci ke zvýšené suchosti jara a, v případě dlouhodobého sucha, i léta a celého roku. V zimě se naopak v některých regionech projevuje tendence k vlhčím podmínkám (Brázdil et al. 2015b). Na druhou stranu, tendence k častějšímu výskytu vlhkých podmínek v teplé i studené polovině roku byla ve střední Evropě detekována pro nadmořské výšky nad 1000 m n. m. (Trnka et al. 2016).

Stejně jako historický vývoj četnosti a intenzity sucha, i projekce jejich budoucího výskytu odrážejí především kompozitní změny teploty a srážek, popsané v kapitolách 6.1 a 6.2. Jak ukazují provedené modelové studie (Štěpánek et al. 2016), v průběhu 21. století lze očekávat nárůst frekvence i délky období meteorologického sucha. Riziko déletrvajících a intenzivnějších epizod sucha lze přitom očekávat zejména v období od dubna do září (Brázdil et al. 2015b).

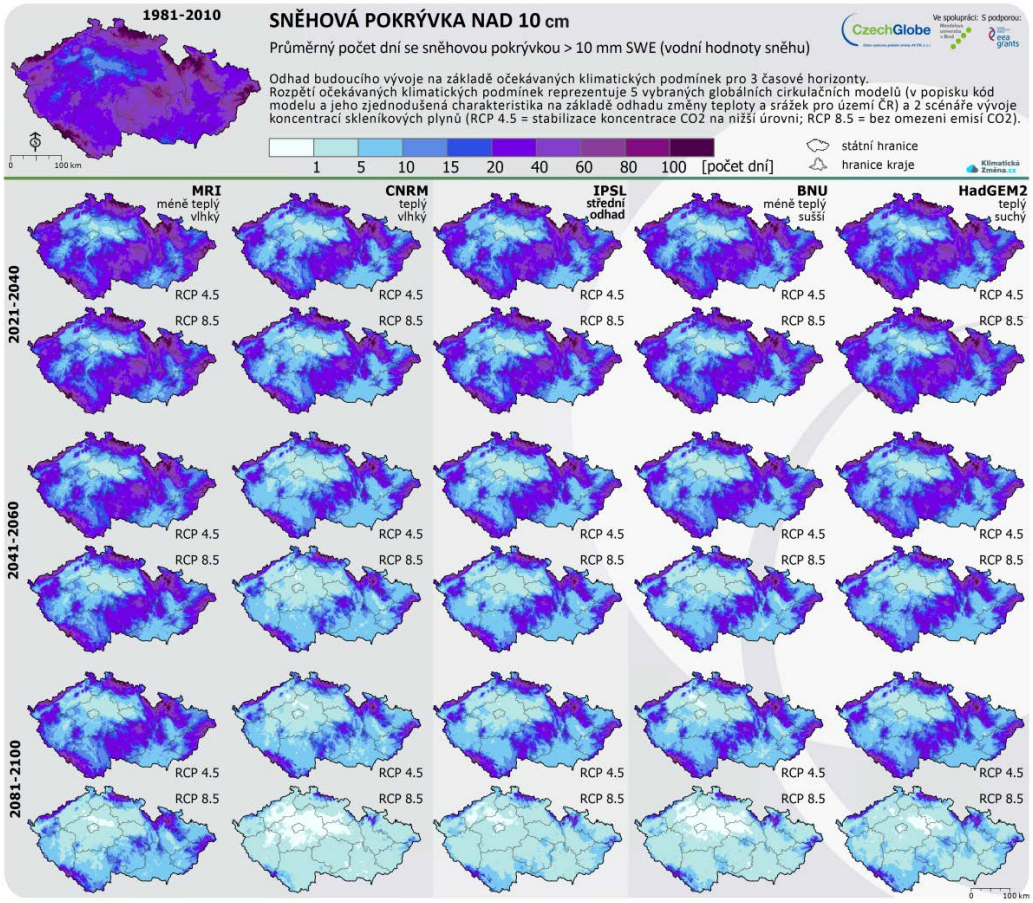
2.5.4 Sněhové charakteristiky

Změna množství sněhové pokrývky není konstantní pro celou republiku a výrazně ji ovlivňuje daná lokalita. Na mnoha místech byl zaznamenán pokles jak v množství nového sněhu, tak i u maximální výšky sněhové pokrývky. Tam je změna markantnější, a to mj. znamená, že i v místech, kde napadne stejné množství sněhu, tak dochází k rychlejšímu odtávání díky vyšším teplotám. Na mnoha místech došlo ke zkrácení sněhové sezóny, jelikož byl zaznamenán pokles maximální sněhové vrstvy v březnových měsících, což negativně ovlivňuje lyžařskou sezónu. K významnějšímu propadu v množství sněhové pokrývky v zimním půlroce došlo hlavně od roku 2001 a to v nejvyšších partiích České republiky. Napadlo zde v průměru o 11 % nového sněhu méně než je dlouhodobý průměr a maximální výška sněhové pokrývky je o 7 % nižší. Kromě toho se mění i charakter sněhových srážek. Klesá počet dní, kdy najednou napadne více sněhu, a i na horách se zmenšuje maximální výška sněhu. Pokles v posledních 15 letech v zimním půlroce oproti období 1961–1990 je až 30–45 % (obr. 2.5.14).



Obr. 2.5.14 Podíl množství nového sněhu v zimních sezonách 2001–2016 vzhledem dlouhodobému průměru 1961–1990

Do budoucnosti ovlivní naši krajinu i ekonomiku (hlavně v oblasti energetiky a turistiky) v zimě hlavně predikovaný nárůst teploty vzduchu. Ta totiž ovlivní i charakter zimních srážek. Nejnovější modely EURO-CORDEX počítají s nárůstem teploty vzduchu v zimní sezóně (prosinec až únor) až o 5° C. To by výrazně ovlivnilo lyžařskou sezonu v našich podmínkách, jelikož by sníh rychle odtával nebo by se většina sněhových srážek změnila v dešťové. Vyšší teploty vzduchu se projeví i ve změně teplotních charakteristik. Pro zimní období je důležitý mrazový den[5]. Zde se předpovídá pokles počtu mrazových dnů až o dvě třetiny v zimním půlroce. Výrazně tedy stoupne počet bezmrazových dnů, sníh bude mít menší šanci se udržet a bude rychleji odtávat. V nižších nadmořských výškách to může znamenat, že se sníh vyskytne jen přechodně například na jeden až dva dny a brzy roztaje. Na horách se sice bude moci sníh udržet, ale jeho maximální vrstva bude velmi malá. Potenciální lokalita, kde se může sníh trvale udržet (pokud nasněží) po celou zimu, je průměrně v nadmořských výškách nad 600 m (Krkonoše, Jeseníky, Českomoravská vrchovina, Orlické hory, Krušné hory, západní část Šumavy, vyšší partie Beskyd). Momentálně se tato isoterma nachází průměrně v nadmořské výšce 604 m. Podle predikce klimatických modelů se v letech 2021–2050 příslušná plocha zmenší a v průměru se isoterma bude vyskytovat ve výšce 631 m n. m. Výrazný posun pak nastane v letech 2081–2100, kdy se tato místa budou nacházet jen v nejvyšších partiích našich hor (Krkonoše, Krušné hory) a příslušná isoterma se v průměru posune do nadmořské výšky 845 m. Druhým efektem rostoucí teploty vzduchu může být to, že se zvýší riziko nebezpečných lavin, jelikož sníh bude častěji narušován změnami teplot vzduchu okolo bodu mrazu. Do budoucna má sice dojít k nárůstu zimních srážek, ale vzhledem k vyšším teplotám vzduchu půjde většinou o déšť. Bude tedy i výrazně klesat počet dní s výškou nového sněhu nad 10 cm (obr. 2.5.15).



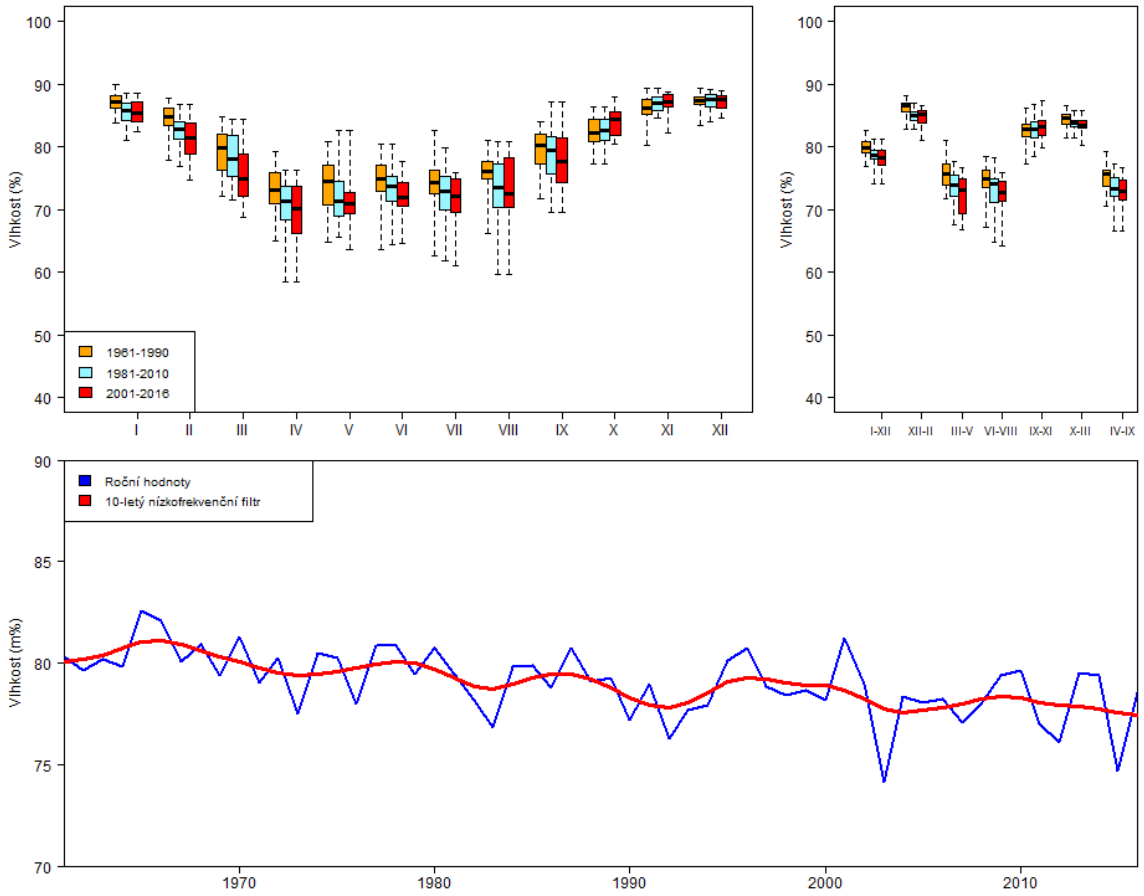
Obr. 2.5.15 Počet dní se sněhovou pokrývkou nad 10 cm podle pěti globálních klimatických modelů a dvou emisních scénářů pro období 2021–2100 (Zdroj: www.klimatickazmena.cz)

[5] Mrazovým dnem je označen den, klesne-li minimální denní teplota pod 0 °C a je tedy větší šance na udržení sněhové pokrývky či případně na sněžení.

2.5.5 Vlhkost vzduchu

Díky vyšším teplotám, slunečnějšímu počasí a nevýznamné změně srážek dochází k poklesu relativní vlhkosti vzduchu. Průměrná relativní vlhkost vzduchu v normálovém období 1961–1990 byla 79,8 % (obr. 2.5.16). Oproti tomu v posledních 15 letech (2001–2016) to už bylo jen 78,0 %. Největší relativní vlhkost vzduchu se vyskytuje v zimních měsících a to 86,2 % v období 1961–1990. Naopak v letech 2001–2016 klesla průměrná relativní vlhkost vzduchu v zimě v České republice na 84,7 %. Nejnižší vlhkost vzduchu sledujeme v jarních a letních měsících. Ta se pohybovala okolo 75 % v letech 1961–1990, ale v současných podmínkách změněného klimatu je průměr 72 %.

Statisticky významná změna vlhkosti vzduchu je pozorována u všech sezón s výjimkou podzimu (obr. 5.17 a tab. 2.5.4). K největšímu poklesu dochází na jaře (−1,04 %/10 let) a v létě (−0,77 %/10 let). Z jednotlivých měsíců je statisticky významný pokles pozorován od ledna po srpen. Po zbytek roku jsou změny již nevýznamné. K největší změně dochází od února po duben a to o více než 1 % za 10 let.

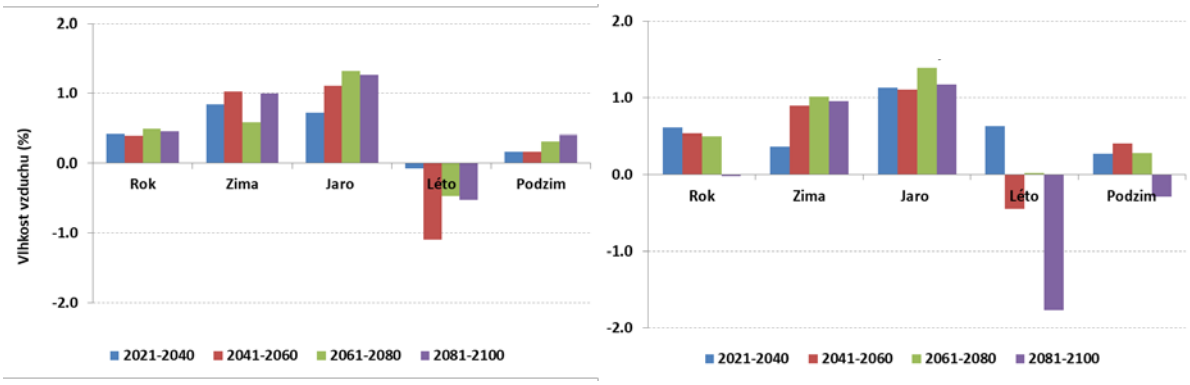


Obr. 2.5.16 Průměrná vlhkost vzduchu v České republice pro tři zvolená období (1961–1990, 1981–2010 a 2001–2016; nahoře) a vývoj vlhkosti za celé období 1961–2016 (dole)

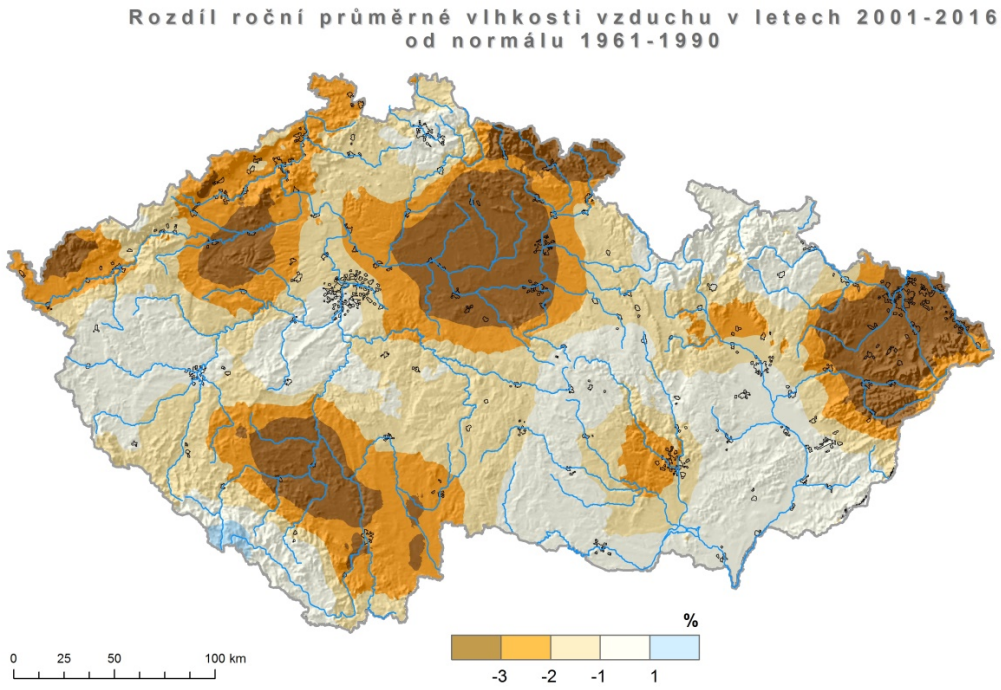
Největší změny jsou lokálně významně ohraničeny. Pokles o více než 3 % v posledních letech oproti normálu je pozorován v Polabí, Slezsku, jižních Čechách, v Krkonoších a na závětrné straně Krušných hor. Růst vlhkosti je slabě lokalizován na malém území na Šumavě (obr. 2.5.18).

Tab. 2.5.4 Rozdíl relativní vlhkosti vzduchu (%) pro ČR podle ensemblového průměru 11 realizací RCM modelů pro jednotlivé období a sezóny v porovnání s referenčním obdobím 1981–2010

Emisní scénář	Období	Rok	Zima	Jaro	Léto	Podzim
RCP4.5	**2021–2040**	0,4	0,8	0,7	–0,1	0,2
	2041–2060	0,4	1,0	1,1	–1,1	0,2
	2061–2080	0,5	0,6	1,3	–0,5	0,3
	2081–2100	0,5	1,0	1,3	–0,5	0,4
RCP8.5	**2021–2040**	0,6	0,4	1,1	0,6	0,3
	2041–2060	0,5	0,9	1,1	–0,5	0,4
	2061–2080	0,5	1,0	1,4	0,0	0,3
	2081–2100	0,0	1,0	1,2	–1,8	–0,3

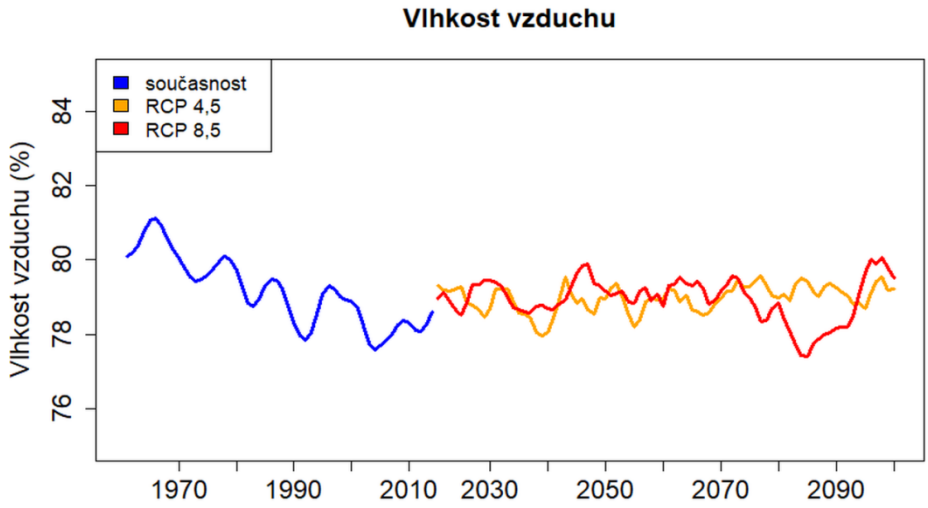


Obr. 2.5.17 Rozdíl relativní vlhkosti vzduchu (%) pro ČR podle ensemblového průměru 11 realizací RCM modelů pro jednotlivé období a sezóny v porovnání s referenčním obdobím 1981–2010



Obr. 2.5.18 Rozdíl vlhkosti vzduchu v letech 2001–2016 vzhledem k normálu 1961–1990

Do budoucna by se měl pokles vlhkosti vzduchu zastavit (obr. 2.5.19), jelikož se bude zvyšovat množství srážek, oproti tomu ale bude působit růst teplot vzduchu. Oba jevy se tedy ve vztahu k vlhkosti vzduchu vykompenzují. Modely počítají dokonce s nepatrným nárůstem vlhkosti vzduchu. Situace bude odlišná v jednotlivých sezónách. V zimě a na jaře se předpokládá mírný nárůst vlhkosti vzduchu, naopak v létě bude klesat.



Obr. 2.5.19 Vývoj vlhkosti vzduchu pro ČR podle ensemblového průměru 11 realizací RCM modelů (shlazeno 10letým nízkofrekvenčním filtrem)

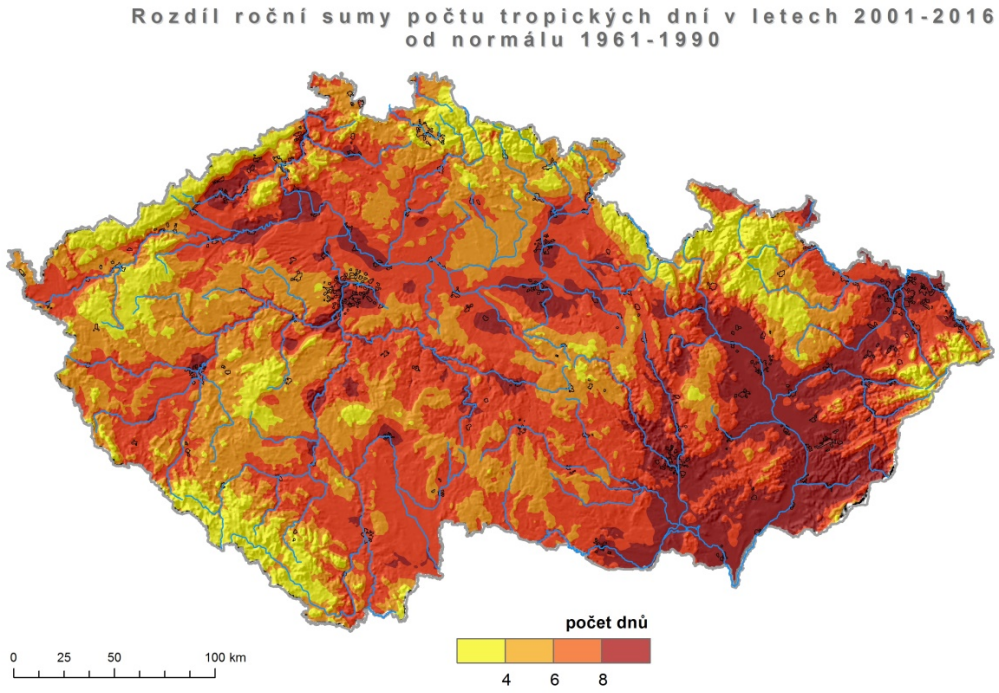
2.5.6 Vybrané klimatologické indexy

Změna klimatu se neprojevuje jen ve změně základních klimatologických prvků, ale také ve změně speciálních charakteristik, které jsou často důležitější pro poznání změny a nastavení adaptačních opatření. Pro tuto studii byl vybrán jakožto indikátor počet tropických dnů. Na jejich základě bude podrobněji popsána jak aktuální změna, tak i odhadovaný vývoj. Změny dalších vybraných charakteristik jsou popsány souhrnně tabelárně a graficky.

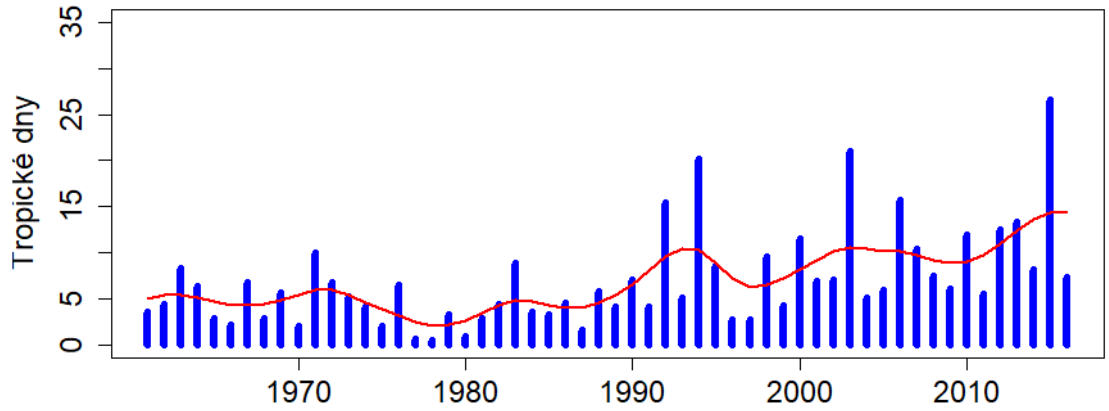
2.5.6.1 Počet tropických dní

Tropických dnů[6] se v průměru za celou republiku objevuje jen několik za rok (v průměru 7 dnů ročně během období 1961–2016), ale v posledních letech pozorujeme jejich výrazný nárůst (obr. 2.5.20 a 2.5.21). Například v letech 2015 a 2018 se vyskytlo v průměru na celém území republiky kolem 30 tropických dnů (prostorově značně diferencováno), což je klimatickými projekcemi modelováno až pro konec tohoto století, a to podle pesimistického emisního scénáře RCP8.5. V letech 1961–1990 bylo pozorováno v průměru jen 4,4 tropických dní za rok. V období 1981–2010 je již výrazný nárůst o 70 % na 7,6 dní za rok. V posledním období 2001–2016 bylo zaznamenáno v průměru na celém území ČR 10,7 tropických dní za rok, což je více než dvojnásobek oproti normálovému období.

[6] Tropický den je takový, kdy je maximální teplota vzduchu 30 °C a více. Jde o teplotní extrém, který se většinou již negativně odráží jak na krajině (zvýšená evapotranspirace rostlin, vysušování krajiny), tak i na zdraví člověka, a to především v případech, kdy se odpovídající podmínky vyskytují ve více dnech za sebou (tzv. horké vlny).

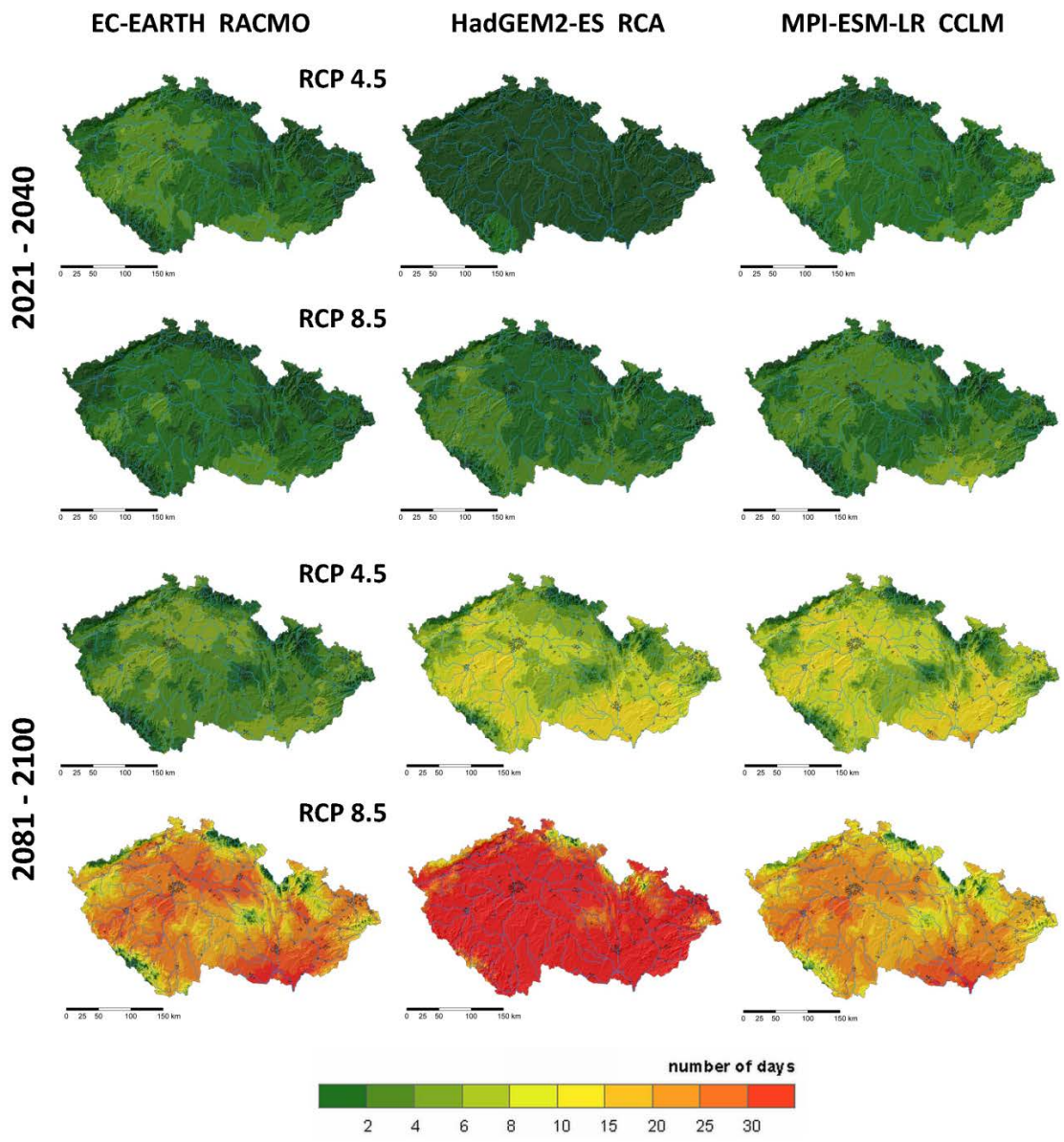


Obr. 2.5.20 Rozdíl počtu tropických dnů v letech 2001–2016 od normálu 1961–1990

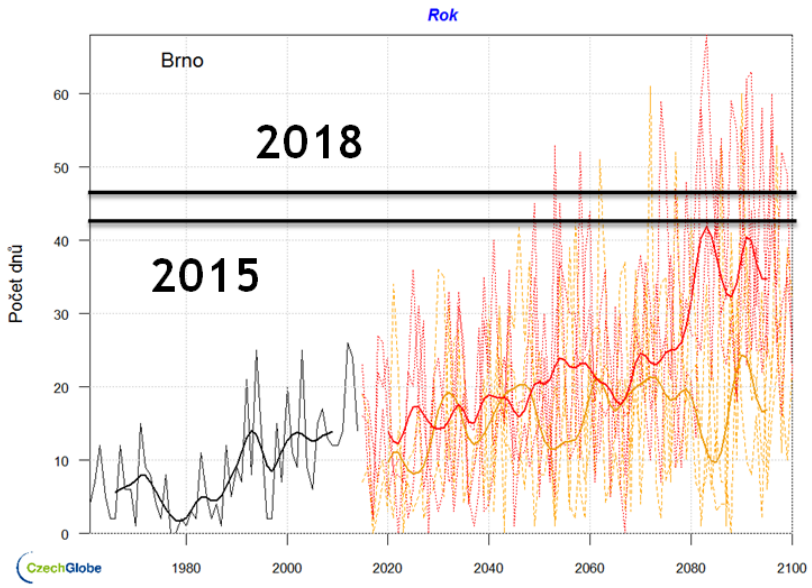


Obr. 2.5.21 Průměrný počet tropických dní na území České republiky v letech 1961–2016 (plošná interpolace na celé území)

V nejbližší budoucnosti (2021–2040) nedojde (podle současných modelových výstupů) k výraznému nárůstu počtu tropických dnů. Hodnoty odpovídají situaci v posledních letech. Větší rozptyl v predikci modelů a jinými emisními scénáři je pozorován na konci století. Emisní scénář RCP4.5 předpovídá dvojnásobný počet tropických dnů oproti období 1981–2010. RCP8.5 je v tomto případě ještě více pesimistický. Předpovídá, že by mělo dojít k nárůstu počtu tropických dní na troj až čtyřnásobek současného průměru (obr. 2.5.22 a 2.5.23). To by v praxi znamenalo, že situace z let 2015 a 2018 by se opakovaly prakticky každoročně a nebyly by pouze výjimkou.



Obr. 2.5.22 Změna počtu tropických dní (teplota 30 °C a více) vůči referenčnímu období 1981–2010 vypočtena na základě tří RCM modelů pro období 2021–2040 a 2081–2100



Obr. 2.5.23 Počet tropických dnů na příkladu města Brna v letech 1961–2100 s vyznačenými extrémními roky 2015 a 2018 (RCP4.5 – oranžově, RCP8.5 – červeně)

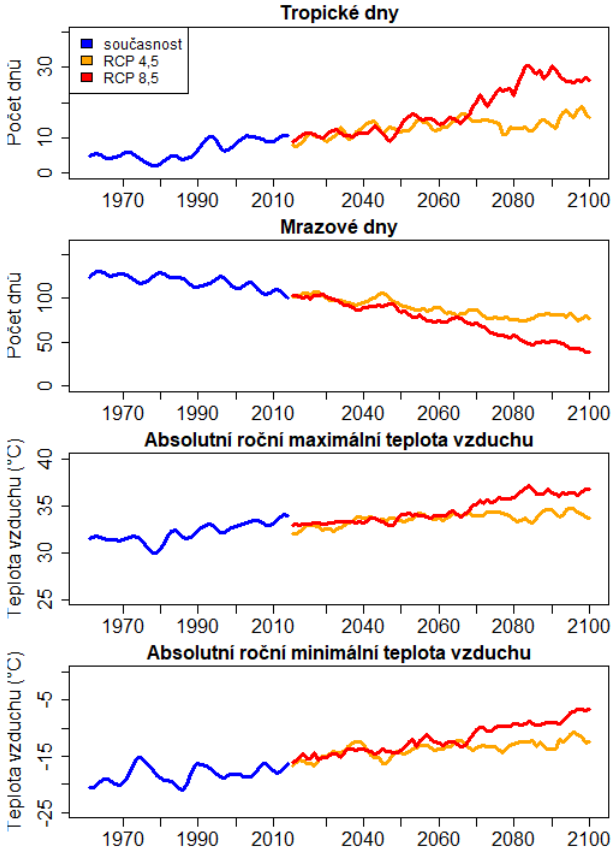
2.5.6.2 Počet mrazových dní a extrémní teploty

Dalším klimatologickým indexem, který charakterizuje hlavně poměry zimního půlroku, je počet mrazových dnů. V současném období je zde pozorován statisticky významný klesající trend počtu mrazových dní, který bude pokračovat i v budoucnosti (obr. 2.5.24). V blízké budoucnosti (2021–2040) klesne podle obou emisních scénářů počet těchto dnů o 15 %. Ke konci století by pak měl nastat pokles o 35 % až 60 % a v nejpesimističtější variantě až o 70 %.

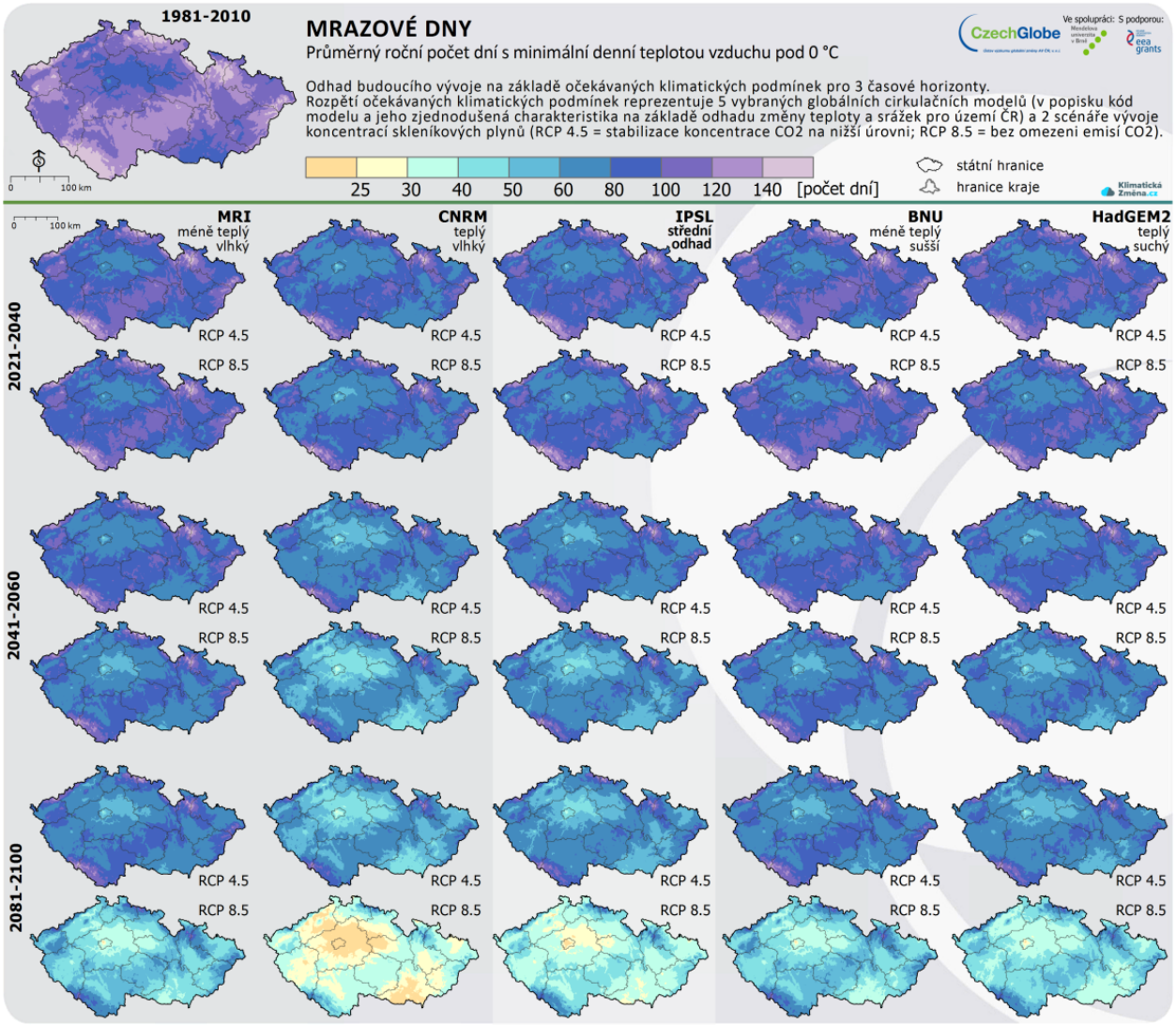
Tab. 2.5.5 Vybrané klimatologické charakteristiky (průměrná změna – ensemblový průměr, minimální a maximální (rozpětí všech modelů) pro blízkou budoucnost (2021–2040) a vzdálenou budoucnost (2081–2010), vzhledem k současnému klimatu (1981–2010), podle dvou emisních scénářů RCP4.5 a RCP8.5 (TMA>=30 °C = počet tropických dní; TMI<0 °C = počet mrazových dnů; TMA MAX = průměrná roční maximální teplota vzduchu; TMI MIN = průměrná roční minimální teplota vzduchu, SRA>X udává počet dnů se srážkou nad limit)

Index		2021–2040			2081–2100		
1981–2010	Scénář	Medián	Min	Max	Medián	Min	Max
TMA=>30 °C	RCP4.5	**10,4**	8,3	14,1	**15,5**	11,9	30,3
7,6 dnů	RCP8.5	**10,5**	8,7	14,9	**27,4**	20,0	40,6
TMI<0 °C	RCP4.5	**99,0**	88,1	104,2	**77,7**	70,2	94,1
116,6 dnů	RCP8.5	**99,2**	88,6	110,2	**48,6**	38,7	58,2
TMA MAX	RCP4.5	**32,8**	31,5	34,1	**33,8**	32,7	37,6
32,5 °C	RCP8.5	**33,0**	32,6	33,8	**36,4**	35,2	38,3
TMI MIN	RCP4.5	**−14,6**	−17,0	−12,5	**−12,6**	−15,0	−10,0
−18,2 °C	RCP8.5	**−14,5**	−17,1	−12,4	**−8,9**	−11,3	−5,7
SRA>0,1 mm	RCP4.5	**114,8**	111,1	118,4	**114,6**	111,4	121,6
112,5 dnů	RCP8.5	**114,3**	109,9	118,7	**115,5**	106,1	123,8
SRA>10 mm	RCP4.5	**19,9**	18,4	21,5	**21,3**	20,2	23,8
18,2 dnů	RCP8.5	**19,8**	18,4	21,5	**23,0**	21,5	24,7
SRA>20 mm	RCP4.5	**5,2**	4,8	5,7	**6,0**	5,5	7,0
4,8 dnů	RCP8.5	**5,3**	4,8	6,2	**6,7**	6,2	7,3
SRA>50 mm	RCP4.5	**0,4**	0,3	0,6	**0,5**	0,4	0,8
0,3 dnů	RCP8.5	**0,4**	0,3	0,7	**0,6**	0,4	0,9

Ke změně by mělo dojít i u obou extrémních teplot vzduchu. V současnosti je průměr ročních maxim teploty pro celou Českou republiku 32,5 °C. V letech 2021–2040 ještě nedojde k výraznému zvýšení, ale naopak ke konci století bude tato teplota o 1,3 až 3,9 °C vyšší (tab. 2.5.5). V nejméně příznivém modelovém výhledu by roční absolutní maximum vystoupalo na 38,3 °C (obr. 2.5.24). To by znamenalo, že v nižších polohách by byla celkem pravidelně dosahována hodnota vyšší než 40 °C. V zimě by pak mělo docházet ke zmírňování extrémně nízkých teplot. Nyní je průměrné roční minimum teploty v České republice −18,2 °C. Už v letech 2021–2050 by měl tento průměr narůst skoro o 4 °C a ve vzdálené budoucnosti dokonce až o 10 °C.



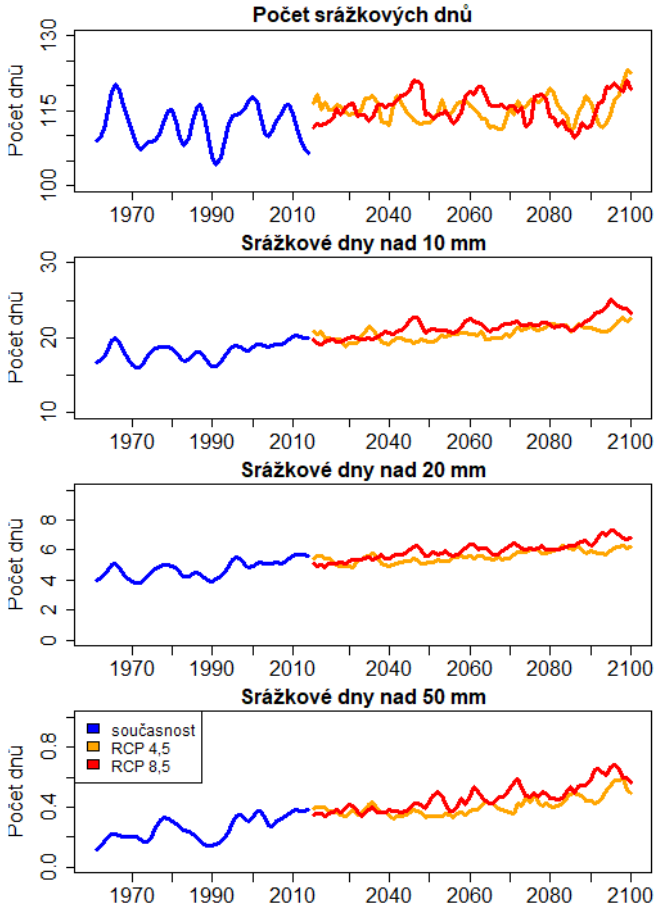
Obr. 2.5.24 Vývoj vybraných teplotních klimatologických indexů pro období 1961–2100, pro ČR podle ensemblového průměru 11 realizací RCM modelů (shlazeno 10letým nízkofrekvenčním filtrem)



Obr. 2.5.25 Počet mrazových dnů podle výhledu vybraných GCM modelů v letech 2021–2100 na základě RCP4.5 a RCP8.5 (Zdroj: www.klimatickazmena.cz)

2.5.6.3 Počet srážkových dní

Během posledního desetiletí pozorujeme v České republice změny charakteru srážek, avšak bez toho, aby došlo ke změně celkových úhrnů. Analyzovali jsme počet dní se srážkou nad 1, 10, 20 a 50 mm. Pro počet dnů se srážkami 1 mm a vyššími nebyly pozorovány žádné statisticky významné trendy (na hladině p = 0,05), ale pro 10 mm, 20 mm nebo 50 mm jsme zaznamenali pozitivní statisticky významný lineární trend do budoucnosti (obr. 2.5.26). Zvýšení těchto intenzivních srážek je predikováno především emisním scénářem RCP8.5. Například počet dní se srážkami nad 10 mm se v RCP8.5 zvýší o cca 0,6 dne/10 let v období 2021–2060 a o 0,5 dne/10 let v období 2061–2100.



Obr. 2.5.26 Vývoj vybraných srážkových klimatologických indexů pro období 1961–2100, pro ČR podle ensemblového průměru 11 realizací RCM modelů (shlazeno 10letým nízkofrekvenčním filtrem)

2.6 POROVNÁNÍ SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ S VÝSLEDKY PŘEDCHOZÍ STUDIE

Předběžné výsledky změn jednotlivých charakteristik popisujících projevy změny klimatu globálně (tab. 2.6.1), v Evropě (tab. 2.6.2) a v Česku (tab. 2.6.3) jsou porovnány s hodnotami uvedenými v předchozí verzi studie (MŽP, 2015). Při hodnocení je nutno věnovat pozornost obdobím a emisním scénářům, které byly při zpracování jednotlivých charakteristik použity.

Tab. 2.6.1 Globální trendy změny klimatu

	Studie 2015	**Znalosti 2019**
aktuální změna teploty	+0,8 °C nad úrovní před industrializací	+0,85 °C za období 1880–2012 +1,0 °C již překročen po roce 2017
aktuální změna srážek		nejasný signál
odhad teploty pro konec 21. století	+1,1 až +6,4 °C podle modelu	+1,0/1,8/3,7 °C pro 2081–2100 ve srovnání s 1986–2005 (RCP2.6/4.5/8.5)
odhad vývoje srážek v průběhu 21. století		pokles v oblastech s nedostatkem a růst v oblastech s dostatkem; růst ve vysokých šířkách obou polokoulí

Nejvýraznější změnou v globálních trendech je snížení pesimistického odhadu změny globální teploty pro RCP8.5 uvedené v 5. hodnotící zprávy IPCC (2014).

Tab. 2.6.2 Změna klimatu v Evropě

	Studie 2015	**Znalosti 2019**
aktuální změna teploty	+1,3 °C pro 2002–2011 ve srovnání s úrovní před industrializací	+0,3 °C/10 let od 1961 +0,33 °C/10 let od 1991
aktuální změna srážek	pokles na jihu, vzestup na severu	nejasný signál, více srážek severně od ČR
odhad teploty pro konec 21. století	+2,5 až 4,0 °C oproti 1961–1990	+1,5 až 4,5/+2,5 až 5,5 °C pro 2071–2100 ve srovnání s 1971–2000 (RCP4.5/8.5)
odhad vývoje srážek v průběhu 21. století	na severu růst počtu dní s vyššími srážkami, častější povodně, na jihu vyšší frekvence a intensita vysychání toků	vzestup na severu a pokles na jihu; oblast s mírným růstem srážek bude větší, než se předpokládalo; i v oblasti střední Evropy ale trend naznačuje rozšíření oblastí s negativní vodní bilancí a zvýšení četnosti a intenzity suchých epizod.

Aktuální změny průměrných i extrémních teplot v Evropě odpovídají trendům hodnoceným v roce 2015. Pro srážky jsou signály změn stále nejednoznačné, aktuální modely rozšířily oblasti v Evropě s mírným růstem srážkových úhrnů, zachovávají však tendenci k poklesu na jihu a k růstu na severu Evropy.

Tab. 2.6.3 Trendy změny klimatu v Česku

	Studie 2015	**Znalosti 2019**
aktuální změna teploty	+0,3 °C/10 let od 1961	+0,32 °C/10 let od 1961 zima a léto +0,4 °C/10 let od 1961 jaro +0,34 °C/10 let od 1961 podzim +0,15 °C/10 let od 1961
aktuální změna srážek	výrazná meziroční proměnlivost, nevýrazný růst ročních úhrnů až o 2 %/10 let od 1961	výrazná meziroční proměnlivost, nevýrazný růst ročních úhrnů o 1 %/10 let od 1961; Suché a vlhké roky/periody/měsíce se významně střídají
scénáře změn teploty do konce 21. století	+1,2 °C pro 1961–1990/2010–2039 +2,3 °C pro 1961–1990/2040–2069 +3,3 °C pro 1961–1990/2070–2099 nejvyšší nárůst teplot vzduchu v jarních a letních měsících, na podzim a zimě se nárůsty očekávají nižší	+0,9/1,0 °C (RCP4.5/8.5) pro 1981–2010/2021–2040 +1,3/1,8 °C pro 1981–2010/2041–2060 +1,8/2,8 °C pro 1981–2010/2061–2080 +2,0/4,1 °C pro 1981–2010/2081–2100 vyšší růst u maximální a minimální teploty hlavně v zimě a na jaře
odhad vývoje srážek v průběhu 21. století	+19 mm pro 2010–2039 +9 mm pro 2040–2069 –1 mm pro 2070–2099 (oproti 1961–1990) meziroční kolísání s mírným poklesem na konci období; výrazná regionální proměnlivost v desítkách %	+46/+46 mm (RCP4.5/8.5) pro 2021–2040 +49/+86 mm pro 2041–2060 +72/+96 mm pro 2061–2080 +89/+115 mm pro 2081–2100 (oproti 1981–2010) výrazná proměnlivost v regionech i mezi emisními scénáři
změny počtu charakteristických dní do konce 21. století	+13/+4/−17/−10 pro 2010–2039 (letní/tropické/mrazové/ledové) +29/+14/−30/−13 pro 2040–2069 +46/+23/−43/−22 pro 2070–2099 (oproti 1961–1990)	+3/−18 (+3/−18) pro 2021–2040 RCP4.5 (RCP8.5) (tropické/mrazové) +8/−18 (+20/−68) pro 2081–2100 RCP4.5 (RCP 8.5) (oproti 1981–2010)
změny vyšších úhrnů srážek	vyšší četnosti od 2001	Pro počet dnů se srážkami 1 mm a vyššími nebyly pozorovány žádné statisticky významné trendy (na hladině p = 0,05), ale pro 10 mm, 20 mm nebo 50 mm jsme zaznamenali pozitivní statisticky významný lineární trend do budoucnosti (RCP8.5).
bezsrážková období, výskyt sucha	předpoklad růstu počtu dní bez srážek	déletrvající a intenzivnější epizody sucha lze očekávat zejména v období od dubna do září

vlhkost vzduchu	−1 % 1961–1990/2010–2039 –3 % 1961–1990/2040–2069 –4 % 1961–1990/2070–2099	+0,4/+0,6 % (RCP4.5/8.5) pro 2021–2040 +0,4/+0,5 % pro 2041–2060 +0,5/+0,5 % pro 2061–2080 +0,5/0 % pro 2081–2100 zastavení poklesu vlhkosti vzduchu, jelikož se bude zvyšovat množství srážek, oproti tomu ale bude působit růst teplot vzduchu.

Rychlost pozorované změny teploty v ČR vyjádřené v trendech za 10 let se zvýšila. Scénářová data jsou porovnávána s novějším normálem 1981–2010, který je vyšší než původní normál 1961–1990 používaný v předchozí verzi Studie. Tomu odpovídají nižší odhady změny teploty. Pro srážky je signál změn stále nejednoznačný, aktuálně modely předpokládají mírný růst ročních úhrnů. Výrazné předpokládané změny v extrémních teplotách se promítají do odhadů počtu tropických a mrazových dní.

2.7 POROVNÁNÍ SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ S VÝSLEDKY PŘEDCHOZÍ STUDIE

Tab. 2.7.1 Hlavní projevy predikovaných scénářů změny klimatu – souhrn

IHP	Identifikované hlavní projevy	1. období (do r. 2039)	2. období (2040–2069)			Související příčiny, projevy, důsledky a jejich změny
			RCP2.6	RCP4.5	RCP8.5	
Projevy s velmi vysokou pravděpodobností výskytu						
IHP 1	Zvyšování průměrné teploty vzduchu	Růst průměrné roční teploty o 1 °C Růst počtu tropických dnů o 3 až 8	Růst průměrné roční teploty o 1,1 °C Růst průměrné zimní teploty o 1,2 °C Růst počtu tropických dnů o 6 až 10	Růst průměrné roční teploty o 1,3 °C Růst průměrné zimní teploty o 1,4 °C Růst počtu tropických dnů o 10 až 14	Růst průměrné roční teploty o 1,8 °C Růst průměrné zimní teploty o 2,1 °C Růst počtu tropických dnů o 16 až 22	Zvýšení výparu/evapotranspirace
						Prodlužování bezesrážkových období
						Četnější výskyt podmínek pro vznik přírodních požárů (včetně lesních)
						Změny landuse vyvolané klimatickou změnou – jiná bilance…
						Prodloužení vegetační sezony
						Častější přechody přes 0 °C v zimě
						Průběh zimy – méně sněhu (hlavně v nížinách)
						Nárůst počtu letních a tropických dnů
						Pokles počtu mrazových a ledových dnů
						Zvýšená proměnlivost průměrných denních teplot v zimě
						Snížená proměnlivost průměrných denních teplot v létě
IHP 2	Zvýšená pravděpodobnost výskytu dlouhodobého sucha	Růst průměrné roční teploty o 1 °C Růst počtu epizod Růst délky bezesrážkových období	Růst průměrné roční teploty o 1,1 °C Růst počtu epizod Růst délky bezesrážkových období	Růst průměrné roční teploty o 1,3 °C Růst počtu epizod Růst délky bezesrážkových období	Růst průměrné roční teploty o 1,8 °C Růst počtu epizod Růst délky bezesrážkových období	Prodlužování délky vln veder a jejich intenzity
						Zvýšení výparu/evapotranspirace
						Poklesy průměrné relativní vlhkosti v létě
						Prodlužování bezesrážkových období
						Četnější výskyt podmínek pro vznik přírodních požárů (včetně lesních)
						Změny landuse vyvolané klimatickou změnou – jiná bilance…
						Pokles srážek na jaře/létě/
						Zvýšená proměnlivost denních srážkových úhrnů v létě
IHP 3	Potenciální změny míry	Změny v rozložení srážek	Změny v rozložení srážek	Změny v rozložení srážek v průběhu	Změny v rozložení srážek v průběhu	Zvyšování četnosti dnů s vyššími srážkami (přívalové srážky) a celkový úhrn epizod

IHP	Identifikované hlavní projevy	1. období (do r. 2039)	2. období (2040–2069)			Související příčiny, projevy, důsledky a jejich změny
			RCP2.6	RCP4.5	RCP8.5	
	nebezpečí povodní a přívalových povodní	v průběhu roku (+5 až +9 %) Zvyšování extrémních srážkových intenzit (SRA>20 +0,5 dne)	v průběhu roku (–5 až + 10 %) Zvyšování extrémních srážkových intenzit	roku (0 až +12 %) Zvyšování extrémních srážkových intenzit (SRA>20 +1 den)	roku (+5 až +20 %) Zvyšování extrémních srážkových intenzit (SRA>20 +1,5 dne)	Prodlužování délky vln veder
						Zvýšení výparu
						Prodlužování bezesrážkových období
						Změny landuse vyvolané klimatickou změnou – jiná bilance…
						Změny vegetační sezóny (Prodloužení vegetační sezony, změny načasování růstových fází)
						Nárůst srážek v zimě
						Zvýšená proměnlivost denních srážkových úhrnů v létě
IHP 4	Změna výskytu extrémních jevů – Vysoké teploty	Růst počtu tropických dnů o 3 až 8 Růst počtu a délky horkých vln	Růst počtu tropických dnů o 6 až 10 Růst počtu a délky horkých vln	Růst počtu tropických dnů o 10 až 14 Růst počtu a délky horkých vln	Růst počtu tropických dnů o 16 až 22 Růst počtu a délky horkých vln	Zvýšení výparu
						Četnější výskyt podmínek pro vznik přírodních požárů (včetně lesních)
						Změny landuse vyvolané klimatickou změnou – jiná bilance…
						Prohloubení efektu tepelného ostrova města
IHP 5	Změna výskytu extrémních jevů – Vydatné srážky	Změny v rozložení srážek v průběhu roku Zvyšování extrémních srážkových intenzit	Změny v rozložení srážek v průběhu roku Zvyšování extrémních srážkových intenzit	Změny v rozložení srážek v průběhu roku Zvyšování extrémních srážkových intenzit	Změny v rozložení srážek v průběhu roku Zvyšování extrémních srážkových intenzit	Zvyšování četnosti dnů s vyššími srážkami (přívalové srážky) a celkový úhrn epizod
						Četnější výskyt extrémních konvekčních meteorologických jevů (bouře)
						Změny landuse vyvolané klimatickou změnou – jiná bilance…
						Nárůst srážek v zimě
						Pokles srážek na jaře/létě
						Zvýšená proměnlivost denních srážkových úhrnů v létě
						Snížená proměnlivost denních srážkových úhrnů na jaře
						Změny vegetační sezóny…Prodloužení vegetační sezony
IHP 6	Změna výskytu dalších extrémních jevů – vítr, bouře, letní smog, …					Četnější výskyt extrémních konvekčních meteorologických jevů (bouře, větrné smršťě)
						Znečištění atmosféry v důsledku dlouhodobého sucha a/nebo rizika přírodních požárů
						Dlouhodobá inverzní situace (letní smog ve městech)

3. ODBORNÉ AKTIVITY V ČR SE ZAMĚŘENÍM NA PŘEDMĚT STUDIE, MEZINÁRODNÍ SOUVISLOSTI (BEST PRACTICES)

Základním zdrojem informací o změnách klimatu jsou výstupy Mezivládního panelu pro změnu klimatu (IPCC), založený v roce 1988 Světovou meteorologickou organizací (SMO/WMO) a Programem OSN pro životní prostředí (UNEP). Posláním IPCC je poskytování komplexního vědeckého posouzení současných vědeckých, technických a sociálně-ekonomických informací o klimatických změnách způsobených lidskou činností, o jejich potenciálních environmentálních a sociálně-ekonomických důsledcích, o možnostech přizpůsobení se těmto důsledkům a v neposlední řadě o možnostech zmírnění jejich účinků. Českou republiku zastupuje v IPCC expert ČHMÚ jmenovaný Ministrem ŽP. Své výstupy předkládá IPCC v pravidelných hodnotících zprávách, kterých již bylo publikováno pět:

– první hodnotící zpráva (FAR) byla zveřejněna v roce 1990,
– druhá hodnotící zpráva (SAR) byla zveřejněna v roce 1995,
– třetí hodnotící zpráva (TAR) byla zveřejněna v roce 2001,
– čtvrtá hodnotící zpráva (AR4) byla zveřejněna v roce 2007 a
– pátá hodnotící zpráva (AR5) byla zveřejněna v letech 2013 a 2014.

V období mezi hlavními hodnotícími zprávami vydává IPCC nepravidelně i další reporty. Všechny zprávy jsou dnes dostupné online zde: www.ipcc.ch/reports/. Mezi pátou a šestou hodnotící zprávou, která bude publikována v letech 2021 a 2022, vydá IPCC čtyři dílčí zprávy:

– Global Warming of 1,5 °C byla vydána v roce 2018 (IPCC, 2018)
– 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories byla vydána v roce 2019 (IPCC, 2019)
– Climate Change and Land bude vydána v srpnu 2019 a
– The Ocean and Cryosphere in a Changing Climate bude vydána v září 2019.

Světová meteorologická organizace je mezivládní organizace zodpovědná za metodiky pozorování, měření a vyhodnocování meteorologických a klimatologických dat a měření. V oblasti změn klimatu vydává pravidelně několik důležitých zpráv, např. WMO Statement on the State of the Global Climate, která je každoročně k dispozici zde: public.wmo.int/en/our-mandate/climate/wmo-statement-state-of-global-climate (s historií již od roku 2007). V oblasti klimatu koordinuje WMO několik mezinárodních programů, například Global Climate Observing System (GCOS), World Climate Programme (WCP) nebo World Climate Research Programme (WCRP), jejichž metodickým řízením je pověřena Komise pro klimatologii (Commission for Climatology, CCl).
Na úrovni EU je v aktivitách na poli změn klimatu nejvýznamnějším partnerem Copernicus (www.copernicus.eu/en) se svým programem Copernicus Climate Change Service (C3S). Úkolem C3S je informační podpora adaptační a mitigační politiky Evropské unie. Širší odborný záběr má Evropská agentura pro životní prostředí (European Environment Agency, EEA), která se rovněž zabývá mitigací změny klimatu a adaptačními možnostmi na tento probíhající fenomén.

3.1 PŘEHLED ODBORNÝCH AKTIVIT V ČR

3.1.1 Analýza publikovaných výstupů

Národní výzkum dopadů změny klimatu vždy směřoval k popisu stávajících a očekávaných dopadů s cílem navrhnout adaptační opatření. Především v 90. letech bylo vedoucí organizací sdružení šestnácti právnických osob s názvem Národní klimatický program (NKP), které v desítkách publikací rozpracovalo problematiku změny klimatu jak z pohledu zemědělství, tak i z pohledu vodní bilance v krajině. Jen v období 1991–2002 vzniklo přes třicet prací na úrovni monografií včetně těch, které byly věnovány výhradně hydrologickým tématům. I když NKP mělo své zasedání ještě v roce 2016, lze jeho činnost považovat vzhledem k úbytku výstupů již v této době za ukončenou. Jednou z příčin snižující se intenzity práce NKP byl vznik a stabilizace grantových agentur na českém „vědeckém“ trhu a začátek soutěžení jednotlivých subjektů (právnických osob) ve výrazně menších týmech. Tento fakt vedl k částečnému rozpadu kompaktní a navzájem propojené výzkumné linie a k individuálnímu přístupu.

V této části jsou přehledově popsány projekty zabývající se změnou klimatu a jejími dopady, které byly v poslední dekádě řešeny. Jedná se o výběr[1] projektů úspěšně obhájených, národních nebo i mezinárodních s českou účastí.

Základem výzkumu dopadů klimatu nové éry bylo poznání podnebí v minulosti, kdy bylo dosaženo prodloužení a homogenizace datových řad teploty vzduchu až do roku 1771 a srážek do roku 1803 (*GAP209/10/0605*[2] *– Kolísání klimatu České republiky v období přístrojových pozorování na základě homogenních sekulárních řad*). Samotná očekávaná změna klimatu je popisována a predikována prostřednictvím tzv. scénářů změny klimatu, vymezující časové a prostorové stavy klimatu, které mohou za specifikovaných podmínek (např. změně koncentrace radiačně aktivních plynů) nastat. Do roku 2007 se využívalo tzv. globálních cirkulačních modelů (CGM), kdy denní a měsíční řady byly odvozeny stochastickým generátorem (*IAA300420806 – Pravděpodobnostní scénáře klimatu pro Českou republiku*), statistickým downscalingem (*LD12059 – Vývoj, validace a implementace metod statistického downscalingu*) nebo propojením obou metod (*LD12029 – Downscaling globálních klimatických modelů pomocí stochastického meteorologického generátoru*). V současné době se spíše používají regionální klimatické modely (RCM), jejichž prostorové rozlišení se pohybuje mezi 10 a 25 km (*GAP209/11/2405 – Vývoj regionálního klimatického modelu pro velmi vysoké rozlišení* nebo *LD14043 – Validace a korekce výstupů regionálních klimatických modelů na území České republiky pro potřeby impaktových studií*). Tyto modely (jako je např. ALADIN-Climate/CZ nebo SoilClim) byly využity i pro rekonstrukci minulého klimatu střední Evropy pro období 1701–2010 (*GAP209/11/0956 – Globální a regionální modelové simulace klimatu ve střední Evropě v 18.–20. století v porovnání s pozorovaným a rekonstruovaným klimatem*).

Vědci z ČR se podíleli nebo podílejí i na evropských projektech, zabývajících se regionálními scénáři změny klimatu pro větší územní celky, jako byl např. ENSEMBLE – www.ensembles-eu.org/). Dalším příkladem je zapojení českých vědců do programu CORDEX *(LTT17007 – Dynamické a statistické modelování klimatu pro aktivity programu CORDEX)*. Součástí výzkumu v oblasti klimatu nejsou však jen středně- či dlouhodobé (2020, 2050, 2075, 2100) horizonty, ale orientuje se i na současnost, a to na riziko extrémů (*ME09033 – Velmi krátkodobá srážková a hydrologická předpověď zaměřená na prognózu přívalových povodní* nebo výzkumný program *Přírodní hrozby* v rámci Strategie AV21).

Praktickým cílem výzkumu změny klimatu je určit její dopad na krajinu, jednotlivé ekosystémy, jejich služby a na sociální vazby a ekonomiku dílčích sektorů i celého státu. V posledních desíti letech bylo řešeno několik komplexních „dopadových projektů" nahlížející na krajinu jako celek (*VaV – SP/1a6/108/07 Zpřesnění dosavadních odhadů dopadů klimatické změny v sektorech vodního hospodářství, zemědělství a lesnictví a návrhy adaptačních opatření,* resp. projekt typu výzkumného záměru *MSM 6215648905 Biologické a technologické aspekty udržitelnosti řízených ekosystémů a jejich adaptace na změnu klimatu*). Tyto komplexní studie využívají širokého týmu odborníků a kromě obecných závěrů nabízí řadu konkrétně cílených a regionálně zaměřených případové studie. Řada z nich je podrobně popsána v publikaci Žalud (2009). Výstupem výzkumného záměru je klimatická redefinice výrobních oblastí (zčásti prezentovaná v části zemědělství), kde je konstatována změna zastoupení jednotlivých oblastí.

Klíčovým a zásadním výrobním prostředkem spojující aktivity nejen zemědělců, ale i lesníků, hydrologů, krajinářů apod. je půda. Výzkum dopadů změny klimatu na její kvalitu a možnosti udržitelného hospodaření na ní je dlouholetou a podporovanou prioritou. Prakticky kontinuálně probíhá sledování našich půd (např. *QH92030 – Hodnocení půd z hlediska jejich produkčních a mimoprodukčních funkcí s dopady na plošnou a kvalitativní ochranu půd České republiky*) a posuzování jejich změn (*QH92023 – Vývoj a rozsah degradačních procesů půd České republiky*).

Nápravou negativních dopadů na půdu se zabývají například projekty *QJ1230066* (*Degradace půdy a její vliv na komplex půdních vlastností včetně návrhu nápravných opatření k obnově agroekologických funkcí půdy*), *QJ1520026 (Optimalizace využívání zemědělské půdy z pohledu podpory infiltrace a retence vody s dopady na predikci sucha a povodní v podmínkách České republiky) nebo QK1910282 (Možnosti zmírnění dopadů extrémních srážko-odtokových jevů v malých povodích s ohledem na požadavky trvale udržitelného zemědělského hospodaření a produkce ryb)*. Zjištěné degradační procesy nejsou jen důsledkem nesprávného hospodaření na půdě, špatně zvolenými technologiemi, nedodržováním zásad správného hospodaření, ale jsou často spojovány právě se změnou klimatu. Dopady změny klimatu na půdu se zabývají například projekty *QJ1230056* (*Vliv očekávaných*

[1] Přehled projektů řešených v ČR poskytuje Informační systém výzkumu, experimentálního vývoje a inovací (www.rvvi.cz).
[2] Kódy jednotlivých projektů přiděluje poskytovatel.

klimatických změn na půdy České republiky a hodnocení jejich produkční funkce) a *QK1720285 (Metody korekce vláhových potřeb plodin zohledňující scénáře změn klimatu území ČR pro optimalizaci managementu závlah)*.

Detailněji zaměřený výzkum v oblasti půdy související s vodní bilancí směřuje především do dvou oblastí, a to zvyšující se aridity (*2B08020 – Modelový projekt zamezení biologické degradace půd v podmínkách aridního klimatu*, nebo *QI91C054 – Atlas půdního klimatu České republiky – Vymezení termických a hydrických režimů a jejich vliv na produkční schopnost půd*) a nebezpečí zvýšené eroze půdy.

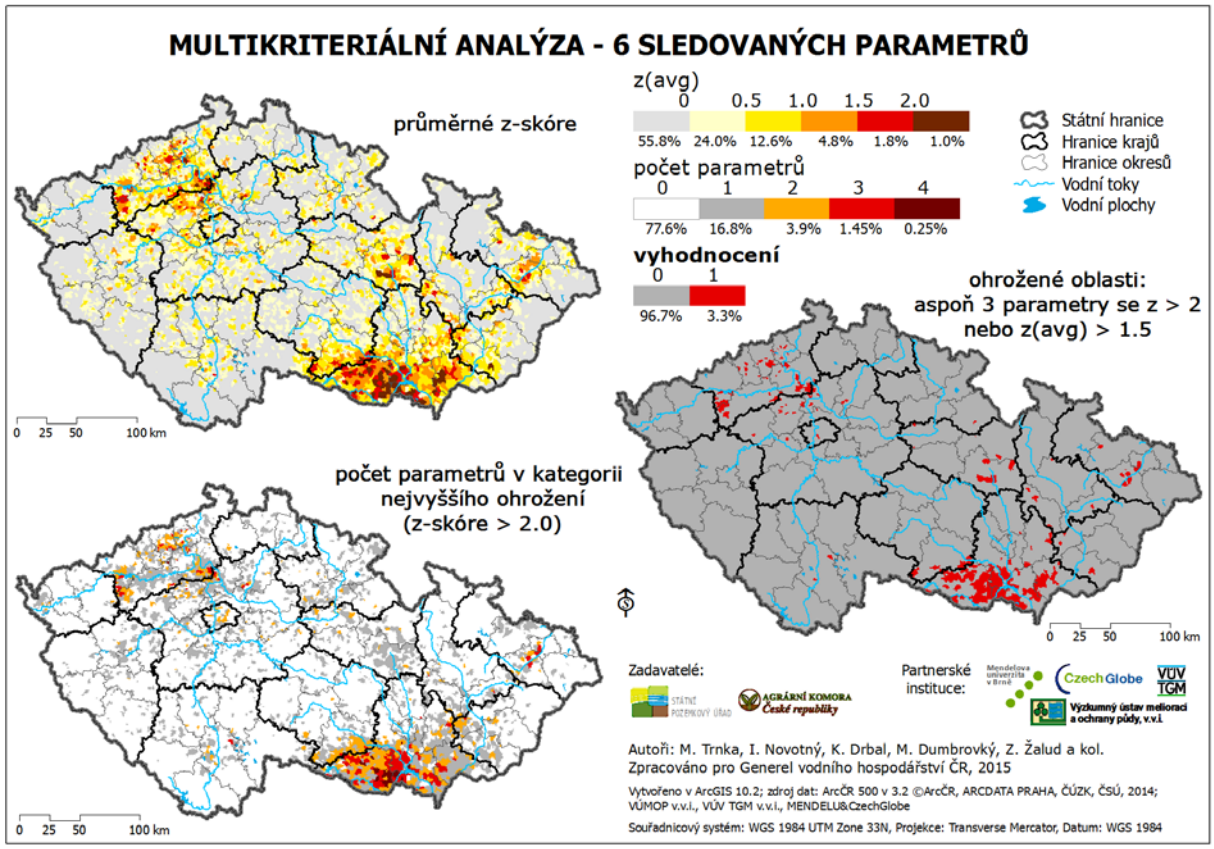
Problematikou půdní eroze se zabývá celá řada projektů: *QI91C008 (Optimalizace postupu navrhování technických protierozních opatření*), *QH92298* (*Systém přírodě blízkých protierozních a protipovodňových opatření a jeho optimalizace v procesu pozemkových úprav)*, *QJ1320157 (Erozní procesy a jejich vliv na produkční schopnost půd a navrhování protierozních opatření v procesu pozemkových úprav)* nebo *QK1910224 (Možnosti řešení protierozní ochrany v zemědělských podnicích při vyloučení používání glyfosátu)*. Některé z projektů se zaměřily na širší řešení pomocí pozemkových úprav. Jedná se například o projekty *QI91C200 (Hodnocení účinnosti realizace komplexních pozemkových úprav), TD020241 (Příprava a zavedení metodických postupů pro řešení rozvoje venkovské krajiny opatřeními pozemkových úprav v kontextu realizace společných politik EU*) nebo projekt *QJ1530181 (Stanovení aktuálních hodnot ochranného účinku vegetace za účelem kvantifikace a zefektivnění protierozní ochrany zemědělské půdy v České republice)*. V poslední době se některé projekty zabývaly i řešením eroze půdoochrannými technologiemi. Jednalo se například o projekt *QJ1610418 (Komplexní půdoochranné technologie pro pěstování chmelu otáčivého)*, který se zaměřoval na technologie pěstování chmelu. Obdobou tohoto projektu je *QJ1510179 (Komplexní půdoochranné technologie zakládání Zea mays L. v rámci reintenzifikace rostlinné výroby)* zaměřený na technologie pěstování kukuřice. I pro monitoring eroze zemědělské půdy lze využít metody dálkového průzkumu, jak dokazuje projekt *QJ1330118 (Monitoring erozního poškození půd a projevů eroze pomocí metod DPZ)* nebo projekt *QK1720289 (Vývoj automatizovaného nástroje pro optimalizaci monitoringu eroze zemědělské půdy pomocí distančních metod)*, jehož výstupem jsou mapy Klasifikace území ČR z hlediska potenciálního vzniku erozních událostí. V návaznosti na tyto projekty vznikla aplikace Protierozní kalkulačka (dostupná na kalkulacka.vumop.cz), díky které jsou zemědělci schopni vidět, jaká část jejich pozemků je nejohroženější.

Na klimaticky orientovaný výzkum posuzující kvalitu a vlastnosti půdy přímo navazují badatelské aktivity v oblasti řízených ekosystémů, a to především agrosystémů. Jedním ze zásadních projektů a výzkumných aktivit v oblasti zemědělství a lesnictví v ČR byl projekt *QI112A174 (Lesnické a zemědělské aspekty řízení vodní komponenty v krajině*), který formuloval kvantitativně i kvalitativně zákonitosti vodní bilance pro lesnické a zemědělské aspekty řízení vodní komponenty v krajině. Kvalitou a vlastnostmi zemědělské půdy v souvislosti se zalesňováním se zabývají projekty *QJ1320122* (*Optimalizace managementu zalesňování zemědělské půdy ve vztahu ke zvýšení retenčního potenciálu krajiny*) a *QK1910232 (Optimalizace dotačního titulu na zalesňování zemědělské půdy)*. Dopadem změny klimatu na lesnické hospodaření se zabývají i projekty *GA14-12262S* (*Dopady měnících se růstových podmínek na přírůst dřevin, produkci porostů a vitalitu – nebezpečí či příležitost pro středoevropské lesnictví?*) a *EF16_019/0000803* (*Excelentní Výzkum jako podpora Adaptace lesnictví a dřevařství na globální změnu a 4. průmyslovou revoluci*).

Základem výzkumu dopadů na podmínky pěstování a výnos konkrétních plodin byly projekty (*GP521/03/D059 – Využití možnosti prostorové analýzy pro odhad rizik a návrh adaptačních opatření pro produkci jarního ječmene ve změněných klimatických podmínkách* resp. *GA521/02/0827 – Prostorová analýza výnosového potenciálu pšenice ozimé pro současné a změněné klima v České republice*), které byly použity jako podklad pro historické analýzy vztahu klimatu a výnosů (*GA521/08/1682 – Vliv klimatické variability a meteorologických extrémů na produkci vybraných plodin v letech 1801–2007*). Na výzkum dopadů na výnos konkrétních polních plodin byl zaměřen i projekt *QJ1610072* (*Systém pro monitoring a předpověď dopadů zemědělského sucha*). Mezi výstupy tohoto projektu patří metodika Regionální předpověď výnosů pro lepší rozhodování v rostlinné výrobě nebo mapy Dopady sucha na výnos kukuřice na siláž v roce 2017 a Dopady sucha na trvalé travní porosty, vojtěšku a jeteloviny v roce 2018. Problematikou výnosů polních plodin se zabývá i projekt *QK1810233* (*Kvantifikace dopadu hospodaření na erozi, kvalitu půd a výnosy pěstovaných plodin s návrhem pěstebních technologií šetrných k životnímu prostředí*).

Propojení závěrů všech uvedených a úspěšně obhájených projektů nabízí významný potenciál, který se pokouší maximálně využít v současné době dokončovaná studie „*Generelu vodního hospodářství krajiny ČR*“ (dále jen Generel VHK) kolektivu autorů z řady institucí zabývajícími se zkoumáním dopadů

změny klimatu na zemědělství (Trnka, 2014b). Generel VHK vznikl na základě iniciativy Agrární komory ČR a byl podpořen a zaštítěn Státním pozemkovým úřadem. Podle zkušeností ze zahraničí je nutné maximálně agregovat získané poznatky stavu vývoje krajiny do prostorových vrstev, jejich vzájemným překrytím vytipovat zvláště ohrožená území a na nich provést praktická opatření vedoucí k zefektivnění využití vody v krajině, k zmírnění dopadů hydrometeorologických extrémů a zabezpečení udržitelnosti ekosystémových služeb – výsledky jsou znázorněny na obr. 2.19). Současně si tento projekt klade za cíl podpořit diseminaci výsledků mezi zainteresované subjekty s cílem stanovit strategii konkrétních kroků od podpory závlah, pokračování protipovodňových opatření, redefinice LFA či dotačních titulů. Významným faktorem je zaměření se na vzdělávání hospodářů krajiny, stejně jako aplikace poznatků do pedagogického procesu na středních a vysokých školách, neboť Generel VHK počítá s vybudováním sítě demonstračních území. Jedním ze závěrů první Etapy Generelu VHK je vytyčení nejvíce ohrožených katastrů a to kombinací výskytu sucha a současně existencí rizikových faktorů v případě výskytu intenzivních srážek. Z pohledu změny klimatu jde tak o území, u nichž je třeba věnovat zvláštní pozornost intenzivní přípravě adaptačních opatření.



Obr. 3.1.1 Výsledky varianty multikriteriální analýzy založené na 6 vstupních parametrech (Zdroj: Trnka 2015)

Mapy na obr. 3.1.1 ukazují stupeň ohrožení katastrálních území v ČR na základě hodnot průměrného z-skóre (vlevo nahoře), dosažení stupně extrémního ohrožení (vlevo dole). Vpravo je pak mapa extrémně ohrožených katastrů. Do analýzy vstupují následující faktory: stupeň ohrožení výskytem zemědělského sucha v první polovině vegetační sezóny (tj. duben–červen) a ve druhé polovině vegetační sezóny (tj. červenec–srpen) v období 1991–2014; podíl vysýchavých půd v území; procento území, náležející do přispívajících ploch kritických bodů; procento území, náležející do přispívajících ploch drah soustředěného odtoku a procento území výrazně ohrožené erozním smyvem. Vstupní parametry byly zpracovány v rozlišení 500 x 500 m a vyšší a následně agregovány pro katastrální území.

Na základě publikovaných prací lze konstatovat, že průměrná roční **teplota vzduchu** vykazuje dlouhodobě vzestupný trend, který se v posledních několika desetiletích zvyšuje (Brázdil, 2015a, 2015b). Průměrné roční územní teploty vzduchu podléhaly v posledním padesátiletí výrazným meziročním změnám, nicméně vykazují trend postupného nárůstu, kdy výrazněji roste teplota v letních měsících, naopak na podzim je oteplování méně patrné. Podle všech tří modelů prezentovaných v práci

Brázdila (2015) je předpoklad, že teplota vzduchu poroste i v budoucnosti. V blízké budoucnosti 2021–2050 je předpoklad, že teplota vzduchu poroste na území ČR v rozmezí 1,2 až 1,5 °C a na konci století o 3,2 resp. 3,3 °C (tab. 3.1.1).

Tab. 3.1.1 Změna průměrné teploty vzduchu (°C) predikovaná pro období 2021–2050 a 2071–2100

Nadmořská výška (m)	2021–2050			2071–2100		
	Cecilia	RegCM	VaV	Cecilia	RegCM	VaV
<200	1,5	1,0	1,3	3,0	3,1	3,2
201–400	1,4	1,0	1,3	3,2	3,1	3,2
401–600	1,5	1,2	1,3	3,4	3,3	3,2
601–800	1,9	1,5	1,3	3,7	3,6	3,2
>800	2,3	2,0	1,3	4,0	4,1	3,2
CR	**1,5**	**1,2**	**1,3**	**3,3**	**3,3**	3,2

Změna průměrné teploty vzduchu je vyjádřená jako odchylka od hodnot v období 1961–2000, na základě tří regionálních klimatických modelů ALADIN-Climate/CZ v 10 km rozlišení (Cecilia), RegCM a ALADIN-Climate/CZ v 25 km rozlišení (VaV) pro jednotlivé nadmořské výšky

Srážky na území České republiky jsou jak prostorově, tak i časově variabilní, což je způsobeno zejména atmosférickou cirkulací, kdy množství srážek je závislé na daném typu synoptické situace[3]. Prostorová proměnlivost je navíc zvýrazněna orografickými vlivy našeho území, mezi které patří růst množství srážek s rostoucí nadmořskou výškou a také vlivem expozice, kdy návětrné svahy mají vyšší úhrny než závětrné (Tolasz, 2007). Dlouhodobé změny srážek nejsou zaznamenány, meziroční variabilita je zde silnější než trend. Statisticky významný trend zde nebyl zaznamenán (Brázdil, 2012).

Pro období 2021–2050 predikují modely v průměru pro celou Českou republiku mírný růst srážkových úhrnů, ale změny jsou prostorově rozdílné (Brázdil, Trnka, et al., 2015). Většina území má změnu srážkových úhrnů pouze do 5 %, viz obr. 2.20. Model ALADIN-Climate/CZ (Cecilia, VaV) předpokládá, že růst srážek bude větší v oblasti Moravy než Čech. Lehce odlišné výsledky jsou podle modelu RegCM, který má nárůst množství srážek nejvyšší, ale prostorově jej předpokládá hlavně v Čechách. Model ALADIN-Climate/CZ (Cecilia, VaV) predikuje pokles srážkových úhrnů v zimě a to až o 15 %, naopak nárůst až o 20 % je předpokládán na podzim a o 10 % v létě. Mírný nárůst se počítá u jarních srážek (Štěpánek, 2012). Model RegCM se shoduje ve vyšším nárůstu srážek na podzim, ale nemodeluje pokles zimních srážek.

Pro celé zkoumané období 1961–2100 není pro většinu měsíců a sezón predikovaný statisticky významný trend změny úhrnu srážek. V ročních srážkových úhrnech byl zjištěn pro průměrnou řadu České republiky statisticky významný pokles srážek o 1,7 mm/10 let (Štěpánek, 2012).

Evapotranspirace spolu se srážkami a odtokem tvoří klíčovou část vodní bilance území a společně s odtokem tvoří jeho ztrátovou složku. Skutečný (aktuální) výpar představuje množství vody, která se skutečně vypaří z vypařujícího povrchu. V této souvislosti byl Model ALADIN-Climate/CZ (v rámci projektu FP6 CECILIA) schopen tyto podmínky simulovat. Výsledky modelu lze použít pro interpretaci možné změny povrchového a podpovrchového odtoku, a tím i výskytu hydrologického sucha. V tomto případě použitý model nebyl korigován, jelikož není k dispozici referenční databáze skutečných hodnot aktuální evapotranspirace pro vybranou oblast. V knize Sucho v Českých zemích: minulost, přítomnost, budoucnost (Brázdil, Trnka et al., 2015) studie simulovaná modelem ALADIN poukazuje na to, že aktuální evapotranspirace je nižší v horských podmínkách, což je nejvíce patrné pro oblast Alp a Karpatský oblouk. Obecně platí, že nejvyšší aktuální evapotranspirace se vyskytuje ve středních nadmořských výškách, o něco nižší v teplých oblastech většinou s nižší nadmořskou výškou a poté velmi nízká v horských oblastech. Na území České republiky je větší aktuální evapotranspirace simulována do oblasti Čech. V rámci střední Evropy je aktuální evapotranspirace nižší v jihozápadním Slovensku a Maďarsku, což je dáno právě teplejším klimatem a spíše průměrným až podprůměrným množstvím srážek.

Kniha Sucho v Českých zemích: minulost, současnost, budoucnost (Brázdil, R., Trnka, M. et al. 2015) vznikla v rámci projektu „Vytvoření interdisciplinárního vědeckého týmu se zaměřením na výzkum sucha“ (dále jen Intersucho), který navázal na dlouholetý výzkum v oblasti monitoringu sucha v ČR, Evropě a USA. Tato kniha vznikla díky spolupráci několika vědeckých týmů a přináší komplexní pohled na problematiku sucha. Publikace mapuje výskyt sucha v minulosti pomocí dokumentárních pramenů,

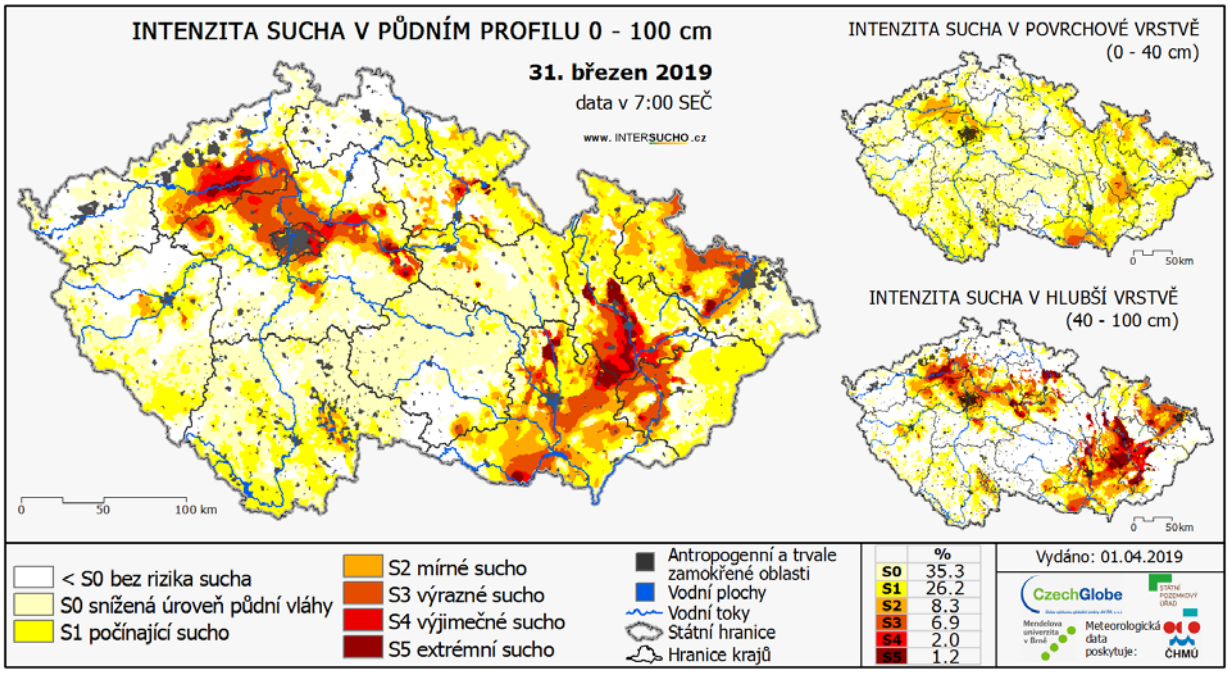
[3] Rozložení vzduchových hmot, atmosférických front, cyklon, anticyklon a jiných synoptických objektů, které určují ráz počasí nad určitou velkou geografickou oblastí.

letokruhů stromů či s využitím řady indexů sucha. V knize naleznete kvalitně zpracované nedávné období (od roku 1961) do současnosti se zaměřením na výskyt a trend suchých epizod. V knize jsou také studovány synoptické příčiny sucha, vliv vybraných klimatotvorných faktorů na sucho či popis dopadů sucha na různé sektory (zemědělství, lesnictví či vodní hospodářství). Knihu lze volně stáhnou ve formátu PDF na odkazu: www.intersucho.cz/cz/o-suchu/kniha-sucho-v-ceskych-zemich/.

Významným výstupem projektu Intersucho je webový portál www.intersucho.cz, který vznikl díky spolupráci Ústavu výzkumu globální změny Akademie Věd České republiky (CzechGlobe) a Mendelovy univerzity v Brně za podpory Státního pozemkového úřadu. Portál intersucho.cz představuje detailní nástroj monitoringu sucha pro území ČR, Slovenska a Střední Evropy. Aktuální stav sucha je zde monitorován v podobě odchylky sucha od obvyklého stavu v období 1961–2010 do hloubky 1 m. Tato vrstva je navíc ještě rozdělena do vrstvy povrchové (0–0,4 m) a podpovrchové (0,4–1 m). Rozlišení většiny mapových podkladů dostupných na tomto portálu je 500 x 500 m. Jednotlivé mapové vrstvy jsou každý týden aktualizovány.

Kromě intenzity sucha je na těchto internetových stránkách možné sledovat i jiné vrstvy, které jsou rovněž založeny na výstupech modelu SoilClim (Hlavinka et al., 2011) např. mapy deficitu půdní vláhy či nasycení půdy. Dále jsou součástí tohoto webového portálu i vrstvy používající družicová data, např. vrstva dopadů na vegetaci nebo Indexu půdní vláhy (SWI).

Nedílnou součástí tohoto portálu je i síť externích hodnotitelů, kteří v rámci projektu Intersucho monitorují průběh a dopady sucha na území celé ČR. Více než stovka aktivních zpravodajů v týdenním kroku přináší informace o tom, jak hodnotí výskyt sucha a jeho dopady na plodiny. Tyto informace jsou posléze zobrazeny jako mapa odhadovaných dopadů sucha na výnos hlavních plodin.



Obr. 3.1.2 Mapa intenzity sucha (Zdroj: www.intersucho.cz 2019)

Mapa intenzity sucha (obr. 3.1.2) ze dne 31. 3. 2019 prezentovaná jako odchylka aktuálního stavu od obvyklého stavu v období 1961–2010. Velká mapa (vlevo) zobrazuje zemědělské sucho pro půdní profil 0–1 m, malá mapa (nahoře vpravo) zobrazuje sucho v povrchové vrstvě (0–0,4 m) a malá mapa (vpravo dole) v hlubší vrstvě (0,4–1 m).

Dalším významným projektem zabývajícím se problematikou sucha je DriDanube. Jedná se o mezinárodní projekt, do něhož jsou zapojeni partneři ze zemí ležících v povodí Dunaje a jeho blízkém okolí – České republiky, Slovenska, Maďarska, Rakouska, Rumunska, Slovinska, Chorvatska, Srpska, Černé Hory nebo Bosny a Hercegoviny. Cílem projektu je zlepšit schopnost zemí v oblasti povodí Dunaje rychleji reagovat a lépe zvládat rizika spojená s výskytem sucha na národní i regionální úrovni. Jedním z hlavních produktů projektu je mapový portál Drought Watch (www.droughtwatch.eu), který umožňuje přesnější a efektivnější monitoring sucha a systém včasného varování. Součástí tohoto

portálu jsou různé výstupy založené na produktech dálkového průzkumu, např. anomálie Normalizovaného diferenčního vegetačního indexu (NDVI), Indexu půdní vláhy (SWI) nebo relativní kondice vegetace (založený na družicových datech senzoru MODIS na družici Terra). Dále je zde i mapová vrstva s dopady sucha na zemědělství či předpovědí výnosů polních plodin. Pro předpověď výnosů byl použit i index ESI (z angličtiny Evaporative Stress Index) reprezentující anomálie v poměru aktuální a referenční evapotranspirace vůči dlouhodobému průměru, který lze použít i jako nástroj včasného varování při nástupu sucha. V budoucnu by mapa indexu ESI pro oblast střední Evropy měla být součástí portálu www.intersucho.cz.

V rámci projektu *QJ1520026 „Optimalizace využívání zemědělské půdy z pohledu podpory infiltrace a retence vody s dopady na predikci sucha a povodní v podmínkách České republiky“* vznikly mapy hydrologických funkcí půd pro celou ČR. Konkrétně se jedná o tyto mapy:

- mapa retenční vodní kapacity (množství vody, které je půda schopná dlouhodobě zadržet),
- mapa využitelné vodní kapacity (objem vody dostupné pro rostliny),
- mapa hydrologických skupin půd (schopnost půdy propouštět vodu).

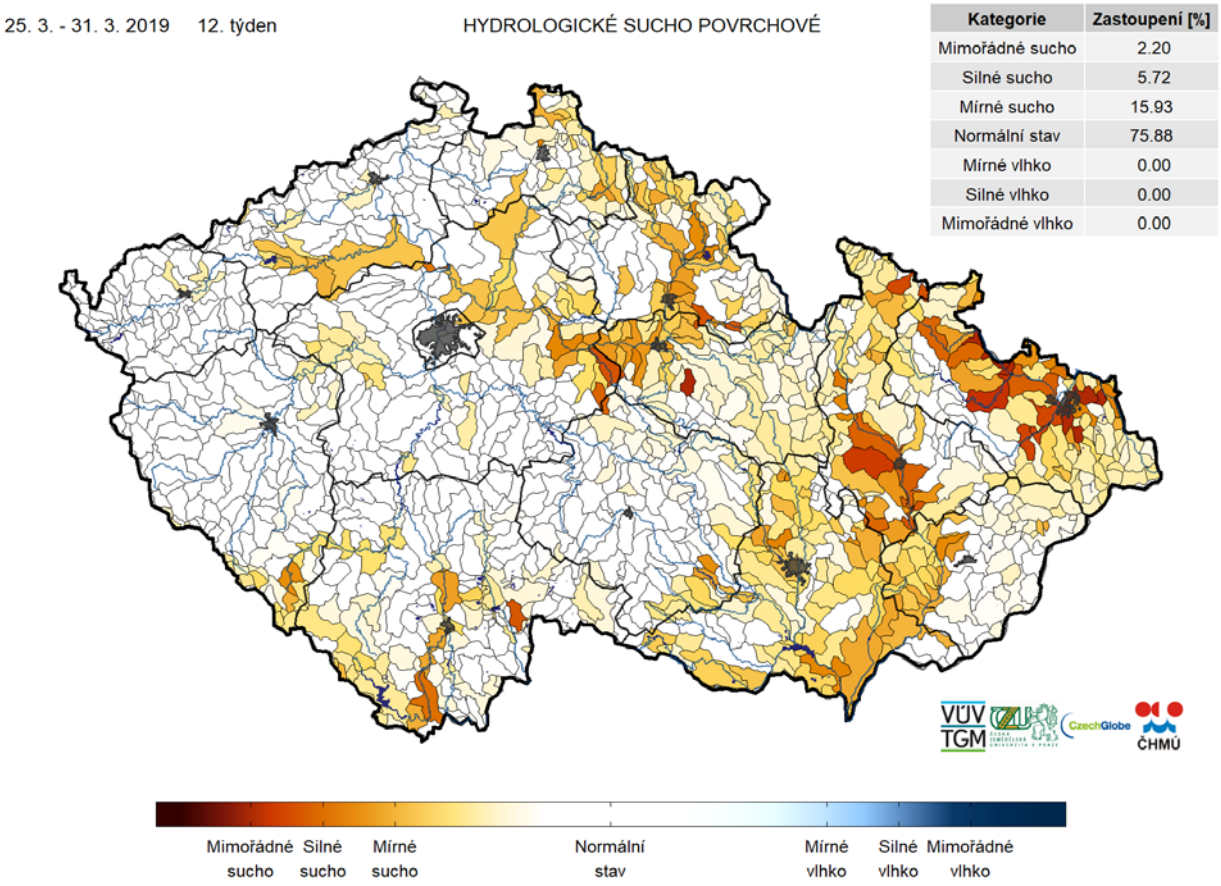
Tyto mapy nahrazují předchozí verzi map z roku 2007, které již neodrážely současný stav krajiny v ČR. Pro konkrétní využití jsou mapy dostupné v náhledové formě na geoportálu Výzkumného ústavu meliorací a ochrany půdy (VÚMOP) – geoportal.vumop.cz/. Na geoportálu lze najít i aplikaci Kalkulačka vláhové potřeby, která je schopná určit vláhové poměry a závlahové množství zemědělských plodin na konkrétní lokalitě. Kalkulačka byla vyvinuta pro Ministerstvo zemědělství a jako podklad jí sloužila metodika určující vláhovou potřebu rostlin FAO 56 (Allen et al. 1998). Kalkulačka určuje vláhovou potřebu na základě různých parametrů včetně osevního postupu, typu plodiny, typu závlahy atd.

V prosinci 2018 Ministerstvo životního prostředí spustilo v ostrém provozu online předpovědní systém pro zvládání sucha s názvem HAMR (Vizina et al., 2009). Tento systém vznikl na základě spolupráce ministerstva s Výzkumným ústavem vodohospodářským TGM (VÚV TGM), CzechGlobe, Českou zemědělskou univerzitou a ČHMÚ. V první fázi je cílem systému především informovat širokou veřejnost. Druhou fázi spustí ministerstvo v průběhu léta 2019. Tato fáze bude odpovídat požadavkům úprav vodního zákona, který je nyní v mezirezortním připomínkovém řízení. HAMR je založen na propojení modelu vláhové bilance půdy SoilClim, modelu hydrologické bilance BILAN a modelu vodohospodářské bilance WATERES. Tyto modely spolu se vstupními klimatologickými daty reprezentují meteorologické, zemědělské a hydrologické sucho. Z aktuální verze se veřejnost dozví, kde je na území ČR sucho a jak je závažné. Video komentáře se budou v systému objevovat pravidelně i s výhledem počasí na následující týden. Na jednom místě díky HAMRu lze zjistit údaje o aktuálním stavu řek, půd i hladin podzemních vod či informace o možném vznikajícím nedostatku vody v dané oblasti. Systém HAMR je dostupný na hamr.chmi.cz/.

V souvislosti s řešením problematiky sucha a činností meziresortní komise VODA-SUCHO byl v letech 2015–2017 na platformě VÚV TGM v součinnosti s ministerstvy životního prostředí a zemědělství vytvořen webový portál www.suchovkrajine.cz. Na webu byly postupně zveřejněny kompletní analýzy, které si Ministerstvo životního prostředí nechalo zpracovat v rámci dokumentu „Příprava realizace opatření pro zmírnění negativních dopadů sucha a nedostatku vody“. V další fázi byla na web umístěna samotná „Koncepce na ochranu před následky sucha pro území ČR“. Součástí webového portálu jsou různé mapové vrstvy včetně regionalizace území ČR podle míry ohrožení suchem, vyhodnocení vlivu sucha na užívání vod, srážkových úhrnů nebo zásoby vody ve sněhu (v období 1981–2015 a v roce 2015). Součástí webu jsou i 3 aplikace:

- Typová opatření pro omezení sucha (v současné době se aplikace dokončuje),
- Atlas hydrologických poměrů – vznikl na základě výsledků výzkumných projektů,
- Monitoring hydrologického režimu vodních toků.

Hlavním účelem webové mapové aplikace „Typová opatření pro omezení sucha“ je zpřístupnit široké veřejnosti informace o možnostech řešení opatření pro omezení sucha v zájmovém území pomocí zobrazení podkladů o vzorových lokalitách. Na těchto lokalitách byla realizována opatření pro omezení sucha. Vzorové lokality jsou zájmovému území přiřazeny na základě podobnosti vybraných územních charakteristik. Zájmovým územím je myšlena buď konkrétní plocha (pro plošná opatření), nebo konkrétní úsek vodního toku (pro opatření revitalizace na tocích).



Obr. 3.1.3 Mapa hydrologického povrchového sucha ze systému HAMR (Zdroj: hamr.chmi.cz 2019)

Mapa hydrologického povrchového sucha (obr. 3.1.3) pro týden 25. 3.–31. 3. 2019 ze systému HAMR. Mapa vychází z hodnoty indexu SRI (Standardized Runoff Index) v daném týdnu.

Pro studium možné změny klimatu je přínosné se zaměřit na detailní klimatické charakteristiky, jelikož v průměrných hodnotách může být signál značně maskován. V rámci projektu FP6 CECILIA vznikl seznam 131 indexů extremity, který se skládá z teplotních a srážkových charakteristik. Pro představu uvádíme tři indexy zpracované Brázdilem (2015) – jeden teplotní (počet tropických dní v roce) a dva srážkové (počet dnů beze srážek a počet dní v suché periodě), jejichž změny úzce souvisí s vodní bilancí území.

Tropický den nastává v momentu, kdy maximální teplota vzduchu dosáhne nebo překročí hranici 30 °C.

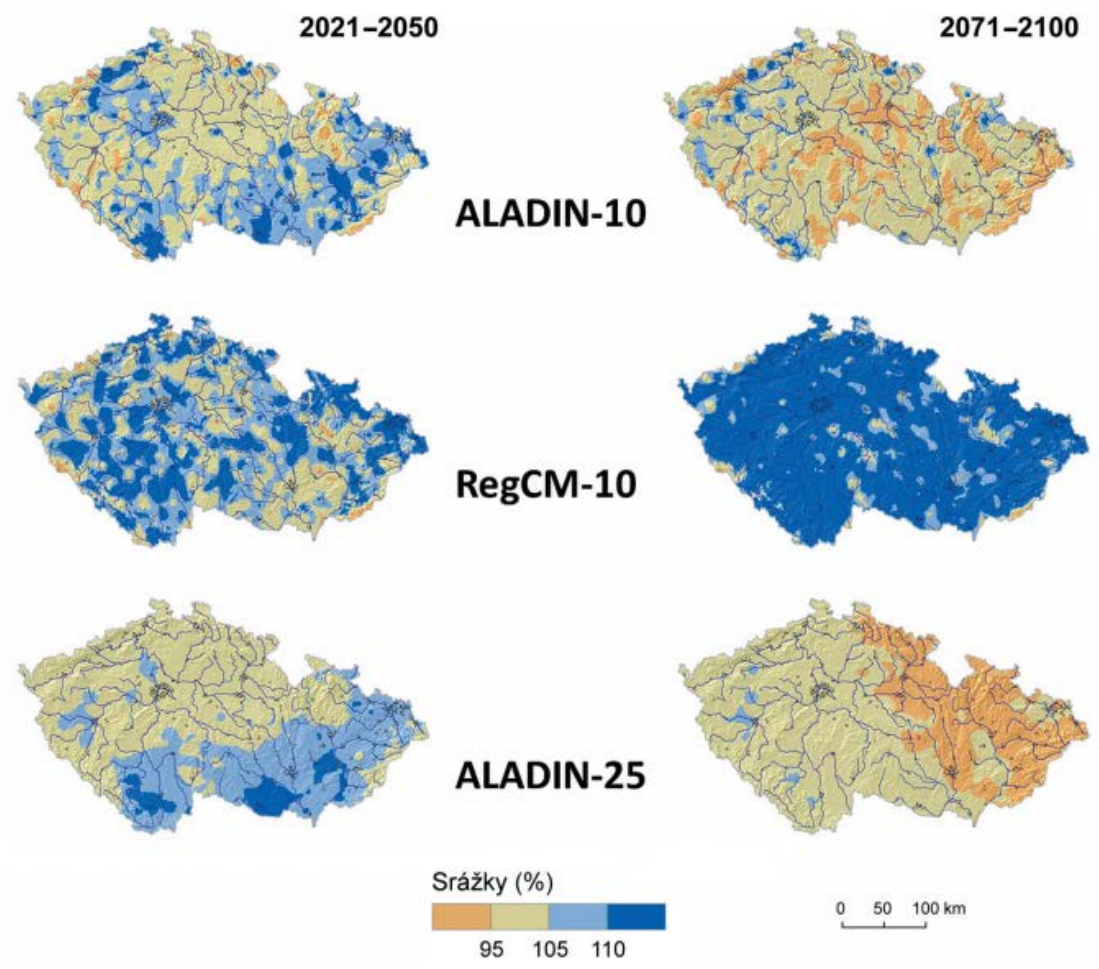
Počet tropických dnů se vyskytuje na našem území jen několikrát do roka, ale v posledních dvou dekádách dochází k jejich nárůstu. Tyto dny lze charakterizovat jako nekomfortní jak pro člověka, tak i pro řadu fyziologických procesů v živých organismech. Dochází ke zvýšení evapotranspiraci a rychlejšímu vysušování krajiny. Oproti 60. letům 20. století se v posledních letech 2003–2014 tento počet dnů zvýšil na dvojnásobek. Nejvíce tropických dnů přibylo v oblasti moravských nížin a Polabí, tedy v místech s důležitou zemědělskou činností (Zahradníček, 2014).

Model ALADIN-Climate/CZ předpokládá další pokračování růstu počtu těchto dní. Tempo nárůstu těchto dní je statisticky významné a za období 1961–2100 je to o 2 dny za 10 let. Tento indikátor je pak použit (s aktuálními scénáři a GCM modely) v části věnované zemědělství.

Bezsrážkový den je charakterizován jako den, kdy spadne rovno nebo méně než 1 mm srážek. Jak je charakteristické pro srážky, tak i zde převažuje variabilita nad pozorovaným trendem, který není statisticky významný. Podle Brázdila (2015) obecně platí, že nejvíce těchto dnů je v nížinách a s rostoucí nadmořskou výškou počet klesá. V období 2021–2050 počet bezsrážkových dnů spíše velmi mírně klesá, naopak v období 2071–2100 je zhruba o 3 dny v průměru těchto dní více než v simulaci pro současné klima. Zkoumání prostorových rozdílů v počtu těchto dní ukázalo pokles počtu těchto dnů

hlavně v oblasti jižních Čech a Šumavy. V období 2071–2100 je zaznamenatelný růst počtu bezsrážkových dnů hlavně v oblasti jižní Moravy a Vysočiny.

Počet dnů v suché periodě je ukazatelem počtu dnů, kdy srážka nepřekročila hranici 0,1 mm, a to nejméně v deseti dnech po sobě. V roční sumě (za období 1961–2000) je počet takových dnů kolem 50, ale opět tu převažuje výrazná variabilita nad trendem. Delší období bez deště jsou ovlivněny hlavně synoptickou situací v daném období, a zda převládá situace přinášející srážky nebo naopak spíše stabilní, ale bezsrážková povětrnostní situace. To může způsobit i výrazné časoprostorové rozdíly ve výskytu těchto suchých period (Zahradníček, 2014). Nejvíce dní v suché periodě se objevuje hlavně na jižní Moravě, tedy ve výrazně zemědělské oblasti a to kolem 65–80 dnů za rok. Nejméně těchto dnů je v horských oblastech. Pro období 2071–2100 stoupla podle Brázdila (2015) rozloha území, kde se předpokládá výskyt více dní v suché periodě na 25 % rozlohy území České republiky. Pro víc než 7 % území České republiky je simulován počet dnů vyšší než 80 a dokonce 1,5 % území bude více než 95 dní v roce vystaveno delším bezsrážkovým obdobím podle modelu ALADIN-Climate/CZ. Opět je jako nejpostiženější region modelována jižní Morava a k tomu se přidala i střední Morava a s tím další úrodná oblast Hané.



Obr. 3.1.4 Změna ročního úhrnu srážek (%) predikovaná pro období 2021–2050 a 2071–2100 (Zdroj: Brázdil et al. 2015)

Změna ročního úhrnu srážek je vyjádřená jako odchylka od hodnot v období 1961–2000, na základě tří regionálních klimatických modelů ALADIN-Climate/CZ v 10 km rozlišení (Cecilia), RegCM a ALADIN-Climate/CZ v 25 km rozlišení (VaV).

V poslední době jsme se mohli setkat s několika rozsáhlými projekty, které se zaměřují na studium dopadů změny klimatu. Mezi nejvýznamnější projekty v této oblasti patří CzechAdapt – Systém pro výměnu informací o dopadech změny klimatu, zranitelnosti a adaptačních opatřeních na území ČR (za přispění grantů z Islandu, Lichtenštejnska a Norska). Mezi výstupy projektu patří i detailní mapový portál www.klimatickazmena.cz, který zobrazuje dopady změny klimatu v různých sektorech národního

hospodářství (lesnictví, zemědělství, vodní hospodářství atd.) zpracovaný s pomocí nejnovějších běhů globálních cirkulačních modelů (CMIP5) a regionálních modelů z projektu EUROCORDEX. Na rozdíl od podobných aktivit je provedena detailní analýza GCM i RCM modelů a jejich korekce, které jsou následně aplikovány pro výpočet několika set indikátorů pro období 2021–2040, 2041–2060 a 2071–2010. Jedná se doposud o nejkomplexnější projekt, pokud jde o šíři a míru rozlišení mapových výstupů. Na tomto mapovém portálu lze zobrazit například mapy průměrné roční teploty vzduchu, mapy letních nebo tropických dní, mapy výskytu lesních požárů, mapy sněhové pokrývky atd.

S projektem CzechAdapt jsou úzce propojeny i další projekty a aktivity, například projekty UrbanAdapt – Rozvoj strategií přizpůsobení se změně klimatu v podmínkách měst s využitím ekosystémově založených přístupů k adaptacím, FrameAdapt – Rámce a možnosti lesnických adaptačních opatření a strategií souvisejících se změnami klimatu, nebo webový portál Adaptace na změnu klimatu (www.regio-adaptace.cz/cs/). Všechny tyto projekty rovněž vznikly za přispění grantů z Islandu, Lichtenštejnska a Norska. Projekt UrbanAdapt se zaměřuje na možné dopady změny klimatu v pilotních městech ČR (Praha, Brno, Plzeň) a snaží se navrhnout vhodná adaptační opatření. Projekt si kladl za cíl tato adaptační opatření ve spolupráci s pilotními městy zahájit a dále rozvíjet. Projekt FrameAdapt je projekt, který se zaměřuje na lesnická adaptační opatření a strategie, které by mohly posloužit k realizaci lesnických adaptačních opatření na různých úrovních. Jedním z výstupů projektu je i studie změny klimatických podmínek pro pěstování hlavních hospodářských dřevin (smrku, buku a dubu) pro období 1961–1990 a 1991–2014 s následnou predikcí vývoje v blízké budoucnosti (období 2021–2040 a 2041–2060).

Příkladem regionálního projektu zaměřeného zejména na zkoumání adaptačních opatření v regionu jižní Moravy je projekt Adaptan – komplexní plánovací, monitorovací, informační a vzdělávací nástroje pro adaptaci území na dopady klimatické změny s hlavním zřetelem na zemědělské a lesnické hospodaření v krajině.

Na výše zmíněný projekt CzechAdapt do značné míry navazuje projekt SustES (Adaptační strategie pro udržitelnost ekosystémových služeb a potravinové bezpečnosti v nepříznivých přírodních podmínkách), zejména pak jeho návrh adaptačních strategií. V rámci projektu SustES budou navržena a testována adaptační opatření vedoucí k většímu zadržení vody v krajině, zlepšení koloběhu živin v půdě, snížení emisí skleníkových plynů, snížení rizik eroze a eutrofizace či znečištění povrchových a podzemních vod. Využití cost-benefit analýzy umožní optimalizaci adaptačních opatření, která tak budou ekonomicky efektivní a dlouhodobě udržitelná v budoucích klimatických podmínkách. Silnou stránkou tohoto projektu je spolupráce expertů z různých oblastí umožňující vznik interdisciplinárního a mezinárodního týmu odborníků. Výzkumné aktivity se v rámci projektů dělí do 4 okruhů (tzv. work packages). Konkrétně se jedná o:

- Výzkum a vývoj konceptu „Climate Change Envelope – klimatické obálky“ pravděpodobného rozsahu změny klimatu
- Odhadované dopady na agrosystémy a jejich služby
- Adaptační opatření pro zajištění udržitelné zemědělské produkce, potravinové bezpečnosti a minimalizaci environmentální zátěže, včetně emisí skleníkových plynů, v kontextu změny klimatu
- Vývoj a multikriteriální hodnocení proveditelných strategií zmírnění/adaptace pro optimalizaci ekosystémových služeb

3.1.2 Výzkum změny klimatu v ČR

V České republice se klimatologií a změnou klimatu zabývají některé resortní organizace, pracoviště Akademie věd ČR a univerzity.

Resortní instituce:

- Ministerstvo zdravotnictví
  - Státní zdravotní ústav (www.szu.cz)
- Ministerstvo zemědělství
  - Výzkumný ústav meliorací a ochrany půd, v. v. i. (www.vumop.cz)
  - Výzkumný ústav rostlinné výroby, v. v. i. (www.vurv.cz)
  - Výzkumný ústav zemědělské techniky, v. v. i. (www.vuzt.cz)

- Ministerstvo životní prostředí
  - Česká geologická služba (www.geology.cz)
  - Český hydrometeorologický ústav (www.chmi.cz)
  - Výzkumný ústav vodohospodářský, v. v. i. (www.vuv.cz)

Akademie věd ČR:
- Geofyzikální ústav AV ČR, v. v. i. (www.ig.cas.cz)
- Geologický ústav AV ČR, v. v. i. (www.gli.cas.cz)
- Ústav fyziky atmosféry AV ČR, v. v. i. (www.ufa.cas.cz)
- Ústav pro hydrodynamiku AV ČR, v. v. i. (www.ih.cas.cz)
- Ústav systémové biologie a ekologie AV ČR, v. v. i. (www.usbe.cas.cz)
- Ústav výzkumu globální změny AV ČR, v. v. i. (www.czechglobe.cz)

Univerzity:
- Jihočeská univerzita (www.jcu.cz)
- Masarykova univerzita
  - Přírodovědecká fakulta (www.sci.muni.cz)
- Mendelova univerzita (www.mendelu.cz)
- Univerzita Karlova
  - Matematicko-fyzikální fakulta (www.mff.cuni.cz)
  - Přírodovědecká fakulta (www.natur.cuni.cz)

Zapojení těchto pracovišť do výzkumu změny klimatu je značně široké a v čase se mění v závislosti na úspěšnosti v grantových soutěžích a možnostech zřizovatelů.

4. ANALÝZA DOPADŮ PREDIKOVANÝCH SCÉNÁŘŮ ZMĚNY KLIMATU NA JEDNOTLIVÉ PRIORITNÍ OBLASTI ZÁJMU

V následující kapitole jsou podrobně popsány dopady a s nimi související rizika dle předpokládaných scénářů vývoje změny klimatu v daných prioritních oblastech zájmu. Analýza dopadů vychází především z výše popsaných scénářů, včetně původní studie Pretel a kol. (2011). Podrobný popis použitých novějších studií a projektů je uveden v kap. 2. Jednotlivé kapitoly jsou zpracovány v této výchozí struktuře, která je místy dle potřeby upravena:

- souhrn za danou oblast
- základní informace pro danou oblast v národním, případně (středo)evropském kontextu
- dopady predikovaných scénářů změn klimatu a analýza rizik
- stanovení indikátorů a vyhodnocení zranitelnosti včetně identifikace nejzranitelnějších regionů v ČR
- souhrnná what-if analýza
- analýza navržených adaptačních opatření dle Adaptační strategie

V případě indikátorů bylo pracováno se dvěma typy indikátorů – klimatickými a dopadovými. **Klimatické indikátory** mohou mít vztah k více prioritním oblastem a jsou proto zpracovány souhrně v rámci samostatné podkapitoly. **Indikátory dopadové** jsou zpracovány přímo v rámci jednotlivých témat.

V závěru analýz jednotlivých prioritních oblastí byla pro souhrn hlavních skutečností a rizik použita tzv. **what if analýza**, jejímž cílem bylo v jednotné podobě vyjádřit přehledně hlavní identifikovaná rizika pro jednotlivé oblasti. Principy zpracování této analýzy proto uvádíme zde:

WHAT-IF ANALÝZA

Zpracování analýzy rizik typu what-if obsahuje v rámci studie následující charakteristiku a systematické kroky, které vychází z U. S. Coast Guard – příručky pro Risk Based Decision Making (2002, upraveno pro potřeby projektu):

- Jde o přístup, jehož cílem je přehledně identifikovat **možné zdroje rizik** (nebo přímo nebezpečné situace-scénáře a jejich možné dopady), které mohou mít za následek výskyt nežádoucí události v dané oblasti, s možným dopadem na zdraví a životy obyvatel, jejich majetek, infrastrukturu, ekosystémy a další složky životního prostředí apod.
- What-If se typicky provádí pro dané prioritní oblasti v týmech s rozmanitým zázemím a zkušenostmi, dle dostupných podkladů (odborných knih, článků či zpráv, datových sad, zkušeností, historických událostí, aktuálního poznání). Kvalita hodnocení závisí na kvalitě týmů, osobností, zkušenostech dostupných informací atd.
- Metodu what-If je možno použít obecně na jakoukoliv činnost nebo systém.
- Metoda generuje kvalitativní (do jisté míry abstrahovaný) popis potenciálních problémů/rizik/dopadů, ve formě otázek a odpovědí.
- Občas je metoda what-If používána samostatně, častěji v kombinaci s ostatními metodami analýzy rizik (typicky v kombinaci s checklistem apod.)

Účelem what if analýzy (dále též „WI“) je v rámci studie systematicky, jednotně a přehledně shrnout provedené analýzy a přispět k jednotné podobě výstupů za všechny prioritní oblasti.

Omezení a rizika WI:

- může dojít k opomenutí některých možných problémů (bylo prověřováno)
- celkově se těžko ověřuje její úplnost (bylo prověřováno)
- poskytuje převážně kvalitativní informace.

Postup zpracování WI:

1) provedení analýzy rizik dopadů klimatické změny pro danou prioritní oblast. Popis analyzované zájmové oblasti a jejích dílčích podoblastí/subsystémů a rizik/dopadů dle klimatických scénářů pro daná 30letá období
2) výběr z check-listu projevů klimatické změny v ČR (na základě předpokládaných scénařů – viz tab. 2.7.1) relevantní projevy pro danou prioritní oblast
3) pomocí check-listu projevů (tab. 2.7.1) vytvoření otázek typu WHAT-IF (co se stane, když?) pro danou prioritní oblast (a její dílčí části) za „uvažovaného stavu“ (tj. např. předpoklad budoucího vývoje).
4) uvedení předpokládaných negativních dopadů/rizik daných scénářů
5) zohlednění opatření zmírňující nebo eliminující předpokládané rizika
6) jedna otázka (předpoklad vývoje) může mít více negativních dopadů nebo představovat více rizik.
7) provedení hodnocení pravděpodobnosti a závažnosti scénářů a zranitelnosti daných systémů (se zohledněním stávajících opatření v dané oblasti – legislativa, regulativy apod.) za pomoci níže uvedených 5bodových stupnic.

Bodové hodnocení

Vychází z expertního hodnocení, odborných znalostí, dostupných dat a studií, konsenzu členů týmu apod.:

- Pravděpodobnost scénáře – 1 – nejnižší, 5 – nejvyšší (hodnocena ve vztahu k uvedeným možným dopadům)
- Závažnost (dopadu/rizik) – 1 – nejnižší, 5 – nejvyšší (hodnocena individuálně pro každou oblast/systém)
- Zranitelnost systému – 1 – nejnižší, 5 – nejvyšší (jak je systém zranitelný vůči danému riziku/dopadu se zohledněním stávajících opatření)

Celkové hodnocení rizika (tj. sloupec Subjektivní riziko) je součinem tří předchozích hodnot, tj. Pravděpodobnosti scénáře, Závažnosti (dopadů/rizik) a Zranitelnosti systému. Pro větší přehlednost byly výsledné hodnoty podbarveny na této škále, které odpovídá i výsledné hodnocení rizika.



100 a víc	vysoké
60–99	zvýšené
40–59	střední
20–39	nízké
0–19	velmi nízké

4.1 LESNÍ HOSPODÁŘSTVÍ

Mezi hlavní projevy změny klimatu, které jsou pro lesní hospodářství rizikové, patří rostoucí teplota vzduchu, a to především teploty v jarním a letním období, pokles srážek v letním období a zvýšená evapotranspirace. To vede k vyšší intenzitě sucha, zvýšené frekvenci suchých period a prodlužování jejich délky. Tento průběh meteorologických faktorů naše současné hospodářské lesy výrazně oslabuje. Pro mortalitu stromů hrají rozhodující roli biotičtí škodliví činitelé, zejména kůrovcovití. Jejich zvýšená aktivita vyplývá jednak z oslabené odolnosti dřevin vlivem sucha. Z těchto důvodů na probíhající změny klimatu reagují pozitivně a často se dokážou rychle šířit. K rozvratu chřadnoucích lesů může přispět častější výskyt bořivých větrů.

Tyto projevy představují pro lesní hospodářství řadu rizik, které lesní porosty aktuálně ohrožují a budou negativně ovlivňovat i v dlouhodobém horizontu. Za nejvíce náchylnou dřevinu je na území ČR považován smrk, ale suchem trpí také borovice. Biotičtí škůdci v současné době představují velké riziko pro porosty smrku a borovice (především kůrovci), jasanu a olše (houbové patogeny). Obecně lze předpokládat i aktivizaci škůdců dalších dřevin (v roce 2018 gradace bekyně velkohlavé na dubech). Tyto změny se již v současné době projevují chřadnutím až rozvratem lesních porostů.

S rostoucí teplotou souvisí posun lesních vegetačních stupňů (LVS), které jsou základem systému pro diferencované hospodaření v lesích. Dnešní oblasti pahorkatin a vrchovin (především 4.–5. LVS) kritériím odpovídajícím ekologické valenci klíčové dřeviny českého lesnictví, tj. smrku ztepilého, již nevyhovují. Posun vegetačních stupňů však ovlivňuje také porosty dalších druhů dřevin. Na posuny lesních stupňů však nelze pohlížet mechanicky: kromě „průměrných“ meteorologických hodnot, kterými jsou definovány, se zvyšuje i extremita meteorologických prvků.

Při hodnocení rizik pro pěstování lesních dřevin v lokálním měřítku nelze opomenout půdní poměry, které projevy sucha a odolnost dřevin významně ovlivňují, a mohou působení meteorologických prvků na les zesílit i oslabit. Proto pozorujeme a budeme pozorovat tyto změny s různou intenzitou mj. díky odlišným podmínkám jednotlivých stanovišť. Potvrzují téměř beze zbytku dřívější prognózy a liší se od predikcí rychlostí nástupu, která je právě spojena s nedávným výskytem extrémních ročníků.

4.1.1 Úvod a kontext[1]

Lesní půda tvoří na území ČR 2 607 841 ha. Největším vlastníkem lesů v ČR je stát (56 %). Lesy ve vlastnictví státu obhospodařují zejména Lesy ČR, s.p. (dále jen LČR), a to více než 46 %, další významný podíl tvoří vojenské lesy a lesy na území národních parků. Ve struktuře vlastnictví lesů jsou dále podstatné podíly lesů ve vlastnictví fyzických osob (19 %), obcí a měst (17 %) a právnických osob (3 %). Vlastnický podíl církví a náboženských společností je dnes ca 5 %, ale restituční vyrovnání dosud nebylo ukončeno.

Obnova lesních porostů proběhla v roce 2017 na 24 446 ha. Výše přirozené obnovy v roce 2017 činila 4 473 ha (18 %). Oproti předchozím letům se její podíl snížil zhruba o 2 %, Snížený podíl rozlohy přirozeného zmlazení je důsledkem nárůstu zalesňování holin po nahodilých těžbách, kde jsou podmínky pro přirozenou obnovu značně zhoršené. Na umělé obnově převažuje smrk (7 940 ha), dále buk (4 415 ha), dub (2 594 ha), borovice (1 778 ha) a další. Podíl listnatých dřevin z umělé obnovy dosáhl 42,3 % a podíl smrku se postupně dlouhodobě snižuje.

Významně se mění spektrum uplatňovaných hospodářských způsobů. Výrazně ustupuje podíl holosečného hospodaření - jeho zastoupení v roce 2017 bylo 18%, zatímco ještě v roce 2001 dosahovalo 84%. Dnes se významněji uplatňuje podrostní (30%) a násečný (48%) hospodářský způsob. Podíl výběrného lesa mírně stoupá a dnes dosahuje 4% rozlohy porostní půdy.

V lesích ČR bylo v roce 2017 vytěženo celkem 19,4 mil. m^3 surového dříví. Vysoký podíl v tomto objemu představuje zpracování nahodilých těžeb, které dosáhlo 11,74 mil. m^3, což je 61 % objemu celkových těžeb. Větší objem nahodilých těžeb byl zaznamenán pouze v roce 2007 (14,89 mil. m^3 nahodilých těžeb), kdy byly zpracovávány následky orkánu Kyrril. Předpoklad pro výši nahodilých těžeb za rok 2018 je výrazně vyšší (tab. 4.1.1).

[1] Zdroj: MZe, 2018.

Tab. 4.1.1 Přehled nahodilých těžeb podle příčin od roku 2000 (mil. m³/rok) (Zdroj: MZe 2018)

Rok	Živelní	Exhalační	Hmyzová	Ostatní	Nahodilá těžba celkem
2000	2,39	0,08	0,32	0,50	3,29
2001	1,49	0,06	0,23	0,60	2,38
2002	3,38	0,03	0,29	0,51	4,21
2003	6,12	0,06	1,26	0,76	8,20
2004	2,76	0,04	1,27	1,30	5,37
2005	2,54	0,02	0,88	0,39	3,83
2006	5,59	0,02	0,96	0,82	7,39
2007	12,65	0,04	1,56	0,64	14,89
2008	7,60	0,03	2,32	0,80	10,75
2009	3,25	0,03	2,62	0,73	6,63
2010	4,08	0,02	1,84	0,38	6,32
2011	2,17	0,02	1,05	0,58	3,82
2012	1,70	0,02	0,79	0,73	3,24
2013	2,28	0,02	1,05	0,90	4,25
2014	2,46	0,02	1,13	0,92	4,53
2015	4,39	0,02	2,31	1,43	8,15
2016	2,64	0,03	4,42	2,31	9,40
2017	4,35	0,02	5,85	1,52	11,74
2018 odhad	9,00	0,02	11,95	0,25	21,22

Celkové porostní zásoby v lesích dosáhly 699 mil. m³ (bez kůry, k roku 2017, odhad na bázi dat Lesních hospodářských plánů). Za historické období od roku 1930 se celková zásoba dříví v lesích zvětšila na více než dvojnásobek. Na nárůstu se podílí mírný růst zakmenění porostů a porostní plochy, zvětšování podílu porostů vyššího věku a růst běžného přírůstu. K roku 2017 dosáhla průměrná zásoba hroubí (dřevo s dimenzí od 7 cm) na 1 ha lesních pozemků 269 m³/ha (průměrná zásoba hroubí bez kůry na porostní plochu s holinami na bázi dat lesních hospodářských plánů). Na základě odhadované výše těžeb a vývoje zdravotního stavu pro nejbližší období lze očekávat, že historický trend vývoje celkové zásoby dříví se může zlomit a zásoby v příštích letech budou klesat.

4.1.1.1 Zdravotní stav lesních porostů

Na zdravotní stav lesních porostů mají vliv negativní faktory, které jsou dlouhodobě známé. Z abiotických vlivů se jedná především o bořivý vítr, sníh, sucho, imisní zátěž a deficience výživy, z biotických činitelů se jedná hlavně o hmyz (podkorní, listožravý aj.), houbové patogeny, zvěř, v případě výsadeb a mladých porostů také o drobné hlodavce a nežádoucí vegetaci (buřeň). V roce 2018 pokračovalo významné chřadnutí lesních dřevin jako důsledek sucha (vysoké teploty, nerovnoměrně rozložené srážek, např. www.intersucho.cz) během vegetačního období, s ním spojeného šíření různých biotických škůdců a také v důsledku působení bořivého větru. V důsledku kůrovcové kalamity vznikly v posledních letech rozsáhlé holiny především na severní Moravě, které se v roce 2018 v souvislosti s šířením kůrovců výrazně rozšiřovaly i v oblasti jižní Moravy, v jižních a západních Čechách a v jižní části kraje Vysočina. Vysoký byl i nadále výskyt usychající borovice, následně napadené různými biotickými škůdci ve středních a nižších polohách. Na jižní Moravě byla zaznamenána gradace kalamitního škůdce sosnokaza borového (*Panolis flammea*). V teplejších oblastech byly ve zvýšené míře napadeny listnaté porosty listožravým hmyzem a u porostů jasanu se vyskytlo ve zvýšené míře chřadnutí (*Chalara Fraxinea*). Především ve středních Čechách se vyskytly izolované gradace bekyně velkohlavé (*Lymantria dispar*) na dubech a dalších listnatých dřevinách.

Na zamezování vzniku poškození lesních porostů biotickými škodlivými činiteli se v podmínkách Česka vynakládají každoročně nemalé prostředky, které se soustřeďují především do následujících oblastí:

- ochrana před nežádoucí vegetací ve školkách, výsadbách a kulturách;
- ochrana a obrana před hmyzími škůdci a původci houbových onemocnění a ochrana;
- obrana před škodlivým působením zvěře a drobných hlodavců.

Velký podíl připadá na ochranu před poškozováním lesa zvěří (zimní okus a ohryz, letní okus a loupání) a před nežádoucí vegetací (mechanické a chemické potlačování buřeně ve školkách a výsadbách). V posledních letech je rozhodující podíl prostředků vynakládán na ochranu a obranu před podkorním hmyzem.

Defoliace[2] v ČR je stále velmi vysoká. Zastoupení starších porostů jehličnanů (60 let a starší) ve 2.−4. třídě defoliace v roce 2018 činilo 76,6 %, u starších listnáčů 42,8 %. V mladších porostech je situace příznivější, u mladších jehličnanů (do 60 let) 29,4 % a u mladších listnáčů 34,0 %. Po krátkodobém zlepšení defoliace starších jehličnanů i listnáčů na konci 90. let 20. století je možné sledovat trend ukazující mírné, ale dlouhodobé zhoršování zdravotního stavu této skupiny lesních porostů. Mladší porosty (do 60 let) jehličnatých i listnatých dřevin dosahují v porovnání se staršími porosty všeobecně nižších hodnot defoliace. Nejvýraznější je tento rozdíl u smrku a naopak nejméně výrazný je u borovice. Mladší jehličnany vykazují v dlouhodobém trendu nižší defoliaci než porosty mladších listnáčů. U starších porostů (60 let a starší) je toto srovnání opačné, starší jehličnany mají výrazně vyšší defoliaci než porosty starších listnáčů. Borovice má u obou věkových kategorií zásadní podíl na vyšším procentu defoliace za skupinu jehličnanů. Opadavé druhy lesních dřevin jsou obecně vůči defoliaci odolnější vzhledem ke každoroční kompletní obnově asimilačního aparátu. V hodnocení jednotlivých jehličnatých dřevin starší věkové kategorie je situace nejméně příznivá u borovice (v roce 2018 93,3 % stromů na hodnocených plochách bylo ve třídě 2 až 4), následována modřínem (81,5 %) a smrkem (65,8 %). Z listnatých starších dřevin vykazuje výraznou defoliaci dub (v roce 2018 celkem 76,0 % hodnocených stromů bylo ve třídě 2 až 4) a naopak buk má ze všech hlavních druhů dřevin nejnižší defoliaci (zastoupení ve třídách 2 až 4 bylo pouze 11,1 %). U starších listnáčů je dlouhodobý vývoj defoliace v porovnání s jehličnany odlišný. Ve sledovaném období 1991–2018 dosáhla průměrná defoliace listnáčů nejvyšší úrovně v roce 1993 (u dubu 43,0 % a u buku 22,5 %), v dalších letech klesala až na nejnižší úroveň v roce 1998 (průměrná defoliace dubu 27,8 % a buku 14,6 %). Následoval zřetelný vzestup defoliace do roku 2000. V dalším období až do roku 2011 defoliace starších listnáčů velmi mírně stoupá, v roce 2012 dochází k mírnému zlepšení a dále až do roku 2018 opět k mírnému nárůstu až stagnaci defoliace. Mezi jednotlivými listnatými druhy jsou výrazné rozdíly. Dub má z pohledu dlouhodobého vývoje větší rozkolísanost a vyšší úroveň defoliace než buk.

Postupné snižování imisní zátěže v uplynulých desetiletích mělo nepochybně příznivý vliv na zdravotní stav lesních porostů. To je patrné zejména v horských polohách, kde je defoliace oproti konci 20. století výrazně nižší. Zvýšil se zde rovněž výškový přírůst porostů, což je ovšem dáno i příznivějšími teplotními poměry a stále vysokou depozicí dusíku. Vysoký přírůst však představuje riziko pro mechanické poškození porostů větrem a sněhem i zvýšení relativního nedostatku dalších živin – především bazických kationtů a fosforu.

V roce 2017 bylo zaznamenáno 966 lesních požárů, které zasáhly 170 ha. Nejvíce lesních požárů od roku 2006 bylo zaznamenáno v roce 2015, konkrétně bylo v tomto roce zaznamenáno 1 748 požárů na 344 ha lesa. V roce 2017 mělo 853 požárů známou příčinu vzniku, kterou bylo zejména lidské zavinění, tedy nedbalost a žhářství. Dále bylo evidováno 18 požárů z přírodních příčin a příčinu se nepodařilo stanovit u 113 požárů. Škoda způsobená lesními požáry činila 6,3 mil Kč a při požárech bylo zraněno 9 osob.

V roce 2017 bylo zaznamenáno 966 lesních požárů, které zasáhly 170 ha. Nejvíce lesních požárů od roku 2006 bylo zaznamenáno v roce 2015, kdy došlo k 1 748 požárům na 344 ha lesa. V roce 2017 mělo 853 lesních požárů známou příčinu vzniku, kterou bylo zejména lidské zavinění, tedy nedbalost a žhářství. Dále bylo evidováno 18 lesních požárů z přírodních příčin a příčinu se nepodařilo stanovit u 113 lesních požárů. Škoda způsobená lesními požáry v roce 2017 činila 6,3 mil Kč a při těchto požárech bylo zraněno 9 osob. Zatímco počet lesních požárů statisticky významně neroste, od roku 1971 do 2018 statisticky významně roste počet požárů vegetace (tj. včetně lesních požárů) a díky rekordnímu roku 2018 tomu tak bylo i v období 1991–2018, kdy došlo ke změně sběru dat. Rostoucí trend pokud jde o počty požárů vegetace je registrován i v dalších zemích EU, vč. USA. Ovšem doposud se nárůst počtu požárů vegetace na našem území neprojevuje v postižené ploše. Statistika pouze lesních požárů v ČR je ovlivněna ne úplně jasnou metodikou řazení konkrétního případu do kategorie „lesní požár“.

[2] Relativní ztráta asimilačního aparátu (listoví) v koruně stromu v porovnání se zdravým stromem, rostoucím ve stejných porostních a stanovištních podmínkách.

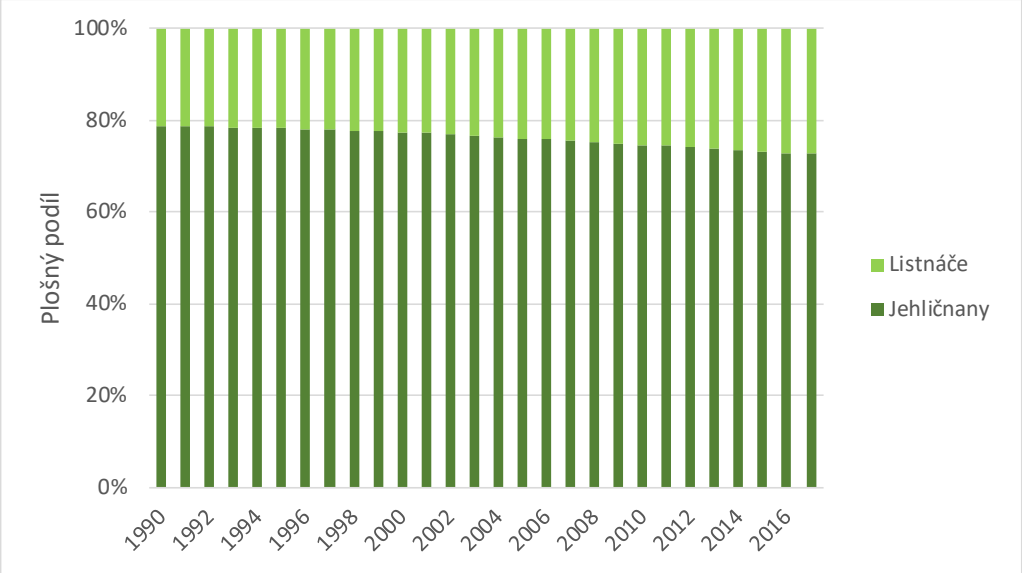
Tab. 4.1.2 Lesní požáry – základní statistiky (Zdroj: MZe 2018)

Rok	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Způsobené škody (mil. Kč)	22,47	24,00	14,86	19,72	4,66	7,10	46,2	4,9	6,6	18,7	5,5	6,3
Počet požárů	679	847	504	556	732	1337	1549	666	865	1748	892	966
Rozloha lesních požárů	405	316	86	178	205	337	634	92	536	344	141	170
Počet zraněných	17	22	10	21	12	27	30	7	10	33	6	9

4.1.1.2 Dřevinná skladba lesů

Jednou z významných příčin snížené odolnosti lesních porostů vůči klimatickým stresům a biotickým činitelům, jakými jsou podkorní hmyz a houbové infekce, je stávající odlišná druhová, věková a prostorová skladba lesů oproti skladbě doporučené, popř. přirozené. Z pohledu akcelerujících změn klimatu je klíčovým problémem klasické pasečné smrkové hospodářství, které v současné době představuje překonaný a rizikový systém. Změna historicky vysokého zastoupení smrku a smrkového hospodářství na hraně ekologické amplitudy představuje zásadní téma adaptační strategie v ČR. Druhové skladbě se věnuje následující text.

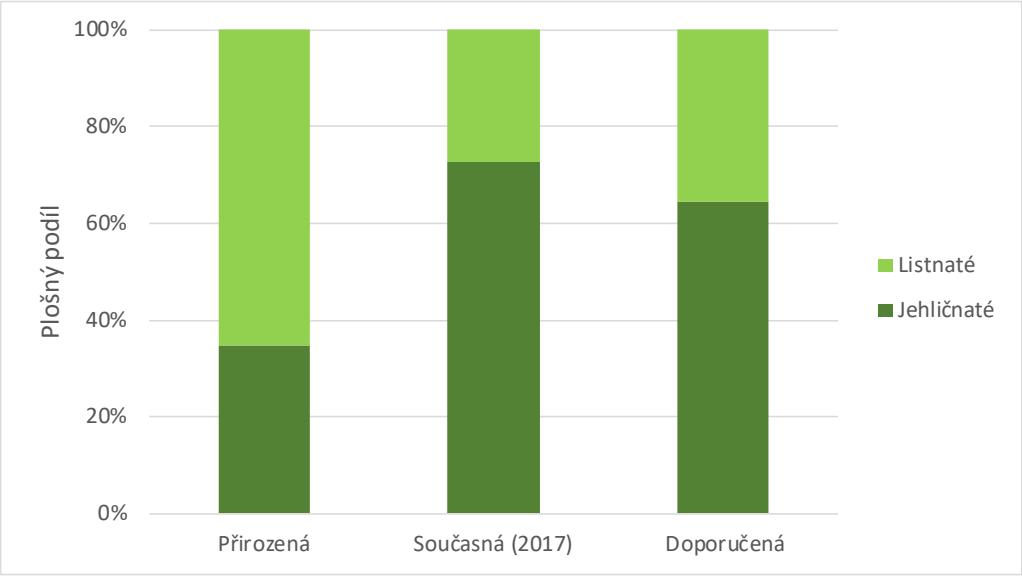
Plocha jehličnatých dřevin se dlouhodobě snižuje, tempo změny druhové skladby je však relativně pomalé. Plocha jehličnanů za období 27 let (1990–2017) poklesla o 6,2 %, a to ve prospěch listnatých dřevin, zejména dubu a buku. Podíl listnáčů na celkové ploše lesů ČR tak pozvolna stoupá (obr. 4.1.1). V souvislostech s výrazným chřadnutím smrku a borovice v posledních letech (2015–2019) dojde k mnohem dynamičtější změně tohoto poměru a již ve střednědobém horizontu bude možné sledovat vývoj směrem k vhodnější změně druhové skladby vzhledem k postupujícím změnám klimatu a k přirozenější struktuře lesních porostů. Podíl jedle, která je důležitou součástí přirozeného lesního ekosystému a která významně přispívá k udržení stability lesa, se na celkové ploše lesů od roku 1995 stabilně pohybuje kolem 1 %, pravděpodobně výrazněji stoupne. Zde však může být nárůst oproti buku a dubu pomalejší, protože jedli nelze úspěšně zmlazovat na rozsáhlých holosečích, které v současné době vznikají. Výraznější zastoupení se očekává pro klíčové listnaté dřeviny, které jsou zastoupeny hlavně bukem a dubem. Podíl buku na celkové ploše lesů je 8,4 % k roku 2017. Podíl dubu k roku 2017 dosáhl 7,2 % z celkové výměry lesů. Jeho zastoupení za posledních 27 let stouplo pouze nevýrazně o 1,2 %, ačkoliv jeho význam vzhledem k měnícím se klimatickým podmínkám výrazně roste.



Obr. 4.1.1 Vývoj podílu jehličnatých a listnatých porostů na celkové ploše lesů ČR [%], 1990–2017 (Zdroj: SLHP, ÚHÚL)

Obr. 4.1.2 znázorňuje podíl jehličnatých a listnatých dřevin z hlediska současné (k roku 2017), přirozené a doporučené skladby lesních porostů. Tyto údaje Zelené zprávy (MZe 2018) je nutno komentovat. Podle textu MZe (2018) se doporučenou druhovou skladbou rozumí pro hospodářské lesy všestranně

optimalizovaný kompromis mezi skladbou přirozenou a skladbou nejvýhodnější ze současného ekonomického hlediska. Doporučovaný podíl zastoupení jehličnanů ve výši nad 64 % v materiálech MZe (MZe 2018) znamená snížení o zhruba 8 % ze současného stavu. To se z pohledu současné kalamity a chřadnutí především jehličnatých porostů jeví jako nedostatečné. Jak je uvedeno v jiných částech textu, dřevinná skladba se bude měnit rychleji z důvodu akcelerovaného hynutí vlivem sucha a související kůrovcové kalamity v posledních letech.



Obr. 4.1.2 Rekonstruovaná přirozená, současná a doporučená skladba lesů v ČR [%], 2017 (Zdroj: Zelená zpráva Mze, 2018)

Pozn.: Rekonstruovaná přirozená skladba je blízká skladbě klimaxové v době před ovlivněním lesa člověkem.

4.1.2 Dopady predikovaných scénářů změny klimatu v ČR

Lesnictví je z hlediska změny klimatu poměrně problematických sektorem, a to zejména kvůli mimořádně dlouhé (přes 100 let) produkční době lesních porostů. Logicky z toho plyne, že dnes jsou zakládány nebo obnovovány lesní porosty, které budou dorůstat do produkční zralosti v úplně jiných klimatických podmínkách. Synergické působení extrémních klimatických výkyvů a antropogenních vlivů, především dlouhodobé imisní zátěže a hospodářských zásahů, má na téměř celém území střední Evropy za následek snižování vitality lesních porostů. Některé klíčové dřeviny jsou pěstovány na současné hranici nebo dokonce mimo hranici své ekologické tolerance. Týká se to především smrku ztepilého, dominantní dřeviny českého lesnického hospodaření.

Jak vyplývá z kap. 2, předpokládáme pokračování trendu rostoucích teplot, změně v množství a distribuci srážek a vyšším výskytu extrémních klimatických událostí (sucho, vlny veder, lokání povodně). Následně se zvyšuje citlivost lesních porostů na sekundární jevy, jako jsou hmyz a houbové infekce. Ty vedou k vyšší mortalitě lesních porostů, jež se výrazně projevuje v posledních letech především kůrovcovou kalamitou katastrofálního rozsahu. Samotná zvyšující se koncentrace CO_2 v atmosféře nepředstavuje pro lesní porosty žádné riziko, v podmínkách dostatečné vláhy a živin může naopak podpořit nárůst produkce dřeva, a to především větší efektivitou fotosyntézy ve vazbě na vodní režim (vyšší efektivita využití vody). Klíčovým rizikem pro lesy ve středoevropské oblasti se stává sucho, tj. období s dlouhodobě nízkým množstvím srážek nebo delším obdobím zcela beze srážek. Sucho tedy nastává také v podmínkách obvyklých (průměrných) srážkových úhrnů, a to vlivem nerovnoměrného rozdělení (nedostatek v jarním a časně-letním období) a související nedostatečné obnovy zásob podzemních vod. Dalším faktorem vodního deficitu v půdě jsou vyšší nároky porostů na vodu (transpirace) a obecně vyšší výpar vlivem rostoucí teploty a také prodlužující se vegetační sezóny.

Dopady změn klimatu obecně zahrnují změnu v distribuci druhů stromů – předpokládá se posun výskytu jednotlivých druhů stromů severním směrem a do vyšších poloh, expanze listnatých opadavých stromů a ústup chladnomilných druhů a jehličnanů. Tyto rychlé změny jsou rizikovější pro úzce specializované druhy a na ně vázané ekosystémy. V podmínkách řízeného managementu lesů, jako v případě České

republiky, může být tato změna rychlejší v odpovědi na výrazné chřadnutí lesů v současnosti. Lesnictví bude muset aktivně podpořit změnu druhové skladby i s využitím pionýrských dřevin a uplatnit významněji druhy lépe tolerující sucho.

Souvisejícím dopadem změn klimatu a současného chřadnutí porostů je zvýšení požárního rizika. Lesní požáry jsou spojovány především s aridními oblastmi jižní Evropy a Středomoří, ale výrazné sucho a akumulované množství suché a lehce vznětlivé biomasy a odumřelé dřevní hmoty v lesích představuje zvýšené riziko také pro lesní oblasti střední i severní Evropy. Dokládají to nebývale rozsáhlé požáry ve Švédsku v roce 2018, kdy bylo zasaženo 25 tisíc hektarů lesa a 3 mil. m^3 dříví (SOU 2019). V České republice tedy v nejbližších letech velmi pravděpodobně poroste požární riziko v oblastech, kde se z technických nebo kapacitních důvodů nepodaří obnovit porost (rozsáhlé holiny) a kde zůstává část odumřelého dříví nezpracována. Je doloženo, že na holinách bez funkčního vegetačního krytu dochází k výraznému nárůstu povrchových teplot, které riziko požáru zvyšují.

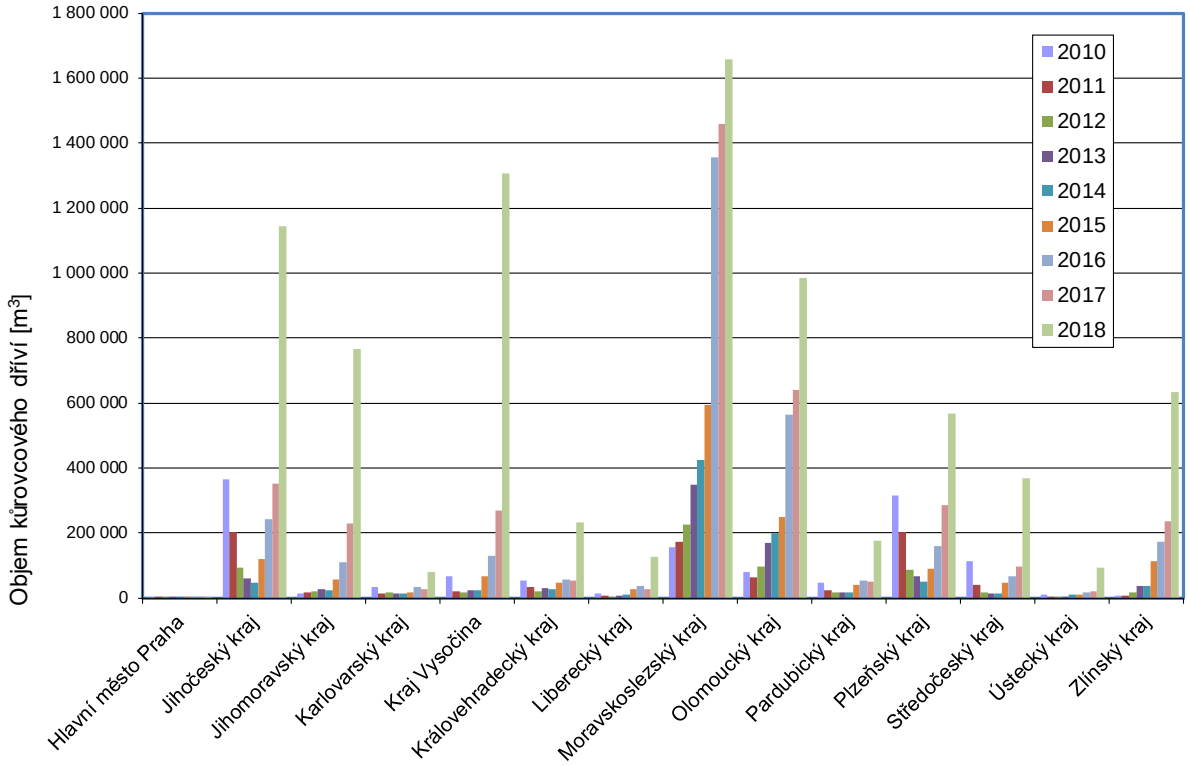
Změny ve dřevinném složení, věkové struktuře a zdravotním stavu lesních porostů mají dopad na uhlíkovou bilanci a na ní založenou bilanci emisí skleníkových plynů v lesnickém sektoru. K emisní bilanci České republiky lesnictví přispívalo svou kapacitou vázat uhlík a těžbami nepřevyšující přírůst, a také relativně vysokou mírou využití dřeva na dřevní produkty. To souhrnně v letech 1990–2016 představovalo snížení národních emisí v průměru o zhruba 4,5 %. V roce 2017 se již projevil efekt současného kalamitního stavu chřadnoucích porostů a mitigační příspěvek lesnictví se výrazně snížil. Očekává se, že v nejbližších letech (již od roku 2018) bude lesnictví celkově generovat emise podobně jako jiné sektory, a to díky vynucené zvýšené těžbě (IFER, nepublikované údaje). Ve středním horizontu nejbližších desetiletí bude vazba uhlíku ovlivněna úbytkem produkční kapacity smrkových porostů. To bude postupně kompenzováno dorůstajícími obnovenými a plně funkčními porosty lépe adaptovanými na změnu klimatu a celkově šetrnějším obhospodařováním lesů (nižší těžba) v budoucích desetiletích s výrazně větším důrazem na mimoprodukční funkce lesa.

Synergické působení měnícího se klimatu, extrémních klimatických výkyvů, dlouhodobé acidifikace půdy a antropogenních vlivů, historické imisní zátěže a hospodářských zásahů a řízeného hospodaření v lesích, vede ke snižování vitality lesních porostů. Nejvýznamnějším rizikem pro lesní hospodářství v současnosti je rostoucí vliv sucha, a to z důvodu rostoucích teplot (evapotranspiračních požadavků) a snížení množství dešťových srážek v jarním a v letním období. S tímto rizikem úzce souvisí současné působení přemnožených hmyzích škůdců. To o jak masivní problém jde a půjde, dokládají údaje v kapitole zemědělství.

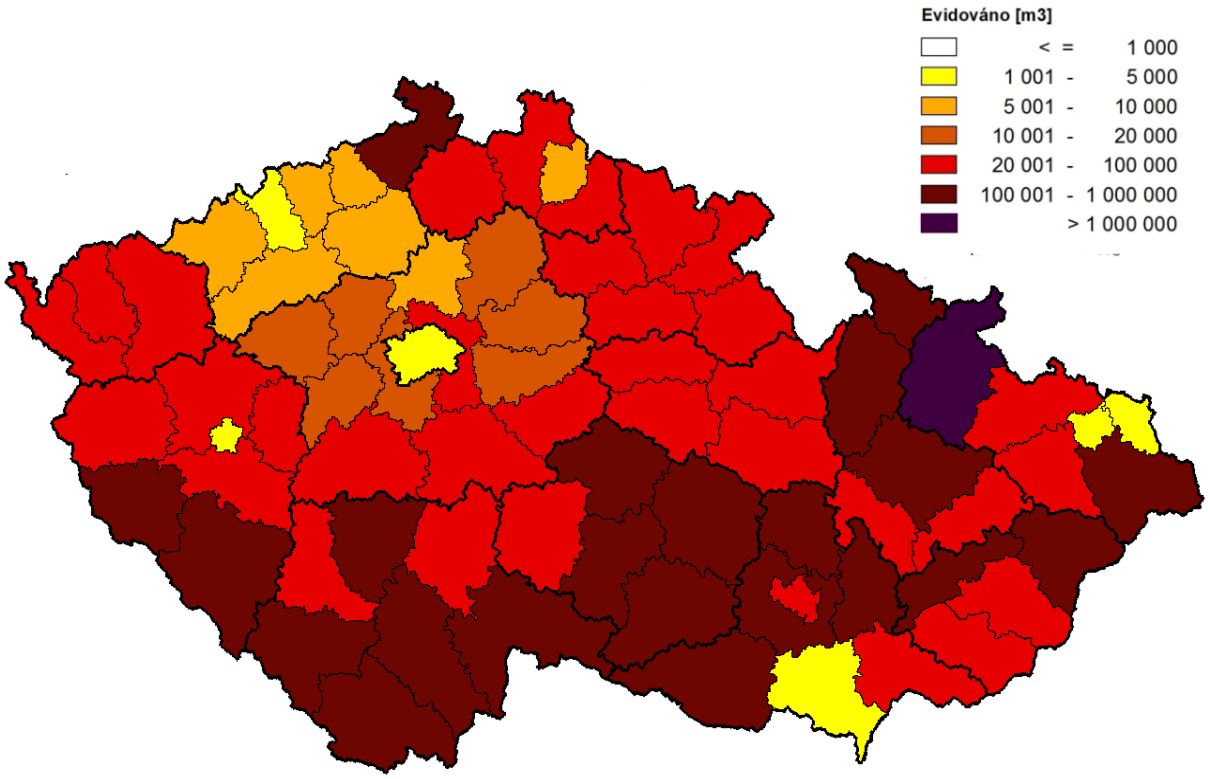
4.1.2.1 Problematika smrkových porostů a současná kůrovcová kalamita

V současné době je nejcitlivější dřevinou k environmentálnímu stresu v regionu střední Evropy smrk ztepilý. Produkční smrkové porosty v nižších vegetačních stupních se nacházejí na našem území na hranici své ekologické valence a další stresová zátěž je vychyluje z rovnovážného stavu a působí jako mortalitní faktor. V ČR nyní dochází k historicky nebývalému rozsahu chřadnutí smrkových porostů. Této závažné problematice se věnuje následující text.

Od roku 2003 dochází v Česku k postupnému nárůstu objemu kůrovci napadené smrkové hmoty, v posledních 5 letech se pak ve smrkových lesích rozvinula kůrovcová kalamita bezprecedentního rozsahu. Za období let 2015–2018 bylo prostřednictvím ročního hlášení o výskytu škodlivých činitelů evidováno Lesní ochrannou službou (LOS) z rozlohy cca 70 % českých lesů téměř 17 mil. m^3 kůrovcového dříví. Diferencovaný přepočet na celé území lesů státu pak reprezentuje objem kolem 22 mil. m^3 kůrovcového dříví. Pokud k tomuto množství připočteme napadenou smrkovou hmotu, která nebyla v letech 2017 a 2018 zpracována, a tedy ani evidována (nalézá se v lesních porostech v podobě kůrovcových souší), dospějeme k objemu cca 25–30 mil. m^3, které byly v uvedených 5 letech smrkovými kůrovci napadeny. Více jak polovinu tohoto množství přitom kůrovci napadli v posledním (2018) roce. Pouze v roce 2018 odumřelo v důsledku ataku kůrovců na smrku ve smrkových porostech zhruba 4 % porostních zásob, představující „mortalitu“ 5 % starších smrkových porostů. V roce 2018 se situace dramaticky vyhrotila nejenom ve smyslu prudkého nárůstu objemu napadené hmoty, ale došlo také k dalšímu šíření kalamity, která již kromě většiny území Moravy a Slezska zachvátila i značnou část území Čech (jihozápad a středozápad), jak dokládá obr. 4.1.3. V roce 2019 lze předpokládat, že kalamita nezvládnutelného rozsahu vznikne či naroste také v mnoha oblastech středních, východních a severních Čech, které byly v minulém roce silně postiženy suchem. Reálně tak bude zasažena již více jak polovina území státu, především smrkové porosty v pahorkatinách a podhůřích. Situace se však zhoršuje také v některých horských oblastech, především na východě státu, kde již kalamita trvá delší dobu.



Obr. 4.1.3 Objem kůrovcového dříví po krajích v letech 2010–2018



Obr. 4.1.4 Objem evidovaného kůrovcového dříví po krajích v roce 2018

Bezprecedentní rozsah napadení smrkových lesů kůrovci souvisí se zřetězením nepříznivých vlivů přírodního i socioekonomického charakteru. Jde především o důsledek fyziologického oslabení stanovištně nepůvodních, a tedy zranitelných dřevin v porostech s nevhodnou věkovou prostorovou strukturou, a to panujícím extrémním počasím (zejména v letech 2015 a 2018). To vede ke ztrátě jejich

obranyschopnosti. Horké a suché počasí navíc podporuje i enormní množení kůrovců, kteří tak dokáží během vegetační sezóny vytvořit v nižších polohách tři generace (a v rámci nich se rovněž intenzivněji tzv. přerojovat). Výsledkem je výrazný nárůst populace brouků a rychlé šíření kalamity během jedné vegetační sezóny. Lesní provoz, trpící katastrofálním nedostatkem kvalifikovaných pracovních sil (především v dělnických profesích) a nedostatečně vybavený potřebnými technickými prostředky, nebyl a není schopen na vzniklou situaci odpovídajícím způsobem reagovat. Celkový stav dále zhoršují velmi nízké výkupní ceny kůrovcového dříví, které jsou již často na samé hranici výrobních nákladů a vlastníky lesů (zejména ty menší), nedisponujícími potřebnými rezervními finančními prostředky, spíše demotivují. Bohužel je nutno konstatovat, že lesnická politika českého státu dlouhodobě podceňovala očekávaná i obecně známá rizika možného vzniku kůrovcové kalamity:

- klimatology prognózované oteplování, res. avizovaný nástup změny klimatu,
- trvající neúměrně vysoké zastoupení labilních smrkových porostů v nižších vegetačních stupních, nejvíce v celé střední Evropě,
- kritický a stále se prohlubující nedostatek pracovních sil v lesním hospodářství,
- silně zranitelný a částečně na exportu závislý trh s dřevní hmotou,
- organizační potíže vyplývající z neodpovídající aplikace zákona o zadávání veřejných zakázek,
- málo funkční systém institutu odborného lesního hospodáře,
- problematická legislativní opatření v ochraně lesa
- a bylo by možno jmenovat i další méně významné rizikové faktory.

České lesnictví je z výše uvedených příčin rozsahem kůrovcové kalamity zcela zaskočené a nepřipravené čelit této existenční hrozbě. Situace se rychle zhoršuje a oblasti, kde se kalamita již vymkla z kontroly, prudce narůstají.

Z pohledu ochrany lesa (mimo chráněná území a rezervace) je zjevné, že jedinou možnost účinného tlumení kalamity představuje za stávající situace celoplošné vyhledávání, včasná těžba a odpovídající asanace napadených stromů, především v jarním období (v minulém roce tomu tak bohužel nebylo, proto kalamita prudce narostla – sám lesní provoz napříč vlastnickými kategoriemi hlásil, že mechanicky a chemicky asanoval pouze necelých 20 % kůrovcového dříví). Provedené satelitní vyhodnocení kalamity („kůrovcová mapa 2018“), novela lesního zákona (Vyhl. 298/2018 Sb. o zpracování oblastních plánů rozvoje lesů a o vymezení hospodářských souborů) a navazující rajonizace jsou sice kroky potřebným směrem, avšak samy o sobě nestačí. Změnit je potřebné především vlastní praxi provozní ochrany lesa proti podkornímu hmyzu. U státních lesů je v kalamitních oblastech nutné personální posílení a vznik přímo řízených organizačních jednotek s vlastními těžebními a asanačními kapacitami, zabývajících se pouze nahodilými těžbami. Smluvní vztahy s dodavatelskými subjekty je nutno operativně upravit tak, aby kůrovcové těžby prováděné těmito subjekty byly z pohledu ochrany lesa dostatečně účinné. Nestátní vlastníky lesa v nekalamitních i kalamitních oblastech podpořit především široce pojatým státním programem organizovaného „intervenčního“ odkupu kalamitního dříví za odpovídající ceny a na výkupních místech (manipulačních skladech) zabezpečit jeho účinnou asanaci. Roční náklady na tuto činnost lze odhadnou ve výši 5–10 mld. Kč, s potřebou jejich investování nejméně v horizontu nadcházejících tří let. Vzhledem ke skutečnosti, že státní rozpočet ČR byl v posledních 6 letech ze strany obou podniků státních lesů posílen finančními převody v úhrnné výši téměř 35 mld. Kč, půjde pouze o extrémně potřebný návrat části těchto prostředků „zpět do lesa“.

Doposud přijatá legislativní, organizační a finanční opatření ze strany českého státu nemohou zabezpečit žádoucí změnu situace (částka uvolněná na přímý „boj“ proti kůrovcům ve výši 1,15 mld. Kč zdaleka neodpovídá potřebám). Lze se proto důvodně obávat, že kůrovcová kalamita se bude ve smrkových a regionálně i borových porostech dále šířit. Vzniklé poškození lesů, kterému v krátké době již ani teoreticky nebude možno zabránit (zlom případně může nastat pouze příznivějším průběhem počasí), dozná takového rozsahu, že jeho prostřednictví Česko doslova vstoupí do evropských dějin lesních kalamit. Ekonomické, ekologické a sociální ztráty a rizika s tím spojená nelze dost dobře odhadnout, stejně jako nelze věrohodně dovodit dopady pravděpodobného dominového efektu, který to vyvolá. Již v současné době je proto nezbytně nutné zaměřit se vedle likvidace škod na systematickou obnovu lesních porostů takovým způsobem, který zajistí plnění i jejich dalších (nejen produkčních) funkcí a vyšší odolnost vůči dopadům změny klimatu. Jedná se zejména o preferenci listnatých, stanovištně původních dřevin či zvyšování podílu jedle v odpovídajících stanovištních podmínkách.

Výše uvedené neznamená, že má lesnictví na smrk rezignovat. Rozloha dominantně smrkového hospodářství se sníží, a bude teritoriálně koncentrováno do vyšších poloh (6 LVS[3] a výše). V nižších

[3] Lesní vegetační stupeň smrkobukový

polohách bude jeho uplatnění zachováno na lokalitách, které smrku typologicky a lokálně vyhovují, např. podmáčená stanoviště a zastíněné lokality. Zde bude smrk pěstován jako individuální nebo skupinová příměs v druhově pestřejších porostech. Ve všech případech napříč výškovým gradientem bude výrazně silněji využito přirozené zmlazení na úkor umělé obnovy k zlepšení lokálně specifického genofondu dřeviny. Problematika včasné a vhodné obnovy kalamitních holin a chřadnoucích porostů se stává základní prioritou českého lesnictví. Vzhledem k rozsahu porostní plochy vyžadující obnovu bude výrazně využit podíl náletových přípravných dřevin a vhodných postupů k rychlé obnově dřevinného krytu na půdě v adekvátní dřevinné skladbě. V delším horizontu musí české lesnictví zásadně zvýšit podíl přirozené obnovy, která je základem přirozené selekce, zkvalitňování genofondu a obecně přírodě-blízkého hospodaření v lesích. K tomu bude nutné razantně redukovat dnešní stavy spárkaté zvěře, které jsou hlavním limitem pro uplatnění přirozené obnovy.

4.1.2.2 Posun lesních vegetačních stupňů

Za nejvíce ohrožené byly označeny smrkové lesy v nižších a středních polohách, tj. lesy především ve 3.–5. lesním vegetačním stupni s nepůvodní dřevinnou skladbou a zhoršenou vodní bilancí. V rámci původní studie (Pretel, 2011) byly spočítány prostorové průměry základních klimatických charakteristik (průměrná denní teplota, denní úhrn srážek, průměrná denní rychlost větru, vlhkost vzduchu a sluneční záření) pro všechny lesní vegetační stupně (LVS) vyskytující se v jednotlivých přírodních lesních oblastech (PLO). Kromě nich byl zjišťován i výskyt tří klimatických extrémů – počet dní s denním úhrnem srážek menším než 1 mm, které se ve vegetačním období vyskytly v obdobích delších než 10 dnů (10 D) za sebou**,** počet dnů ve vegetačním období, kdy byla průměrná denní teplota vyšší než 30 °C a počet teplotních zvratů v předjaří (T zlom – tj. období, kdy se v zimních měsících vyskytla alespoň 5 dnů po sobě průměrná denní teplota vyšší než 5 °C a pak opět klesla pod bod mrazu). Výskyt prvních dvou extrémů klesá s rostoucí nadmořskou výškou a tedy i s vyšším lesním vegetačním stupněm. Klimatické scénáře předpokládají postupný nárůst výskytu těchto stresových faktorů do konce 21. století, a to především od cca poloviny století.

V souladu s předpokládanými scénáři změny klimatu se do konce 21. století předpokládá posun stanovištních podmínek o minimálně 2 lesní vegetační stupně. Změněné stanovištní podmínky budou působit jako predispoziční stresor a predisponovat jednotlivé dřeviny i celé porosty lesních dřevin k aktivizaci dalších, zvláště pak biotických stresorů. Zastoupení smrku ztepilého v České republice se špatným zdravotním stavem se odhaduje na 43–48 %. V rámci uvedené studie byla metodika pro odhad pravděpodobného vývoje lesních porostů s převahou smrku ztepilého vypracována (mimo jiné) pro úroveň přírodních lesních oblastí (PLO). Stresové klimatické faktory diferencují jednak tzv. “teplé“ PLO, resp. jejich LVS, nesplňující kritéria ekologické valence smrku v recentně historickém období B (1990–2009), a jednak „studené“ PLO, které podle scénářů vyhovují ekologické valenci smrku. Jsou to především horské PLO od LVS 6 výše (PLO 13, 21, 22, 27 a 40). Ve všech ostatních PLO se již vyskytují LVS, které alespoň v jednom z období překročují v předpokládaných hodnotách klimatických parametrů ekologickou valenci smrku. Obecně se dá konstatovat, že období D a E v PLO pahorkatinného až vrchovinného typu nebudou vyhovovat kritériím odpovídajícím ekologické valenci smrku ztepilého (viz tab. 4.1.3).

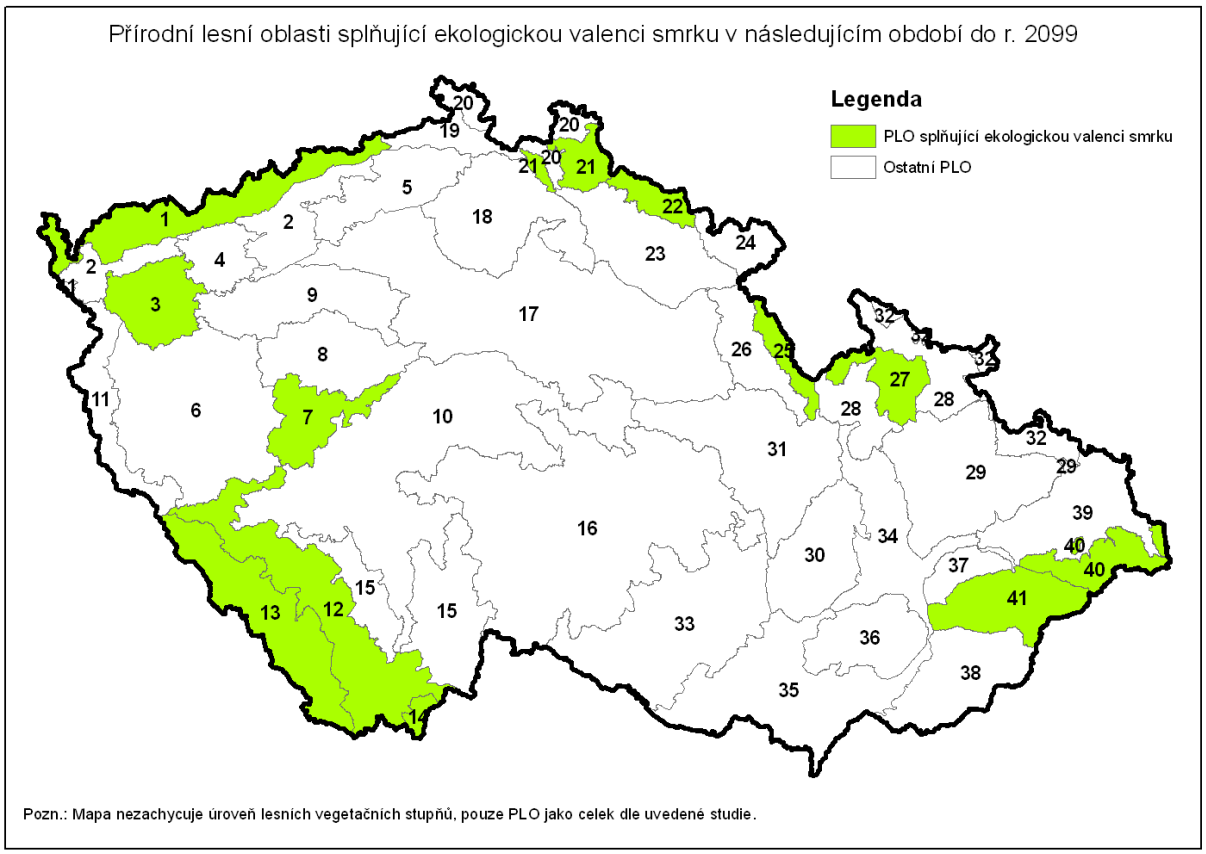
Tab. 4.1.3 PLO nesplňující ekologickou valenci pro smrk ve scénářových obdobích (Zdroj: Pretel 2011)

Období	PLO (a LVS) nesplňující ekologickou valenci
Období B (1990–2009)	PLO 1 (pro LVS 4), 4, 8, 9, 10, 17, 30, 32, 33, 34, 35, 36, 37;
Období C (2010–2039)	PLO 1 (pro LVS 4), 4, 8, 9, 10, 17, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37;
Období D (2040–2069)	PLO 1 (mimo LVS 8), 2, 3, 4, 5, 6, 7 (mimo LVS 5–6), 8, 9, 10, 11 (mimo LVS 7), 12 (pro LVS 4), 14 (pro LVS 5), 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21 (pro LVS 4), 23 (pro LVS 4–5), 24, 25 (pro LVS 5–6), 26, 27 (pro LVS 4), 28 (pro LVS 4–5), 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38 (pro LVS 4–5), 31, 39 (pro LVS 4), 40 (pro LVS 4), 41 (pro LVS 4–5)
Období E (2070–2099)	PLO 1 (mimo LVS 8), 2, 3, 4, 5, 6, 7 (mimo LVS 5–6), 8, 9, 10, PLO 11 (do LVS 7), 12 (do LVS 5), 13 (pro LVS 5), 14 (do LVS 6), 15, 16, 18, 19, 20, 21 (do LVS 5), 22 (pro LVS 5), 23 (do LVS 6), 24, 25 (pro LVS 5–6), 26, 27 (do LVS 5–6), 28 (LVS 4–6), 29, 31, 40 (do LVS 5), 41 (pro LVS 4–5)

Ekologickou valenci pro smrk splňují v obdobích C až E následující LVS v PLO. Jedná se především o horské PLO od LVS 6 výše (viz tab. 4.1.3):

– PLO 1 (pro LVS 8), 3 (pro LVS 7), 7 (pro LVS 5–6), 12 (pro LVS 6), 13 (pro LVS 6–8), 14 (pro LVS 7), 21 (pro PLO 6–8), 22 (pro LVS 6–8), 25 (pro LVS 7), 27 (pro LVS 7–8), 40 (pro LVS 6–7), 41 (pro LVS 6).

Provedené analýzy ukazují na výrazné snížení rozlohy s vhodnými podmínkami pro růst smrku ztepilého v období C (2010–2039) na 67,2 % současné plochy, v období D (2040–2069) na téměř polovinu (53,8 %) a v extrémním období E (2070–2099) již jen na třetinu (34,1 %). To se projeví ve zhoršeném zdravotním stavu porostů s převahou smrku ztepilého v těchto oblastech.



Obr. 4.1.5 PLO splňující ekologickou valenci smrku v obdobích C–E (bez zahrnutí podrobnosti LVS) (Zdroj: Pretel 2011)
Pozn.: Období: C – 2010–2039, D – 2040–2069, E – 2070–2099

V rámci studie je na základě průběhu stresových faktorů od roku 1961 do roku 2099 předpokládáno, že zejména v období D a E se výrazně posune vegetační stupňovitosti do nižších poloh, resp. k paraklimaxu či pseudozonální vegetaci, přičemž průběh rychlosti posunu LVS na úroveň pseudozonální vegetace má progresivní charakter. V současných podmínkách jsou lesní porosty v nižším vegetačním stupni vystaveny vyšším nárokům na evapotranspiraci v porovnání se srážkami. Dle klimatických scénářů se dá předpokládat, že se tento trend bude prohlubovat. Tímto se vytváří méně příznivé podmínky pro vysoký les, což může vést až k expanzi xerotermní křovinné vegetace, jedná se zejména o oblast jižní Moravy. Tato skutečnost vede k posunu vhodných podmínek pro růst jednotlivých druhů stromů. V nejvyšších nadmořských výškách se mění podmínky pro růst stromů, čímž může dojít k potlačení porostů kosodřeviny a alpinské vegetace, toto se týká Krkonoš, Šumavy, Kralického Sněžníku a Hrubého Jeseníku.

4.1.3 Stanovení indikátorů

4.1.3.1 Indikátory klimatické

Z **klimatických** indikátorů, jež jsou zpracovány v samostatné kapitole (4.11), mají pro oblast lesnictví významnější vazbu tyto:

- Průměrná roční teplota
- Průměrná letní teplota
- Délka období sucha
- Jarní srážkové úhrny
- Letní srážkové úhrny
- Počet lesních požárů

4.1.3.2 Indikátory dopadové

Pro oblast lesnictví ČR, které dominantně představuje řízený management lesních zdrojů, nelze v současných podmínkách probíhajících velkoplošných kalamitních změn v lesích smysluplně oddělit působení klimatických podmínek od faktorů lesnického managementu. K těm patří organizační rámce hospodaření (technická a personální kapacita, způsob zadávání zakázek, technologické postupy zpracování kůrovcového dříví, reorganizace školkařství, legislativní změny aj.) a konkrétní časoprostorová dynamika chřadnutí lesa (stav a postup kůrovcové kalamity, časový plán sanace odumřelých porostů, prakticky možné lesnické postupy při obnově stávajících holin aj.).

Pro současnou situaci v lesnictví ČR jsou zásadní faktory trvalé udržitelnosti lesa a lesnického hospodaření. Vzhledem k současné kalamitě se vznikem rozsáhlých holin jsou specificky významné indikátory úspěšnosti obnovy lesa na těchto lokalitách. Výše uvedené lze monitorovat pomocí následujících indikátorů (bez zahrnutí indikátorů organizačně-kapacitních):

- Poměr celkového běžného přírůstu a celkové těžby
- Poměr nahodilé a celkové těžby
- Plošný rozsah holin
- Průměrná rozloha holiny
- Dřevinná skladba porostů v gradientu lesních vegetačních stupňů
- Dřevinná skladba obnovovaných porostů v gradientu lesních vegetačních stupňů
- Objemový podíl stojících souší v porostech
- Množství ležícího odumřelého dříví
- Podíl porostů pěstovaných nepasečnými způsoby hospodaření
- Podíl přirozené a umělé obnovy lesa

Zásadní otázkou řešení současné kalamitní situace v lesích ČR je obnova lesních porostů na vznikajících velkoplošných holinách a obecně výrazně vyšší uplatnění přirozené obnovy v lesích. Pro úspěšnost obnovy je zásadní dostatek vhodného sadebního materiálu respektujícího nároky na změnu druhové skladby, využití vhodných postupů obnovy včetně využití pionýrských dřevin. Zcela zásadní bude omezení tlaku zvěře, jejíž stavy jsou dlouhodobě vysoko nad únosnou kapacitou lesních ekosystémů. Řešení této problematiky může výrazně přispět k rychlejší adaptaci lesa na klimatickou změnu.

4.1.4 Souhrn – What if analýza

Tab. 4.1.4 Lesní hospodářství, souhrnná what-if analýza

What if …? Co se stane, v důsledku …?	mechanismus působení	… za uvažovaného stavu/podmínek systému/oblasti	Předpokládané negativní dopady/rizika	Pravděpodobnost scénáře	Závažnost Dopadu	Zranitelnost systému	Subjektivní riziko
otázka				**(1–nejnižší, 5–nejvyšší)**			
Zvyšování průměrné teploty vzduchu	V důsledku nárůstu průměrné teploty vzduchu dojde ke změnám podmínek pro existenci rozdílných lesních ekosystémů (posun vegetačních stupňů a podmínek současných stanovišť)	v případě smrku ztepilého	Nevhodné podmínky pro pasečné pěstování smrku, především ve 3.-5. LVS a omezené podmínky v 6. LVS, lepší podmínky pro šíření škůdců smrku severním směrem a do vyšších poloh	5	5	5	125
		při zachování současného stavu mysliveckého hospodaření	Přemnožení zvěře – zhoršení současného již nevyhovujícího stavu – vyšší náročnost obnovy, neuplatnění přirozené obnovy, negativní ekonomické dopady	5	5	4	100
Zvýšená pravděpodobnost výskytu dlouhodobého sucha	Zvýšení teploty vzduchu, zejména v letním období (až o 4 °C), možný pokles srážek v létě a prodlužování bezsrážkových období bude mít vliv na snížení množství vody v krajině a vzniku dlouhodobého sucha.	Při současném kalamitním stavu porostů jehličnatých dřevin, ponechanými soušemi a holinami	Ohrožení lesních porostů, majetku a obyvatel požáry se souvisejícími negativními ekonomickými dopady.	3	3	3	27
		v případě smrku ztepilého	Chřadnutí smrkových porostů, vyšší citlivost k napadení škůdci – vyšší mortalita, omezení podmínek pro pěstování, ekonomické škody	5	5	5	125
		při zachování stávající skladby lesních porostů	Chřadnutí stávajících lesních porostů, negativní ekonomické dopady	4	4	4	125
		současně s lepšími podmínkami pro šíření škůdců?	Vyšší zranitelnost stávajících lesních porostů a mortalita, negativní ekonomické dopady	5	5	5	125
Potenciální změny míry nebezpečí povodní a přívalových povodní	Četnější výskyt extrémních hydrometeorologických jevů, zejména konvekčních meteorologických jevů (bouře, větrné smršťě).	V podmínkách oslabených lesních porostů zejména v důsledku sucha.	Četnější a rozsáhlejší poškození lesních porostů.	3	3	4	36

4.1.5 Analýza navržených adaptačních opatření dle Adaptační strategie

Tab. 4.1.5 Lesní hospodářství, analýza navržených adaptačních opatření dle Adaptační strategie

Hlavní identifikovaná rizika	Porovnání rizik s opatřeními dle Adaptační strategie	Návrh na doplnění dalších opatření
Vytvoření podmínek nepřijatelných pro pěstování smrku ve 3.–5. LVS a omezení pěstování smrku v 6. LVS. Chřadnutí smrkových porostů vlivem působení souvisejících biotických a abiotických faktorů.	Adaptační strategie na dané riziko reaguje dostatečně.	**Postupná redukce stanovištně nevhodných dřevin** (především smrk) v nižších polohách/nevyhovujících PLO (zejména 3. a 4. LVS) a postupný převod těchto porostů na porosty stanovištně vhodných dřevin. **Postupný nárůst nepasečných forem hospodaření** za účelem pěstování bohatě strukturovaných lesů s vyšším uplatněním přirozené obnovy a posílení stability lesa.
Chřadnutí lesních porostů vlivem posunu lesních vegetačních stupňů.	Reaguje nepřímo prostřednictvím ostatních opatření	Cílené **pěstování druhů vhodných pro budoucí podmínky** uváděné v klimatických scénářích. Zavádění smíšených porostů s více druhy dřevin. Zpracovat obecný postup revize typologického systému ve vazbě na změnu klimatu. **Snížit obmýtí** u dřevin nejvíce ohrožených klimatickou změnou.
Šíření lesních škůdců a výskyt nových druhů škůdců.	Reaguje dostatečně	**Zajistit výzkum v oblasti metod obranných opatření vůči hmyzím škůdcům**. Revize organizačních rámců pro efektivní potlačení kalamit působených hmyzími škůdci.
Vysoký podíl holin	Zatím nezahrnuje	Nutno specifikovat variantní postupy obnovy na holinách a zajistit efektivní dotační politiku. To zahrnuje i opatření na snížení stavů zvěře umožňující efektivní obnovu.
Přemnožení zvěře a omezení přirozené obnovy lesních porostů	V praxi zatím není implementováno	Je nutné snížení stavů zvěře umožňující přirozenou obnovu celého spektra dřevin.
Zvýšený výskyt lesních požárů	Reaguje prostřednictvím ostatních opatření	X

Další návrhy na doplnění opatření

- Podpora výzkumu v oblasti lesního hospodářství a souvisejících oblastech: ochrana lesa (šíření chorob a škůdců lesních dřevin), ekologie lesa, lesnická genetika, pěstování lesa (pěstební přístupy obnovy a výchovy lesa při vytváření smíšených porostů), lesnická typologie a postupy obnovy holin včetně využití pionýrských dřevin.

4.2 ZEMĚDĚLSTVÍ

Zemědělství je sektorem, ve kterém se aktuálně změna klimatu projevuje asi nejvíce, je klíčové z pohledu potravinové bezpečnosti a kombinace změny klimatu a adaptujícího se zemědělství výrazně ovliviní úroveň ekosystémových služeb v naší krajině. Současně je zemědělství sektorem s potenciálem (minimálně dle literatury) zmírňovat dopady změny klimatu na jiné sektory a sekvestrovat oxid uhličitý a omezovat emise dalších skleníkových plynů, zejména metanu a oxidů dusíku.

Dopady měnícího se klimatu v sektoru zemědělství jsou spojena především se zvyšující se teplotou, což je současně jeden z hlavních faktorů ovlivňující změnu vodní bilance, a také nárůstem četnosti agrometeorologických extrémů. Především nížiny resp. regiony dříve patřící na samý vrchol produktivity (tj. původní rozsahy výrobních oblastí řepařské a kukuřičné) budou stále častěji ohrožené epizodami zemědělského sucha s výraznými dopady na formování výnosotvorných prvků jednotlivých plodin a následně na velikost a kvalitu výnosů. Jejich produkční potenciál se bude trvale snižovat oproti výrobní oblasti obilnářské a pícninářské. Vyšší teploty způsobí dřívější začátek vegetační sezóny, což zvýší dopady radiačních a advekčních mrazů nejen v oblasti ovocnářství a vinohradnictví. V případě, že budou teplejší zimy, nedojde k akumulaci vody ve sněhu, ale k jejímu odtoku, v teplejších zimách se více vody vypaří a následkem toho může být neúplné jarní nasycení půdního profilu, což povede k předčasnému vyčerpání vody vegetací a znásobení sucha zapříčiněného vyšší teplotou v jarních měsících. Tento scénář jsme na Moravě zažili v roce 2012 a na většině území v letech 2015, 2017 a 2018. Dalším prekurzorem vyššího výskytu sucha bude i očekávaná změna ve variabilitě srážek, kdy ubývá především v jarním a letním období počet srážkových dnů, zatímco se zvyšuje intenzita jednotlivých srážek. Pěstování plodin nejen v nižších nadmořských výškách bude výrazně ohroženo především na přirozeně vysýchavých lehkých půdách, ale i na půdách utužených a erozně poškozených.

Riziko eroze jak větrné tak vodní poroste a v kombinaci se suchem se zvyšuje i jejich škodlivý potenciál, neboť nevyužité živiny z minerálních hnojiv budou snadno odnášeny z povrchu půdy a hrozí vyšší riziko znečištění vodotečí, ale i ovzduší.

Měnit se budou i podmínky v jednotlivých výrobních oblastech, kdy vyšší primární zemědělská produkce se bude posunovat do vyšších nadmořských výšek, neboť v nejnižších polohách bude přibývat suchých půdně vlhkostních (hydrických) režimů. Poklesne produkční potenciál kukuřičné i řepařské výrobní oblasti a vzroste v oblastech obilnářské a bramborářské, kde kromě sněhové pokrývky zabraňující vyzimování ozimů bude i relativní dostatek srážek v jarním období.

Kromě porušení vodní bilance je velkým rizikem polní výroby výskyt teplomilných chorob a škůdců ať již z pohledu její větší klimatické niky (zabírají vyšší nadmořské šířky) tak důsledek dostatku potravy a vyšších teplot umožňující jejich rozmnožování, počtu generací jako odraz rychleji dosažené teplotní sumy a výskytu invazivních druhů jako změny místních klimatických podmínek a dosažení vhodných předpokladů pro rozmnožení.

V oblasti živočišné výroby se projevuje jako největší zatížení zvyšující se počet několika za sebou jdoucích tropických dnů, což způsobuje teplotní stres projevující se např. u skotu nižší dojivostí, hmotnostními přírůsty i schopností reprodukce. Tyto klimatické podmínky jsou ale mimořádně nepříznivé i pro akvakultury a tradiční způsoby chovu ryb tak nepochybně budou výrazně ovlivněny.

4.2.1 Úvod a kontext

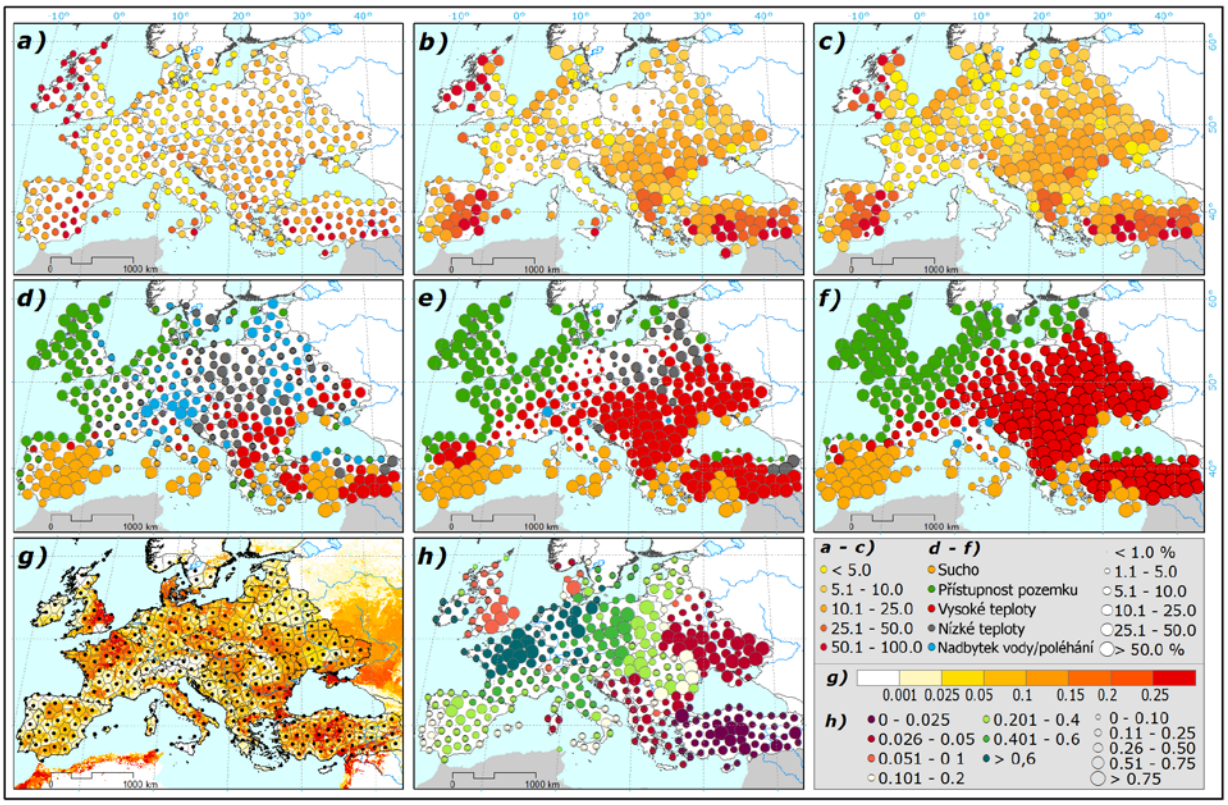
Evropa patří v globálním měřítku mezi největší producenty potravin a dalších zemědělských komodit. Evropa dlouhodobě produkuje přibližně 1/5 světové produkce masa a 1/5 celkového objemu obilnin, z tohoto množství přibližně 80 % produkce pochází z členských zemí Evropské unie. Produktivita evropského zemědělství (zvláště pak západní části dnešní EU) je vysoká a průměrné výnosy v zemích EU přesahují o cca 60 % celosvětový průměr. Hydrologické poměry Evropy jsou velmi rozmanité a výrazně ovlivňují evropské zemědělství, přičemž existují značné rozdíly ve využívání vodních zdrojů v zemědělství jak mezi regiony, tak mezi jednotlivými státy EU. Přibližně 30 % veškeré sladké vody je v Evropě využíváno v zemědělství, zejména pro závlahy (Flörke a Alcamo 2004; Trnka et al. 2015). Zatímco na severu EU činí spotřeba závlahové vody pouhá 4 % celkové spotřeby, v jižní Evropě odpovídá zemědělství až za 44 %. Očekává se, že toto množství v jižní Evropě vzroste na více než 53 % v nejbližších 20 letech (Flörke a Alcamo 2004). Podle názoru některých odborníků se zemědělské systémy v rámci EU, zejména v Evropě západní a střední, vyznačují postupným snižováním své citlivosti k sezónním výkyvům teplot a srážek (např. Chloupek *et al.* 2004). Autoři této studie tvrdí, že citlivost v posledních dekádách postupně klesá díky

novým možnostem zemědělců ovlivňovat produkční proces pěstebními opatřeními, využitím moderní techniky, volbou odrůd i optimalizací výživy rostlin (např. Olesen a Bindi (2002). Přesto sezónní a mezisezónní variabilita meteorologických prvků zůstává a bude hlavním faktorem ovlivňujícím výnos (např. Trnka et al. 2014a), což např. dokazuje výrazné kolísání výnosů hlavních plodin na území ČR v posledních letech. Význam ročníkové variability klimatických podmínek je obvykle nejvíce patrný v regionech, které jsou pro rostlinnou produkci marginální z pohledu nadmořské výšky, zeměpisné šířky, kvality půdy či vláhové bilance (např. Reilly a Schimmelpfennig 1999; Darwin a Kennedy 2000).

Zemědělství hraje nenahraditelnou roli v ekosystémových službách, týkajících se produkce dostatečného množství kvalitních potravin udržitelným způsobem. V první řadě se jedná o zajištění dostatku potravin pro více než 9 miliard obyvatel do roku 2050. To znamená zvýšení nutnost zdvojnásobení produkce od roku 2005 do roku 2050 (Tillman et al. 2017). Tento objem výroby však musí být vyprodukován s menší spotřebou vody a energie, než dnes. Aby se zemědělství stalo z hlediska dlouhodobého horizontu udržitelné, musí snížit spotřebu vody, produkci uhlíku a celkovou energetickou stopu, což se týká i českého zemědělství. Další dílčí úkol se týká probíhající klimatické změny vedoucí ke globálnímu oteplování a především k zvýšení frekvence a intenzity hydrometeorologických extrémů (Gourdji et al. 2013; Liu a Allan 2013; Trnka et al. 2014). Myers et al. (2014) ve své práci vyjadřuje v této souvislosti obavy o zhoršující se kvalitu potravin. Očekává v klíčových C3 plodinách nižší obsah bílkovin a zmiňuje rizika spojená s předpokládaným výskytem škůdců a chorob v některých zásadních produkčních oblastech, které podrobně studovali např. Svobodová et al. (2013). Tyto výzvy pro současné zemědělství přicházejí v době, kdy se potýkáme s vysokou proměnlivostí cen potravin a kdy se potvrzuje její celkový nárůst a stále užší propojení s cenou ropy. Tzv. Pařížská dohoda předpokládá zásadní snížení emisí skleníkových plynů a právě zemědělství je považováno za jeden ze sektorů, který by mohl být orientován na sekvestraci uhlíku.

To, jak velká mitigační opatření pro naplnění dohody jsou v agrosystémech nutná a na kolik je tento cíl reálný a realizovatelný, zůstává však nadále nejasné (např. Cafaro 2013). V současné době je procento nutného mitigačního opatření v zemědělství pouze mezi 21 až 40 % potřebného stavu (Wollenberg et al., 2016). Porter et al. (2014) docházejí k závěru, že tyto změny a cenová variabilita úzce souvisí se zvýšenou poptávkou po polních plodinách, a to v oblasti, kde je evidován nárůst využití plodin pro výrobu biopaliva. Cenová variabilita je pak odrazem energetické politiky a s tím související i kolísající ceny ropy (např. Mueller et al. 2011). Fluktuace a trendy v produkci potravin jsou přesto obecně jasné a hrají důležitou roli při nedávných cenových výkyvech, kdy klimatické extrémy v hlavních produkčních oblastech zapříčinily cenová maxima. Výskyt většiny z těchto extrémních událostí je podle klimatických trendů stále aktuálnější (Crammer et al. 2014; Trnka et al. 2014).

Existující výhled budoucí globální produktivity bohužel nepřináší příliš pozitivní perspektivy. Challinor et al. (2014) odhadují, že v případě oteplení o 2 °C v oblastech s mírným a tropickým podnebím se dají očekávat podstatné ztráty v produkci pšenice, rýže a kukuřice, pokud se tyto oblasti neadaptují na nové klimatické podmínky. Challinor et al. (2014) dále doporučují přizpůsobit adaptaci polních plodin tak, aby se mohly zvýšit výnosy v průměru o 7–15 %. Nicméně ani takové zvýšení produkce by nestačilo na nutný nárůst světové výroby potravin o cca 100 %, která teprve zajistí potraviny a zabezpečí obživu pro již zmíněný počet více než 9 miliard lidí na celém světě do roku 2050 (FAO 2009). Na druhou stranu neexistuje v současné době možnost zvýšení výnosů při současném udržení akceptované produkční kvality. Výše výnosů hlavních plodin se za poslední roky snižuje v mnoha částech světa (Ray et al. 2012, Grassini et al., 2013). Kapacita velké části ekosystémů, vyhrazená pro poskytování základních služeb společnosti, je již na hranici svých možností. Očekávané dodatečné stresy způsobené klimatickou změnou v nadcházejících letech budou nejspíše vyžadovat mimořádnou adaptaci (Mooney et al. 2009). Proto je nutné zamyslet se nad potenciálem těchto adaptací, neboť tyto úvahy musí být brány v úvahu při debatách o adaptační strategii v rámci ČR. V rámci ČR je nejrozšířenější plodinou pšenice ozimá, jejíž plocha se v roce 2018 blížila 750 tis. ha a pouze řepka a ječmen se jí co do výměry řádově blíží se svými 411 tis. resp. 324 tis. ha. Nedávná celoevropská studie zahrnující cca 1/3 světové produkce a exportu potvrdila, že nejvyšší výměry i výnosy jsou dosahovány v regionech s nejmenší frekvencí extrémních jevů. Budoucí klimatické podmínky do konce století (2081–2100) založené na emisním scénáři RCP8.5 by vedly na jihu a východě k prudkému nárůstu pravděpodobnosti zničujících epizod sucha (a často vysokých teplot), zatímco severozápadní pobřeží je ještě více ovlivněno nedostupností pozemků a téměř všechny jihovýchodní a střední Evropy jsou postiženy výrazně vyšším výskytem kritických teplot (obr. 4.2.1). Studie Trnky et al. (2015) ale také ukázala, že výraznou pomocí nebude ani posun fenologického kalendáře, ani přesun jádra produkce do jiných regionů Evropy. Ty současné (včetně ČR) budou totiž i navzdory zásadně zvýšené frekvenci agrometeorologických extrémů stále relativně nejvhodnější. Studie zahrnuje jen pšenici, ale lze očekávat její obecnější platnost minimálně pro obilniny a v rámci studie jsou představeny potenciální dopady na teplotní komfort hospodářských zvířat a opomíjet nelze ani dopad extrémních teplot a sucha a s tím spojené změny hydrologického režimu na jeden z tradičních sektorů tj. rybářství.



Obr. 4.2.1 Kombinovaná pravděpodobnost výskytu agrometeorologických extrémů (a) v současném klimatu, (b) scénáři GISS-RCP8.5 a (c) HadGEM-RCP8.5 s velikostí kruhu odpovídající relativní změně ve srovnání se základní linií, (d) dominantní typ nežádoucí události pro základní linii, (e) pro GISS-RCP8.5, (f) pro HadGEM-RCP8.5 s velikostí kruhu odpovídající frekvenci události, g) podíl plochy pšenice v Evropě s umístěním 379 meteorologických stanic použitých ve studii, h) podílu produkce regionu na produkci evropské a velikost kruhu odpovídá podílu plochy. Současné klima prezentuje období 1981–2010 a klimatické scénáře reprezentují období 2081–2100. (Zdroj: Trnka et al. 2015)

4.2.1.1 Agroklimatické podmínky ČR v evropské perspektivě

Nejvyšších výnosů obilnin i okopanin je dlouhodobě dosahováno v západní Evropě a nejnižších v Evropě jižní. V rámci geografických regionů ovšem existují výrazné rozdíly, kdy země bývalého socialistického bloku nadále vykazují nižší úroveň produkce než země původních 15 členských zemí EU.

Současně s těmito změnami si nelze nevšimnout zvýšení meziroční variability výnosů např. v Německu, Španělsku a Řecku, které je spojováno s výrazným vlivem klimatických podmínek – výskyt sucha, povodní, horkých vln, problémy s přezimováním ozimých plodin. Tyto závěry podporuje mj. i práce Lobella a Fielda (2007 a 2015), jenž poukazuje na kauzální souvislost mezi globálním nárůstem teplot a kolísáním výnosů v jednotlivých zemědělských oblastech světa.

Jak ukázal obr. 4.2.1, měnící se klima nejenže zvyšuje pravděpodobnost výskytu nežádoucích projevů počasí, nejen ze zemědělského pohledu výrazně pozměňuje intenzitu výskytu různých škůdců a chorob, ale co je velmi významné také mění možnosti osevních postupů. Někteří autoři (např. Brummer 1998, Mueller et al., 2012) spojují vyšší nejistotu výnosu s celkovým rozpadem zemědělských systémů, v nichž byly původní koloběhy živin a stanovené osevní postupy nahrazeny velmi volným střídáním plodin. Přestože druhý uvedený systém poskytl zemědělcům možnost rychlé reakce na poptávku trhu, vede zároveň k vyšší citlivosti vůči změně klimatu, čímž ale vzniká nebezpečný kruh s řadou negativních zpětných vazeb. Zemědělství České republiky se nachází právě v tomto bodě zvratu. Na jedné straně vlivem dlouhodobých důsledků rostlinné produkce, zaměřené na intenzivní zemědělství, vznikají vzorce hospodaření, které jsou ekonomicky stabilní (od krátkodobých ukazatelů roční produkce), avšak neudržitelné z hlediska klíčových ekosystémových služeb, jako je např. zadržování vody, úrodnost půdy, kvalita ovzduší, koloběh živin a organické hmoty, stejně tak jako zásahů proti škůdcům a chorobám. Celkový stav zemědělství se zhoršuje vlivem dočasně ekonomicky výhodného masivního růstu produkce bioplynu, což vede ke koloběhu organické hmoty chudé na živiny. V této souvislosti nelze zapomenout na dramatický pokles živočišné výroby. Pěstováním kukuřice jako hlavní bioenergetické plodiny, která je hojně

pěstována na úkor luštěnin dříve potřebných na píci, je spojené s nepřijatelnou mírou půdní eroze. Projevy měnícího se klimatu pak zemědělský sektor zasahují obzvláště tvrdě, neboť v posledních více než 40 letech dochází ke znehodnocování půd (v některých případech snížením obsahu organického uhlíku o 80 % a ztrátou několika decimetrů ornice), jehož výsledkem je nižší schopnost zadržovat srážkovou vodu a pokles celkové produktivity. Přesto se od zemědělství očekává, že jeho produkty budou dosahovat nejen dobré kvality a za přijatelnou cenu, ale že tak bude činěno s ohledem na jiné ekosystémové služby v krajině. Je však evidentní, že se současnými přístupy není možné zachovat ekosystémové služby (zejména zadržení vody a sekvestraci uhlíku) v podmínkách probíhající klimatické změny. Realizovat příslušná mitigační a adaptační opatření v našem zemědělství nelze jen v dílčích sférách, ale musí být prováděna komplexně s využitím uceleného holistického přístupu, jinak je odsouzena k trpkému nezdaru.

4.2.1.2 Základní údaje o stavu zemědělství v ČR

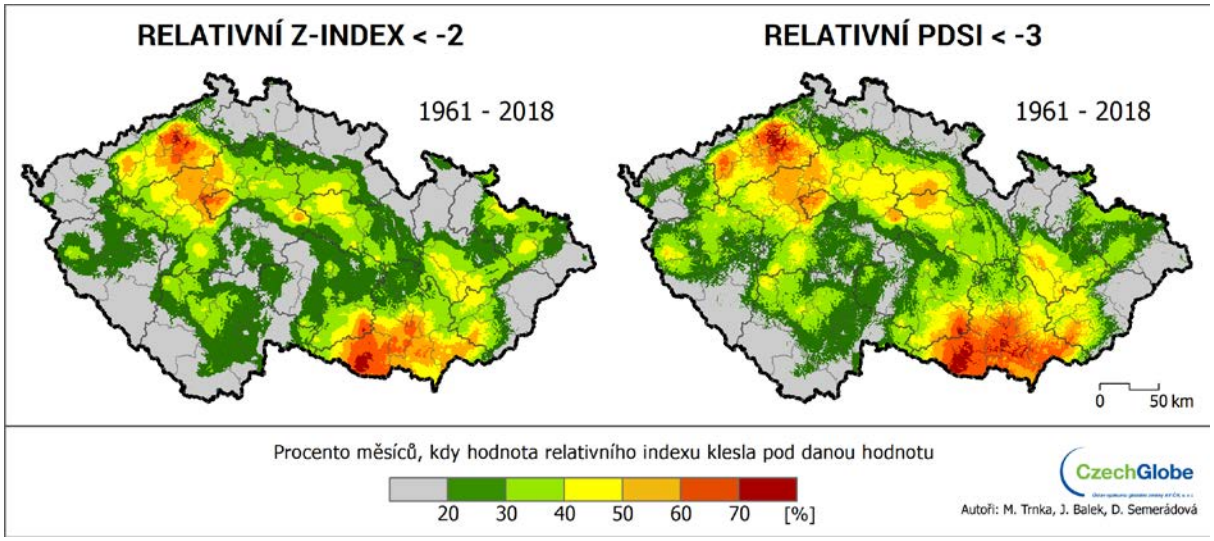
Zemědělský půdní fond (orná půda, chmelnice, vinice, zahrady, ovocné sady, trvalé travní porosty) představoval k 31. 12. 2017 podle evidence katastru nemovitostí celkem 4 205,3 tis. ha, tj. 53,3 % z rozlohy státu. Z toho je ohospodařovaná zemědělská půda 3,5 mil ha a 2,5 mil ha půdy orné. Koncem roku 2017 bylo ve strukturální zemědělské statistice ČSÚ evidováno cca 47 tis. subjektů a v nich bylo zaměstnáno 96,6 tis. pracovníků. Trvalé travní porosty v roce 2017 zaujímaly 978, 2 tis. ha. Tato změna vedla k vítané redukci emisí skleníkových plynů, nicméně epizody sucha v letech 2015, 2017 a 2018 ukázaly na relativně nízkou odolnost TTP vůči těmto epizodám. Z celkové sklizňové plochy obilovin v ČR v roce 2017, tj. 1 352,5 tis. ha, zaujímaly největší podíl pšenice (832,1 tis. ha, tj. 61,5 % celkové plochy) a ječmen (327,7 tis. ha, 24,2 %). Třetí nejvýznamnější obilovinou byla kukuřice na zrno s výměrou 83,8 tis. ha, podílející se 6,2 % na celkové ploše obilovin. Přitom kukuřice na siláž a na zeleno se pěstovala na cca 230 tis. ha. Cukrová řepa pro výrobu cukru se v ČR v roce 2017 pěstovala na ploše 66,1 tis. ha, brambory a 23,4 tis. ha. Z olejnin dominuje z 94 % řepka olejná a v roce 2016/17 se pěstovala v ČR na produkční ploše 394,2 tis. ha. Významnější jsou plochy chmele 4 945 ha, zeleniny 14 300 ha, vinic 17 210 ha, sady 17 111 ha. V živočišné výrobě byly na konci roku 2017 stavy skotu na 1 366,4 tis. ks, stavy prasat asi 1 507,6 tis. ks a stavy drůbeže na 25,4 mil. ks. Zemědělství se podílí i na výrobě energie v ČR z obnovitelných zdrojů energie (OZE) a to v roce 2017 biomasou (23 %) a bioplynem (27 %) (další významné zdroje 23 % fotovoltaika, 19 % vodní, 6 % větrné). Celkově v roce 2017 OZE představují 15 % celkové spotřeby energie v ČR, kde dominuje hnědé uhlí a jaderná energie.

Podíl zemědělství na HDP má od roku 1989 mírně klesající trend, ještě v roce 2000 činil 3 % HDP (včetně lesnictví a rybolovu), v současné době (2016) cca 2,5 % (včetně lesnictví a rybolovu). Samotné zemědělství dosahuje asi 0,9 % podílu HDP. Podíl zemědělství na celkové zaměstnanosti vykazuje rovněž setrvalý pokles na nynějších cca 2 % (přibližně 96 tis osob), když ještě v roce 1990 zaměstnávalo zemědělství 10 % pracujících.

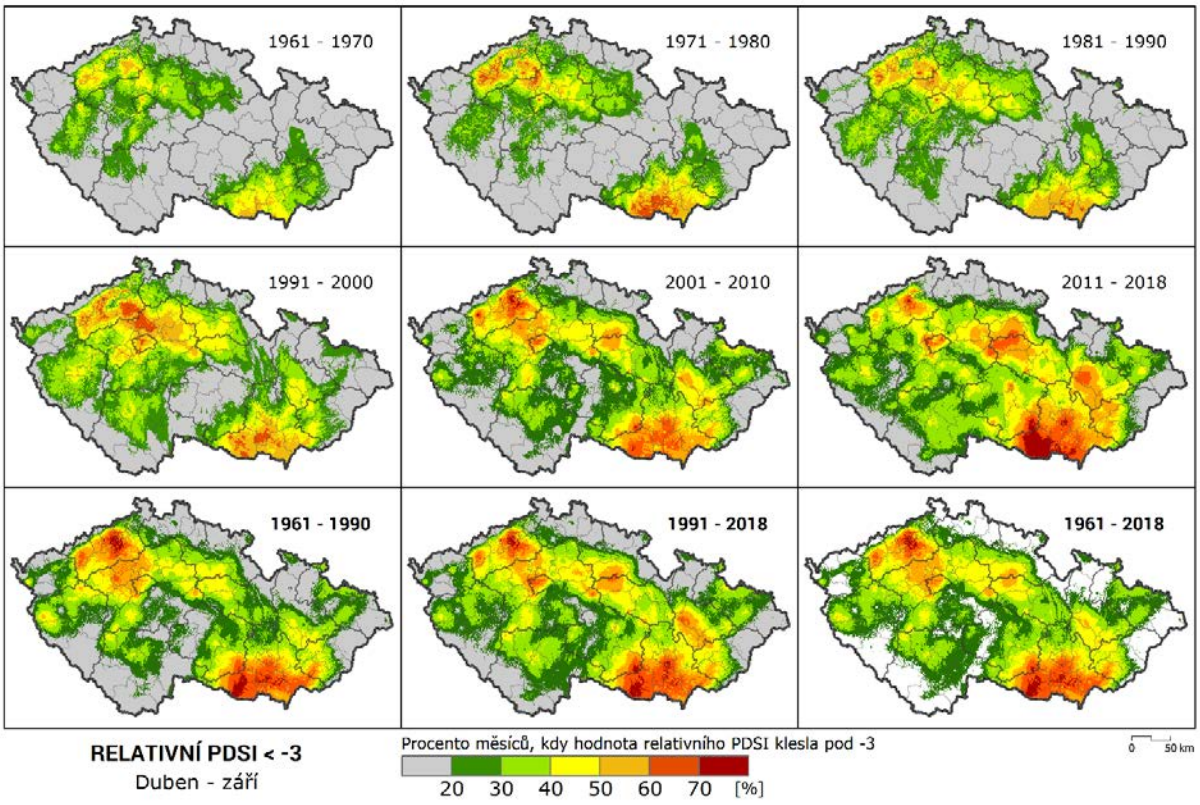
4.2.1.3 Pozorované změny klimatických a agroklimatických podmínek

Změny teplot a srážkových úhrnů bezprostředně ovlivňují podmínky pro zemědělské hospodaření, a pokud k takovým změnám vskutku dochází, měla by se projevit změna i v dalších klimatických a agroklimatických charakteristikách, a zejména by měla být patrná odezva v přirozených i řízených ekosystémech. Problematika změn teplotního a srážkového chodu je však složitější a liší se v jednotlivých ročních obdobích. Pokud se zaměříme na období od dubna do června, které je z pohledu tvorby výnosu naprosté většiny plodin klíčové, zjistíme, že teploty a srážky se mění dokonce výrazněji než v celoročním průměru (kap. 2). To se poměrně významně projevuje v dynamice půdní vlhkosti, což je pro zemědělskou produkci klíčový faktor. Jedním z nástrojů, které lze využít pro ilustraci změn půdní vlhkosti je využití tzv. indexů sucha. Pro tuto analýzu byla využita tzv. relativní modifikace indexů sucha (Dubrovský 2009), která normální podmínky a sucho posuzuje ve vztahu k obvyklým hodnotám na celém území ČR. Nejvíce jsou suchými epizodami postihovány okresy jižní Moravy (zejména Znojmo, Břeclav, Hodonín a Brno venkov) a dále pak středních a severozápadních Čech (zejména v okresy Mělník, Kladno, Nymburk, Litoměřice a Louny), obr. 4.2.2a. Suché epizody v této oblasti se vyznačují nejen vysokou četností krátkodobých epizod, ale v porovnání se zbytkem území i podstatně větší intenzitou, perzistencí a poměrně dlouhým trváním. Naopak v oblasti pohraničních pohoří a Českomoravské vrchoviny jsou suché epizody zaznamenávány jen sporadicky. Jejich výskyt však nelze zcela vyloučit ani v těchto polohách. Jedná se ovšem jen o epizody krátké a nepříliš intenzivní. Mezi nížinné oblasti s nižší pravděpodobností výskytu suchých epizod patří také Ostravsko a okolí Moravské brány a také jižní a západní Čechy. Naopak toto neplatí v případě produkčních oblastí Hané a východních Čech, které patří k nejproduktivnějším územím v ČR. Zatímco tato území nebyla považována za území ohrožovaná suchem, tato situace se v průběhu posledních 50 let poměrně zásadně změnila. To dokládá obr. 4.2.3, který zachycuje vývoj podílu měsíců spadajících do epizod sucha po

jednotlivých dekádách. Z obrázku je zřejmý výskyt krátkodobých intenzivních epizod sucha v období dubna–září v 60. a 70. letech na Hané a na východě Čech v maximálně 20–30 % vegetačních sezón. Jednalo se přitom zejména o jeho druhou polovinu, tedy období července až září, které je z pohledu produkce většiny plodin méně významné. V období 2011–2018 se již intenzivní epizody sucha postihovaly 30–50 % sezón s výrazným nárůstem patrným zejména v období května a června s tím že výrazně byla zasažena jižní Morava. Přes jisté zpomalení dynamiky nárůstu suchem ohrožených území v posledním sledovaném období (2001–2012) pokračoval trend rozšiřování suchem ohrožených oblastí.

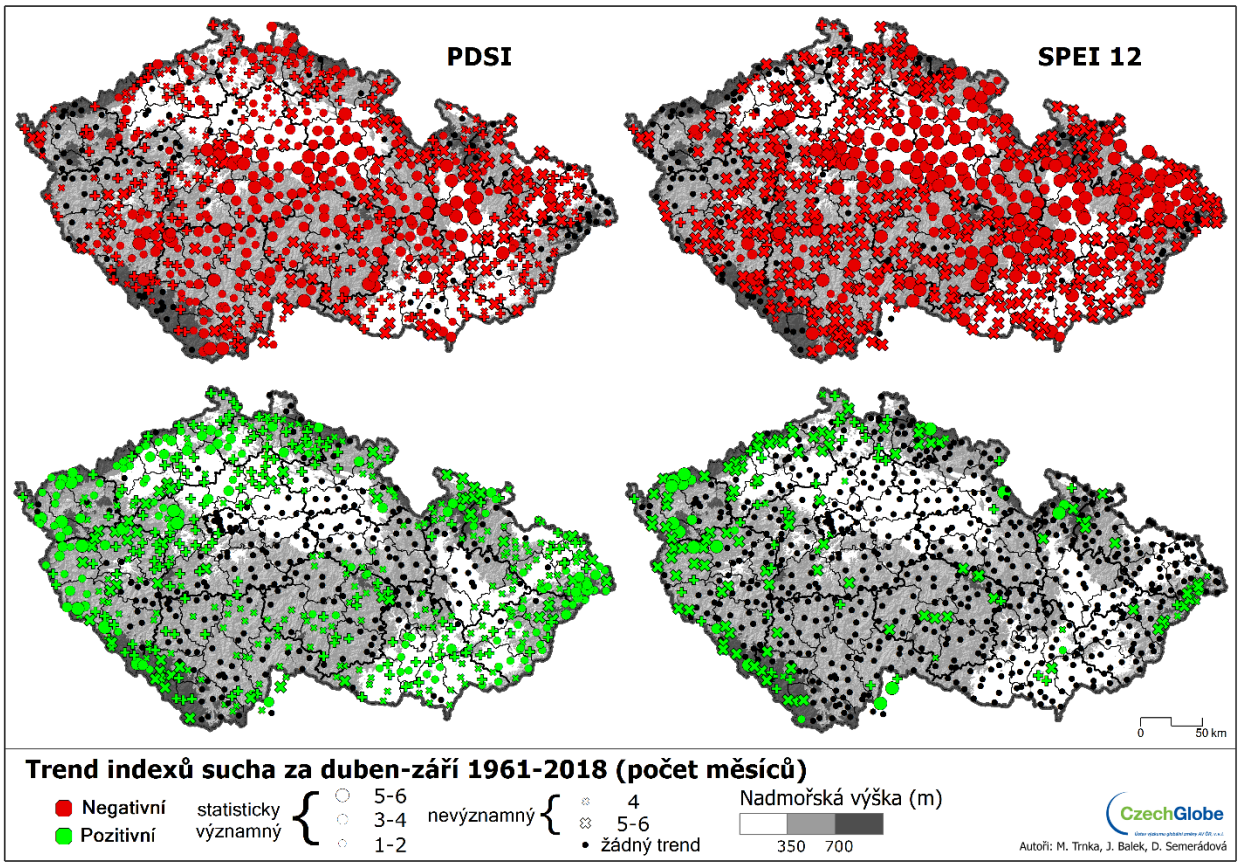


Obr. 4.2.2 Procentuální podíl měsíců s výskytem intenzivní (a horší) suché epizody (Zdroj: CzechGlobe 2019)
Pozn: Vlevo na základě relativního Palmerova Z-indexu a vpravo na základě Palmerova indexu intenzity sucha. Hodnoty reprezentují období let 1961–2018.



Obr. 4.2.31 Procentuální podíl měsíců s výskytem suché epizody (intenzinvní sucho a horší tj. rZ-index<–2) podle relativního Palmerova Z-indexu v období dubna–září mezi léty 1961–2018 (Zdroj: CzechGlobe 2019)

Analýza časových řad srážkových anomálií (s využití standardizovaného srážkového indexu – SPI) pro různá časová období neprokázala podstatné změny v období 1961–2018 a na naprosté většině stanic nebyl zjištěn statisticky významný trend, který by svědčil o tendenci k poklesu či nárůstu hodnot SPI, čímž byly potvrzeny analýzy období 1961–2000 (Trnka, 2009). Naproti tomu analýzy Z-indexu, PDSI a SPEI pro 1 a 12 měsíců, tedy indexů, které b erou do úvahy vedle srážkových úhrnů i potenciální evapotranspiraci na základě motody Penman-Monteithe, ukázaly statisticky významný trend na poměrně značném počtu stanic. Jak v případě krátkodobých epizod sucha (Z-index, SPEI-1 měsíc), tak zeména v případě epizod dlouhodobých (PDSI, SPEI 12 měsíců), je zřejmá tendence ke statisticky významnému poklesu hodnot indexů, zejména v posledních 25 letech sledovaného období. V období od dubna do září výrazně dominuje tendence k poklesu hodnot PDSI (obr. 4.2.4). Na 43 % hodnocených lokalit byl prokázán alespoň v jednom měsíci trend k nižším hodnotám PDSI (tedy většímu suchu), zatímco pouze 7 % byl zjištěn trend k vyšším hodnotám indexu nejméně v jednom měsíci. Celkem 61 % zaznamenalo v šesti měsících pokles hodnot PDSI. V případě SPEI-12 měsíců jsou výsledky méně výrazné nicméně velmi podobné jako v případě PDSI. Obr. 4.2.4 rovněž dokumentuje poměrně výraznou konzistenci a prostorovou homogenitu trendů s praktickou absencí pozitivních trendů na stanicích s nadmořskou výškou pod 350 m n.m.



Obr. 4.2.4 Počet měsíců ve vegetačním období (duben–září) s negativním/pozitivním trendem Palmerova indexu intenzity sucha (PDSI) a standardizovaného srážkově evapotranspiračního indexu (SPEI) pro 12-měsíců (Zdroj: Brázdil 2015)

Legenda: Pozitivní trend PDSI a SPEI značí trend k vyšší půdní vlhkosti v daném měsíci, zatímco negativní trend značí tendenci k poklesu půdní vlhkosti a tedy k vyšší četnosti/intenzitě sucha. Body značí výskyt nejméně jednoho měsíce se statisticky signifikantním trendem na 5% hladině významnosti. Křížky označují výskyt tendence, která není statisticky signifikantní. Na konkrétní stanici se mohou v určitých případech v některých měsících projevit trendy k vyššímu výskytu sucha a v jiných trendy opačné.

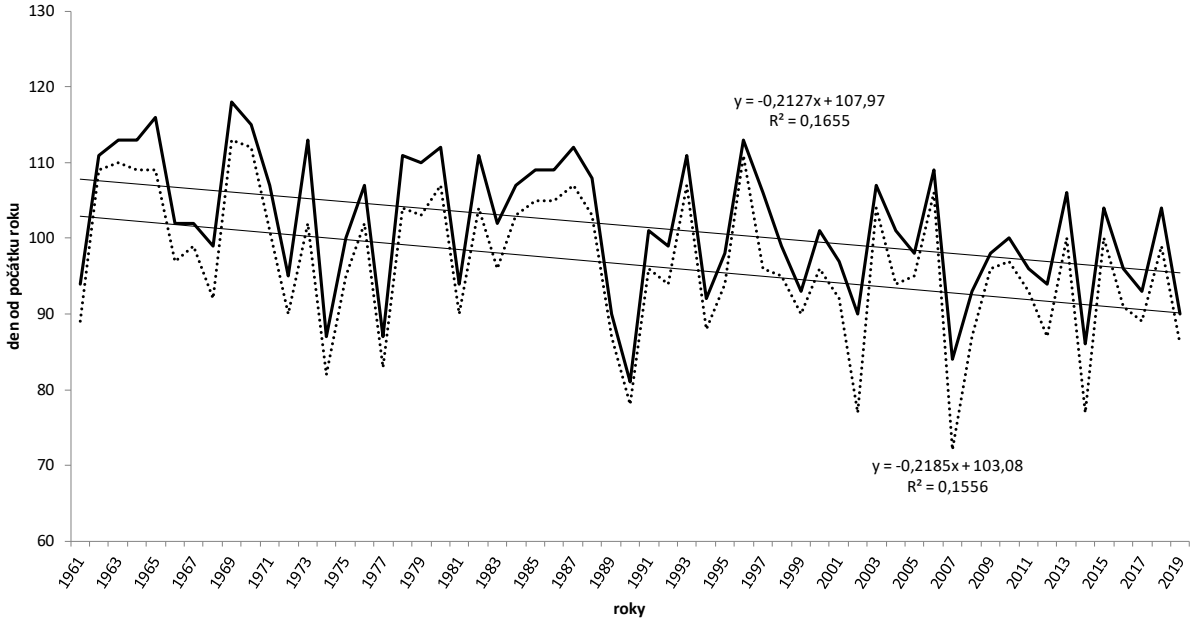
Pozn: Hodnocení trendů bylo provedeno odděleně pro jednotlivé měsíce v roce v období 1961–2018.

V případě hodnocení epizod sucha na základě indexů sucha je patrný trend k častějším/intenzivnějším epizodám sucha. Nicméně s ohledem na způsob výpočtu indexů, je velmi obtížné tento trend verifikovat pomocí měřených dat. Zároveň při výpočtu indexů sucha nejsou plně zohledněny podmínky lokality (zejména půdní typ, geomorfologie terénu a také dynamika vegetačního krytu). Proto byla v této kapitole

jako indikátor výskytu sucha použita půdní vlhkost, vypočtená na základě postupu představeném v práci Trnky (2014), který všechny uvedené faktory (a řadu dalších) v co největší možné míře zahrnuje. Tato metoda rovněž potvrzuje pokles průměrné zásoby vody v povrchové vrstvě na území ČR v první polovině vegetačního období o cca 13 % v období 1961–2018, přičemž tato změna je statisticky významná ($p = 0,01$). Je tedy zřejmé, že půdní profil jako celek obsahuje podstatně méně vody v období od dubna do června, než tomu bylo v 60. letech minulého století, a tento trend je velmi robustní a projevuje se na velké části území. Naopak ve druhé polovině vegetačního období (červenec–září), nelze žádný významný trend vysledovat, neboť půdní vlhkost se po vyčerpání zásob stává zcela závislá na aktuálním vývoji srážek. Období od dubna do června vykazuje výraznou tendenci k vyšší meziroční variabilitě, a to zvláště v případě povrchové vrstvy zejména ve východní části České republiky. Rozsah území, které bylo v dané sezóně ovlivněno v suchom činilo v 60. letech v průměru 7% území, v první dekádě tohoto století se velikost suchem zasaženého území prakticky zdvojnásobila na a výrazně překročila 15% v posledních 8 letech.

Změny klimatických podmínek se promítají do zásoby dostupné vody v půdě během vegetační sezóny. Doposud jsme se ale nevěnovali druhému efektu nárůstu teplot, a to jejich vlivu na nástup, délku trvání a časování fenologických fází. Pokud totiž přijmeme za prokázaný fakt, že dochází k nárůstu teplot, tento trend se musí projevit (a lze jej nezávisle ověřit) v nástupech a trvání fenologických fází, pokud je budeme zkoumat v dostatečně dlouhém časovém období. A vskutku existuje celá řada prací, které dokládají posun nástupu fenologických fází nejen u rostlin, ale i u ptáků a dalších druhů na většině území Evropy. Pro oblast Moravy shrnuje tyto trendy práce Bauera et al. (2009) a následně Bauera et al. (2014).

Fenologickou odezvu na probíhající změnu klimatických podmínek není bohužel možné zaznamenat přímo v agrosystémech, polních plodin ale je to možné, je v případě trvalých kultur, tedy např. ovocných stromů. Obr. 4.2.5 zachycuje datum prvního a plného květu meruňky obecné (*Prunus armeniaca*) na lokalitě Lednice. Z pozorování v sezónách 1961–2018 vyplývá posun prvního květu o cca 2,2 dny za dekádu.



Obr. 4.2.5 Počátek prvního květu a plného květu meruňky obecné na lokalitě Lednice (Zdroj: CzechGlobe 2019)

Pozn: první květ (přerušovaná linie), plný květ (plná linie)

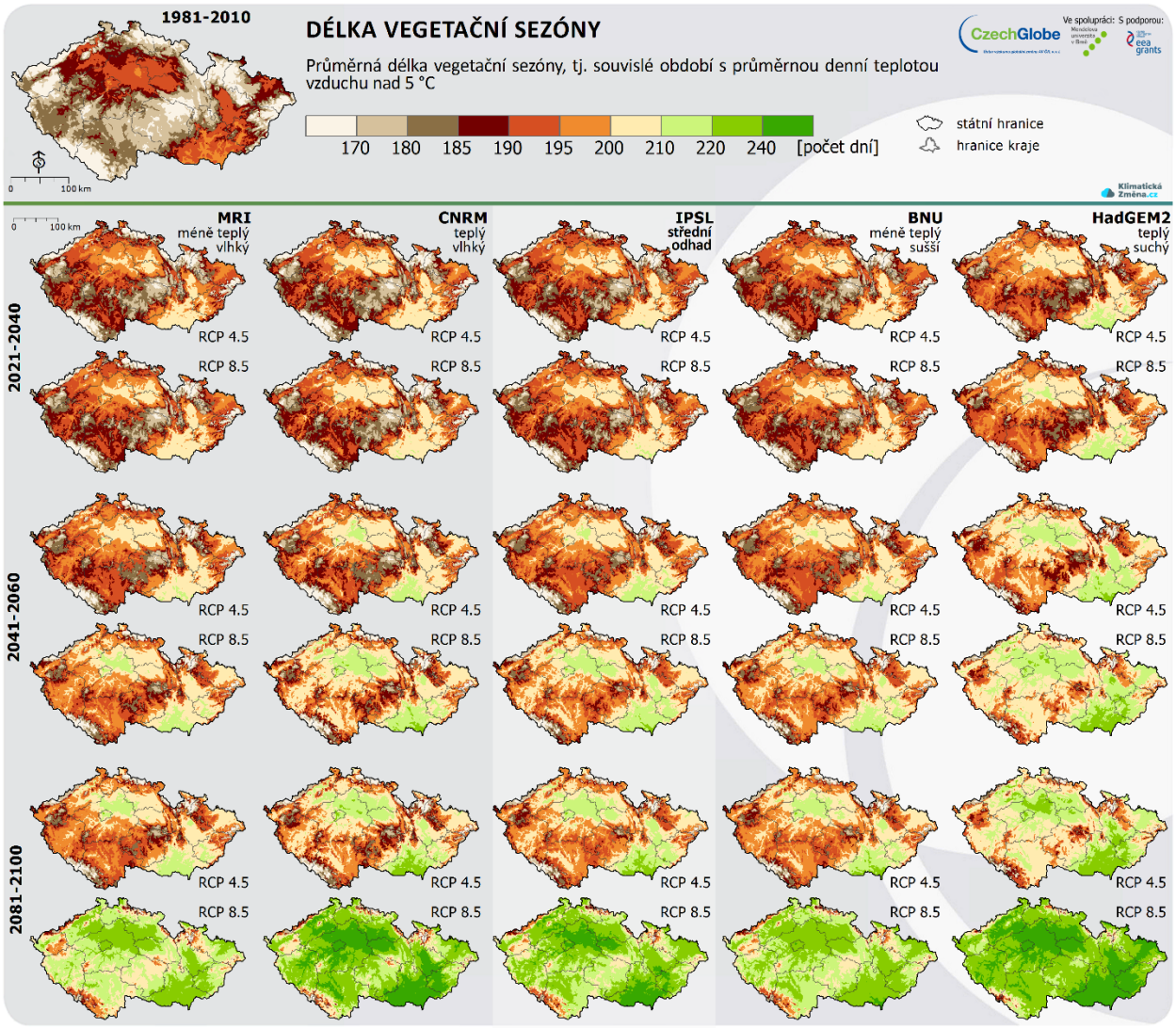
4.2.1.4 Rizika změny klimatu pro zemědělství ve středoevropských souvislostech

Současné klimatické scénáře pro Evropu vykazují pro střednědobý výhled (2030) nárůst teploty pro celé území stejně jako pro všechna roční období. V letním období se nárůst teploty projevuje především na jihu Evropy (zejména jižní poloostrovy), zatímco na severu směrem ke Skandinávii se dají očekávat spíše teplejší zimy. V oblasti střední Evropy a České republiky lze pozorovat nárůst jarních a letních teplot více než zimních a podzimních. Z pohledu srážek je situace obdobná z pohledu změny severojižního gradientu, kdy na severu Evropy je očekáváno spíše více srážek (od 60 rovnoběžky severněji) a na jihu (od 40 rovnoběžky jižněji) méně. Střední Evropa leží v pásmu střídání obou vlivů, což bude přinášet velmi

srážkově nevyrovnaná období. Navíc lze očekávat, že v oblasti České republiky by měly srážky klesat v létě, mírně růst na jaře, mírně klesat v zimě, zatímco na podzim budou změny nevýznamné.

Očekávaný nárůst teplot logicky povede k výraznému prodloužení vegetačního období, pokud ji vymezíme jako souvislé období s teplotou nad 5 °C (obr. 4.2.6). Posun je zásadní ve všech oblastech, přičemž do poloviny století lze čekat prodloužení o 30–40 dní oproti obodobí 1981–2010. V našich podmínkách je prodloužení vegetační sezóny přibližně symetrické – rozděleno shodně mezi jaro a podzim. Nárůst teplot s sebou ale přinese i zvýšení sum efektivních teplot, jež povede ke zkrácení fenologických fází rostlin (např. plnění zrna) s nepříznivými vlivem na tvorbu výnosu (Lobell, 2007). Tyto změny již ovlivňují a nadále významně ovlivní i životní cykly škůdců a jejich predátorů, jak ukazuje příklad zavíječe kukuřičného (např. Trnka, 2007) a dalších škůdců či vektorů chorob (např. Kocmánková, 2008).

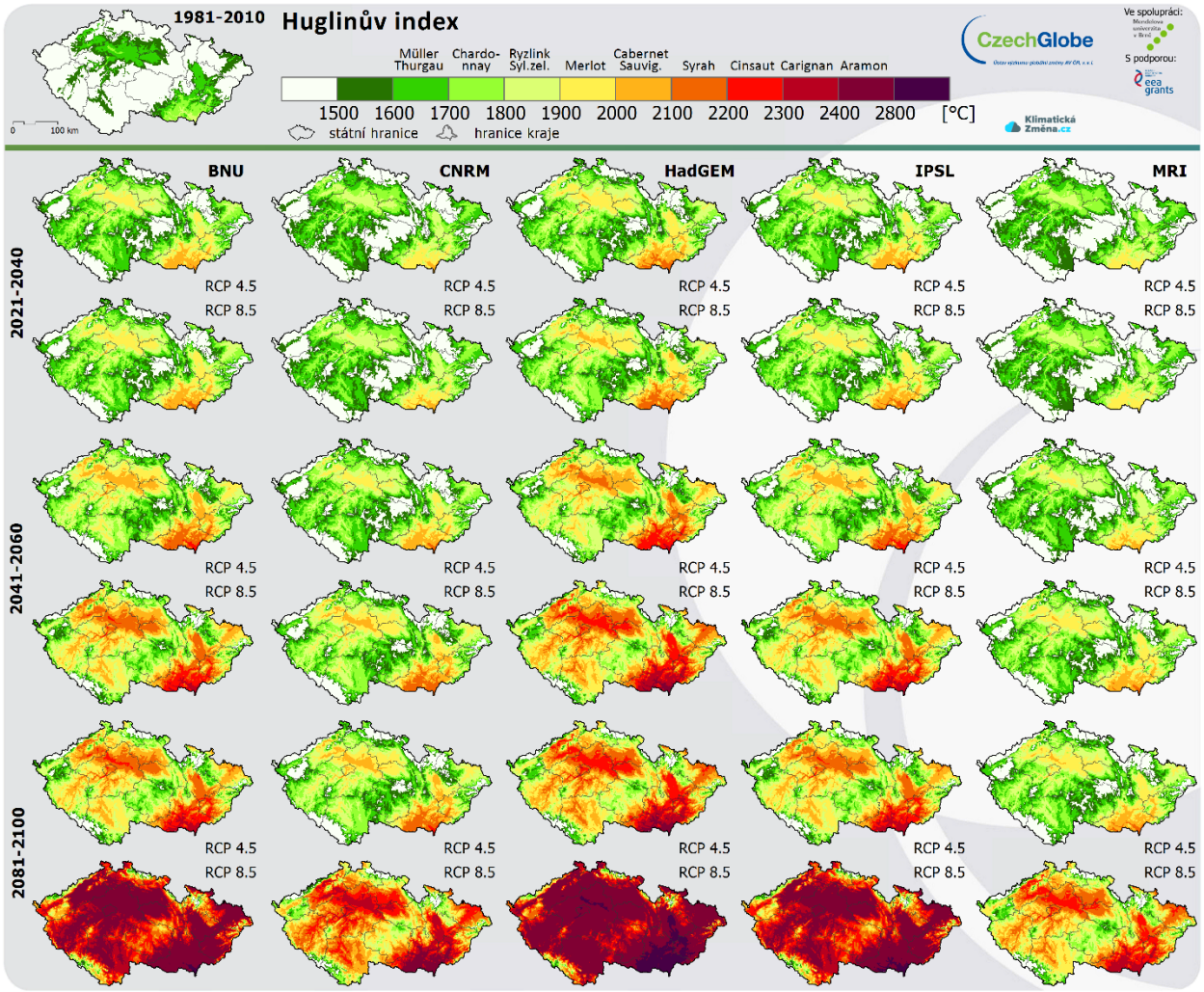
Samotná **délka vegetačního období**, tak jak je definována (obr. 4.2.6), nemusí znamenat zlepšení podmínek pro rostlinnou produkci. Jako vhodnější se jeví kombinace více ukazatelů, např. ve formě **efektivní délky vegetačního období (EDVO)**. EDVO je počet dní se sumou globální radiace nad 10 $MJ.m.^{-2}.den^{-1}$ v souvislém období bez sněhové pokrývky, kdy průměrná teplota vzduchu je trvale vyšší než 5 °C a minimální teplota neklesá pod –2 °C a aktuální evapotranspirace dosahuje alespoň 40 % úrovně evapotranspirace referenční (tedy je splněn předpoklad, že rostliny netrpí zásadním nedostatkem půdní vláhy. Je zřejmé, že změna klimatu pozitivně ovlivní hodnotu EDVO, a to jednak zvýšením počtu dní s teplotou vyšší než 5 °C a v některých oblastech i zvýšením globální radiace, které souvisí s nižším výskytem oblačnosti spojené s poklesem srážek zvláště v letních měsících. Pokles srážek ale zároveň zvyšuje riziko nedostatku vláhy, což se na hodnotě EDVO projeví negativně. Jak dokládá obr. 4.2.16, v současných klimatických podmínkách je hodnota EDVO (a tedy i potenciální produktivita) již dnes limitována vláhou. Při realizaci 2 „vlhkých“ modelových odhadů by se situace mohla výrazně zlepšit, ale většina modelů ukazuje opačný trend. V zásadě lze říci, že na většině našeho území, včetně hlavních zemědělských oblastí, má zvýšení teplot o 2–3°C spíše pozitivní dopad na průměrný produkční potenciál, což ale automaticky neznamená, že bude možné tohoto potenciálu využít (např. s ohledem na nevyhovující terénní a půdní podmínky v oblastech s nejvyšším nárůstem EDVO). V některých oblastech domény lze díky nárůstu vodního deficitu v letních měsících očekávat rozdělení vegetační sezóny (pokud nebudou k dispozici závlahy) na jarní a podzimní část, přičemž využití půdy v letních měsících bude ve většině let problematické.



Obr. 4.2.6 Odhadovaná průměrná délka vegetační sezóny při realizaci scénářů RCM4.5 a RCM8.5

Pozn: referenční období je 1981–2010 a jsou zpracovány časové horizonty 2021–2040, 2041–2060 a 2081–2100 pro výběr 5 reprezentativních modelů. Délka vegetační sezóny je definovaná jako souvislé období bez sněhové pokrývky, ve kterém je průměrná teplota vzduchu trvale vyšší než 5 °C a minimální teplota neklesá pod –2 °C (upraveno dle www.klimatickazmena.cz).

Jedním z velmi často používaných agroklimatických indexů je tzv. **Huglinův index** (Huglin, 1978), který byl původně vyvinut pro klasifikaci vinařských oblastí ve Francii. Pro svoji jednoduchost je často aplikován ve studiích zabývajících se dopady změny klimatu na potenciál pěstování vinné révy v rámci celé Evropy (např. Stock et al. 2005; Eitzinger et al. 2009), byť se svojí konstrukcí hodí do oblastí maritimního klimatu. Jeho hlavním nedostatkem je, že nedokáže postihnout řadu důležitých limitujících faktorů (např. chod minimálních teplot v zimních měsících, srážkové a terénní poměry). Na druhé straně neexistuje žádná vhodná alternativa a index přes svoje nedostatky poměrně dobře postihuje prostorové rozmístění současných vinařských oblastí, a proto je použit i v této knize. Plocha oblastí s teplotními podmínkami splňujícími nároky vinné révy bude na území ČR (a celé střední Evropy) narůstat (obr. 4.2.7). Vzhledem k tomu, že území ČR leží v současnosti na samé severní hranici areálu, půjde o změny zásadního charakteru a zároveň dojde pravděpodobně k nárůstu meziroční variability hodnot Huglinova indexu, což zákonitě povede k vyšší variabilitě v kvalitě jednotlivých ročníků. Tyto skutečnosti si v příštích 40 letech nejspíše vynutí nejen přechod na zcela jiný sortiment odrůd, ale nejspíše i celkovou změnu charakteru vinařství ve střední Evropě. Posun severní hranice pěstování vinné révy byl už podrobně analyzován řadou prací a např. Moisselin (2002) ve své práci udává posun této hranice o 180 km při zvýšení průměrné roční teploty o 1°C. Tyto údaje souhlasí i s výsledy zkoumání historických areálů pěstování vinné révy (např. Legrand 1978 či Eitzinger, 2009) i aktuálním vývojem v ČR.



Obr. 4.2.7 Hodnoty Huglinova indexu vyznačující oblasti potenciálně vhodné pro pěstování vinné révy (na základě maximální a průměrné teploty) pro referenční klimatické podmínky (1981–2010) a pro tři zvolené časové horizonty a reprezentativní sadu 5 GCM

Pozn.: Přiřazení hodnot konkrétním odrůdám vychází z práce Schultze (2006).

4.2.2 Dopady predikovaných scénářů změn klimatu v ČR

4.2.2.1 Časový průběh dopadů změny klimatu během roku

Dopady změny klimatu lze a bude na zemědělství možné pozorovat v podmínkách České republiky v průběhu celého roku.

V zimních měsících pozorujeme a nadále lze očekávat zvláště ve středních a nižších polohách úbytek trvání sněhové pokrývky (viz. indikátory, obr.4.12.14), což zásadně ovlivňuje především přezimování polních plodin, které jsou v případě výskytu holomrazů (došlo k poklesu teploty vzduchu pod bod mrazu a současně absentuje sněhová pokrývka) postiženy vymrzáním, neboť nejsou chráněné izolačními vlastnostmi sněhové pokrývky. I když se v zimě očekává pokles četnosti výskytu ledových (teplota celodenně pod 0 °C) i arktických (teplota celodenně pod –10 °C) dní, nelze jejich výskyt vyloučit. A v této souvislosti je nutné podotknout, že již několik centimetrů sněhu výrazně snižuje působení nízkých teplot a 20 cm vysoká sněhová pokrývka prakticky eliminuje účinky i silných mrazů. Díky vyšším teplotám přichází více srážek ve formě kapalné než pevné, což způsobuje nižší akumulaci vody ve sněhové pokrývce a nedostatek vody, který by se měl ze sněhu uvolnit na začátku vegetačního období. Brzký a často razantní nárůst jara způsobuje a bude způsovat jarní povodně a rychlý odtok našimi napřímenými řekami do sousedních států. Především u pšenice ozimé a řepky ozimé je možné pozorovat regionální postižení, kdy buď voda v rostlině zamrzne, zvětší svůj objem a roztrhá buněčná pletiva či zmrzne voda v půdě, následně dojde k jejímu pohybu a poškození kořenového systému či při častějším střídání vyšších a nižších teplot

k vytahování rostlin. Klesají a budou klesat průtoky našich řek, snižuje se transport vody do níže položených území, kde z ní díky zvyšování hladiny podzemní vody těží zemědělství i ovocnářství. Všechny tyto důsledky lze v posledních letech pozorovat nejen v zemědělsky intenzivních oblastech, např. Polabí či jižní a střední Moravy. Zima beze sněhu či s kratší dobou trvání a samotnou nižší výškou sněhové pokrývky se stává prvním předpokladem jarního sucha. Přesto lze o zimním období díky nižším teplotám a minimální evapotranspiraci považovat za období vodnosti. A právě toto období vodnosti je nutné využít k akumulaci zimních srážek a zamezení jejího odtoku. Slovo akumulace nabývá na stejném a v nižších polohách i na podstatnějším významu než slovo retence.

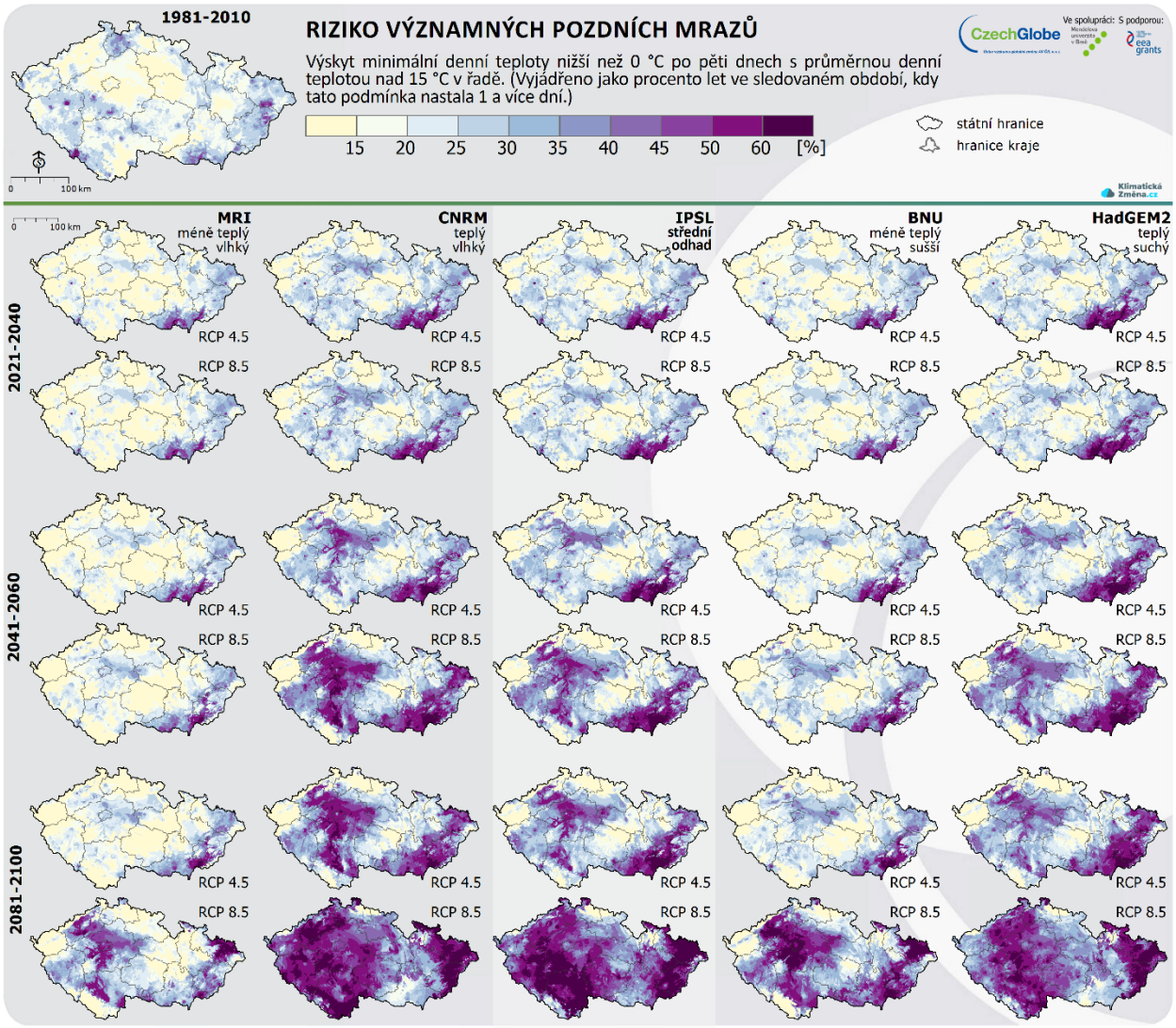
Vyšší teploty v zimě jsou spojené s přezimováním (diapauzou) škůdců, kdy některé typy jsou napadeny predátory a prakticky se v daném roce neobjeví. Existuje poměrně rozšířená představa, že teplé zimy podporují rozvoj škůdců. Ve střední Evropě je to až na výjimečné případy právě naopak. Převážná většina středoevropských škůdců přečkává zimu ve stadiu diapauzy, kterou musí absolvovat při dostatečně nízké teplotě, často pod bodem mrazu, a po dostatečně dlouhou dobu. Pro jejich zdárný vývoj je proto nejvhodnější dlouhá mrazivá zima se sněhovou pokrývkou a mírnými výkyvy teplot. Teplá zima bez mrazů nebo delší období s teplotami nad 10 ºC vedou k vysoké mortalitě různých vývojových stadií škůdců. Ta není způsobena jen nevhodnou teplotou pro průběh diapauzy, ale také např. vysokými ztrátami energie, rozvojem patogenů škůdců a větší dostupností predátorům. Pokud se změna klimatu projeví nástupem bezmrazových zim, bude většina středoevropských škůdců ovlivněna negativně a význam některých může klesat. Zimním oteplením budou pozitivně ovlivněny nemnohé druhy, pro které není zimní klidové období nezbytnou součástí vývoje, při ochlazení pouze snižují aktivitu. Bezmrazové zimy mohou pozitivně ovlivnit i některé migranty, kteří k nám dosud většinou pronikají jen sezonně.

Mírnější zimy i snížená půdní vlhkost nemá významnější vliv na přežití půdních fytopatogenních organismů, které tvoří speciální struktury nebo silnostěnné spory, pomocí kterých přečkávají období s nepříznivými podmínkami po dlouhé období i několika let v půdě (sklerocia; chlamydospory a oospory). Mezi ně patří některé druhy zařazené do rodů např. *Botrytis, Fusarium, Rhizoctonia, Sclerotinia* aj. U druhů přezimujících na hostitelských rostlinách nebo jejich zbytcích a tvořících primární inokulum na napadených rostlinných pletivech (r. *Alternaria, Cercospora, Colletotrichum, Erysiphe* aj.) se projevuje vyšší škodlivost vlivem lepších podmínek přezimování. Typickým příkladem je výskyt padlí révy vinné *Erysiphe necator* Schweinitz) kdy přezimuje pouze její mycelium v infikovaných pupenech, ale při teplotách nižších než –15 °C je zničeno. Výskyt mírných zim povede k rozšíření přezimujících druhů plevelů v ozimých plodinách např. blínu černého (*Hyoscyamus niger*). Vyšší konkurenční schopnost v zimním období je novým prvkem, který může výrazně ovlivnit kvalitu přezimování ozimých plodin a jejich růst v jarním období.

Zcela zásadní aspekt má zvýšení teploty a změny skupenství srážek na doplnění zásob podzemních vod, které jsou v ČR využívány jako voda pitná (cca 55 % celkové spotřeby). Kromě zhoršení struktury půdy a změny v rozložení srážek směrem k vyšší intenzitě je to právě charakter zim, které rozhodují o doplnění zdrojů podzemních vod. Tento proces probíhá z naprosté většiny v období pozdního podzimu, zimy a na počátku jara, neboť po zahájení vegetačního období spotřebují z půdy vodu kořenovým systémem pro svůj růst a vývoj rostliny a do podzemních rezervoárů se tak voda již nedostane (obr. 4.2.14).

Jaro je roční období, které je z pohledu zemědělství nejvýznamnější, realizuje se v něm nejvíce agrotechnických zásahů, kumuluje se řada polních prací a současně probíhá intenzivní růst a vývoj rostlin, na který je nutné značné množství vody. I v jarní období pozorujeme zvyšování teploty, což má za následek dřívější nástup velkého (průměrná denní teplota vzduchu je vyšší než 5 °C), ale i hlavního (průměrná denní teplota vzduchu je vyšší než 10 °C) vegetačního období. Velké vegetační období bude v nižších polohách začínat již počátkem března a končit v poslední dekádě října. Vyšší teploty vzduchu dovolí dřívější setí a následně ovlivní růst a především vývoj plodin tak, že budeme stále častěji pozorovat dřívější vzcházení a nástupy dalších fenofází včetně fyziologické zralosti. Oproti současnému stavu by období zrání kolem roku 2050 mohlo být uspíšeno v nižších polohách (do 400 m n m.) o 10–14 dnů, ve vyšších o 15–20 dnů. Zrychluje se dosažení teplotních sum jako podmínka dosažení jednotlivých fenologických fází. Na rozdíl od jiných sektorů (např. stavebnictví) není dřívější zahájení vegetačních období vždy pozitivní. Časně se vyvíjející vegetace především v oblasti vinohradnictví a ovocnářství je vystavena vyššímu riziku vpádů studeného vzduchu (advekční mrazíky) nebo radiačnímu ochlazení. Toto riziko a jeho nárůst dokumentuje obr. 4.2.8. Na základě ubývající vlhkosti půdy, které je způsobena jednak menší zásobou vody ve sněhové pokrývce (obr. 4.2.14), ale také právě dřívější aktivitou vegetace a vyšší potřebou vláhy na transpiraci, dochází a bude docházet k častějšímu výskytu jarního sucha. Sucho v období jara (obr. 4.2.15) bude podpořeno i přímým vzestupem teploty, kdy dochází jednak ke zvýšení neproduktivní evaporace, ale i k zesílení vzestupných konvekčních proudů a mění se rozložení srážek (mírný nárůst) v tomto pro rostliny klíčovém období. Právě časný začátek jara v kombinaci se suchem povede k pěstování suchovzdorných odrůd či přímo plodin (čirok, proso, bér) stejně jako vyšší výsadbě teplomilných odrůd vinné révy, zvláště pak odrůd červených, a to i přes riziko jarních mrazíků. V kontextu přezimování a následné jarní aktivity chorob a škůdců je nutné zmínit jarní kumulaci abiotických a biotických stresů. Je zřejmé, že suchem či

mrazíky oslabené a poškozené porosty jsou následně snazším cílem veškerých patogenů. Snižuje se nejen odolnost samotných plodin či dřevin, ale i účinnost ochranných prostředků jako jsou např. fungicidy a insekticidy. Významným faktem dokazujícím změnu klimatických podmínek je informace od zemědělského pojištění, kde je jednoznačný posun výskytu krupobití směrem k jarním měsícům, kdy tradiční červenec a srpen vystřídal květen a červen.



Ob. 4.2.8 Odhadované riziko výskytu pozdních mrazů v pro vegetaci citlivé fázi při realizaci scénářů RCM4.5 a RCM8.5

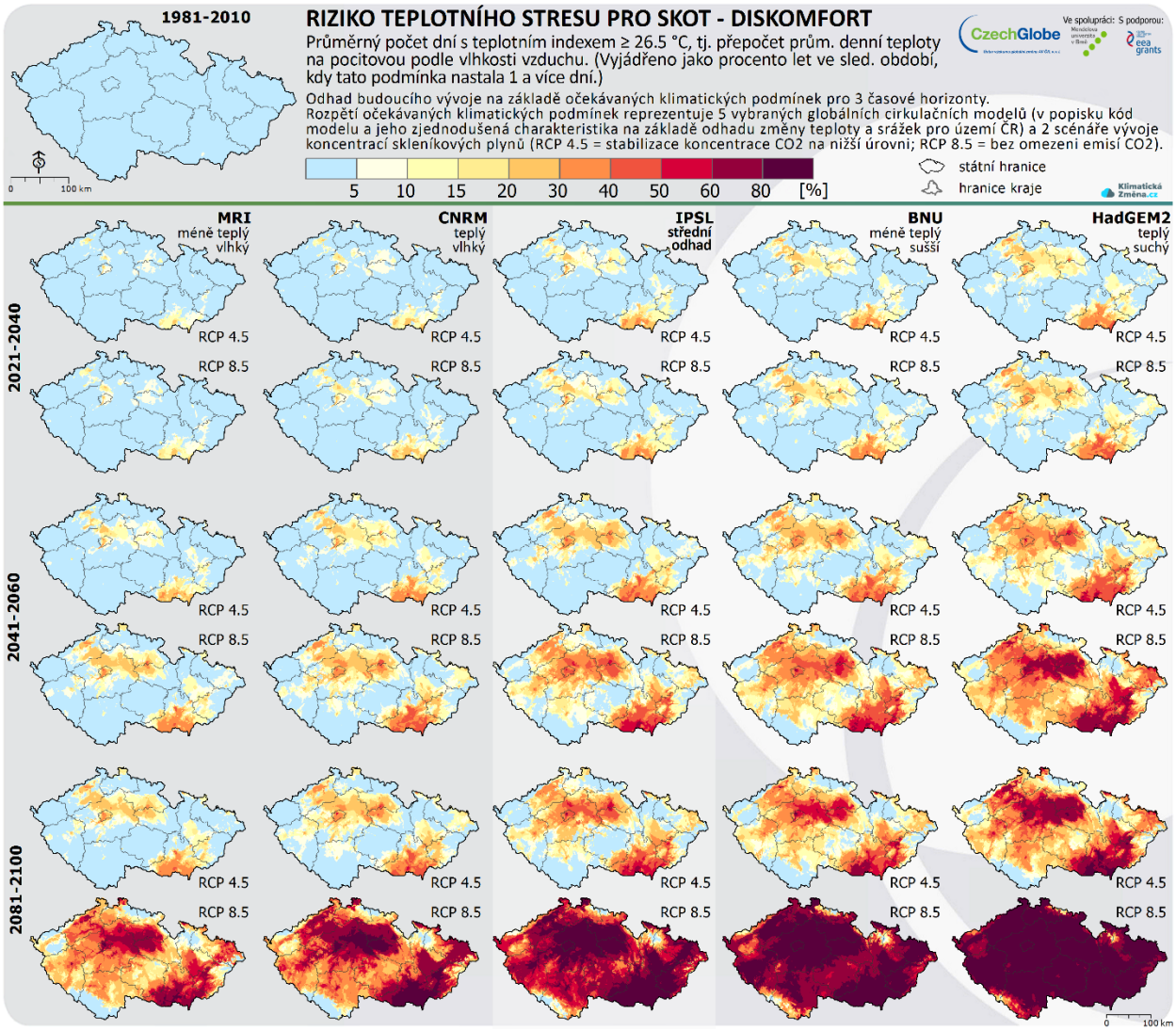
Pozn: referenční období je 1981–2010 a jsou zpracovány časové horizonty 2021–2040, 2041–2060 a 2081–2100 pro výběr 5 reprezentativních modelů. (upraveno dle www.klimatickazmena.cz).

V letním období jsou dopady spojené především s nárůstem teploty, úbytkem srážek a změny jejich rozložení (obdobně jako v jarním období více přívalů) a výskytem hydrometeorologických extrémů. Nástup teplejších, leč povětšinou sušších ročníků znamená vyšší riziko výskytu sucha během letních měsíců a problémy s obděláváním půdy na konci léta i v oblastech, kde jsme těmto problémům doposud nemuseli čelit. Zvyšující se počet letních a tropických dnů a s nimi spojených horkých vln ohrožuje na konci jara a v létě veškeré polní plodiny a to i v situaci, kdy je v půdě relativně dostatek vláhy. Ta se však díky klimatickým podmínkám snižuje a obdobně jako v období jarním pozorujeme nárůst agronomického (zemědělského) sucha, jehož definice je spojena s půdní vlhkostí. Prakticky se jedná o nedostatek vláhy pro rostliny. Dopady sucha na plodiny budou stále častěji příčinou vysoké variability výnosů a regionálních výnosových propadů. Jednou z příčin budou i nižší průtoky řek ovlivňující hladinu podzemní vody a nižší stavy vodních nádrží, které by byly potenciálním zdrojem pro závlahy. Právě v době jejich nejvyšší potřeby bude logicky nejméně disponibilní vody. Odhlédneme-li od neutěšeného stavu současného stavu meliorační sítě, je zřejmé, že to mohou být v budoucnu právě závlahy, které posunou zemědělské podniky postihované suchem z červených čísel. Samozřejmostí se stanou úsporné kapkové závlahy pro ovocnáře,

vinohradníky a zelináře. O velkoplošných závlahách vzhledem k množství vody uvažovat nelze. Důsledkem pro zemědělskou prvovýrobu bude i stále vyšší počet soudních sporů, kde jsou předmětem dopady sucha.

Tuto skutečnost si uvědomuje i vládní administrativa, což dokazuje v této oblasti vysoká aktivita Ministerstva zemědělství a Ministerstva životního prostředí. Reakcí je i příprava tzv. Fondu těžce nepojistitelných rizik, do kterého bude moci vstoupit každý zemědělský subjekt a jehož cílem bude za cca 50 % účasti státu poskytnout ochranu jednak před suchem, ale i druhým nepojistitelným nepříznivým klimatickým jevem, a to srážkami v době sklizně. Právě intenzivní srážky související s vyšší variabilitou podnebí (střídání sucho x povodně) budou na konci jarního, ale především v letním období příčinou problémů se sklizní, které se mohou vyskytnout prakticky na celém území České republiky. Časné jaro a teplé léto jsou příčinou posunu chorob a škůdců do vyšších nadmořských výšek, ale především je zde prostor pro navýšení počtu generací. Např. v lesnictví není problém přirozený výskyt lýkožrouta smrkového (*Ips typographus*), ale jeho masívní rozšíření včetně navýšení počtu generací způsobené teplým počasím a výskytem sucha, který oslabuje dřeviny podléhající následnému kumulativnímu stresu. Obdobně se mění infekční tlak včetně počtu generací u řady dalších patogenů. Jsou to např. křísek polní (*Psammotettix alienus*), štítenka zhoubná (*Diaspidiotus perniciosus*), mandelinka bramborová (*Leptinotarsa decemlineata*), obaleč jednopásý (*Eupoecilia ambiguella*), obaleč ovocný (*Pandemis heparana*) a další druhy rodu *Pandemis,* o. jabloňový (*Hedya nubiferana*), o. jablečný (*Cydia pomonella*) (obr….), o. východní (*Grapholita molesta*), o. zahradní (*Archips podana*), osenice polní (*Agrotis segetum*), z lesních škůdců např. lýkožrout smrkový (*Ips typographus*).

Změna klimatu ale mění i rozdělení četnosti výskytu extrémních situací s dopadem nejen na lidské zdraví ale i na hospodářská zvířata. Změny v počtech, ve kerých budou podmínky výrazně mimo komfortní zónu pro klíčové druhy, prezentuje obr. 4.2.9.



Obr. 4.2.9 Odhadované riziko teplotního stresu pro skot při realizaci scénářů RCM4.5 a RCM8.5

Pozn: referenční období je 1981–2010 a jsou zpracovány časové horizonty 2021–2040, 2041–2060 a 2081–2100 pro výběr 5 reprezentativních modelů (upraveno dle www.klimatickazmena.cz).

Podzimní období je významné z pohledu sklizně některých plodin (např. některé ovoce, vinná réva, kukuřice na zrno) a zakládání porostů ozimých obilnin. Pokud se zamyslíme nad změnou klimatu a dopady do zemědělství, jedná se o roční období, které bude relativně nejméně ovlivněno. Podzim se stane v nejnižších polohách součástí velkého vegetačního období, a pokud nedojde k náhlému zlomu a rychlému nástupu zimy neumožňující proces otužování vedoucí k získání mrazuvzdornosti, prodlouží se v jeho rámci počet dnů umožňující růst a vývoj především ozimů. V současné době se v průběhu podzimu projevuje spíše nárůstem srážek, které však na rozdíl od letních nemají přívalový charakter, zvýšení teploty sice vyvolá vyšší potenciální i aktuální evapotranspiraci, ale dopady už nemohou mít vzhledem k potřebám rostlin takový vliv jako v období jarním a časně letním. Jedinou vážnou výjimkou a problémem podzimu bude aperiodický výskyt sucha v období září–říjen, který může ovlivnit vzcházení ozimů včetně dvou pro zemědělství ekonomicky klíčových plodin – pšenice ozimé (*Triticum aestivum*) a řepky ozimé (*Brassica napus*). I když jejich pěstování z pohledu vláhové bilance bude zvláště v nižších polohách stabilnější a zajištěnější než jařiny, nastanou v očekávaných klimatických podmínkách roky se suchou podzimní epizodou, které jejich pěstování rovněž destabilizuje.

4.2.2.2 Problematika výnosů

Obecně je v důsledku měnícího se klimatu ovlivňován široký komplex mechanizmů a procesů určujících úroveň výnosů v rámci rostlinné výroby. Kombinují se zde jak pozitivní, tak negativní vlivy, jejichž poměr a význam se bude dále vyvíjet. Mezi pozitivní faktory můžeme zařadit například vzrůstající úroveň atmosférické koncentrace CO_2 stimulující fotosyntézu a vedoucí k efektivnějšímu hospodaření rostlin s vodou (tzv. WUE). Dále také možnost vyšších sum teplot či delšího vegetačního období. Na druhé straně mezi negativa patří větší pravděpodobnost výskytu a intenzity sucha, rychlejší vývoj vegetace (to se projeví kratší dobou k tvorbě biomasy v případě stávajících odrůd), vyšší riziko stresu vysokými teplotami v průběhu citlivých vývojových fází, vyšší riziko výskytu povodní či negativně působících intenzivních srážkových situací. Předpokládáme změnu průměrné úrovně výnosů pro pšenici ozimou a ječmen jarní, kukuřici, řepku a další plodiny ale primárně na základě očekávaného technologického pokroku. Samotný vliv vyšší koncentrace CO_2 se projeví v lepším hospodaření s vodou. V případě produkce pícnin na orné půdě a trvalých travních porostů i déle zrajících okopanin (např. brambory a řepa) se bude negativně projevovat případný nedostatek vláhy v létě předvídaný některými modely a i zde je otázka potenciální redukce výnosů.

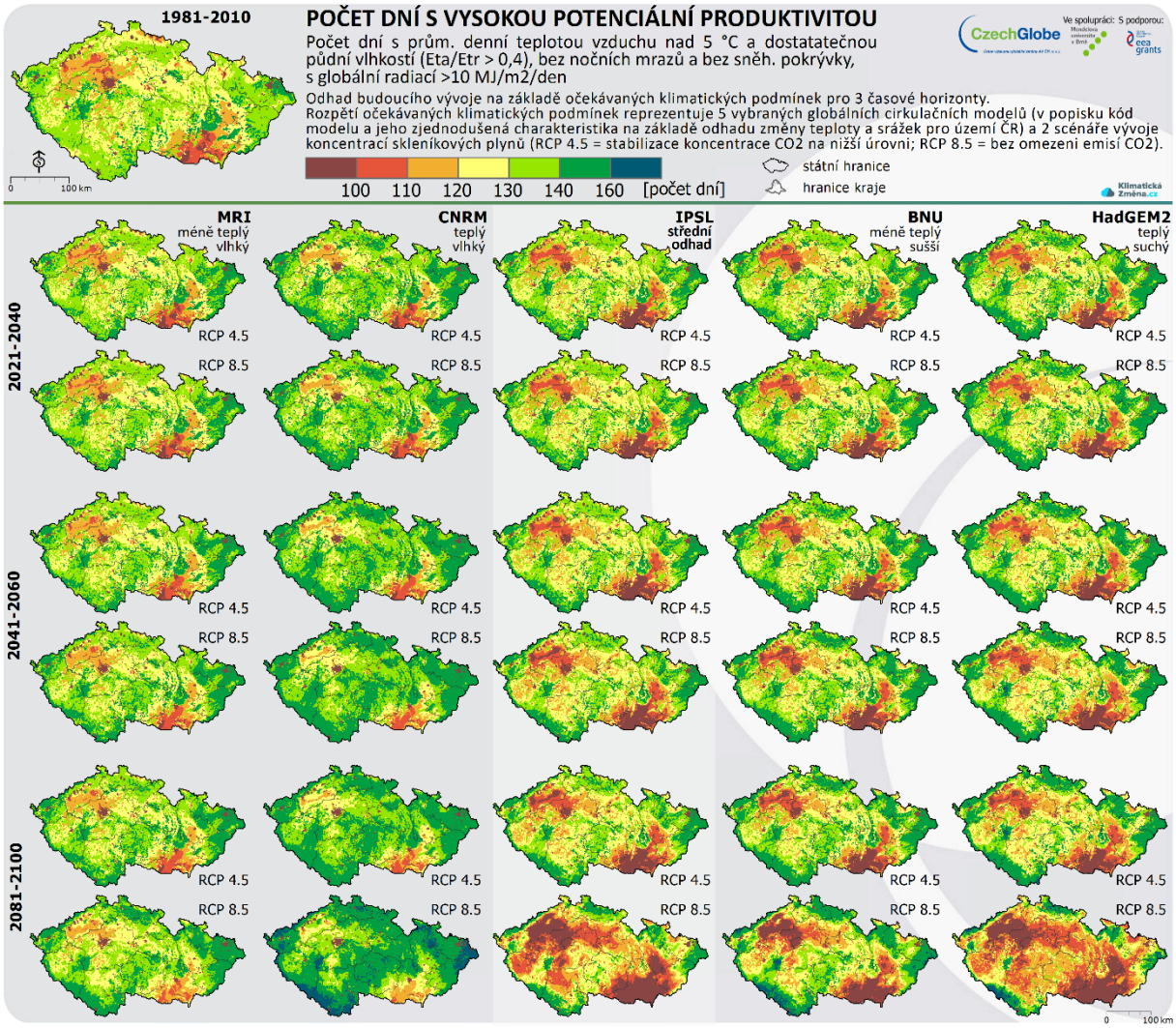
Dále je zřejmé, že situace bude v jednotlivých regionech odlišná, přičemž bude docházet k nárůstu významu nepříznivých situací v již suchých a teplých regionech, zatímco v chladnějších regionech budou příznivější podmínky. Zvýhodněny budou teplomilné plodiny a odrůdy. Současně je pro očekávané scénáře predikován nárůst ročníků s dramatickými propady výnosů. Záchranou pro půdu nebude v některých letech díky nedostatku vody ani pěstování meziplodin. Ty mohou díky spotřebované půdní vláze způsobit problém následující cílové plodině. Přesto se jejich pěstování zdá zásadní pro obnovu organické hmoty, stabilizaci půdního prostředí a polní produkce. Kromě jejich využití bude nutné využít nových technologií jako je strip-til, efektivního využití minimalizace, či dokonce no-till. Ve vyšších polohách je očekáván nárůst průměrné úrovně výnosů nejvýznamnějších plodin. Situace na jednotlivých pozemcích bude ovlivněna stávajícími půdními vlastnosti z hlediska retenční kapacity, celkové úrodnosti půdy, případně charakterem terénu. Výsledky uvedených analýz vycházejí z předpokladu udržení kvality půd ve stejném stavu jako v současnosti. Pokud by však došlo ke zhoršení půdních vlastností lze očekávat negativní vliv na budoucí výnosy. Obnova struktury půdy, jejich mikrobiálního prostředí a schopnosti zadržet vodu je a bude klíčovou podmínkou pro udržitelnost zemědělství. Podle údajů VÚMOP je více než 50 % orné půdy v ČR ohroženo silnou až velmi silnou erozí a cca 40 % půd středně až silně utuženo. Pokračování těchto procesů v kontextu klimatické změny může mít pro české zemědělství fatální následky. V důsledku změny dostupnosti půdní vláhy pak v některých oblastech bude problematická i stabilní produkce trvalých travních porostů.

Z výsledků nedávných studií rovněž vyplývá, že lze očekávat nárůst meziroční variability výnosů zemědělských plodin díky zvýšené frekvenci a intenzitě nepříznivých situací pro rostlinou produkci jako jsou významné epizody sucha, výskyt stresu vysokými teplotami v citlivých vývojových fázích, poškození nízkými teplotami apod. Již jen analýza variability výnosů v letech 2011–2018 prokázala zásadní roli extrémního počasí. Otázkou zůstává, jak významný bude tlak chorob a škůdců, které pro prognózy budoucích výnosů zatím rovněž nejsou přímo zahrnuty. Trendy však lze usuzovat na základě výskytu příznivějších podmínek (vč. klimatických) pro daný patogen. Další neznámou z hlediska budoucnosti jsou

vlastnosti nových odrůd. I přes svá omezení hraje modelování budoucích agroklimatických podmínek bezesporu nezastupitelnou úlohu v definování nejvýznamnějších očekávaných rizik, na která by výzkum, vývoj (včetně šlechtitelských aktivit – odolnost k suchu, odolnost k vysokým teplotám) a praxe (např. využití lokálních závlah, větší zastoupení teplomilných plodin – kukuřice, slunečnice, sója) měly reagovat.

4.2.2.3 Posun výrobních oblastí – produktivita regionů

Jedním z projevů je evidentní posun výrobních oblastí tak, jak je definoval Němec (2001). Dopady globální klimatické změny na agroklimatické podmínky v ČR způsobí ústup agroklimatických podmínek vymezující pícninářskou a obilnářsko-bramborářskou výrobní oblast, a to ústupu zásadnímu a dramatickému. Současně s tím se bude zvětšovat plocha s podmínkami oblasti řepařské a kukuřičné (podle některých odhadů až na 4/5 území). Na území jižní Moravy se již v horizontu příští dekády začínají objevovat agroklimatické podmínky, charakterizované velmi vysokou teplotní sumou nad 10 °C v kombinaci s výrazným vodním deficitem, tedy podmínky, jež z našeho území doposud neznáme a bude tak nutné nalézt vhodné pojmenování těchto výrobních oblastí (pokud bude podobný typ klasifikace vůbec smysluplné používat). Na první pohled je změna v agroklimatických podmínkách relativně příznivá, neboť zóny se suboptimálními teplotami (pícninářská a obilnářsko-bramborářská) jsou střídány oblastmi s lepším klimatem řepařské výrobní oblasti. Zároveň ale dochází k „pronikání“ kukuřičné výrobní oblasti a sušších agroklimatických režimů do klíčových oblastí střední Moravy a Polabí, kde se v současnosti setkáváme téměř s optimální kombinací klimatických a půdních podmínek pro bez-závlahové zemědělství tj. řepařskou výrobní oblastí na kvalitních půdách. Oblasti, ve kterých dochází k přechodnému zlepšení agroklimatických podmínek, se co do kvality půdy nemohou s oblastí Hané ani Polabí měřit. Nástup teplejších, leč povětšinou sušších ročníků znamená vyšší riziko výskytu sucha během letních měsíců a problémy s obděláváním půdy na konci léta i v oblastech, kde jsme těmto problémům doposud nemuseli čelit. Pěstování plodin bez využití závlah se postupně bude stávat v oblastech úvalů a Podunajské nížiny nerentabilní za předpokladu realizace v současnosti uznávaných scénářů vývoje budoucího klimatu. Na druhé straně lze očekávat, a současné výsledky tomu nasvědčují, že oblasti doposud produkčně okrajové (např. Českomoravská vrchovina) budou z této změny do jisté míry profitovat, neboť odpadne řada klimatických limitů pro pěstování zemědělských plodin. Tyto prognózy směřující k vyšší produktivitě území s vyšší nadmořskou výškou a poklesu produktivity dříve klíčových produkčních oblastí což lze dobře vysledovat na obr. 4.2.10. Co však musíme vzít v úvahu, je fakt, že naplněním výše uvedených odhadů dojde k posunu agroklimatických podmínek, který nemá minimálně v novodobých dějinách zemědělství na našem území obdoby. Změna nastane nikoli během vzdálených desítek let, ale prakticky nastává a sledujeme na příkladu Hané její postupný přechod do podmínek kukuřičné výrobné oblasti spojené s výrazným propadem produktivity. Využití vymezení výrobních oblastí pro projekci potenciálních důsledků změny klimatu umožňuje velmi efektivně zachytit hlavní charakter očekávaných změn klimatu na zemědělskou výrobu a v hlavních rysech souhlasí s pozorovanými změnami v ČR v posledních 15 letech.



Obr. 4.2.10 Počet dní při realizaci scénářů RCM4.5 a RCM8.5

Pozn: referenční období je 1981–2010 a jsou zpracovány časové horizonty 2021–2040, 2041–2060 a 2081–2100 pro výběr 5 reprezentativních modelů (upraveno dle www.klimatickazmena.cz).

4.2.2.4 Dopady na půdu

Půda je v zemědělství základní a nenahraditelný výrobní prostředek. Jakékoliv změny v jejím složení se okamžitě projeví na polní produkci. Kromě dopadů sucha, jako pravděpodobně nejvýznamnějšího očekávaného projevu změny klimatu na produkci, je třeba zmínit druhý nejvážnější dopad, a to zvyšující se erozi půdy. V případě, že se nebudou důsledně aplikovat protierozní opatření, lze očekávat při vyšším výskytu intenzivních srážek často dopadající na vyschlou půdu, výrazně intenzivnější erozní projevy. Tomu často napomáhá monotónnost a jednostranná zaměřenost naší rostlinné výroby, kdy například pěstování kukuřice pro bioplynové stanice je realizováno v nevhodných (kopcovitých) oblastech. Probíhající a očekávané změny v následujících oblastech souvisejí s kvalitou půdy.

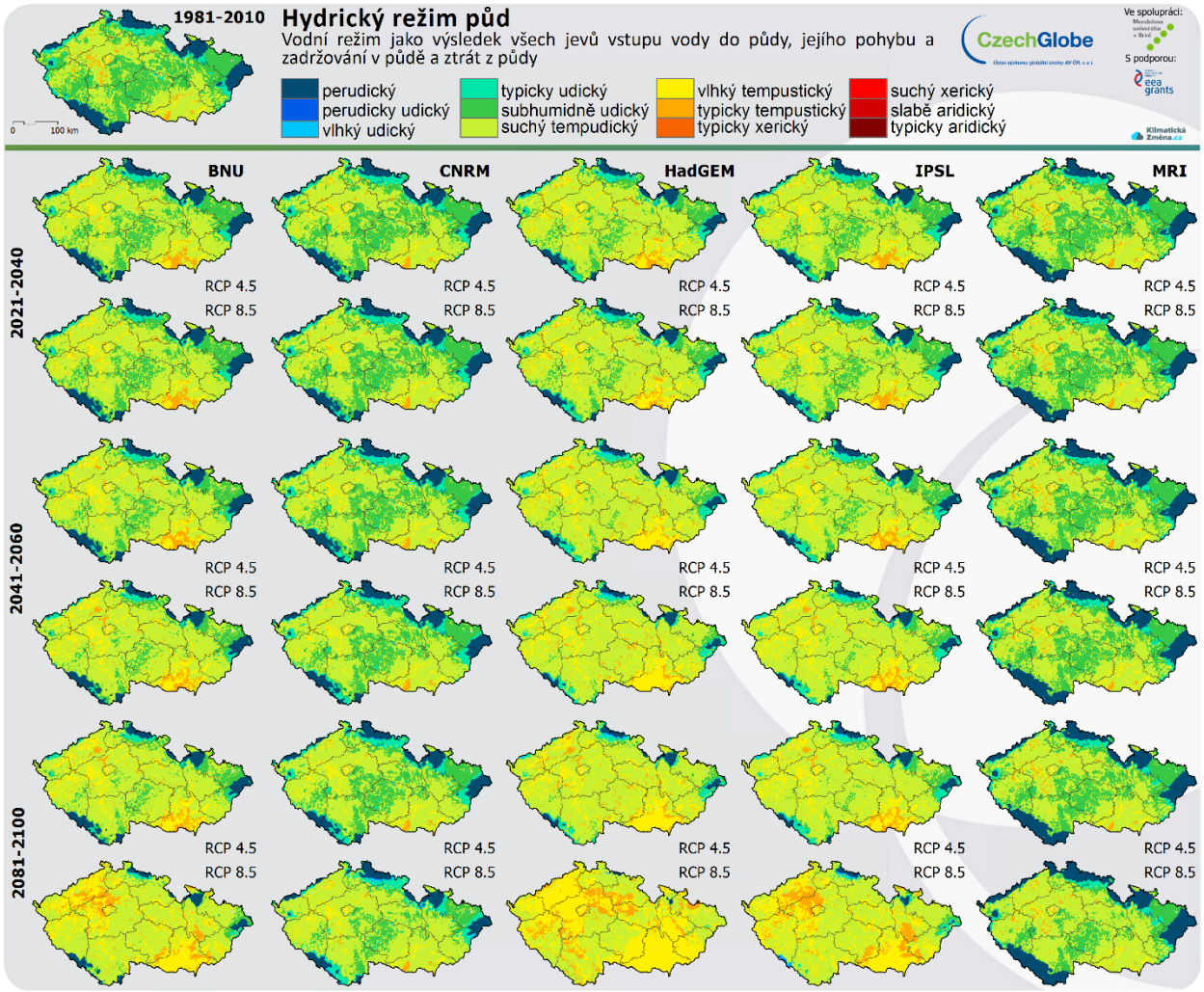
Teplotně vlhkostní režim: Půdně vlhkostní (hydrické) režimy popisují přítomnost nebo absenci půdní vody dostupné pro rostliny ve specifických půdních horizontech v průběhu definovaných období. K tomuto účelu byl ve spolupráci Mendelovy univerzity v Brně a Ústavu výzkumu globální změny AV ČR vyvinut model SoilClim, který byl následně aplikován na území ČR (obr. 4.2.11).

Tab. 4.2.1 Popis základních kritérií pro definici půdně klimatického vlhkostního režimu

Režim	Základní popis vlhkostních klimatických režimů s výskytem na území ČR
Perudický	Rozdíl mezi dlouhodobými průměry srážek a referenční evapotranspirací je ve všech měsících včetně letních vyšší než 0 mm
Typický udický	Rozdíl mezi ročním úhrnem srážek a referenční evapotranspirací se pohybuje mezi 175–449 mm a současně počet dní, ve kterých je půdní profil nasycen na více než 2/3 své retenční schopnosti, je alespoň 330.
Subhumidně udický	Rozdíl mezi ročním úhrnem srážek a referenční evapotranspirací je menší než 175 mm a současně počet dní, ve kterých je půdní profil nasycen na více než 2/3 své retenční schopnosti, je alespoň 330.
Suchý tempudický	Počet dní, ve kterých je půdní profil nasycen na více než 2/3 své retenční schopnosti, se pohybuje mezi 171 a 229.
Vlhký tempustický	Počet dní, ve kterých je půdní profil nasycen na více než 2/3 své retenční schopnosti, je menší než 270. Současně je podíl suchých dnů s půdní teplotou (v hloubce 0,5 m) nad 5°C k celkovému počtu dní s teplotou půdy nad 5°C menší než 50 %, přičemž nejdelší zaznamenané období s kritickým nedostatkem vláhy po letním slunovratu nepřekročilo 45 dní.
Typický tempustický	Počet dní, ve kterých je půdní profil nasycen na více než 2/3 své retenční schopnosti, je menší než 270. Současně podíl suchých dnů s půdní teplotou (v hloubce 0,5 m) nad 5°C k celkovému počtu dní s teplotou půdy nad 5°C je menší než 50 % přičemž nejdelší zaznamenané období s kritickým nedostatkem vláhy po letním slunovratu bylo delší než 45 dní.

V kontrolním období 1981–2010 byl dominantním režimem v tomto období tzv. suchý tempudický režim, který se vyznačuje příznivými vlhkostními poměry po většinu roku. Tento režim pokrýval spolu s dalšími dvěma relativně vlhkými půdně klimatickými režimy tj. subhumidně udickým a perudickým naprostou většinu území. Je faktem, že v oblastech s perudickým půdně klimatickým režimem se nacházejí pramenné oblasti většiny našich řek. Naopak relativně suché tempustické režimy reprezentovaly v období méně než 5 % území a defacto zahrnovaly pouze nejsušší části jižní Moravy a drobné enklávy v Čechách (Žatecko, Lounsko a Rakovnicko). Z časového hodnocení je patrná tendence k nárůstu výskytu sušších půdně klimatických režimů. Tento trend je vysledovatelný na většině našeho území v posledních 50 letech a nabývá potenciálně velmi znepokojivých rozměrů v relativně blízké budoucnosti. Jak vidno, všechny modely se na obr 4.2.11 shodují na zásadní redukci rozsahu perudického a vlhkých udických půdně klimatických režimů. Frekvence perudického režimu se snižuje na až desetinu současných hodnot v polovině století a úplně mizí koncem století. Současně klesá frekvence subhumidně udického režimu. Výrazný nárůst zaznamenává zejména typický temustický režim, který v současné době zaujímá méně než 5 %. Právě tento režim se podle modelu HadGE stává dominantní koncem století.

Z půdních procesů se očekává zvýšení mineralizace, a to díky vyššímu vysušování půdního profilu, zvýšení provzdušení a oxidaci půdního materiálu. Tento proces však bude částečně kompenzován hromaděním půdní organické hmoty díky vyšší koncentraci CO_2 a současného zvýšení teploty a prodloužení vegetační sezóny. Zvýší se i fotosyntéza a dojde ke zvýšení růstového indexu a účinnosti využití vody vegetací. Půdní struktura se bude měnit především v epipedonech (vrchních horizontech) a bude výrazně závislá na množství uhlíku. Všeobecně se předpokládá mírné zvýšení pedokompakcí, v těžkých půdách tvorba krust a povrchových trhlin. V aridních oblastech může dojít v endopedonech k intenzivnější tvorbě tvrdých panů (kalcikový a petrokalcikový horizont). Mezi nejodolnější půdy vůči klimatické změně budou patřit nejkvalitnější zemědělské půdy s černickým horizontem, jako jsou černozemě (na nekonvexních lokalitách) a černice. Nejvíce mohou být měněny půdy texturně lehké s nestabilní půdní strukturou, nízkou kationtovou výměnnou kapacitou, nízkou infiltrační schopností a mělkým humusovým horizontem (regozemě, litozemě a arenické subtypy). V důsledku klimatické změny bude dominovat velmi pomalý retrogradální vývoj půd a půdních katén. Nelze očekávat změnu půdních jednotek a zásadní změny pedogenetických procesů. Identifikovat bude možné změny hydrologického režimu (tak jak bylo popsáno v úvodu kapitoly), částečné změny fyzikálně chemického režimu.



Obr. 4.2.11 Hydrické režimy půd při realizaci scénářů RCM4.5 a RCM8.5

Pozn: referenční období je 1981–2010 a jsou zpracovány časové horizonty 2021–2040, 2041–2060 a 2081–2100 pro výběr 5 reprezentativních modelů (upraveno dle www.klimatickazmena.cz).

4.2.2.5 Erozní projevy a degradace půdy

Vodní eroze: Lze očekávat změny nejen v četnosti výskytu erozně nebezpečných dešťů (díky očekávanému zvýšení intenzity srážek), ale též v sezonalitě jejich výskytu v jednotlivých měsících, vydatnosti, intenzitě a době trvání. Z hlediska ohrožení půd vodní erozí by mohlo být naopak příznivé mírné oteplení prostředí a nižší intenzita sněhových srážek. Rychlé tání sněhu v předjarním období má totiž na erozní procesy značný vliv. Kromě změny intenzity a množství srážek mohou mít klimatické změny vliv i na jednotlivé faktory, které erozi ovlivňují (např. vliv na vegetační kryt a vlastnosti půd). Nejvíce bude očekávanou klimatickou změnou ovlivněna pravděpodobně vlhkost půdy, která má vliv na infiltrační schopnost půdy a tím i na povrchový odtok.

Větrná eroze: Ze sledování meteorologických údajů vyplývá, že rychlost větru na našem území se ve sledovaném období (od roku 1961) nezvyšuje (Brázdil, 2008). Svou roli zde však hraje zvyšování teploty prostředí. Toto zvýšení potvrzuje rostoucí lineární trend průměrných měsíčních teplot vzduchu za sledované období 1961 až 2006 u všech analyzovaných klimatologických stanic. Teplota vzduchu ovlivňuje evapotranspiraci, a tím i vlhkost půdy. Obecně lze konstatovat, že čím nižší je vlhkost půdy, tím větší je její náchylnost k větrné erozi. Je tedy zřejmé, že dopad očekávané klimatické změny se projeví na výrazném rozšíření půd ohrožených větrnou erozí nikoliv z důvodů vyšších rychlostí větru a vysoušení půdy. Kromě změny půdních teplotně vlhkostních režimů a eroze se budou měnit i vlastnosti půd jako je např. jejich utužení, dehumifikace, acidifikace či zasolování. Na průběh těchto často až degradačních procesů však nemá jen vliv změna klimatu, ale jsou na mnoha místech způsobeny formou zemědělského hospodaření.

4.2.2.6 SWOT analýza dopadů na agrosystémy a rámec možných adaptačních opatření

SWOT analýza dopadů změny klimatu v oblasti zemědělství členěná podle nadmořské výšky

Méně než 400 m n. m.

- Silné stránky – kvalitní půdy, silná zemědělská tradice, vhodné podmínky pro agroturistiku
- Slabé stránky – nedostatek srážek, silná větrná a vodní eroze, závlahové systémy na hranici životnosti a limitované vodními zdroji zanášení vodních nádrží sedimenty a eutrofizaci vod splachnutými živinami, malý počet mokřadů a vodních nádrží či ploch, malá výsadba větrolamů
- Příležitosti – delší vegetační sezóna, možnosti rozšíření pěstování teplomilných plodin a odrůd, zavedení mikrozávlah, realizace pozemkových úprav; extenzifikace produkce
- Hrozby – vysoká variabilita výnosů, narůstající sucho, absence sněhové pokrývky, výskyt silných holomrazů, zničující jarní mrazy, výskyt invazivních chorob a škůdců, vyšší počet letních dní s dopadem na fenologii a výnos polních plodin, vyšší počet tropických dní s dopadem na zdraví a živočišnou výrobu, snížení hladin vodních ploch a omezení průtoků řek s dopadem na chov ryb, vyšší riziko požárů, frustrace ze zemědělských výsledků a riziko opuštění půdy, zvýšení nezaměstnanosti,

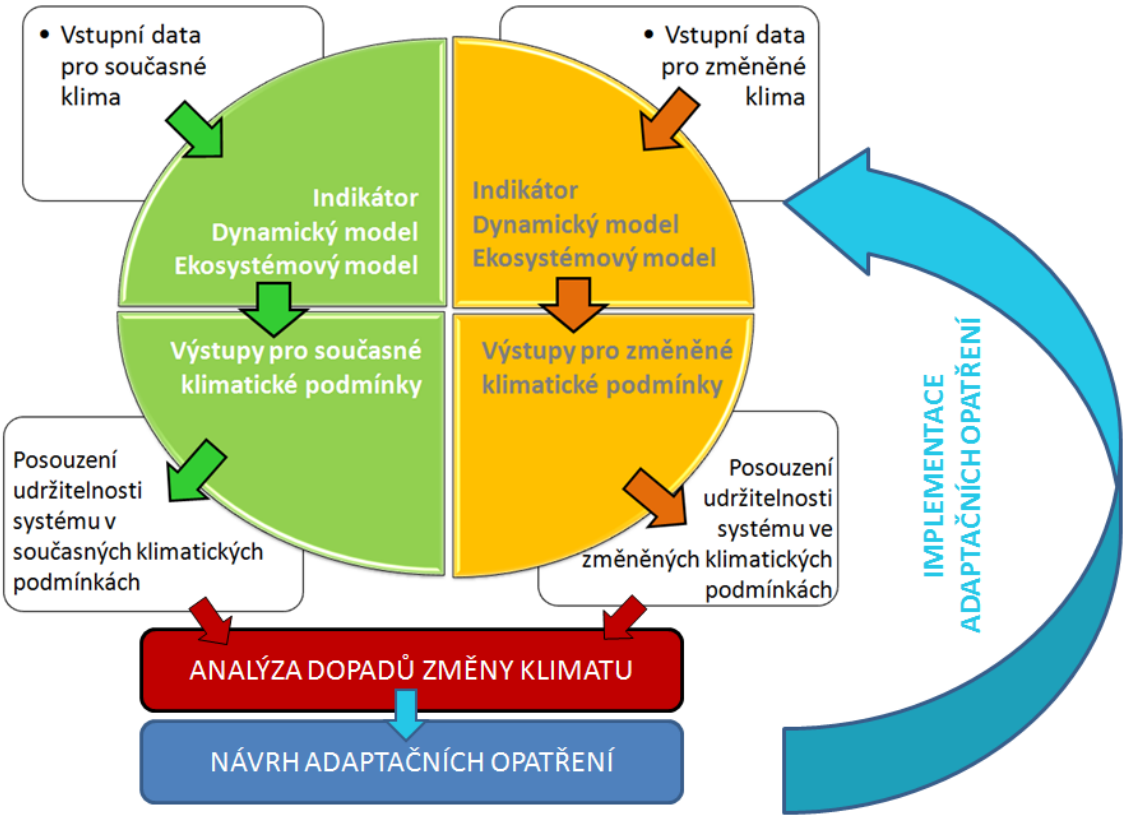
400–800 m n. m.

- Silné stránky – relativní dostatek srážek, pro ozimy důležitý výskyt sněhové pokrývky, nižší výskyt vln veder,
- Slabé stránky – méně kvalitní půda, vodní i větrná eroze,
- Příležitosti – delší vegetační sezóna, zvýšení výnosů polních plodin, možnosti rozšíření pěstování teplomilných plodin a odrůd, zvýšení obsahu organických látek v ornici a zlepšení kvality humusu, možnost pěstování rychle rostoucích dřevin a bylin, potenciál na chov dobytka,
- Hrozby – narůstající sucho, zvyšující se dehumifikace půd v důsledku porušení vodního režimu půdy, silnější vodní eroze, vyšší riziko požárů,

Nad 800 m n. m.

- Silné stránky – kladná vodní bilance a dostatek srážek, klimaticky podmíněný potenciál agroturistiky
- Slabé stránky – méně kvalitní půda, svažitý terén, vodní eroze, citlivost vůči větrným bouřím,
- Příležitosti – pěstování polních plodin s kratší vegetační dobou a obecně nárůst produktivity polních plodin, rozvoj agroturistiky
- Hrozby – snižující se doba trvání sněhové pokrývky, riziko sucha ohrožuje trvalé travní porosty kalamitní rozšíření chorob a škůdců, vyšší hrozby požárů vegetace, zvýšené větrné kalamity

Při adaptační analýze, která je součástí některých běžících projektů, je nezbytné vzít v úvahu i možnosti adaptační analýzy a posoudit přínos jednotlivých adaptačních opatření na zajištění udržitelnosti zkoumaných procesů. Zjednodušeně lze základní metodu práce shrnout diagramem, obr. 4.2.12. Uvedený postup (s nezbytnou mírou modifikace) je univerzálně aplikovatelný a bývá používán takřka ve všech studiích zabývajících se touto problematikou.



Obr. 4.2.12 Schéma základní metodiky analyzující dopady změny klimatu na udržitelnost jednotlivých funkcí (systému) a posouzení možností adaptačních opatření (Zdroj: Trnka a vlastní zpracování 2015)

Úvodem je nutné zdůraznit, že **realizace většiny adaptačních opatření je užitečná i bez dopadů změny klimatu, jde o zlepšení kvality naší krajiny a jejich ekosystémových služeb.** Skutečností je, že 88 % naší krajiny (10 % jsou zastavěné a ostatní plochy, 2 % jsou vodní plochy) obhospodařují zemědělské (53 %) a lesnické (34 %) společnosti. Právě ty společně se správci vodohospodářské soustavy nesou největší výkonnou odpovědnost za to, jak naše krajina vypadá, jak se vyvíjí a jak si plní své ekosystémové funkce. To, že primární funkcí pro drtivou většinu společností je funkce produkční (ať již se jedná o rostlinné komodity či dřevo), je zřejmé. Důkazem je často až výhradní pěstování tržně zajímavých plodin, ať již pšenice, řepky či kukuřice pro bioplynové stanice nebo v lesnictví pěstování a do nedávna opětovná výsadba komerčně úspěšného smrku. Je třeba říci, že v současné době se k nápravě podnikají poměrně razantní a ekonomicky orientované kroky. Např. nové dotační nástroje pro program rozvoje venkova jsou směřovány nejen na konkurenceschopné zemědělství a lesnictví, ale i zlepšování životního prostředí a krajiny či rozvoje životních podmínek. Konkrétně se jedná o programy zahrnující agroenvironmentálně-klimatická opatření, předcházení eroze půdy, zachování a zvýšení biologické rozmanitosti či podpora ukládání a pohlcování uhlíku v zemědělství a lesnictví. Problémem zůstává propojení koncepcí různých rezortů a malý důraz na podporu vlastní adaptační aktivity a to nejen ze strany firem, ale i obcí a občanských sdružení.

4.2.3 Stanovení indikátorů

4.2.3.1 Indikátory klimatické

Z klimatických indikátorů, jež jsou zpracovány v samostatné kap. 4.11, mají na danou prioritní oblast významnější vazbu tyto, přičemž podtržené jsou v dalším textu blíže komentovány:

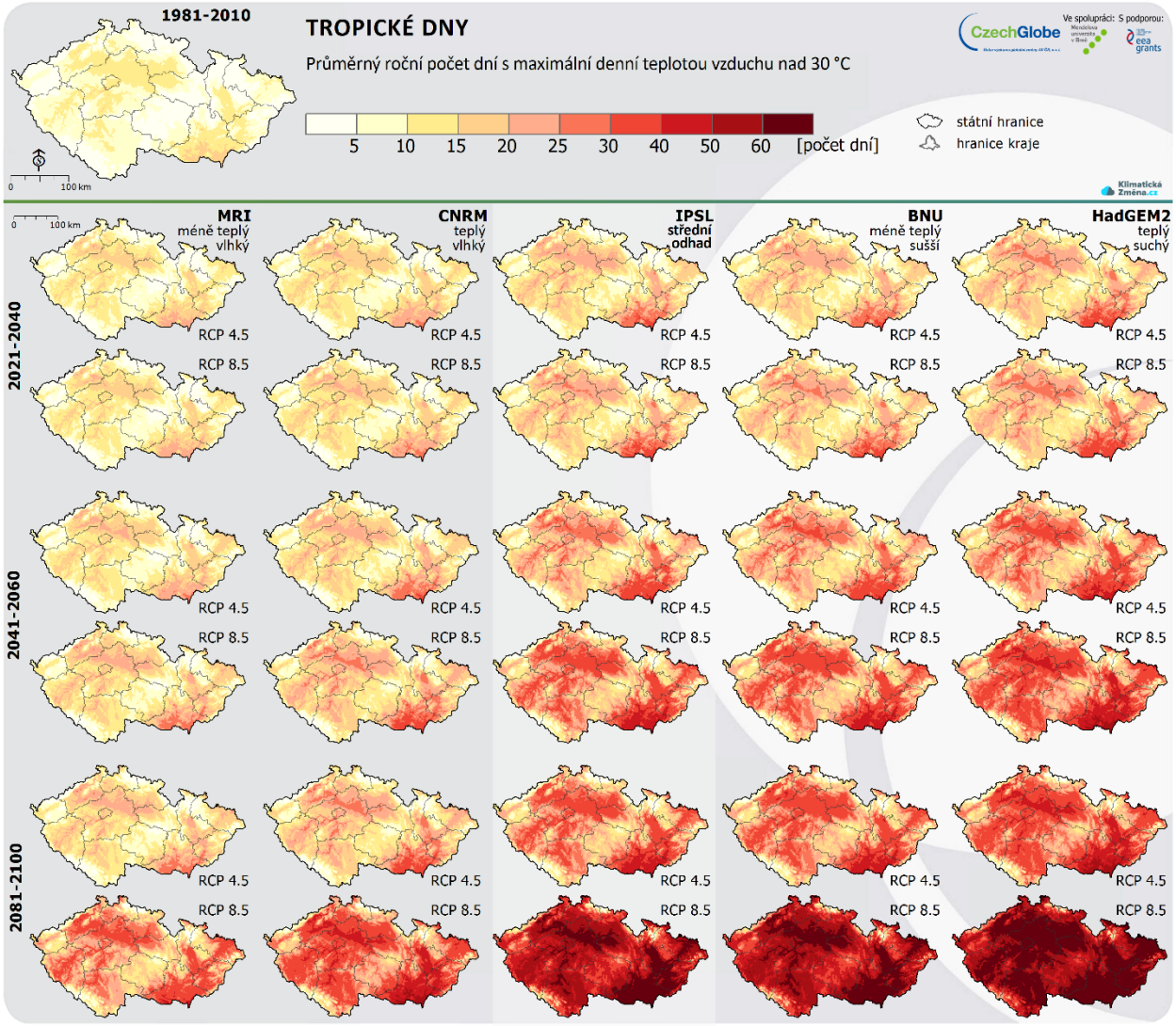
- Průměrné roční teploty
- Průměrné letní teploty
- Počet tropických dnů
- Délka a četnost vln veder
- Počet ledových dnů
- Trvání sněhové pokrývky
- Délka období sucha

- Jarní srážkové úhrny
- Letní srážkové úhrny
- Podzimní srážkové úhrny
- Počet dnů se srážkami nad 20 mm

Všechny tyto indikátory pro období 1981–2010 a výhledy pro 21. století jsou k dispozici na webových stránkách www.klimatickazmena.cz a to na základě dat použitých v 5. hodnotící zprávě IPCC (2013) pro emisní scénáře RCP4.5 a RCP8.5. Na základě detailní analýzy dostupných GCM modelů použitými v AR5 byly z databáze CMIP5 (Taylor et al. 2012) vybrán 5 reprezentativních GCM modelů, které poměrně dobře reprezentují spektrum očekávaných změn a 3 z nich byly využity na základě předběžných výsledků v předchozí verzi zprávy.

4.2.3.1.1 Počet tropických dní, tj. dní s teplotou Tmax > 30°C

Nárůst četnosti tropických dní je v průměru dvojnásobný do poloviny století a i pak bude růst velmi rychle (obr 4.12.13 a tab. 4.2.2). Nárůstu nejsou a nebudou ušetřeny ani střední a vyšší polohy a stoupá výrazně incidence tropických dní v měsících jako je květen, kdy mají vysoké teploty potenciál napáchat výrazné škody na řadě zemědělských plodin i trvalých kultur.



Obr. 4.2.13 Průměrný počet dní s denní maximální teplotou > 30°C v v období v období 1981–2010 a dále pro období let 2021–2040, 2041–2060 a 2081–2100 pro 5 GCM modelů a RCP4.5 a RCP8.5

Pozn: Referenční období je 1981–2010 a jsou zpracovány časové horizonty 2021–2040, 2041–2060 a 2081–2100 pro výběr 5 reprezentativních modelů (upraveno dle www.klimatickazmena.cz).

Tab. 4.2.2 Průměrný počet dní s denní maximální teplotou > 30°C v období v období 1961–1990 a 1991–2014 a jeho změna (oproti 1991–2014) pro období let 2021–2040 a 2081–2100 pro 5 GCM modelů a RCP4.5 a RCP8.5. Hodnoty jsou vyjádřeny jako medián pro území ČR a území ČR do nadmořské výšky 400 m n. m. (Zdroj: www.klimatickazmena.cz)

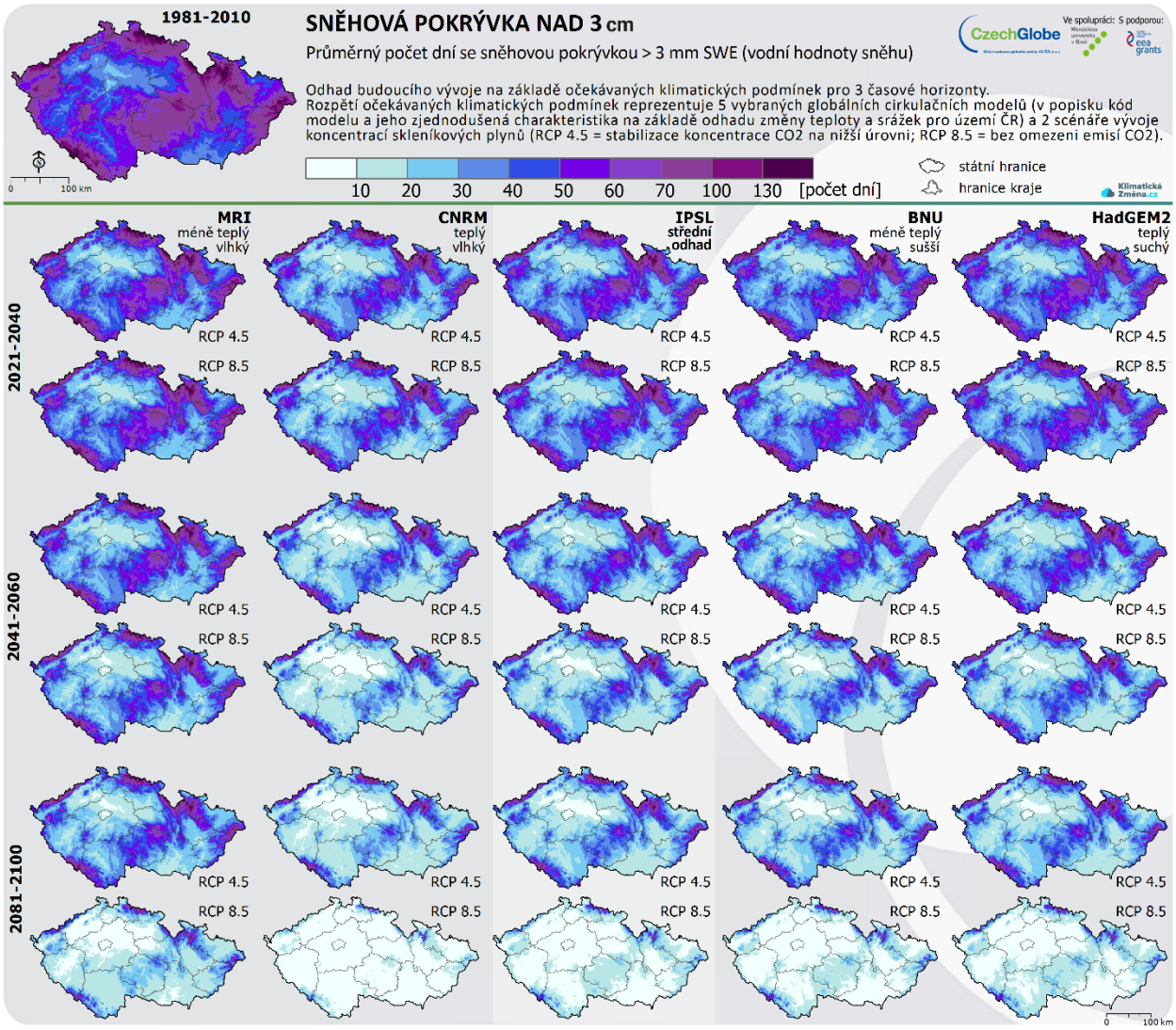
Tropické dny [dny]	**Současnost**	Očekávané klimatické podmínky						
	1981–2010			MRI	CNRM	**IPSL**	BNU	HadGEM2
CR	**7**	RCP 4.5	2021–2040	10	11	**14**	15	16
			2041–2060	12	14	**19**	19	22
			2081–2010	14	17	**24**	25	29
		RCP 8.5	2021–2040	11	12	**15**	16	18
			2041–2060	14	17	**23**	24	29
			2081–2010	22	29	**49**	50	60
0–400 m n. m.	**11**	RCP 4.5	2021–2040	15	16	**20**	20	22
			2041–2060	17	19	**25**	26	29
			2081–2010	19	23	**32**	33	38
		RCP 8.5	2021–2040	15	17	**21**	22	24
			2041–2060	19	23	**32**	32	37
			2081–2010	30	38	**60**	61	72

4.2.3.1.2 Trvání sněhové pokrývky

Délka trvání sněhové pokrývky je indikátorem naznačujícím možnosti pěstování (a zejména úspěšného přezimování) klíčových plodin, jakými jsou v současnosti pšenice ozimá či řepka ozimá. Současně je vhodným indikátorem signalizujícím charakter počasí v zimním období, a to jak z pohledu teplot, tak z pohledu srážek. Odhadovaná změna počtu dní se sněhovou pokrývkou a dramatický pokles na celém úemí očekávaný dle všech modelů na prakticky celém území, ale zvláště v nadmořských výškách nad 400 m.n.m dokumentuje obr. 4.2.14 a tab. 4.2.3. Při realizaci emisního scénáře RCP8.5 by během tohoto století poklesl průměrný počet dní se sněhovou pokrývkou vyšší než 3 cm čerstvého sněhu (což je minimum pro její protektivní funkci) na přibližně jednu desetinu současných hodnot i méně. V tomto ukazateli panuje mezi třemi použitými GCM modely velmi dobrá shoda.

Tab. 4.2.3 Průměrný počet dní se sněhovou pokrývkou větší než 3 cm v období v období 1981–2010 a dále pro odobí let 2021–2040, 2041–2060 a 2081–2100 pro 5 GCM modelů a RCP4.5 a RCP8.5. Hodnoty jsou vyjádřeny jako medián pro území ČR a území ČR do nadmořské výšky 400 m n. m.

Délka vegetační sezóny [dny]	**Současnost**	Očekávané klimatické podmínky						
	1981–2010			MRI	CNRM	**IPSL**	BNU	HadGEM2
CR	**65**	RCP 4.5	2021–2040	48	40	**44**	44	44
			2041–2060	42	30	**36**	36	37
			2081–2010	35	22	**28**	29	30
		RCP 8.5	2021–2040	47	37	**42**	42	43
			2041–2060	36	23	**29**	29	30
			2081–2010	18	7	**11**	12	13
0–400 m n. m.	**48**	RCP 4.5	2021–2040	32	24	**27**	28	28
			2041–2060	26	18	**21**	21	22
			2081–2010	22	12	**16**	16	17
		RCP 8.5	2021–2040	30	22	**26**	26	27
			2041–2060	22	13	**17**	16	18
			2081–2010	10	4	**7**	6	7



Obr. 4.2.14 Průměrný počet dní se sněhovou pokrývkou větší než 3 cm v období v období 1981–2010 a dále pro období let 2021–2040, 2041–2060 a 2081–2100 pro 5 GCM modelů a RCP4.5 a RCP8.5

Pozn: referenční období je 1981–2010, a jsou zpracovány časové horizonty 2021–2040, 2041–2060 a 2081–2100 pro výběr 5 reprezentativních modelů (upraveno podle www.klimatickazmena.cz).

4.2.3.2 Indikátory dopadové

Hlavním úkolem rostlinné produkce je produkovat v dostatečném množství kvalitní potraviny a krmiva a rovněž suroviny pro různá odvětví průmyslu včetně výroby energie. Způsob hospodaření na půdě a pěstování polních plodin i dalších kultur tak ovlivňují energo-materiálové toky řízených ekosystémů, mají přímý vliv na vzhled krajiny i na okolní ekosystémy. Zvýšená variabilita výnosů polních plodin v posledních letech indikuje malou homeostázi agrosystémů na orné půdě v ČR. Lze usuzovat, že je to výsledek dlouhodobého (více jak 15 let) působení nízkých dávek živin v minerálních a organických hnojivech, relativně nízkých dávek pesticidů, především fungicidů a důsledek nevhodné struktury plodin – snížení ploch dobrých předplodin (okopanin, luskovin a víceletých pícnin). Negativní efekty těchto faktorů jsou zesilovány extrémními změnami počasí (vysoké teploty a sucho, přívalové deště, holomrazy a další anomálie v průběhu počasí), jejichž frekvence se v posledních letech zvyšuje. Lze předpokládat, že uvedené trendy hodnot indikátorů produktivity a stability produkce u řízených ekosystémů na orné půdě budou pokračovat také v následujících letech. Současně je evidentní, že hodnoty agrometeorologických předpokladů produkce se budou výrazně měnit. Z celé řady potenciálních indikátorů, které byly vyhodnocovány a zčásti představeny výše, byly jako dopadové zvoleny následující:

- Efektivní délka vegetačního období (EDVO), jako indikátor potenciální produkce;
- Stres nedostatkem vláhy v povrchové vrstvě půdy (0–40 cm), jako indikátor zemědělského sucha.

4.2.3.2.1 Efektivní délka vegetačního období, EDVO

Efektivní délka vegetačního období je jedním z indikátorů, který můžeme použít pro vyhodnocování produkční schopnosti území z pohledu zemědělské výroby. Jak dokládá obr. 4.2.15, očekáváme stagnaci EDVO v oblasti jižní Moravy a zčásti severozápadních Čech a nárůst v polohách nad 400 m. n. m. Nárůst teplot, který prodlužuje trvání vegetační doby (obr. 4.2.6) ale protože v některých z nížin očekáváme zhoršení parametrů vodní bilance, dojde i k poklesu EDVO. Ve vyšších polohách se průměrná hodnota EDVO zvýšila (tab. 4.2.4) právě v důsledku vyšších teplot, přičemž srážky byly stále ještě dostatečné, aby udržely zásobu vody v půdě na dostatečné úrovni. Tab. 4.2.4 dokládá, že změny jsou významné jak v celé ČR, tak zejména v oblastech ČR s nadmořskou výškou nižší než 400 m n. m (tedy v oblasti, kde se nachází většina našich nejproduktivnějších regionů). Je třeba upozornit na značnou variabilitu mezi použitými modely (tab. 4.2.3)



Obr. 4.2.15 Počet dní efektivní vegetační sezóny v období v období 1981–2010 a jeho změna (oproti 1991–2014) pro období let 2021–2040 a 2081–2100 pro 5 GCM modelů a RCP4.5 a RCP8.5

Pozn. referenční období je 1981–2010 a jsou zpracovány časové horizonty 2021–2040, 2041–2060 a 2061–2080 pro výběr 5 reprezentativních modelů. Efektivní délka vegetační sezóny je definovaná jako počet dní v souvislém období bez sněhové pokrývky, ve kterém je průměrná teplota vzduchu trvale vyšší než 5 °C a minimální teplota neklesá pod –2 °C a současně jde o dny s denní sumou globální radiace nad 10 MJ.m.$^{-2}$.den^{-1} a aktuální evapotranspirace dosahuje alespoň 40 % úrovně evapotranspirace referenční (upraveno podle www.klimatickazmena.cz).

Tab. 4.2.4 Efektivní délka vegetačního období v období 1961–1990 a 1991–2014 a jeho změna oproti 1991–2014 pro období let 2021–2040, 2041–2060 a 2081–2100 pro 3 GCM modely a RCP4.5 a RCP8.5. Hodnoty jsou vyjádřeny jako medián pro území ČR a území ČR do nadmořské výšky 400 m n. m.

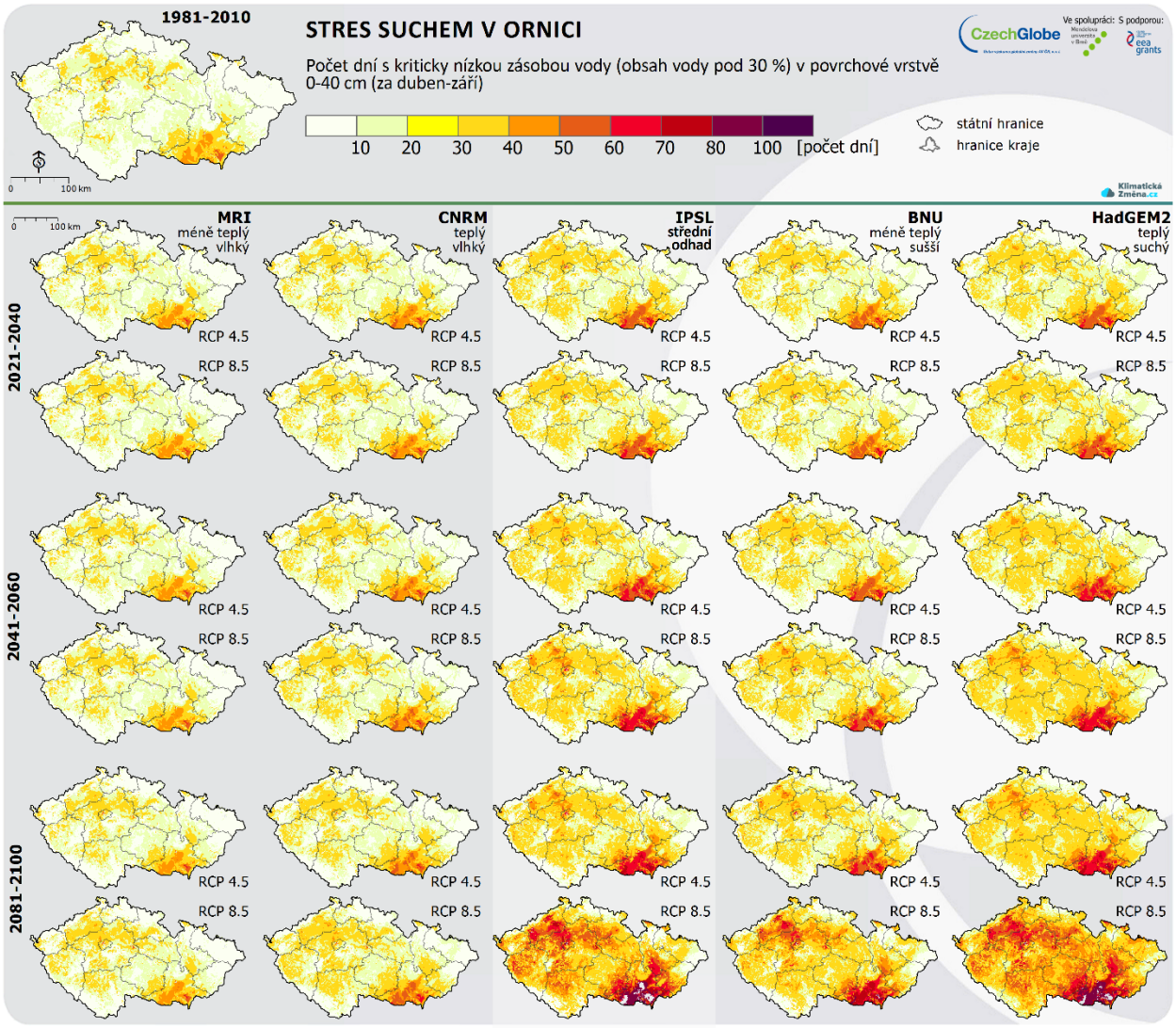
Efektivní délka vegetační sezóny [dny]	**Současnost**	Očekávané klimatické podmínky						
	1981–2010			MRI	CNRM	**IPSL**	BNU	HadGEM2
CR	**186**	RCP 4.5	2021–2040	194	200	**192**	190	190
			2041–2060	198	208	**195**	192	190
			2081–2010	202	216	**198**	194	189
		RCP 8.5	2021–2040	195	202	**192**	191	190
			2041–2060	201	214	**197**	194	189
			2081–2010	215	241	**202**	198	182
0–400 m n. m.	**174**	RCP 4.5	2021–2040	180	188	**177**	175	173
			2041–2060	184	195	**179**	175	172
			2081–2010	188	204	**180**	176	170
		RCP 8.5	2021–2040	181	189	**177**	175	173
			2041–2060	187	202	**180**	176	171
			2081–2010	201	227	**182**	177	164

4.2.3.2.2 Stres nedostatkem vláhy v povrchové vrstvě půdy (0–40 cm)

Počet dní s nedostatkem vláhy v povrchové vrstvě je indikátorem vhodnosti/nevhodnosti území pro produkci plodin bez využití závlah. Jak ukazuje obr. 4.2.16 a tab. 4.2.5 některé modely GCM odhadují, že počet suchých dní by mohl narůst až na dvojnásobek do poloviny století. Nedostatek vláhy by pochopitelně postihl nejen polní plodiny, ale indikátor lze použít pro odhad změn produkčních podmínek, například pro trvalé travní porosty či trvalé kultury (např. sady či vinice) nebo porosty lesní. Relativně nejmenší změnu oproti současnosti lze odhadnout při realizaci GCM modelů MRI a CNMR. Výskyt sucha je zároveň spojen s nárůstem teplot a tyto dva extrémy se doplňují a pro budoucí desetiletí představuje právě tato kombinace značné riziko (obr. 4.2.17).

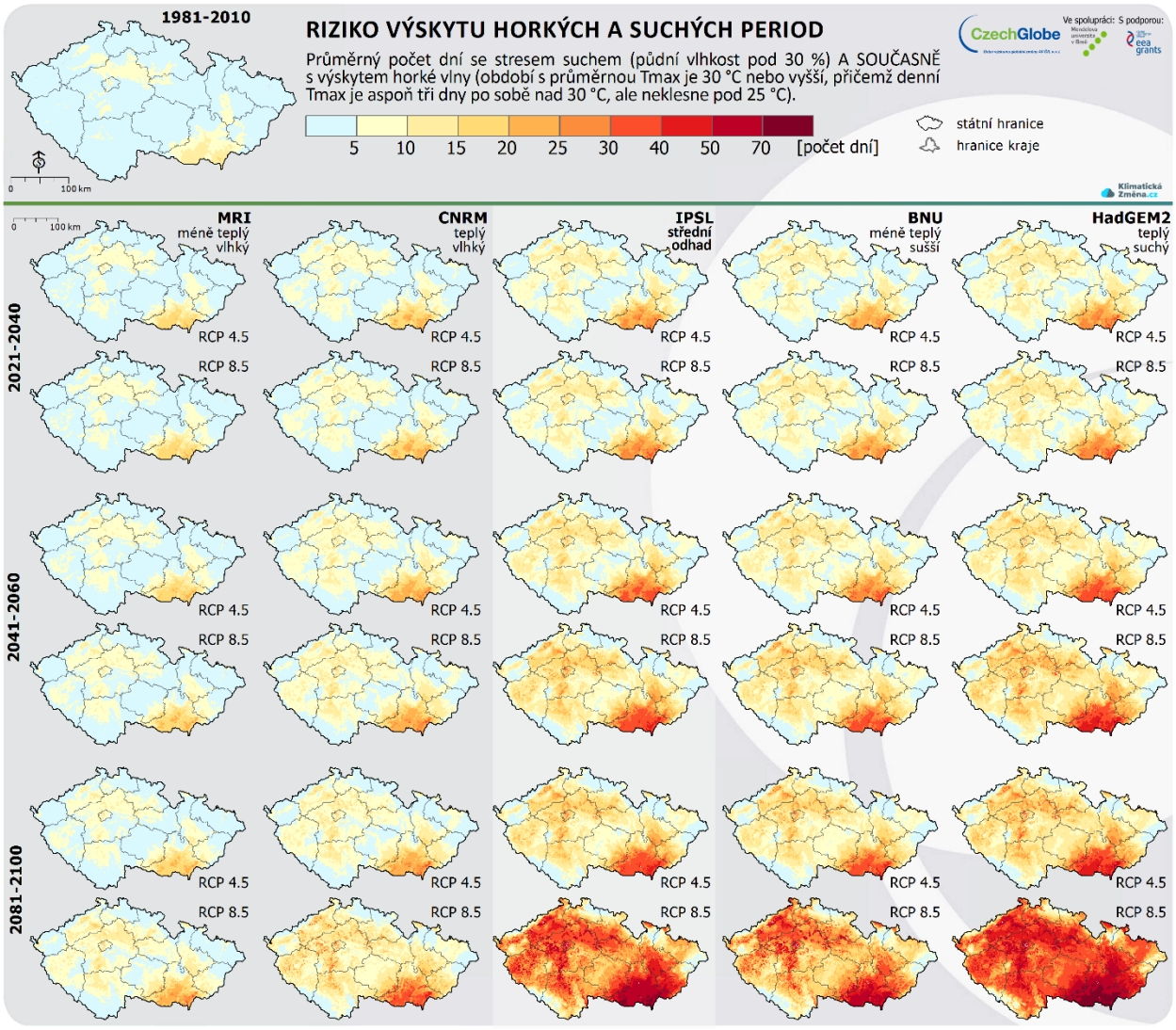
Tab. 4.2.5 Průměrný počet dní s nedostatkem vláhy vyvolávajícím stres suchem v období v období 1981–2010 a dále pro odobí let 2021–2040, 2041–2060 a 2081–2100 pro 5 GCM modelů a RCP4.5 a RCP8.5. Hodnoty jsou vyjádřeny jako medián pro území ČR a území ČR do nadmořské výšky 400 m n. m.

Stres suchem v ornici [dny]	**Současnost**	Očekávané klimatické podmínky						
	1981–2010			MRI	CNRM	**IPSL**	BNU	HadGEM2
CR	**12**	RCP 4.5	2021–2040	13	14	**18**	17	19
			2041–2060	14	15	**20**	19	22
			2081–2010	14	16	**23**	21	26
		RCP 8.5	2021–2040	14	15	**18**	17	20
			2041–2060	14	16	**23**	20	25
			2081–2010	15	18	**36**	29	41
0–400 m n. m.	**17**	RCP 4.5	2021–2040	19	20	**25**	23	26
			2041–2060	19	21	**28**	26	29
			2081–2010	20	22	**32**	29á	34
		RCP 8.5	2021–2040	19	20	**26**	24	27
			2041–2060	20	22	**31**	28	33
			2081–2010	21	24	**48**	39	50



Obr. 4.2.16 Průměrný počet dní s nedostatkem vláhy vyvolávajícím stres suchem v období v období 1981–2010 a jeho změna oproti 1991–2014 pro období let 2021–2040 a 2081–2100 pro 5 GCM modelů a RCP4.5 a RCP8.5

Pozn: Referenční období je 1981–2010 a jsou zpracovány časové horizonty 2021–2040, 2041–2060 a 2081–2100 pro výběr 5 reprezentativních modelů (upraveno podle www.klimatickazmena.cz).



Obr. 4.2.17 Průměrný počet dní v roce s výskytem nedostatku vláhy a vysokých teplot nedostatkem vláhy vyvolávajícím stres suchem v období v období 1981–2010 a jeho změna oproti 1991–2014 pro období let 2021–2040 a 2081–2100 pro 5 GCM modelů a RCP 4.5 a RCP 8.5

Pozn: Referenční období je 1981–2010 a jsou zpracovány časové horizonty 2021–2040, 2041–2060 a 2081–2100 pro výběr 5 reprezentativních modelů (upraveno dle www.klimatickazmena.cz).

4.2.4 Vyhodnocení zranitelnosti vůči dopadům změny klimatu, identifikace nejzranitelnějších regionů v ČR

4.2.4.1 Vyhodnocení zranitelnosti zemědělských ekosystémů pomocí zvolených indikátorů

- Je evidentní, že existuje riziko snížení potenciální produktivity klíčových zemědělských oblastí v ČR, neboť v důsledku nedostatku vláhy stagnuje a případně klesá efektivní délka vegetační sezóny a to primárně v nížinách. Naopak ve vyšších polohách s relativním dostatkem vláhy hodnota roste, ale zemědělská produkce ve vyšších polohách nebude schopna v dlouhodobém časovém horizontu vykrývat výpadky nižších poloh. Výsledná hodnota indikátoru je poměrně dosti citlivá na volbu klimatického modelu, nicméně významná část modelů signalizuje riziko poklesu produktivity a tento fakt některé z předchozích studií zanedbaly.
- Změny v délce trvání sněhové pokrývky jsou zásadní a nepříznivé pro produkci ozimých plodin. Ačkoliv krátké trvání sněhové pokrývky umožní použít některé alternativní postupy, zůstává naše území zranitelné při výskytu extrémně nízkých teplot v zimních měsících bez přítomnosti sněhové pokrývky.

- Riziko výskytu sucha obecně stoupne, a to podle některých scénářů i několikanásobně. To v kombinaci s výše uvedenými změnami podvazuje produkční schopnost zvláště těch regionů, které dnes spadají do kukuřičné a řepařské výrobní oblasti.
- Počet extrémně teplých dní se zvýší dramaticky a riziko negativních dopadů pro zemědělské plodiny i hospodářská zvířata a akvakultury je vysoké. Navíc na rozdíl od nedostatku vláhy není zvýšení počtu extrémně teplých dní řešitelné u polních kultur technickými opatřeními. Dramaticky se zvyšuje riziko výskytu dní s maximem vyšším než 35 °C a také riziko vysokých teplot již v měsíci květnu.

4.2.4.2 Identifikace nejzranitelnějších regionů a regionálně nejzávažnějších dopadů

U všech zvolených indikátorů pozorujeme negativní změny v oblasti jižní Moravy a středních a severozápadních Čech, v případě sněhové pokrývky také významněji ve vyšších polohách. Zde se i dopady projeví nejdříve a s vyšší intenzitou. Kombinace zvýšené pravděpodobnosti výskytu extrémně vysokých teplot a zimního období prakticky bez sněhové pokrývky může vést ke zvýšené variabilitě výnosů. Ostatně tyto tendence jsou patrné už dnes (např. Trnka 2015). Naopak ve středních a vyšších polohách je možné očekávat zejména v nejbližším hodnoceném horizontu (2021–2040) v některých ohledech i zlepšení podmínek pro zemědělské hospodaření. Bohužel tyto regiony se svými půdními vlastnostmi a často i konfigurací terénu nemohou vyrovnat potenciální výpadek produkce v nižších nadmořských výškách. Navíc hospodaření v těchto oblastech je ovlivněno i vyšším výskytem trvalých travních porostů s půdoochrannou a retenční funkcí a přeměna na ornou půdu by byla dlouhodobě neudržitelná a v rozporu s udržitelným hospodařením.

4.2.5 Souhrn – What if analýza

Tab. 4.2.6 Zemědělství, souhrnná what-if analýza

What if …? Co se stane, v důsledku …?	mechanismus působení	… za uvažovaného stavu/podmínek systému/oblasti	Předpokládané negativní dopady/rizika	Pravděpodobnost scénáře	Závažnost Dopadu	Zranitelnost systému	Subjektivní riziko
otázka				(1–nejnižší, 5–nejvyšší)			
Zvyšování průměrné teploty vzduchu	V důsledku nárůstu průměrné teploty vzduchu dojde ke změnám podmínek pro zemědělskou produkci a to jak z hlediska "příznivého" prodloužení vegetačního období, tak z hlediska výskytu stresujících teplotních podmínek jak pro rostlinnou, tak pro živočišnou výrobu.	Při současném způsobu zemědělského hospodaření podmínek péče o hospodářská zvířata.	Prodloužení vegetačního období. Tzv. velké vegetační období na celém území ČR delší o více než jeden měsíc (prodloužení symetricky rozloženo mezi jaro a podzim), nemusí však znamenat lepší podmínky pro rostlinnou produkci	4	1	1	**4**
			Výrazné snížení rozlohy oblastí odpovídajících agroklimatickými podmínkami obilnářsko-bramborářské a pícninářské výrobní oblasti. Na většině území agroklimatické podmínky odpovídající kukuřičné výrobní oblasti. V nížinách výskyt nezvykle teplých a suchých podmínek.	4	3	3	**36**
			Nové invazní druhy chorob a škůdců, vyšší počet generací stávajících škůdců a jejich posun do vyšších nadmořských výšek	4	2	2	**16**
			Při zohlednění přímého vlivu vyšší koncentrace CO_2 v atmosféře lze očekávat stagnaci nebo mírný nárůst průměrných výnosů ječmene jarního a pšenice ozimé. V kombinaci s výskytem dalších agroklimatických faktorů lze očekávat nárůst rozdílů mezi jednotlivými ročníky.	4	3	3	**36**
			Stres chovaných zvířat vysokými teplotami (stáje i pastviny), snížení užitkovosti zvířat	3	3	3	**27**
			Riziko vážného poškození obilnin v citlivých fázích růstu (např. období okolo kvetení), riziko stresu vysokými teplotami u plodin s dobou vegetace během letních měsíců (pícniny, kukuřice, řepa...).	4	4	4	**64**

What if …? Co se stane, v důsledku …?	mechanismus působení	… za uvažovaného stavu/podmínek systému/oblasti	Předpokládané negativní dopady/rizika	Pravděpodobnost scénáře	Závažnost Dopadu	Zranitelnost systému	Subjektivní riziko
			Stres vysokými teplotami, nárůst rizika poškození obilnin v citlivých fázích růstu stávajících plodin (např. období okolo kvetení).	4	4	4	**64**
Zvýšená pravděpodobnost výskytu dlouhodobého sucha	Zvyšování teloty vzduchu a pokles srážek v létě a prodlužování bezsrážkových období bude mít vliv na snížení množství vody v krajině a vzniku dlouhodobého sucha s riziky pro zemědělskou produkci.		Prohloubení deficitu vodní bilance s výsledkem četnějších a intenzivnějších epizod sucha v rámci vegetační doby (s negativními dopady zejména v nížinách).	4	4	4	**64**
			Nedostatek půdní vláhy pro růst plodin s dobou vegetace v letních měsících (např. kukuřice, cukrová řepa, pícniny).	3	4	4	**48**
			Díky vyššímu stresu suchem propady výnosů zemědělských plodin. Nížiny budou patřit mezi častěji postižené oblasti. Problém s přípravou půdy a zakládání porostů ozimů. Problematické zakládání porostů meziplodin.	4	4	5	**80**
			Pravděpodobný nárůst potřeby závlahové vody pro eliminaci výnosových ztrát; snížení účinnosti hnojiv.	3	3	4	**36**
			V případě nízkých vlhkostí půdy je problematické zpracování půdy. Vzroste riziko větrné eroze během zpracování půdy i mimo operace vyšší riziko smyvu na živiny bohaté povrchové vrstvy s nevyužitými hnojivy.	4	3	3	**36**
	V důsledku očekávaného nárůstu teploty a změny srážkového režimu bude docházet k častějšímu výskytu hydrologického sucha v podobě výskytu malého průtoku, zejména v letním období.	Při současném způsobu užívání vod.	Nedostatek vodních zdrojů pro závlahy.	3	4	3	**36**

What if …? Co se stane, v důsledku …?	mechanismus působení	… za uvažovaného stavu/podmínek systému/oblasti	Předpokládané negativní dopady/rizika	Pravděpodobnost scénáře	Závažnost Dopadu	Zranitelnost systému	Subjektivní riziko
Potenciální změny míry nebezpečí povodní a přívalových povodní	Změny teploty vzduchu (zejména v zimním a jarním období) a změny ve srážkovém režimu povedou k odpovídající změně povodňového režimu na území ČR. V letním období jsou dopady velmi nejisté. Bude totiž proti sobě působit četnější výskyt dnů s vyššími (přívalovými) srážkami a úhrn takových epizod a spíše menší "počáteční" nasycení v důsledku výskytu delších bezesrážkových období a vyššímu výparu. Nejistý je i vliv změn vegetace a vegetačních fází (např. dřívější sklizně a tím obnažení půdního povrchu).		Poškození porostů v důsledku krátkodobého i dlouhodobého zaplavení pozemků. Snížení přístupnosti pozemků.	3	4	4	**48**
Změna výskytu dalších extrémních jevů (nebezpečný vítr, bouře, ledovka)	Četnější výskyt extrémních hydrometeorologických jevů, zejména konvekčních meteorologických jevů - přívalové srážky, krupobití.	Při současném způsobu zemědělského hospodaření a nevyhovujícího stavu zemědělské krajiny.	Narůstající riziko odnosu půdy na svažitých pozemcích bez patřičných protierozních opatření.	3	4	4	**48**
			Poškození porostů na orné půdě v důsledku přívalových dešťů a krupobití (např. poléhání, poškození listového aparátu, pokles kvality produkce).	3	4	4	**48**
			V důsledku přívalových srážek bude narůstat riziko vyplavování živin z půdy.	3	4	4	**48**
Ostatní	Výrazně se snižující počet mrazových a ledových dní	Při současném způsobu zemědělského hospodaření.	Menší riziko poškození plodin mrazy a holomrazy, které by díky absenci sněhové pokrývky mohly škodlivě působit častěji.	3	2	1	**6**
			Menší riziko poškození porostů mrazy.	3	2	3	**18**
	Nárůst výskytu pozdních/časných mrazů v době vegetace	Při současném způsobu zemědělského hospodaření.	Výrazný nárůst rizika pro trvalé kultury i polní plodiny. Omezí výběr adaptačních možností.	5	3	3	**45**

4.2.6 Analýza navržených adaptačních opatření dle Adaptační strategie

4.2.6.1 Srovnání identifikovaných rizik s návrhy adaptačních opatření

Adaptační strategie doporučuje celou řadu adaptačních opatření v souvislosti s řešením negativních dopadů změny klimatu do oblasti zemědělství. Důraz je sice v úvodu kladen na flexibilní a šetrné využívání území, zavádění nových technologií stejně jako diverzifikace zemědělství, nicméně konkrétní opatření jsou pak dále rozváděna zejména s důrazem na udržení půdní úrodnosti. V případě udržení produkční schopnosti území je pak adaptační strategie podstatně méně konkrétní. Strategie současně neřeší potenciální ohrožení produkční úrovně, a přestože je bere v úvahu a navrhuje „diverzifikaci" zemědělské výroby a expanzi zemědělských subjektů do jiných činností, nelze pominout reálné riziko vyšší výnosové variability na hospodaření těchto subjektů.

Opatření navržená v Adaptační strategii pokrývají řadu predikovaných dopadů klimatické změny, nicméně v některých ohledech postrádají konkrétní (funkční) návrhy, které by zajistily udržitelnou zemědělskou produkci. Níže v tabulce je seznam hlavních identifikovaných rizik a k nim je uvedeno vyhodnocení dostatečnosti opatření z Adaptační strategie (MŽP 2015).

Tab. 4.2.7 Zemědělství – analýza navržených adaptačních opatření dle návrhu Adaptační strategie

Hlavní identifikovaná rizika	Porovnání rizik s opatřeními dle Adaptační strategie	Návrh na doplnění dalších opatření
Zvýšení počtu tropických dní – riziko pro správný vývoj a růst rostlin a riziko poklesu výnosu.	AS reaguje podporou výzkumu nových genetických zdrojů, a zčásti nezmiňuje nutnost potřebu hledání nové plodinové struktury.	Je nezbytné klást větší důraz na nejen růst diverzity používaných odrůd i plemen, ale i plodinové struktury. Je nutné posílit resilienci odrůd a plodin.
Zvýšení počtu tropických dní – riziko pro hospodářská zvířata (teplotní stres zvláště pro vysoko-užitková plemena) a akvakultury (zejména chov ryb v rybnících s nízkým průtokem a nemožností regulace teploty vody)	AS reaguje podporou výzkumu nových genetických zdrojů, nicméně otázku případné nutnosti zavádění chovu nových druhů ryb a odolnějších plemen skotu a/nebo stavební modifikaci existujících budov/nádrží, aby vyhovovaly očekávaným podmínkám, nezmiňuje.	Zavádění chovu nových druhů ryb a odolnějších plemen skotu. Stavební modifikace existujících budov/nádrží.
Snížení zásoby vody v půdě – bude docházet k výraznému snížení disponibilní vody v půdním profilu	AS riziko vnímá, nicméně navrhovaná opatření doposud postrádají provázanost na další sektory.	AS postrádá požadavek na bilanci dostupných vodních zdrojů a kvantifikaci disponibilní vody např. pro závlahy. Nutné pro specifikaci komplexu vhodných opatření.
Riziko výskytu extrémně suchých období – devastující epizody sucha na velkém území	AS upozorňuje na riziko výskytu zemědělského sucha, nicméně větší pozornost je třeba věnovat devastujícím epizodám. Důsledky pro potravinou bezpečnost a ekonomickou stabilitu sektoru jsou zmiňovány nepřímo.	V AS chybí v oblasti zemědělství strategie proti suchu. Tuto oblast je vhodné podrobněji rozpracovat
Zvýšení erozního ohrožení půdy a zintenzivnění dopadu eroze na vodní zdroje	AS reaguje na riziko dostatečně.	X
Zkrácení doby přítomnosti sněhové pokrývky, omezení jejího ochranného vlivu a současně nárůst rizika jarního sucha	AS tuto skutečnost zmiňuje jako riziko.	Je třeba upozornit, že pěstování ozimých plodin (které bude v podmínkách bez sněhové pokrývky riskantnější) je často zmiňováno jako opatření proti dopadům zemědělského sucha.
Pokles počtu produktivních dní – riziko snížení produkční schopnosti území a celkové výnosové úrovně.	AS riziko poklesu zemědělské produkce nezmiňuje a nenabízí tedy ani adresná adaptační opatření.	Nenavržena

Hlavní identifikovaná rizika	Porovnání rizik s opatřeními dle Adaptační strategie	Návrh na doplnění dalších opatření
Zvýšení teplot a sum efektivních teplot – riziko pro výskyt vyššího počtu generací některých škodlivých činitelů, výskyt nových škodlivých činitelů	AS na toto riziko reaguje dostatečně.	X
Celková změna agrometeorologických podmínek – nutnost hledání nových způsobů organizace rostlinné a návazné živočišné výroby (nové osevní postupy, zdroje krmiv apod.)	AS nezmiňuje riziko zneplatnění současných agrotechnických postupů, provázanosti rostlinné a živočišné výroby a osevních postupů.	Zavádění nových plodin a plemen. Budování zpracovatelských kapacit a vytvoření odbytových předpokladů.
Změna klimatu způsobí změny v agrárním sektoru globálně nikoliv pouze v ČR. Adaptace po jednotlivých komoditách pravděpodobně nebude úspěšná. Adaptace agrárního sektoru musí být komplexní a brát v úvahu globální procesy i provázanost procesů (koloběhy vody, energie a látek) v rámci celého systému.	AS neřeší holistickou adaptační strategii ale je spíše výčtem konkrétních opatření.	Vypracovat/vyhodnoit variantní komplexní strategii včetně ekonomických a environmentálních dopadů (akutálně řešeno v projektu SustES).

4.2.6.2 Závěrečné zhodnocení Adaptační strategie

Jak naznačuje tabulka výše, Adaptační strategie zmiňuje řadu opatření použitelných při adaptaci na klimatickou změnu. Nicméně je třeba upozornit, že v případě zemědělské výroby je návrh směrů adaptací orientován především na ochranu zemědělského půdního fondu a ekosystémové služby s výjimkou produkční funkce. Strategie klade důraz na principy udržitelného hospodaření. S tím nelze než souhlasit, ale je třeba akcentovat i udržitelnost produkční schopnosti, jako předpoklad ekonomické udržitelnosti hospodaření. Jako zásadně důležité v případě zemědělství vidíme nutnost vytvářet komplexní adaptační strategii zahrnující zemědělství, lesnictví a vodní hospodářství a zohlednit vývoj globálních agrárních trhů v očekávaném klimatu. Tyto adaptační strategie jsou předmětem řešení projektu SustES (CzechGlobe) s cílem najít řešení, která budou fyzikálně, biologicky, environmentálně, ekonomicky i sociálně udržitelná.

Závěrečná tab. 4.2.8 zachycuje přehled možných adaptačních opatření, které jsou zaměřeny na zachování produkční ekosystémové služby, ale tak aby byly podpořeny služby mimoprodukční. Uvádíme přehled možných a operativně uplatnitelných opatření, včetně limitů jejich realizace.

Tab. 4.2.8 Přehled možných adaptačních opatření

Zlepšující opatření	Vybrané argumenty, proč nejsou realizována	Doba, za kterou se projeví zlepšení	Náklady na straně státu
osevní postupy se zařazením zlepšujících plodin jako jsou např. pícniny a luskoviny	některé plodiny nelze prodat nebo produkovat se ziskem, neodpovídající klimatické podmínky	5–7 let	minimální
změny v organizaci bloků, jejich zmenšení, změna orientace a střídání různých plodin	slabá pozice pachtýře, komplikovaná administrativa v LPIS	2–3 roky	minimální
zodpovědný a poučený hospodář jako partner, který může volit vlastní cestu a odpovídá za výsledek svých zásahů, nikoli za přesné dodržení často nesplnitelných obecně platných postupů	neochota měnit „známé“ vzorce chování, složitá administrace, nutnost a často neochota na straně farmářů i kontrolních orgánů se vzdělávat a především absence důvěry mezi zemědělci a kontrolními orgány, volání po represi ze strany laické veřejnosti namísto hledání funkčního řešení	4–6 let	stovky milionů

podpora „no-till“ technologií (No-till technologie je způsob, jak pěstovat plodiny bez obdělávání: půda se před setím nezpracovává, seje se speciálním secím strojem. Tím lze zvýšit množství vody, která proniká do půdy, retence organických látek v půdě a koloběh živin, na povrchu půdy zůstává 80 až 100 % rostlinných zbytků.) v kombinaci s aplikací meziplodin k udržení vegetačního pokryvu	nutnost zakoupení příslušných strojů, nutnost aplikovat glyfosfát, náročnější na organizaci práce, málo tuzemských zkušeností, relativně drahá technika a malý výběr	4–6 let	jednotky miliard
zvýšená aplikace organické hmoty do půdy pro zlepšení zadržení vody na místě	nedostatečná produkce hnoje, problematická rentabilita živočišné výroby; příliš malý domácí trh pro objem produkce, který by bylo nutné uplatnit	3–4 roky	desítky miliard
zadržení vody v krajině v nádržích (zavlažovací nádrže, rybníky, mokřady)	legislativní, environmentální, sociální aspekty	ihned po vybudování	desítky miliard
závlahy	nedostatek vody v době sucha, věcná břemena na pozemcích	ihned po vybudování	stovky milionů
šlechtění na suchovzdornost	nejsou, probíhá	ihned po využití odrůd	jednotky milionů
protierozní opatření – meze, remízky, biopásy apod.	zmenšení bloků, potřeba vyčlenit plochy z komerčního využití, objíždění, šíření plevelů, vlastnictví půdy, údržba, legislativa, úroveň technologií	ihned po realizaci	desítky miliard

4.3 VODNÍ REŽIM A VODNÍ HOSPODÁŘSTVÍ

Již v současnosti je možno na některých povodích v České republice sledovat negativní dopady změny klimatu na vodní hospodářství, a to v podobě výrazného poklesu odtoku v pozorovaných řadách od roku 1961 (Rakovnicko).

Příčinou tohoto negativního jevu je průběžné zvyšování teploty vedoucí k růstu evapotranspirace, jež byla po období 1990–2013 na většině území kompenzována růstem srážek, nicméně v některých (zatím omezených) oblastech k této kompenzaci dlouhodobě nedochází.

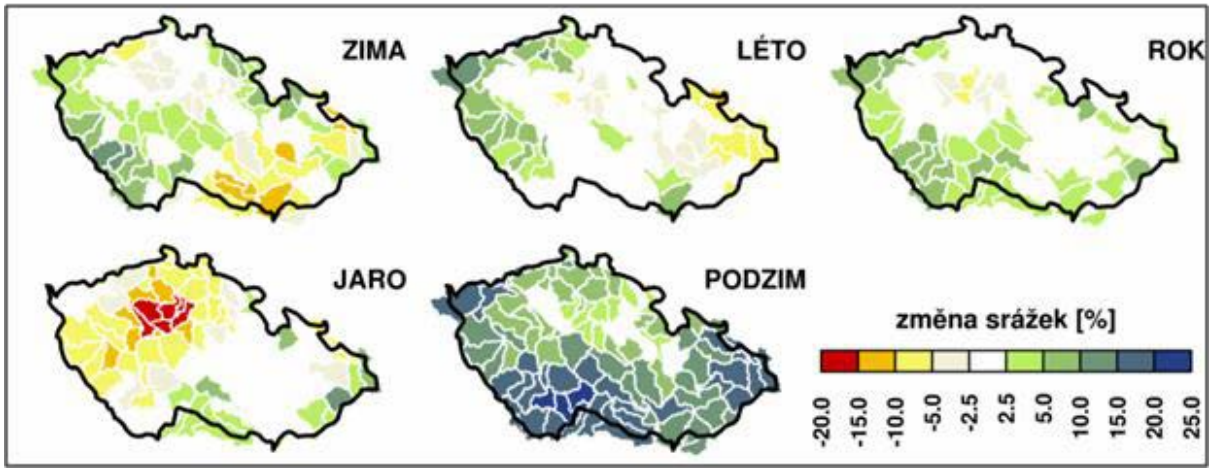
Nízké průtoky, snížení rychlosti proudění vody a zvýšená teplota vody způsobí, že voda bude mít v řekách a vodních nádržích delší dobu zdržení a bude se více prohřívat, což jsou obecně hlavní důvody snížení kvality povrchových vod.

Očekávané změny hydrologického cyklu a jakosti vody představují nebezpečí porušení funkce vodohospodářské infrastruktury a zřejmě povedou ke zvýšeným nárokům na odběry. Rostoucí požadavky na vodní zdroje mohou vést ke střetům zájmů mezi odběrateli i ke střetům se zájmem ochrany vodních ekosystémů a ekosystémů vázaných na vodní prostředí (MŽP, 2015).

4.3.1 Úvod – kontext a pozorované změny

Změny klimatických charakteristik, které ovlivňují hydrologický režim, lze v České republice pozorovat již řadu let. Nejmarkantnější trendovou změnou je pozorovaný nárůst teploty vzduchu, která např. mezi obdobími 1961–1980 a 1981–2015 vzrostla v ročním průměru o cca 0,4–0,9 °C. Tyto změny byly nejmarkantnější v letním období (červenec, srpen), na jaře (duben, květen) a v lednu. Naopak na podzim docházelo prozatím pouze k nevýrazným změnám. Rok 2018 byl na území ČR celkově nejteplejší za dobu pozorování od roku 1961 a tři nejteplejší roky za toto období byly zaznamenány v posledních pěti letech (2014, 2015 a 2018). Teplota vzduchu je zásadní faktor ovlivňující hydrologickou bilanci zejména z toho důvodu, že s rostoucí teplotou roste potenciální evapotranspirace (a pokud je v povodí dostupná voda i aktuální evapotranspirace), navíc se prodlužuje délka období, kdy míra evapotranspirace hydrologickou bilanci ovlivňuje. Dochází tedy k dřívějšímu nástupu vegetačního období a k celkově rychlejšímu úbytku vody z povodí výparem. Pozorovaný růst teploty vede k růstu potenciální evapotranspirace v ročním průměru řádově o 5–10 %, stejný růst lze konstatovat i pro jaro a léto. K nejvýraznějšímu růstu evapotranspirace dochází v zimě, a to až o více než 20 %, což je způsobeno větším počtem dní s kladnými teplotami vzduchu v průběhu zimy (Pretel, 2011).

Růst potenciální evapotranspirace byl přibližně do roku cca 2013 na velké části našeho území kompenzován růstem srážek (viz obr. 43 pro období do 2005). V roční bilanci za 1960 až 2005 činil tento nárůst až 10 %. V ročním chodu byl mezi hodnocenými obdobími výraznější nárůst u podzimních srážek (až 20 %, zejména v jižní části ČR). Výjimkou byla oblast středních Čech, kde namísto zmiňovaného růstu srážek, docházelo k jejich poklesu, na jaře až o 20 %. Z rozdílu změn srážek a potenciální evapotranspirace je zřejmé, že v roční bilanci docházelo na velké části našeho území k účinné kompenzaci růstu potenciální evapotranspirace zvýšenými srážkami. Nicméně v centrální části ČR se nacházela povodí, pro která toto neplatilo, což vedlo k dlouhodobě pasivní hydrologické bilanci. Právě v těchto oblastech se již v některých letech projevovaly negativní dopady změn klimatu v podobě nedostatku vodních zdrojů. Jednalo se např. o povodí Rakovnického potoka, Srpiny, Blšanky a další, tedy o povodí přirozeně chudá na srážky. Nicméně období let 2014 až 2018 bylo charakteristické výskytem podnormálních či normálních srážek, kdy celkově za dané pětiletí došlo ke vzniku deficitu srážek pro celé území ČR 387 mm ve srovnání s referenčním obdobím 1961–1990. V některých oblastech však deficit dosáhl až okolo 800 mm (Královehradecký kraj). Zkušenost těchto let tedy ukazuje na napjatý vztah vláhové bilance na většině území. Pokud by podobná tendence k výskytu suchých období pokračovala nebo s růstem teploty vzduchu dále zesilovala, může docházet k častějšímu vzniku nedostatku vody (vodních zdrojů) i v dnes bilančně příznivých oblastech zahrnující horská povodí (např. Smědá v roce 2018, povodí Odry v roce 2015 aj.). Pokud se v budoucnu naplní projekce klimatických modelů, můžeme očekávat podobné problémy de facto na celém území České republiky (Pretel, 2011).



Obr. 4.3.1 Pozorované změny srážek mezi obdobími 1961–1980 a 1981–2005 (Zdroj: Pretel 2011)

4.3.2 Dopady predikovaných scénářů změny klimatu na vodní režim v ČR

Podstata možných změn hydrologické bilance na našem území je známa již řadu let. Vyplývá z projekcí změn režimu srážek a teploty vzduchu pro Evropu, tj. postupné zvyšování teploty během celého roku a pokles letních, růst zimních a stagnace ročních srážek (Christensen, 2007). Přesné posouzení přímých důsledků změny klimatu na změny vodního režimu je zatím ještě zatíženo nejistotami a regionálními rozdíly (MŽP, 2015).

Modelovaná rostoucí teplota vzduchu v průběhu 21. století (viz kap. 2) v průběhu celého roku bude mít za následek zvýšení potenciální evapotranspirace a to především v období od března do září (tab. 4.3.1).

Tab. 4.3.1 Dlouhodobé měsíční a roční úhrny potenciální evapotranspirace travního porostu [mm] v referenčním a ve scénářových obdobích (Zdroj: MŽP 2015)

Období	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
1961–1990	7	11	25	51	76	84	88	76	49	31	16	11	524
2010–2039	9	13	27	54	83	81	96	83	53	34	15	11	559
2040–2069	9	14	32	64	89	87	104	96	60	33	17	13	617
2070–2099	10	15	36	67	88	92	117	110	67	35	18	13	669

Vyšší evapotranspirace povede k rychlejšímu úbytku vody v půdě zejména v době rychlého rozvoje vegetace na jaře. Úbytek vody v půdě však na druhé straně vede k poklesu skutečné (reálné) evapotranspirace, neboť k dosažení potencionální evapotranspirace není v půdě dostatek vody. Reálná evapotranspirace je tudíž limitována počáteční vlhkostí půdy a množstvím srážek. Vyšší evapotranspirace také může vést k menšímu doplňování zásob podzemních vod při významnějších letních srážkách, kdy lze v jejím důsledku očekávat v průměru menší počáteční nasycení půdy před výskytem srážek a větší „zachycení“ srážkové vody ve svrchních vrstvách pro spotřebu rostlin. V době výskytu srážkově nadprůměrných měsíců (zejména v letním období) může vyšší evapotranspirace při dostatku vody v krajině podporovat malý vodní oběh a podpořit tak srážky zejména ve formě horizontálních srážek (např. rosa), včetně podpory lokální (prostorově velmi variabilní) konvekce z tepla.

Zvyšování průměrné teploty v zimním období povede k omezení tvorby sněhových zásob zejména v nižších nadmořských výškách, kde průměrná teplota vzduchu již nyní i v zimních měsících přesahuje nebo se blíží 0 °C. Menší sněhové zásoby a dřívější „konec“ zimy nepříznivě ovlivňuje doplňování zásob podzemních vod, zejména proto, že kulminace stavu podzemních vod se v čase posouvá na dřívější čas a dříve tak začíná typický pokles v průběhu vegetačního období.

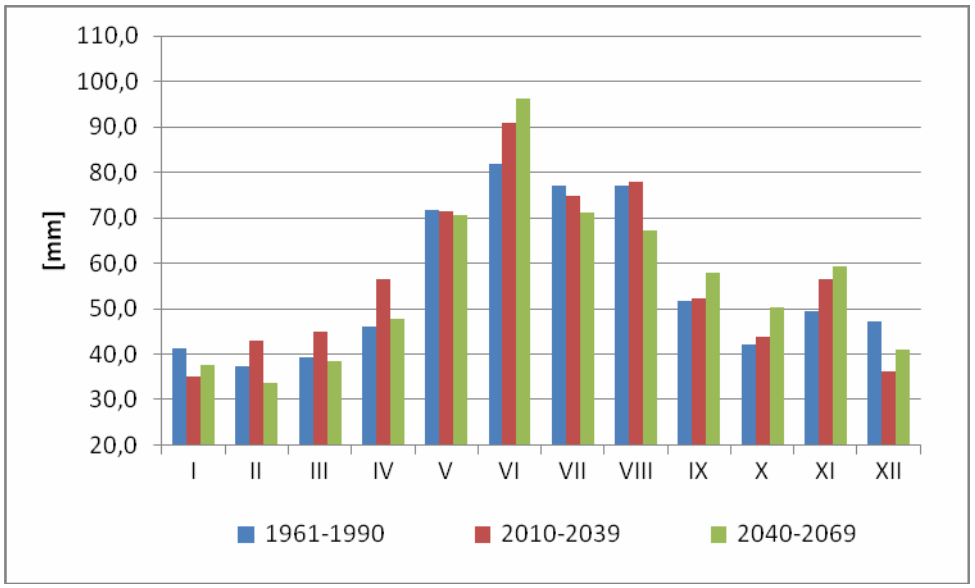
Modelované změny srážek jsou zatíženy významnou mírou nejistoty a mezi modely nepanuje

jednoznačná shoda. Tab. 4.3.2 ukazuje výsledky na základě simulace klimatického modelu ALADIN-CLIMATE/CZ tak jak byly použity ve studii v roce 2015 (MŽP).

Tab. 4.3.2 Změny průměrných srážek v krátkodobém a střednědobém horizontu v porovnání s referenčním obdobím 1961–1990 podle simulace regionálního klimatického modelu ALADIN-CLIMATE/CZ pro scénář A1B a korespondující scénář RCP2.6 (Zdroj: MŽP 2015)

Časový horizont	Srážky	Jaro	Léto	Podzim	Zima	Rok
2010–2039	Srážky (podíly úhrnů)	1,10	1,03	1,07	0,91	1,03
	Srážky (%)	10	3	7	–9	3
2040–2069	Srážky (podíly úhrnů)	1,00	0,99	1,17	0,89	1,01
	Srážky (%)	0	–1	17	–11	1

Z tab. 4.3.2 lze pro simulaci modelu ALADIN-CLIMATE/CZ vyčíst předpokládaný trend zvyšování podzimních a snižování zimních srážek, v dlouhodobém horizontu pak úbytek srážek letních. Celkově by mělo dojít k vzrůstu ročních srážkových úhrnů dle Pretela (2011) až o 10 %. Předpoklad změny rozložení srážek v různých časových horizontech uvádí obr. 4.3.2. Podle Hanela (2011), využívajícího výsledky projektu ENSEMBLES, má naopak v časových horizontech 2025, 2055 a 2085 dojít ke vzrůstu zimních srážek, ale shoduje s prací Pretela (2011) ve vzrůstu jarních a úbytku letních srážek (viz tab. 4.3.3). Vyšší poklesy letních srážek jsou předpokládány na jihu a východě našeho území (většinou o 5–10 %, na východě i 15 %), ale prostorové rozložení změn srážek je nejasné. Velmi podobné výsledky vyplývají i z modelů EURO-CORDEX použitých v aktualizaci této studie. Rozdíl je v pozitivním trendu změny i v letním období a celkově větších nárůstů srážek.



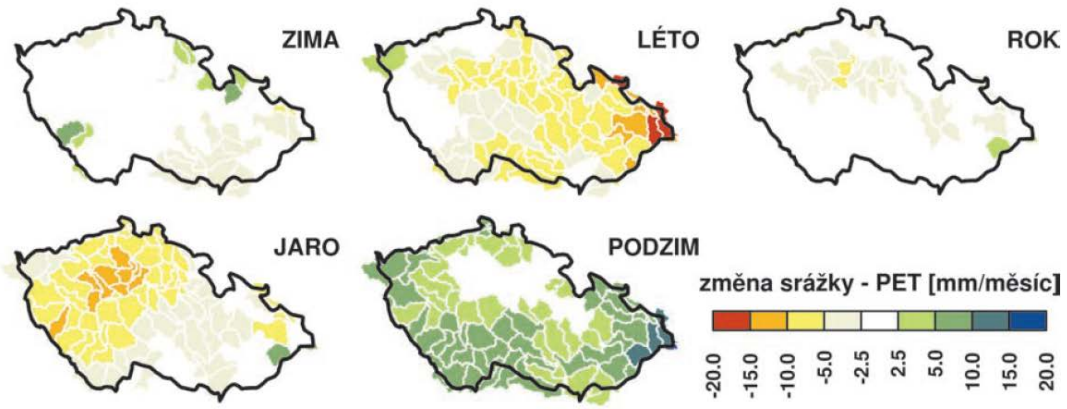
Obr. 4.3.2 Průměrný měsíční úhrn srážek na území ČR v referenčním období 1961–1990 a ve scénářových obdobích 2010–2039 a 2040–2069 (Zdroj: Pretel 2011)

Tab. 4.3.3 Průměrné změny srážek (%) pro ČR v souboru klimatických modelů projektu ENSEMBLES a EURO-CORDEX (Zdroj: Hanel 2011)

Srážky	Zima	Jaro	Léto	Podzim	Rok
ENSEMBLES					
2025	4,83	1,32	2,79	5,75	3,35
2055	8,05	5,21	–1,9	6,19	3,94
2085	13,74	9,71	–6,61	7,51	5,49
EURO-CORDEX (RCP4.5)					
2021–2040	9,3	5,9	5,0	7,4	6,6
2041–2060	10,5	11,5	0,9	8,7	7,0
2061–2080	15,9	15,1	4,4	9,5	10,3
2081–2100	19,2	19,3	7,5	12,4	12,7

Analýza pozorovaných změn ukazuje na nárůst dnů s vyššími srážkovými úhrny, zejména v podobě letních bouřek, a současně prodlužování bezesrážkových období (viz kap. 2). Je však třeba uvést, že trend byl významně ovlivněn výskytem vlhčího období od roku 1993 do roku 2013, jemuž předcházelo několiké suché období a obdobně velmi suché období let 2014 až 2018 na uvedenou vlhkou periodu navazuje. Podobně predikce budoucích změn srážkového režimu jsou velmi nejisté. Z podrobnější analýzy vyplývá, že nárůst celkových srážkových úhrnů je v modelových výpočtech tvořen zejména intenzivními srážkovými událostmi s úhrny většími než 20, resp. 50 mm, zatímco celkový počet srážkových dní se nemění. To by nasvědčovalo nárůstu podílu konvektivních srážek (současně modely předpokládají pokles průměrné relativní vlhkosti vzduchu v létě), je proto nutné uvažovat zjištění Svobody et al. (2017) o velké systematické odchylce modelů v simulaci intenzivních srážek.

Hanel et al. (2011) rovněž uvádějí, že v období 1981–2005 ve srovnání s obdobím 1961–1980 došlo ke změnám rozdílu srážek a potenciální evapotranspirace v jednotlivých sezónách odlišným způsobem. Zatímco na jaře došlo k poklesu o více než 5 mm za měsíc na většině území Čech, v létě je pokles výraznější ve východní polovině území, naopak na podzim je pozorován nárůst tohoto ukazatele, obr. 4.3.3.



Obr. 4.3.3 Změna evapotranspirační bilance mezi obdobími 1961–1980 a 1981–2005

Z výše uvedených očekávaných změn klimatických parametrů, lze odvodit i potenciální změny hydrologického režimu. Lze očekávat posun jarního maxima na dřívější termín a to z důvodu menší tvorby sněhové pokrývky a jejího dřívějšího tání v důsledku vyšší teploty vzduchu. Současně by dříve započal pokles odtoku a celkové disponibility vody během jarních měsíců. Uvedené dva jevy naznačují i výsledky analýzy pozorovaných průtoků v období 1961 až 2005 (Daňhelka et al. 2013), které prokázalo nárůst průměrného průtoku v únoru a březnu (posun odtokového maxima zejména v horských oblastech) a naopak pokles v květnu a v červnu (který lze pravděpodobně přičíst rostoucí evapotranspiraci). Podobný posun režimu by se projevil i v případě podzemních vod.

Analýzu složek hydrologické bilance za období 1980 až 2013 provedl Vlnas (2015), který potvrdil

změny v klimatických parametrech v měřítku povodí, taktéž změny odtokových parametrů. Ty se týkaly zejména měsíčních změn hodnot minim a základního odtoku, kdy poklesové trendy vykazují v období duben až prosinec (a rovněž v celoročním měřítku) především limnigrafické stanice na severovýchodě území ČR, tyto trendy však většinou nejsou statisticky významné. V případě podzemních vod autor nenalezl jednoznačný signál v případě vrtů, když ve zkoumaném období převažovaly spíše objekty bez trendu, nebo s rostoucím trendem zejména v zimě. Prameny rovněž většinou nevykázaly žádné změny. Naopak Ledvinka a Lamačova (2015) při vyhodnocení trendů za období 1971–2007 u pramenů v některých rajonech nalezli klesající trend, a to zejména ve středních Čechách a na jižní a severní Moravě. Jedná se tedy o oblasti středních a nižších nadmořských výšek.

V případě povodní je vyhodnocení změn režimu velmi obtížné, neboť jde o nahodilý jev, který je možné relevantně hodnotit pouze ve velmi dlouhém časovém měřítku přesahujícím dosavadní dobu pozorování. Pokus o vyhodnocení za využití velkého množství stanic na území Evropy (území ČR nebylo přímo součástí studie) a Severní Ameriky provedli Hodgkins et al. (2017). Jejich výsledky naznačují, že počet stanic s rostoucím trendem povodňových průtoků byl nižší než by odpovídalo čistě náhodnému statistickému šumu, a proto nelze potvrdit nárůst povodňového nebezpečí. Autoři rovněž upozornili na korelaci výskytu „vodnějších“ období v Evropě s pozitivní fází Atlantic Multidecadal Oscillation (AMO).

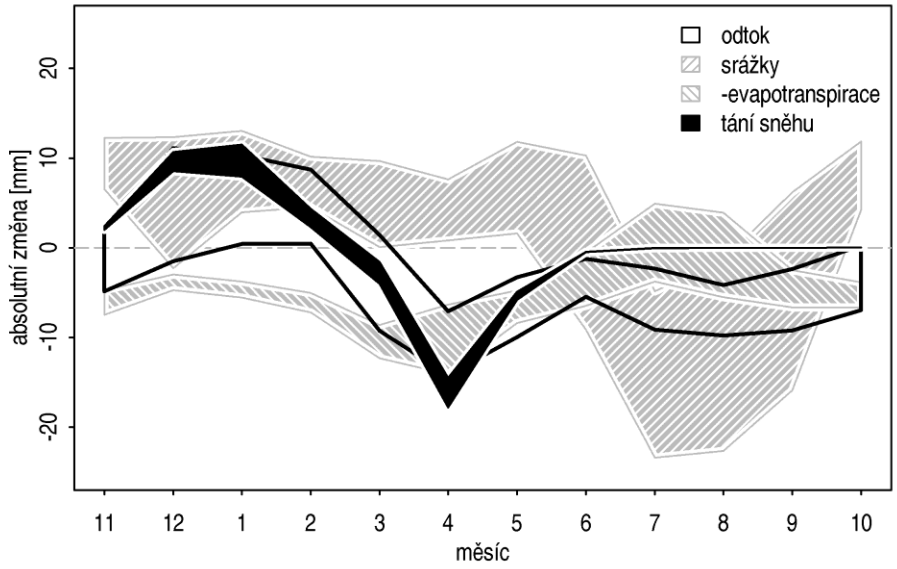
Celkově lze tedy na základě pozorovaných hydrologických dat konstatovat, že pro vznik signifikantních trendů v režimu odtoku z našeho území se zdá být prozatím dominantním řídícím faktorem teplota vzduchu (ovlivňující velikost potencionální evapotranspirace), neboť v případě srážek nebyly zjištěny trendové změny, nebo se do hydrologických veličin dostatečně neprojevily.

V případě mechanismu působení změny klimatu na hydrologický režim lze identifikovat několik paralelních procesů s různými výsledky:

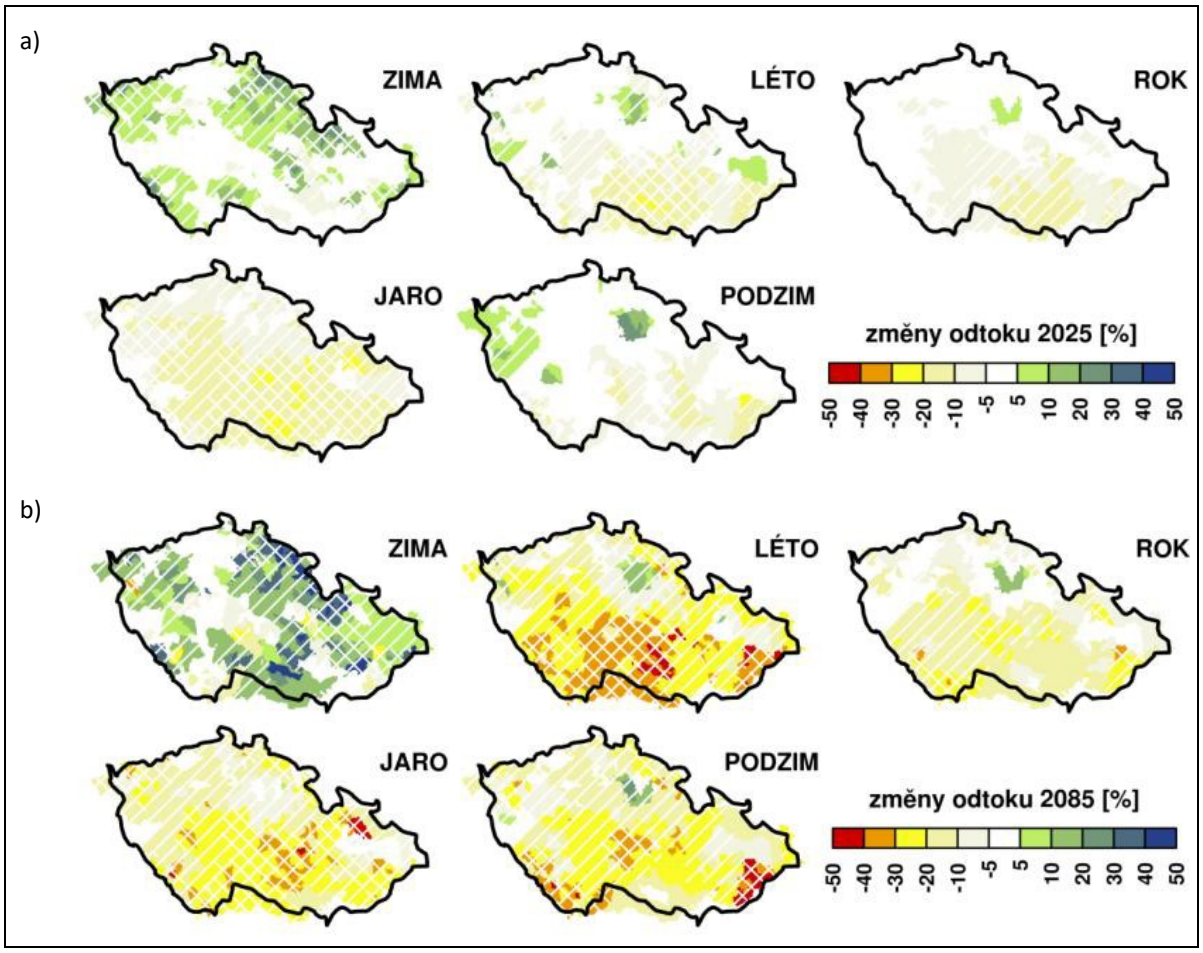
- Zvýšená teplota –> vyšší potenciální evapotranspirace –> menší průměrné nasycení půdy
- Delší bezesrážková období –> menší průměrné nasycení půdy
- Větší extremita srážek –> vyšší erozní potenciál a větší objem vody vstupující nárazově do odtokového procesu
- Zvýšená teplota v zimě –> menší tvorba sněhových zásob –> menší nasycení půdy a doplnění zásob podzemních vod
- Menší průměrné nasycení půdy před srážkou –> menší odtokový koeficient při srážkách
- Menší průměrné nasycení půdy před srážkou –> větší zachycení srážkové vody v půdě a menší doplňování podzemních vod při srážkách

Poloha České republiky v oblasti přechodu mezi předpokládaným růstem srážek na severu a jejich poklesem na jihu Evropy přispívá k nejistotě odhadu změn roční bilance srážek a jejich časoprostorové distribuce, což se promítá i do nejistoty predikcí změn odtoku a ostatních složek hydrologického cyklu. Nerovnoměrné rozložení projektovaných změn srážek během roku patří mezi jevy společné pro velkou řadu simulací klimatických modelů. Svoboda et al. (2017) prokázali bias klimatických modelů v simulacích intenzivních srážkových událostí na našem území a upozorňují na limity jejich využití v hydrologických aplikacích. Princip změn hydrologické bilance (Christensen, 2007) je demonstrován pro časový horizont 2085 na obr. 4.3.4.

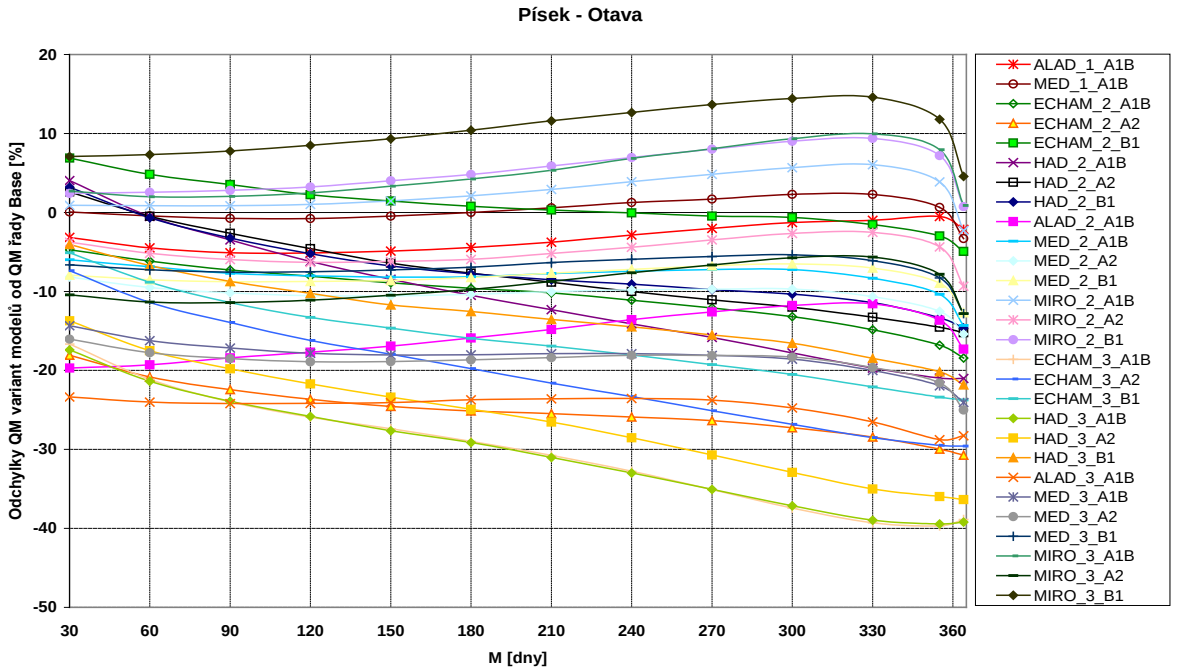
Modelováním dopadů změn klimatu na hydrologický režim na území ČR se zabývali například Hanel et al. (2011), obr. 4.3.5, Daňhelka et al. (2013), obr. 4.3.6, Kříž a Hanel (2013), v měřítku Karlovarského kraje pak Beran et al. (2016), pro povodí Labe po Drážďany Hanel et al. (2019), obr. 4.3.7.



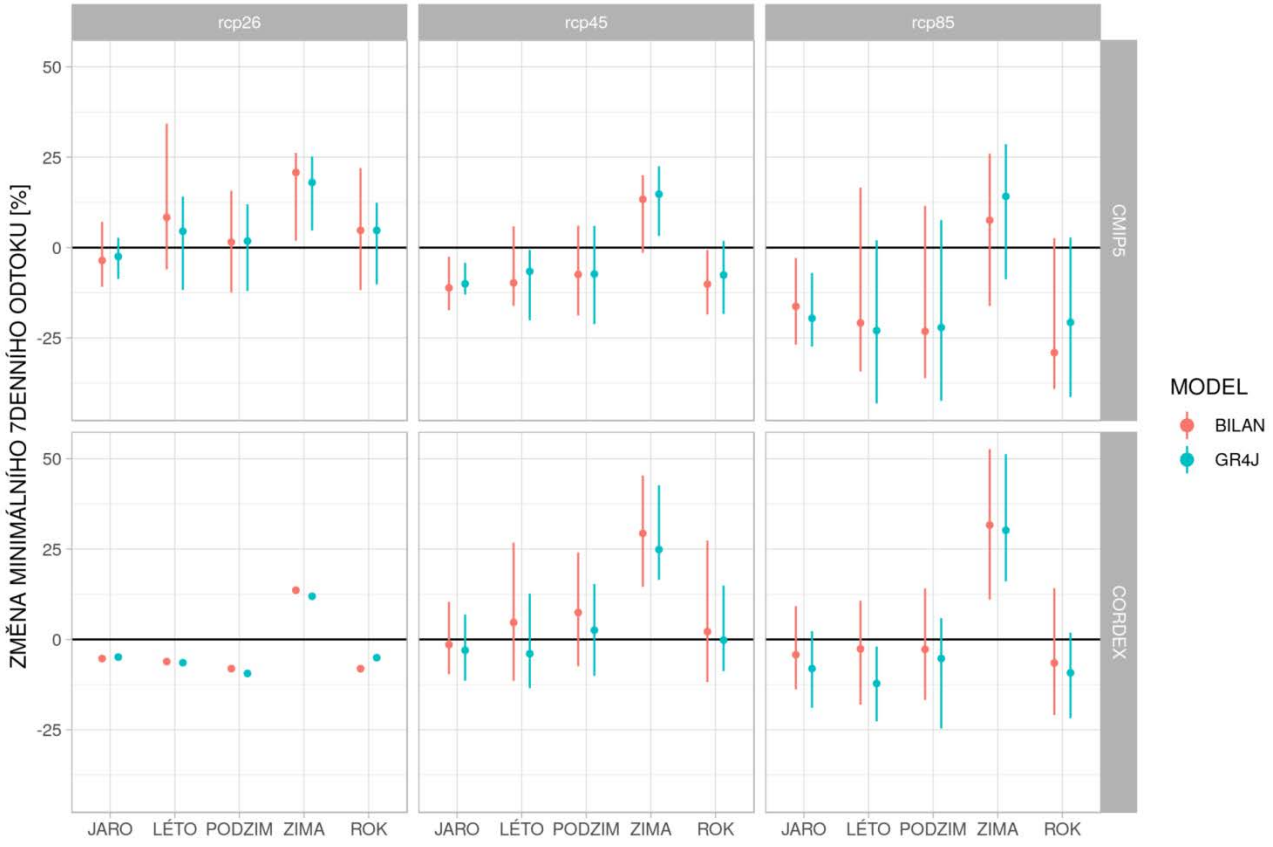
Obr. 4.3.4 Odhad změn vybraných složek hydrologické bilance [mm] v Evropě pro časový horizont roku 2085. Polygony ohraničují oblast, v níž leží projektované změny pro všechna uvažovaná povodí (Zdroj: Christensen 2007)



Obr. 4.3.5 Odhad změn odtoku pro období (a) 2011–2039 a (b) 2070–2099 v ČR dle sady klimatických modelů (Zdroj: Pretel 2011)
Pozn.: Jednoduchým šrafováním jsou znázorněna povodí, pro která více než 9 modelů z 15 indikuje stejné znaménko změny, dvojité šrafování odpovídá povodím, pro něž více než 12 modelů vykazuje souhlasné změny



Obr. 4.3.6 Odchylky měsíčních průtoků (QM) variant modelů od referenční řady (1961–1990) ve stanici Písek na Otavě (Zdroj: Daňhelka et al. 2013)



Obr. 4.3.7 Změna minimálního 7denního odtoku na dolním Labi (vyznačen medián a rozptyl 80 % hodnot (Zdroj: Hanel et al. 2019)

Mezi jednotlivými generacemi scénářů použitých ve studiích před rokem 2015 a scénáři EURO-CORDEX jsou tedy zjevné rozdíly vyplývající především v rozdílných simulacích změn velikosti srážek.

Výsledky založené na různých experimentech a scénářích jsou velmi podobné v očekávání nárůstu průtoků v zimním období v důsledku četnějších srážek ve formě deště. Z tohoto hlediska jde v zásadě o rozšíření plošného rozsahu zimního odtokového režimu typického např. pro Seinu, dolního Rýn a Mohan směrem na východ v důsledku posunu nulové izotermy a větší předpokládané „oceanizace" klimatu v zimě.

V období vegetační sezóny dochází ve všech scénářích k nárůstu potenciální evapotranspirace. A společný je rovněž soulad v podobě zvyšování zmíněných projevů směrem k pozdějším časovým horizontům a ve scénářích s vyššími koncentracemi CO_2., např. RCP8.5. Ve starších scénářích použitých pro studii dopadů změny klimatu v roce 2015 nárůst evapotranspirace eliminoval simulovaný nárůst srážek na jaře a zejména v kombinaci s predikovaným poklesem srážkových úhrnů v letním období vedl k výraznému poklesu průměrného průtoku i hodnot průtokových minim v létě ale i k většinou mírnému poklesu v celoročním měřítku. Ve studii v roce 2015 proto byl na základě studií Pretel et al. (2011) a Hanel et al. (2011) uveden předpoklad, že: „... v roční bilanci můžeme dle simulací klimatických modelů pro období 2025 očekávat stagnaci odtoků v severní a západní části našeho území a pokles (většinou do 10 %) v jižní a jihovýchodní části republiky. Pro časové horizonty 2055 a 2085 je možno jasně rozlišit období růstu odtoků v zimě (většinou 5–10 %, místy až 20 %) a poklesu v ostatních obdobích, nejvíce v létě (20–40 %), v roční bilanci zpravidla 5–20 %).", viz obr 4.3.6 a tab. 4.3.4.

Nejnovější výsledky zpracované na základě scénářů EURO-CORDEX zatím nejsou dostupné v podobě jednotné studie pokrývající území ČR, dosavadní lokální výsledky (Hanel et al. 2019) však předpokládají spíše zvýšení celkového ročního odtoku. Důležitým faktorem ovlivňujícím změny odtoku je posun doby tání v důsledku vyšší teploty přibližně z března až dubna až na leden až únor. Změny odtoku v období leden–duben jsou tedy ovlivněny právě odlišnou dynamikou sněhových zásob, nicméně od dubna se začíná velmi výrazně uplatňovat vliv zvýšeného výparu v kombinaci s očekávanou změnou úhrnů srážek (v případě EURO-CORDEX s jejich nárůstem). Posun v tání sněhu a zvýšená evapotranspirace však negativně ovlivňuje doplňování zásob půdní a podzemní vody i v simulacích založených na scénářích EURO-CORDEX, proto i v novějších studiích je indikováno snížení minimálních průtoků.

Nejistota v bilanci odtoku pochází z různých zdrojů. Jednak modelování klimatu samo o sobě zahrnuje řadu nejistot spojených zejména s počátečními a okrajovými podmínkami klimatických modelů (emisní scénář, množství dopadajícího slunečního záření apod.) a s jejich strukturou a parametry (Tebaldi 2007, Svoboda et al. 2017, Hanel a Kožín, 2016). Při použití výstupů klimatických modelů pro hydrologické modelování se k těmto nejistotám přidávají další – zejména nejistoty spojené s volbou metody pro převedení výstupu klimatického modelu do měřítka jednotlivých povodí (downscaling), metodikou tvorby scénářů změn klimatu a strukturou hydrologického modelu a jeho parametry (Pretel, 2011).

Tab. 4.3.4 Změny základních složek hydrologické bilance [mm/rok] podle souboru klimatických modelů pro jednotlivé oblasti povodí pro časový horizont 2085 (Zdroj: Hanel 2011)

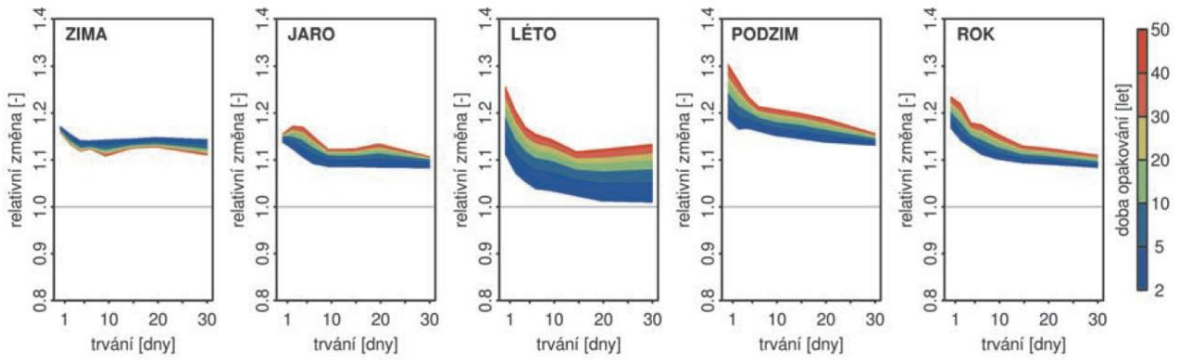
Oblast povodí	Srážky	Výpar	Odtok	Odtok (%)
horní a střední Labe	37,03	62,17	–24,08	–7,95
horní Vltava	24,59	69,18	–41,69	–16,59
Berounka	35,68	59,67	–22,92	–10,42
dolní Vltava	22,82	51,77	–26,54	–17,48
Ohře a dolní Labe	41,52	61,45	–19,09	–5,57
Odra	11,09	59,37	–47,46	–7,85
Morava	16,89	54,68	–36,77	–8,96
Dyje	22,49	49,98	–26,63	–11,19

4.3.2.1 Povodně

Obecně se se zvýšením teploty vzduchu očekává zvýšení četnosti a intenzity přívalových srážek, ačkoliv schopnost klimatických modelů simulovat extrémní srážky je dosud velmi problematická (Svoboda 2017; Hanel, Kožín 2016). Odhady změn povodňového nebezpečí v podobě možné změny frekvence a velikosti povodní tak zůstávají značně nejisté. Kundzewicz (2011) dokonce uvádí, že „…*v důsledku velké nejistoty klimatických projekcí v současnosti není možné odvodit vědecky spolehlivý postup pro změnu návrhových povodní pro budoucí změněné klima a landuse. Pro současnost lze proto doporučit úpravu návrhových veličin na základě expertně stanoveného bezpečnostního koeficientu zohledňujícího změnu klimatu.*“.

Daňhelka et al. (2013) upozorňují na antagonistické působení možných vyšších intenzit srážek a menšího počátečního nasycení povodí. To potvrzují i zkušenosti z analýzy výskytu epizod přívalových srážek v průběhu suchého období 2015–2018, kterou provedl Šercl et al. (2018), a které ukazují na enormní schopnost povodí infiltrovat i extrémní intenzity srážek, když zaznamenané odtokové koeficienty nepřesáhly 0,1. Obdobně v celoevropském měřítku význam předchozího nasycení pro velikost odtokové reakce v případě přívalových povodní potvrzují Marchi et al. (2010). Samotnou zvyšující se intenzitu přívalových dešťů ve scénářích změny klimatu je tak nutné vnímat hlavně ve vztahu k nebezpečí odtoku v zastavěném území (povodně v urbanizovaném území) a z hlediska erozního potenciálu na zemědělské půdě s nepříznivým vegetačním pokryvem (širokořádkové plodiny, chybějící podsev, utužená půda, orba po spádnici, výskyt přívalových srážek po sklizni na nechráněný půdní povrch apod.).

Změnami sezónních (tj. jaro, léto, podzim, zima) a ročních jednodenních až 30denních srážkových extrémů z RCM experimentu ENSEMBLES se zabýval Hanel a Buishand (2012). Vyhodnocení ukazuje na růst srážkových extrémů ve všech ročních obdobích pro všechny hodnocené doby trvání, nejvýrazněji pro jednodenní srážkové extrémy (cca 20–30 %, obr. 4.3.8), zejména v létě a na podzim, a také pro roční srážkové extrémy. Nicméně nejistota odhadů změn srážkových extrémů je ještě vyšší než nejistota odhadů změn průměrných srážek, jelikož je nutno uvažovat i nejistoty spojené s odhadem extrémů (Hanel 2011).

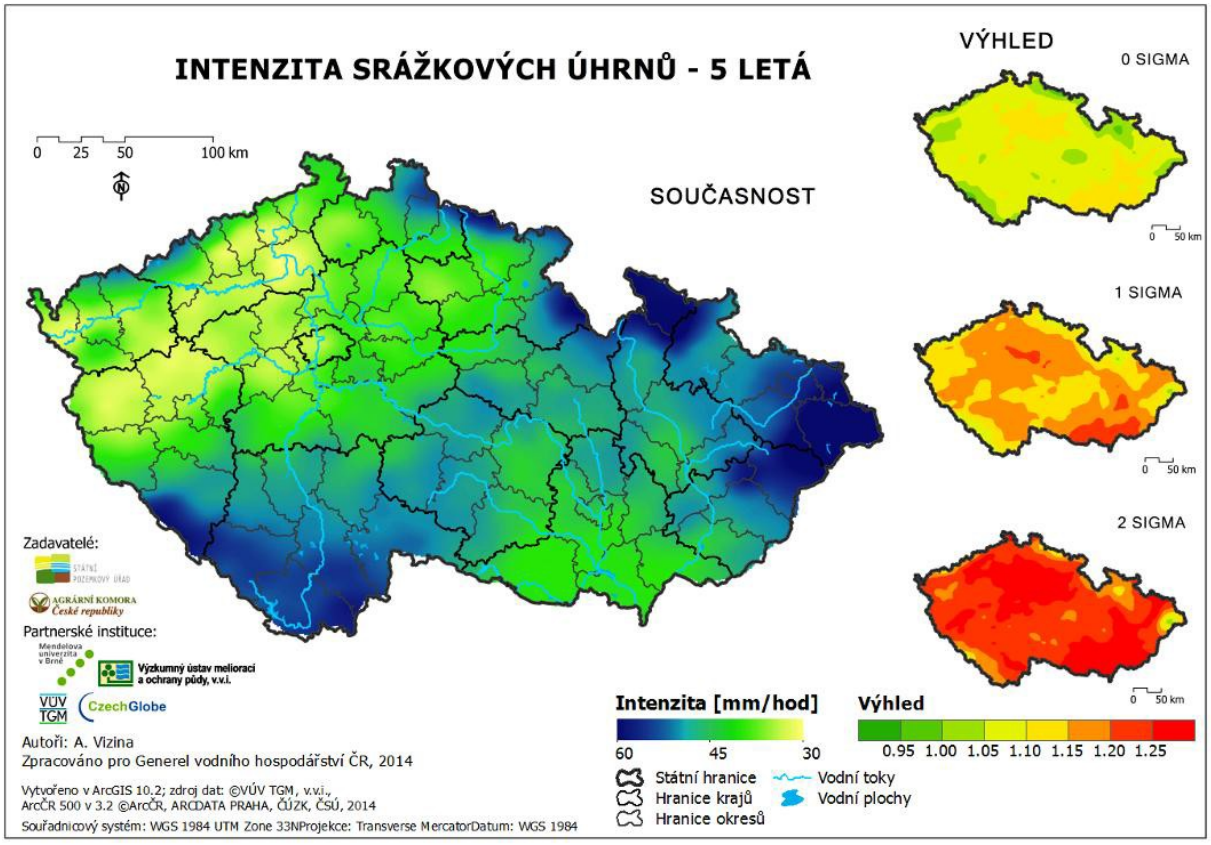


Obr. 4.3.8 Změny srážkových extrémů v souboru klimatických modelů pro sezonní a roční maxima trvání 1 až 30 dní; barevně jsou odlišeny změny pro různé doby opakování (Zdroj: Hanel 2011)

Níže je mapa 5leté intenzity srážkových úhrnů (obr. 4.3.9) pro současné a výhledové podmínky (2020–2050) tak, jak ji uvádí Trnka (2015) v Generelu vodního hospodářství krajiny České republiky. Obrázek prezentuje současný stav (absolutní intenzita) a relativní změnu při uvažování středu ansámblu RCM (0 SIGMA) a extrémnějších variant (1 SIGMA a 2 SIGMA). Změny se pro variantu 0 SIGMA pohybují v rozmezí 0,92–1,15 a vyšší hodnoty se nacházejí v Polabí a na Jižní Moravě (Trnka, 2015).

Změna parametrů srážkového režimu intenzivních krátkodobých dešťů může mít dopad na velikost eroze a v urbanizovaných oblastech s vysokým podílem nepropustných ploch a vybudovanou sdruženou, či dešťovou stokovou sítí. Velké nejistoty tohoto ukazatele ve stávajících výstupech klimatických modelů již byly diskutovány výše. Podrobně se jim pak v kontextu měst a stokových sítí věnuje např. Willems et al. (2012) a Willems (2013). Při současném způsobu managementu

srážkových vod a při navýšení frekvence a velikosti intenzivních srážkových epizod by přirozeným důsledkem byly větší objemy přetoku (nutného odlehčení z důsledku překročení kapacity stokové sítě) a tedy i zaplavení majetku a zhoršení jakosti vod odtokem nečištěné vody – viz např. analýza Miller, Hutchins (2017) pro podmínky Spojeného Království. Z hlediska managementu srážkových vod je zásadní informací předpokládané zachování objemu srážek v celoročním i v rámci většiny sezón (viz kap. 2).



Obr. 4.3.9 5letá průměrná intenzita srážkové události a její relativní výhledová změna (Zdroj: Trnka 2015)

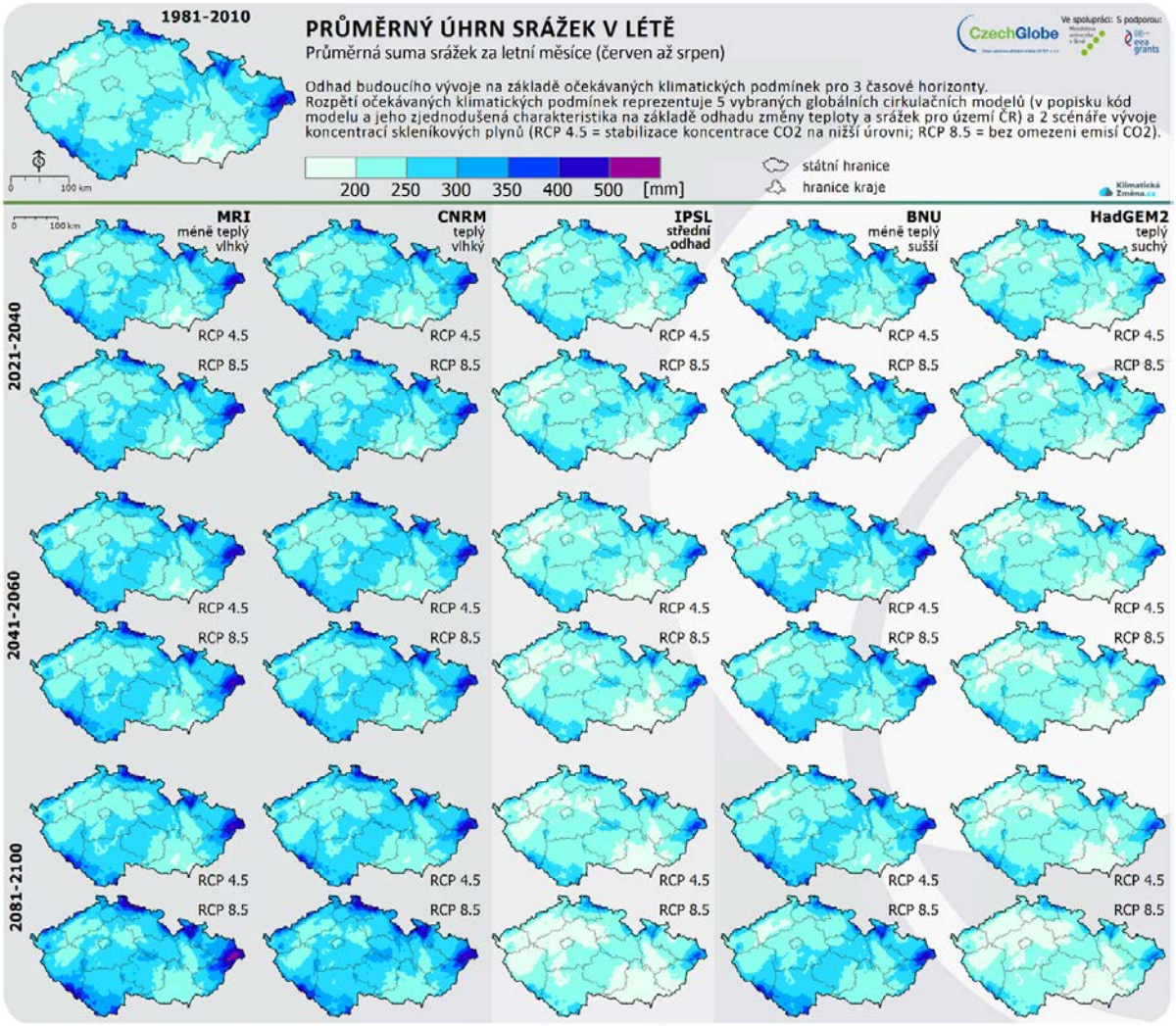
Simulace změn povodňových průtoků byly v minulosti zpracovány v celoevropském měřítku opakovaně skupinou okolo Evropského Výzkumného Centra v Ispře (Dankers a Feyen 2008; Dankers a Feyen 2009; Alfieri et al. 2015; Roudier et al. 2016). Problémem uvedených studií je omezená kalibrace hydrologických modelů a omezená úroveň korekce biasu[1] klimatických modelů, které nejsou na celoevropské úrovni možné, ale rovněž přílišná extrapolace výsledků do dlouhých dob opakování. Navíc je nutné upozornit na nemožnost přímého srovnání výsledků modelovaných změn vůči hodnotám N-letých průtoků používaných v praxi u nás. Zatímco referenční období modelových situací nezačíná před rokem 1970, hodnoty N-letých průtoků byly odvozeny z co nejdelších časových řad a uvažují i historické povodně před počátkem systematických záznamů. Výsledky simulací jsou tak v zásadě zcela poplatné vstupujícím změnám srážek. Ve starších pracích se území ČR nachází v neurčité zóně, kde signál změny povodňového nebezpečí není silný a ve stejném směru. V novějších pracích je nárůst povodní indikován na většině území Evropy, s výjimkou severovýchodu kontinentu. I v tomto případě však území ČR patří k lokalitám s méně výraznými výsledky.

Podrobnější simulace pro vybraná povodí na území ČR provedli Pretel et al. (2011) a výsledky ukázaly rozptyl hodnot simulovaných změn velikosti povodní okolo hodnot pro referenční období a neexistenci jednoznačného závěru ohledně změny povodňového rizika.

Lze shrnout, že je pravděpodobný posun zimních/jarních povodní na dřívější termín a poklesne pravděpodobnost vzniku velkých jarních povodní. Klíčové pro budoucí povodňový režim proto bude

[1] Odchylka od normálního nebo předpokládaného výsledku.

změna povodňového režimu v letním období. Pro její odhad je klíčový vývoj režimu srážek z hlediska celkového úhrnu v letních měsících i změn jejich časového rozložení a intenzity. Právě v tomto parametru jsou výstupy klimatických modelů velmi nejisté a mění se mezi generacemi scénářů. Teoreticky změna teploty vzduchu v letním období o 2 °C odpovídá zvýšení potenciální evapotranspirace okolo 9 %, která tak určité navýšení srážek kompenzuje. Navíc výsledky projektu CzechAdapt (2019) indikují pro léto jak nárůst, tak pokles srážek v modelech CMIP5, z nichž vychází regionální simulace CORDEX, obr. 4.3.10.

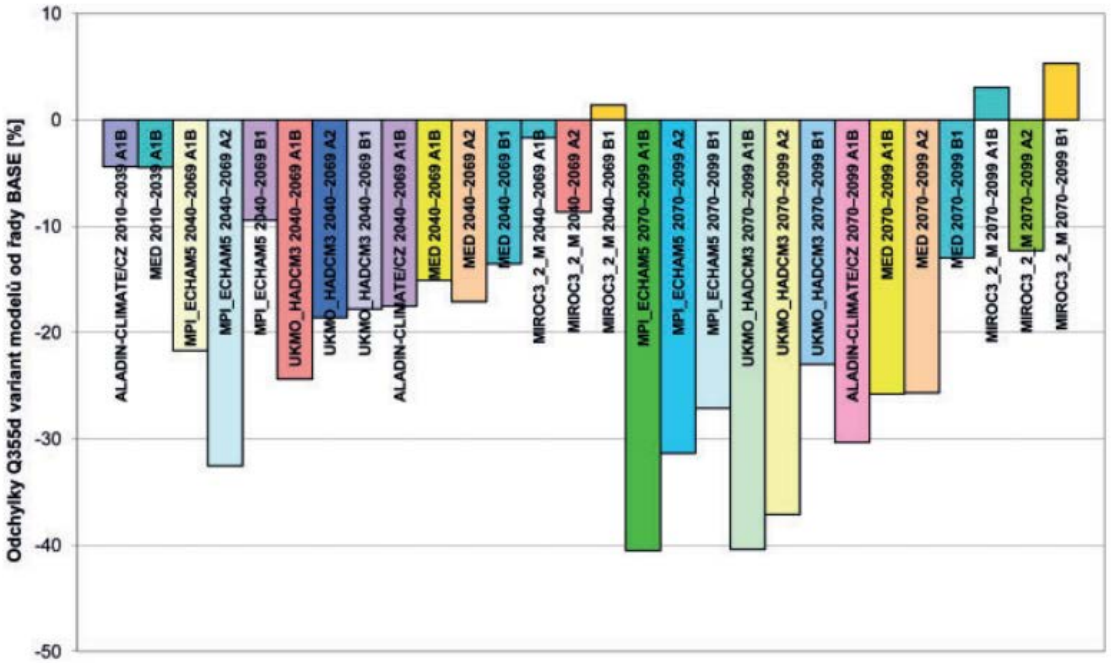


Obr. 4.3.10 Průměrný úhrn srážek v létě dle CzechAdapt (2019) (Zdroj: www.klimatickazmena.cz)

4.3.2.2 Suchá období

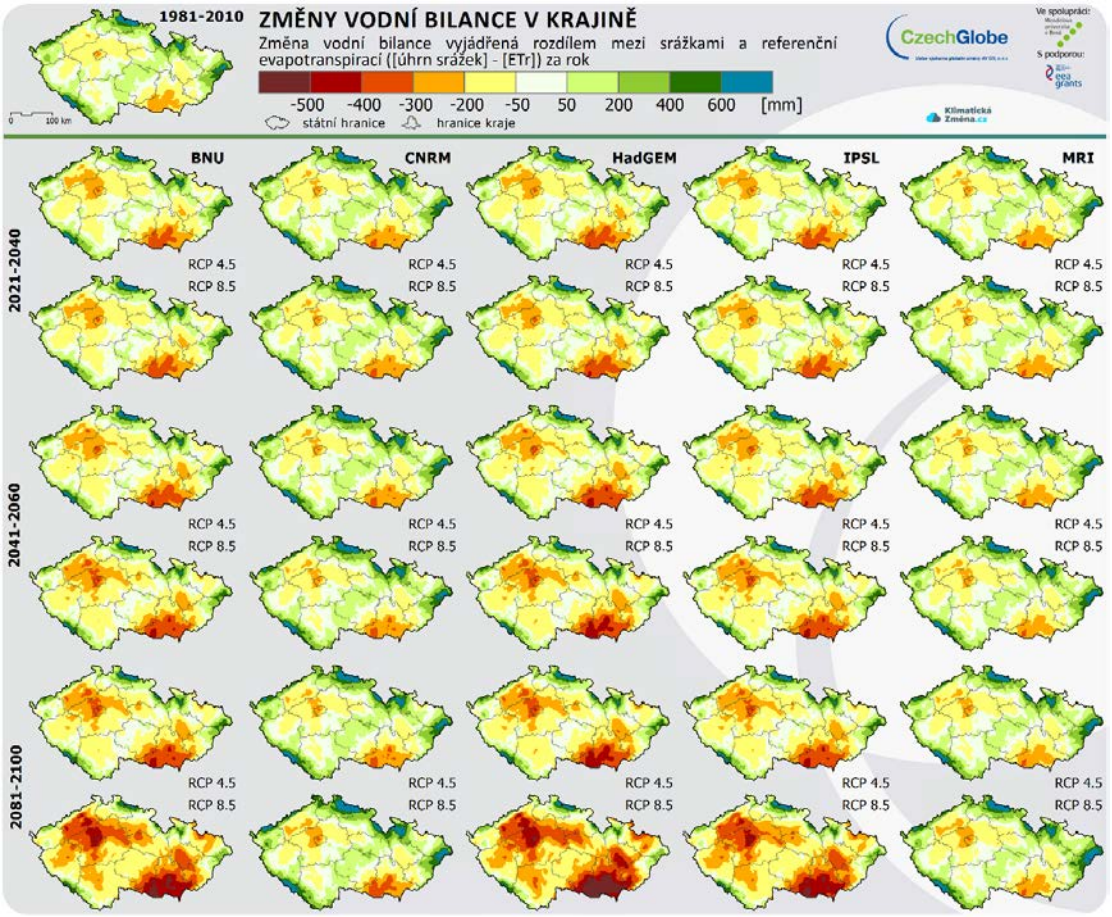
Suchem se může rozumět sucho meteorologické, hydrologické, zemědělské nebo socioekonomické. Z hlediska vodního hospodářství je samozřejmě nejvíce vypovídající sucho hydrologické.

Simulaci změn minimálních průtoků se věnovali Daňhelka et al. (2013), kteří na základě starších scénářů změny klimatu dospěli k závěrům o výrazném poklesu hodnoty minimálních průtoků Q_{355d} (obr. 4.3.11) i N-letostí sedmidenních průtokových minim. Velikost poklesu rostla směrem ke konci 21. století, pro období do roku 2039 byl pokles nejednoznačný a dosahoval v případě Q355d maximálně jednotek procent, avšak pro období 2040–2069 již průměrný pokles dosahoval cca 13 %, v posledním hodnoceném období (2081–2100) již modelované odchylky dosahovaly desítek procent a největší byly v nížinném povodí Výrovky až 40 %. Podobně Hanel et al. (2019) v případě vysokého uplatnění skleníkového efektu uvádí odezvy až okolo 20 % v případě poklesu sedmidenního průtokového minima v letním období, obr. 4.3.7.



Obr. 4.3.11 Relativní změna Q_{355d} ve stanici Orlice – Týniště v období 2081–2100 podle různých klimatických modelů (Zdroj: Daňhelka et al. 2013)

Dobrou vypovídací schopnost o možném doplňování vláhy v půdě jako prostředku doplňování zásob podzemních vod a tím i zásob pro zdroj vodnosti toků v bezesrážkovém období má celková vodní bilance (rozdíl mezi srážkami a potenciální evapotranspirací). Záporné hodnoty vyjadřují stav, kdy potenciální evapotranspirace převyšuje srážky, tudíž nemůže být při vysušené půdě realizována. Na obr. 4.3.12 je uvedena změna vodní bilance pro scénáře RCP4.5 a RCP8.5 dle projektu CzechAdapt (2019), která ukazuje pravděpodobnost výrazného negativního vývoje vodní bilance pro většinu scénářů, zejména po roce 2041 (obr. 4.3.12).



Obr. 4.3.12 Změna rozdílu srážek a referenční evapotranspirace (Zdroj: CzechAdapt 2019)

Hrozba sucha dle MZe a MŽP (2015) vyplývá také z neutěšeného stavu krajiny, a to i v poslední době, následkem orientace zemědělské rostlinné výroby na technické plodiny, které vedou ke zhoršování úrodnosti půdy a ke zvyšování nadměrné eroze.

Problematika sucha jako přírodního rizika potenciálně vedoucího k výrazným dopadům v zemědělství a k riziku nedostatku vody se výrazněji projevila v nedávném období od roku 2014. Zejména roky 2015 (ČHMÚ, 2016) a 2018 (ČHMÚ, 2019) byly extrémně suché. Přitom se ukazuje, že dlouhodobé trvání suché periody vede k prohlubování dopadů, minimálně v případě hydrologického sucha na povrchových a podzemních vodách (ČHMÚ, 2019). Rok 2018 byl nejteplejším rokem na území ČR za dobu pozorování od roku 1961, současně šlo o nejsušší rok z hlediska zásob podzemních vod od začátku systematického pozorování v šedesátých letech 20. století. Strategickým řešením opatření proti suchu se zabývá Koncepce na ochranu před následky sucha pro území ČR (MZe, 2017) přijatá vládou České republiky v červenci 2017.

Již v současnosti je možno na některých povodích v České republice sledovat negativní dopady změny klimatu v podobě výrazného poklesu odtoku. Příčinou tohoto negativního jevu je průběžné zvyšování teploty vedoucí k růstu evapotranspirace, jež dlouhodobě byla sice na většině území částečně kompenzována růstem srážek, nicméně v některých (zatím omezených) oblastech k této kompenzaci nedochází. Příkladem mohou být povodí Rakovnického potoka, Srpiny nebo Blšanky. V letech 2015 a 2018 pak byly suchem postiženy v podstatě všechny vodní toky na území ČR, přičemž se ukazuje, že nejvýznamnější dopady, které mají u menších vodních toků povahu až úplného vyschnutí toku (a to i relativně významných toků jako např. Lomnický potok, Úterský potok, Radíč), se vyskytují na tocích v nižších a středních nadmořských výškách, kde se kombinuje deficit srážek a vysoké teploty v jarním a letním období s omezenou dotací zásob podzemních vod na konci zimy v podobě malé sněhové pokrývky. Jedná se tedy o mechanismus, jehož rozšiřující se uplatnění (z hlediska frekvence i plošného rozšíření) je očekáváno právě v důsledku změny klimatu.

4.3.2.3 Závěr

Co se týče budoucího vývoje dopadů změny klimatu na vodní režim, lze konstatovat, že projektované změny odtoků jsou nejisté, nicméně indikují růst zimních odtoků a spíše pokles celkových odtoků v ostatních ročních obdobích. Z hlediska změn roční bilance jsou projekce odtoků nejisté i ve vzdálenější budoucnosti, nicméně pravděpodobnost snižování letních a podzimních odtoků se výrazně zvyšuje (Pretel, 2011). K tomu Pretel (2011) dále uvádí: „*Výskyt období s nedostatkem vody je podle dosud provedených výzkumů očekáván s větší pravděpodobností, než zvětšení intenzity a četnosti přívalových srážek, které jsou příčinou povodní.*“

Z hlediska povodní platí, že v nových studiích došlo k významné změně názoru na očekávaný režim srážek v letním období. Ve scénářích dostupných pro původní studii byl uvažován v létě pokles srážek jako velmi pravděpodobný scénář, na němž se shodovala drtivá většina modelů vzniklých před rokem 2015, zatímco v EURO-CORDEX je předpoklad nárůstu letních srážek. Vzhledem k obecně problematické simulaci srážek v klimatických modelech a ke vzniklé nekonzistenci výsledků těchto simulací mezi generacemi klimatických scénářů je vhodné na vzniklou nekonzistenci reagovat opatrně při vědomí ekonomických konsekvencí. Jelikož dynamika očekávaných změn se bude v průběhu času zvyšovat, lze doporučit ověření scénářů odtoku v následujících letech s detailním zaměřením na podmínky ČR při aplikaci korektních metodik pro vyhodnocení změn výskytu extrémních jevů. Pokud budou navrhována nebo realizována konkrétní opatření k ochraně před povodněmi, je nutné počítat s jejich následnými úpravami v souvislosti s aktuálním průběhem změny klimatu.

4.3.3 Dopady predikovaných scénářů změny klimatu na vodní hospodářství v ČR

Část hydrologického cyklu je přímou součástí klimatického systému, proto změny v parametrech klimatických prvků se nutně odrážejí ve změnách hydrologického cyklu. Propagace změn však není lineární, ale je komplexem různě silných zpětných vazeb mezi atmosférou, hydrosférou a povrchem země. Výsledkem změn vodního režimu je ovlivnění časového a prostorového rozložení sladkovodních zdrojů, a na nich závislých socio-ekonomických aktivit a ekosystémů.

Teoreticky jsou všechny prvky kvalitativního a kvantitativního stavu vody podle Rámcové směrnice o vodách citlivé na změnu klimatu. Zjednodušeně lze říci, že změna klimatu ovlivňuje následující proměnné:

- dostupnost vody (průtok vodních toků, objem stojatých vod a zásoby podzemní vody);
- poptávku po vodě (zvláště při maximální poptávce během suchých období);
- změny návrhových veličin určujících řízení vodohospodářské a další citlivé infrastruktury;
- kvalitu povrchové vody, což zahrnuje teplotu, obsah živin, obsah znečišťujících látek a intenzitu procesů jejich odbourávání;
- biodiverzitu vodních systémů a terestrických ekosystémů vázaných na vodu;
- kvalitu podzemní vody;
- způsob mobilizace znečišťujících látek v půdě a jejich dekompozice a mobilizace.

Vybrané národní a evropské výzkumné aktivity poskytují pouze omezené empirické údaje, které by na dopady jednoznačně poukázaly, a to zejména kvůli obtížnosti odlišení vlivů klimatických faktorů od ostatních vlivů. Na druhé straně mnohé naznačuje, že sladké vody, které jsou již ovlivněny lidskými aktivitami, mohou být velmi náchylné na dopady změny klimatu a že změna klimatu může v dlouhodobém pohledu významně ztížit pokusy o obnovu dobrého stavu některých vodních útvarů, případně snížit míru zabezpečení zásobování vodou.

4.3.3.1 Dostupnost vody a poptávka po vodě

Na základě výše popsaných predikcí vývoje klimatu lze předpokládat, že v budoucnu může docházet k závažnějším změnám v roční a sezónní dostupnosti vody. Obecně uváděné předpoklady dopadů zvýšeného výparu v důsledku rostoucí teploty vzduchu kalkulují jednak s omezením dostupných zdrojů vody v důsledku zmenšení průtoků a poklesu zásob podzemní vody zejména v mělkých zvodních[2]. Současně je očekáván nárůst požadavků na spotřebu vody, zejména na zavlažování a pro zásobování měst. To by vedlo k nárůstu konkurence o dostupné zdroje.

[2] Hydraulicky jednotná a souvislá akumulace gravitačních podzemních vod v hornině.

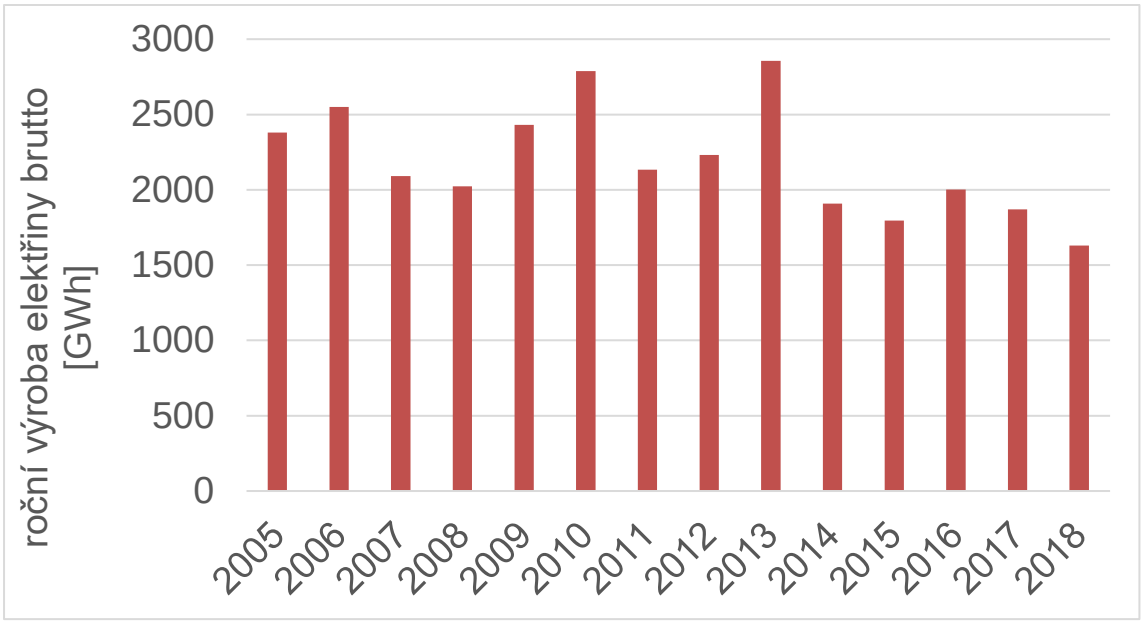
Recentní sucho v letech 2015 a 2018 vedlo k dopadům na zásobování obyvatelstva vodou i čištění odpadních vod. Na základě interního průzkumu SOVAK, a.s. mezi svými členy (Vlasák, 2018) nedošlo sice u velkých zdrojů v roce 2015 k omezení dodávek surové vody a poklesu její kvality, byly však indikovány dopady v podobě vyšších nákladů na výrobu pitné vody a především docházelo k problémům stability zajištění dodávek pitné vody z mělkých málo vydatných individuálních zdrojů podzemních vod. Současně byly zaznamenány zvýšené koncentrace znečišťujících látek v odpadních vodách (zejména fosforu). Zároveň docházelo k většímu zanášení stokové sítě v důsledku delší doby zdržení.

Dle Zprávy o stavu vodního hospodářství České republiky v roce 2017 (MZe, 2018) byla největším sektorem z hlediska odběrů povrchové vody energetika (677,8 mil. m^3), následovaná vodovody pro veřejnou spotřebu (320,6 mil. m^3), a průmyslem (220,0 mil. m^3), odběry podzemních vod byly realizovány především pro potřeby zásobování obyvatelstva veřejnými vodovody (296,1 mil. m^3). Spotřeba vody na jednoho obyvatele dosáhla 88,7 litrů za den, což představuje nárůst o 1,6 litru oproti minimu zaznamenanému v roce 2013 (MZe, 2018).

Stávající Plán rozvoje vodovodů a kanalizací území ČR (2010–2015) nepředpokládá vznik významných požadavků na vyhledávání dalších zdrojů podzemní a povrchové vody. Česká geologická služba v letech 2010 až 2016 zpracovávala projekt *„Rebilance zásob podzemních vod“*, v jehož rámci byly přehodnoceny přírodní zdroje podzemních vod ve vybraných hydrogeologických rajonech pokrývajících cca třetinu území ČR. Na území ČR je přibližně 80 % využitelného množství podzemních vod soustředěno na zhruba 30 % plochy (česká křídová pánev, východní Čechy na pomezí s Moravou, jižní Čechy – třeboňská a českobudějovická pánev). Tato území tedy musí být o to více chráněna před nadměrnými odběry a jinými činnostmi, které by mohly ohrozit jejich množství a kvalitu. Projekt rebilance právě v těchto oblastech nově vymezil úrovně přírodních zdrojů s různou mírou zabezpečenosti. Až na výjimky stávající odběry zůstávají pod úrovní vyhodnocených hodnot přírodních zdrojů, přesto lze identifikovat řadu konfliktů již za stávajícího klimatu, které by se do budoucna mohly prohlubovat. Například ve významném zdroji podzemní vody, který představuje Ústecká synklinála je identifikován potenciální konflikt mezi stávajícím Březovským vodovodem a budovaným zdrojem pro Svitavy (ČGS, 2016). Zdejší dva využívané kolektory jsou doplňovány v období tání sněhu, zatímco od května do listopadu k doplňování nedochází. Díky zdržení infiltrovaných srážek však spodní zvodeň dosahuje maxima se zpožděním 4 až 6 měsíců (ČGS, 2016), což je pro zdroj velmi výhodné, avšak se změnou klimatu může dojít k nepříznivému posunu fází doplňování zásob podzemní vody. Výše odběrů (okolo 1000 $l.s^{-1}$) již v současnosti přesahuje hodnotu průměrného průtoku Svitavy (v Rozhrání Qa=0,712 $m^3.s^{-1}$) v této oblasti a zcela jistě ovlivňuje režim povrchových toků, podobně jako například odběr vody z VD Švihov pro zásobování Prahy snižuje průtoky v dolní části křivky překročení na Sázavě pod Želivkou.

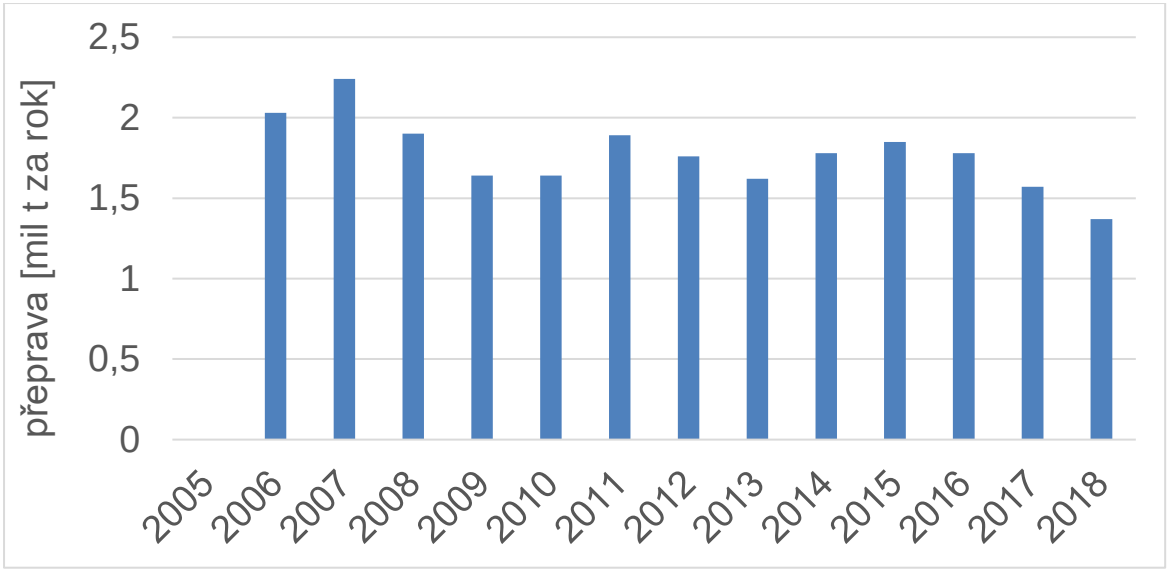
Z predikcí uvedených v kapitole výše vyplývá celkový růst srážek, zároveň je však v některých oblastech, které se i v současnosti vyznačují sušším klimatem (viz výše), predikován negativní vývoj evapotranspirační bilance. Problém potenciálních nižších průtoků do budoucna (viz výše), především v letních měsících, může znamenat komplikace pro hydroenergetiku a vodní dopravu. Z Ročních zpráv o provozu elektrizační soustavy ČR vydávaných ERÚ (https://www.eru.cz/zpravy-o-provozu-elektrizacni-soustavy#2011) je zřejmý vliv vodnosti daného roku na produkci elektřiny vodními elektrárnami, obr. 4.3.13. V roce 2018 výroba dosáhla pouze 57 % hodnoty velmi vodného roku 2013.

Zásadním problémem pro energetiku však může být kombinace zvyšující se teploty vody a menších průtokových minim, které mohou v extrémních případech vést až k odstavení elektráren v důsledku nedostatečné kapacity chlazení. To se týká zejména elektráren závislých na odběrech přímo z toku, kde není přímá možnost ovlivnění dostupnosti chladící vody provozem vodních nádrží. V roce 2003 došlo z tohoto důvodu k odstavení elektráren čerpajících vodu z Labe v Německu i v elektrárně Mělníka (horní Počaply), v roce 2015 a 2018 se problematickému stavu blížila elektrárna v Opatovicích v důsledku velkého poklesu zásoby vody v nádrži Rozkoš a situaci bylo nutno řešit udělením výjimky povolení nakládání s vodami.



Obr. 4.3.13 Roční výroba elektřiny ve vodních elektrárnách v období 2002–2018 (Zdroj: ERÚ)

Splavnost od vodního díla Ústí nad Labem – Střekov po Přelouč na Labi a po Třebenice na Vltavě je zajištěna soustavou vodních děl, která tvoří plně fungující systém, nezávislý na vnějších přírodních podmínkách. Na neregulovaném úseku od Střekova po státní hranici ČR/SRN je však plavební provoz závislý na vodních stavech podle aktuálních průtoků a na celkové vodohospodářské situaci celého povodí řeky Labe a Vltavy (MZe, 2014a). Již dnes mnohdy ponor plavidel neodpovídá zajištěnému vodnímu stavu v daném úseku a plavidla s větším ponorem již tímto úsekem nemohou plout (obr. 4.3.14) uvádí roční přepravní výkony v ČR v období 2006–2018). Vzhledem k tomu, že předchozí scénáře změny klimatu a jejích dopadů na velikost průtoku předpokládaly zmenšování celkových průtoků, panoval obecně předpoklad zhoršování plavebních podmínek. Např. rešerše v rámci projektu LABEL-EU (2019) uváděla, že změny klimatu povedou v dlouhodobém horizontu (do konce 21. století) ke zhoršení poměrů pro lodní dopravu na Labi a Sále. Třetina studií však dochází k závěru, že dopad na lodní dopravu nelze věrohodně predikovat.



Obr. 4.3.14 Roční přepravní výkony v ČR v období 2006–2018 (dle dat Ministerstva dopravy)

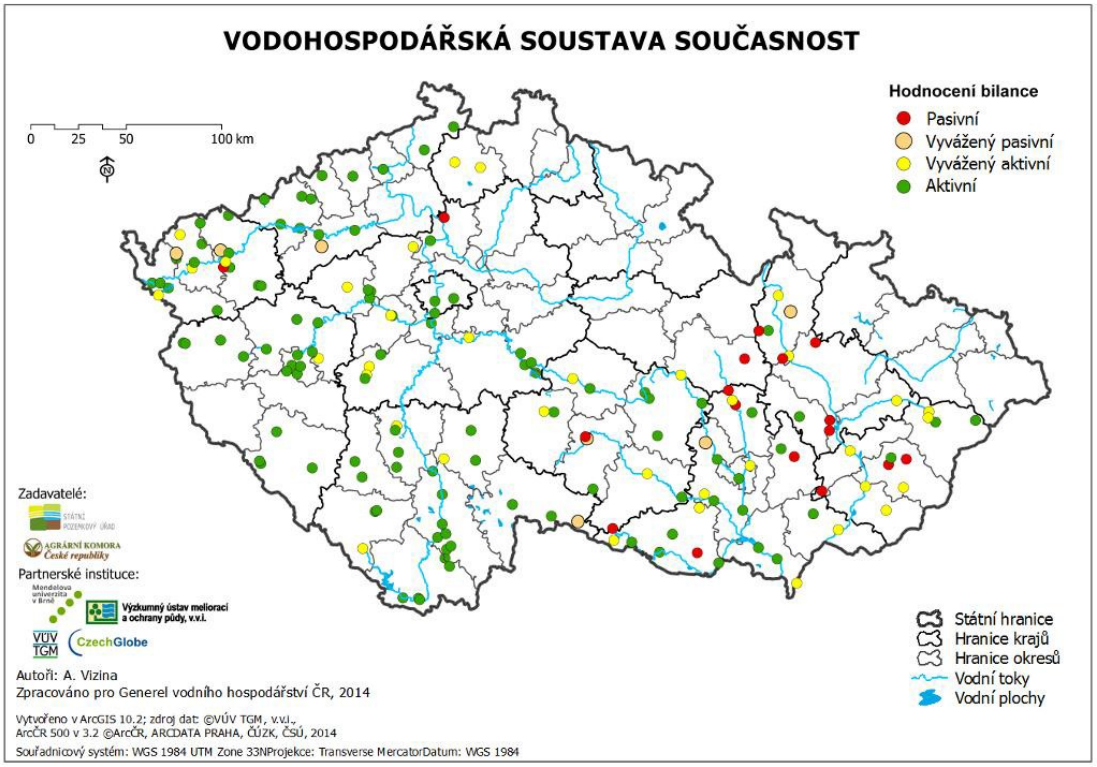
4.3.3.2 Dopady změny klimatu na vodohospodářskou soustavu

Úkolem vodohospodářské infrastruktury (vodních nádrží) je zabezpečit zdroje vody pro různé stanovené účely, pro něž jsou konkrétní nádrže či soustavy určeny. Vyhodnocení tzv. zabezpečenosti, která uvádí „schopnost“ nádrže zajistit zásobování vodou bez omezení v procentech z hlediska času, kdy 100 % by znamenalo, že zásobování vodou nebude nikdy omezeno oproti požadované hodnotě odběrů. Zabezpečenost odběrů je jedním ze základních parametrů vodních nádrží ve vodohospodářském plánování, studie změn zabezpečenosti v podmínkách změny klimatu byly zpracovány na základě starších scénářů SRES a vesměs předpokládaly zhoršení tohoto parametru u většiny nádrží (viz např. Novický et al. 2008 pro povodí Vltavy, Peláková a Boersema 2005 pro vybrané významné nádrže, Povodí Moravy 2009 aj.). Možný dopad klimatické změny je rovněž součástí plánů dílčích povodí (např. Povodí Odry 2015).

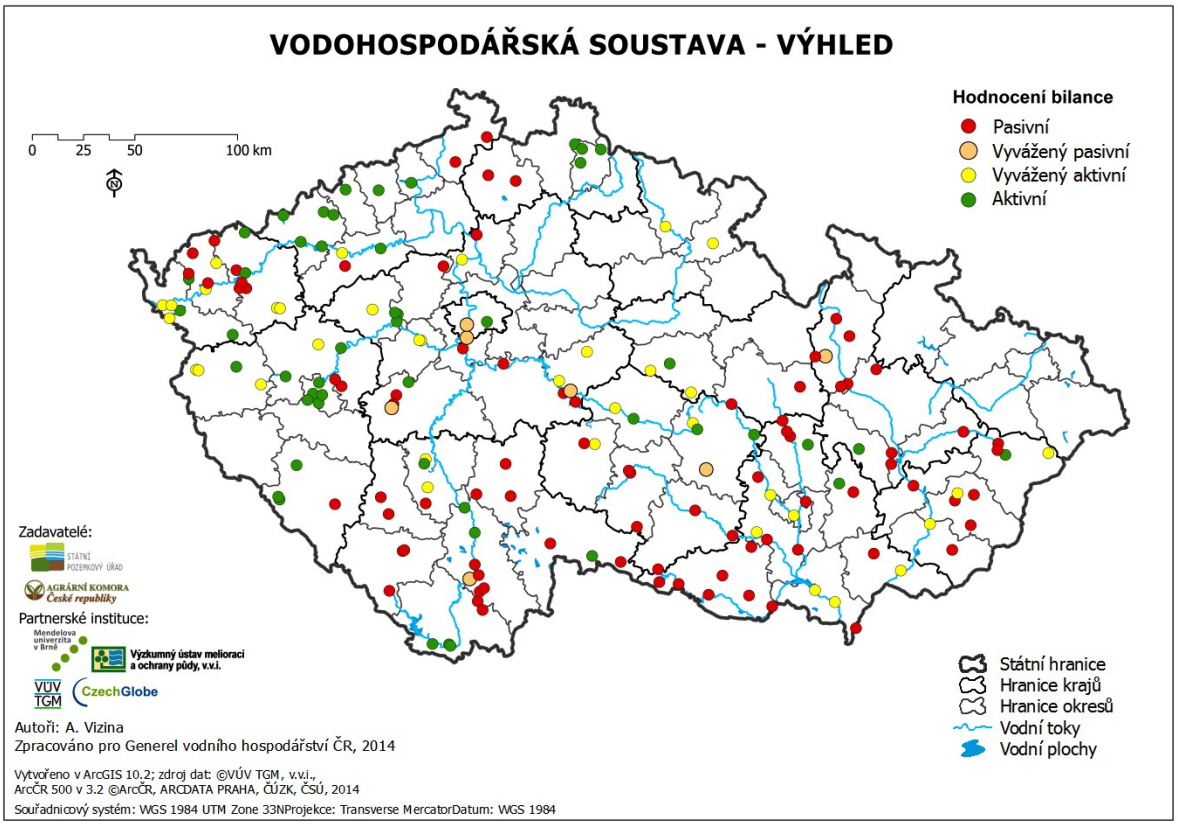
Nověji Beran a Hanel (2015) vyhodnotili zranitelnost území ČR z hlediska nedostatku vody. Autoři použili sadu indexů pro povodí 3. řádu a porovnali stávající stav se scénáři změny klimatu pro konec 21. století označenými jako optimistický, neutrální a pesimistický. Ve všech scénářích indikovali významný nárůst zranitelnosti ve smyslu zhoršení poměru disponibilních zdrojů a odběrů na většině území s výjimkou horských oblastí v některých scénářích a ukazatelích. Trnka (2015) také uvádí vyhodnocení dopadů klimatické změny na vodohospodářskou soustavu. Toto vyhodnocení bylo vytvořeno na základě dostupných projektů zabývajících se dopady klimatické změny na vodohospodářskou soustavu a na základě simulačního modelu vodohospodářských soustav.

Výsledky ukazují na rozkolísanost průtoků, hlavně minimálních, které často nebudou dosahovat potřebných ekologických minimálních hodnot, což přinese vážné problémy v oblasti ochrany kvality vod způsobené především zhoršením podmínek pro ředění zbytkového znečištění vypouštěného z čistíren odpadních vod. Trnka (2015) konstatuje, že nepříznivé dopady klimatické změny na hydrologický režim v povodí nebude v mnoha případech v dostatečné míře možné vyřešit případnou změnou manipulačních pravidel pro řízení odtoku v rámci vodohospodářských soustav. Pokud taková situace nastane, bude ji možné řešit nebo zmírnit její dopady pouze realizací dalších opatření, při samozřejmém předpokladu racionalizace ve sféře užívání vody a vytvoření podmínek pro optimalizaci vodního režimu krajiny.

Graficky je rozbor znázorněn pro současný stav (obr. 4.3.15) a pro výhledový stav (obr. 4.3.16) a je vidět, že problémy zřejmě postihnou celé území ČR.



Obr. 4.3.15 Současný stav vodohospodářské soustavy (Zdroj: Trnka 2015)

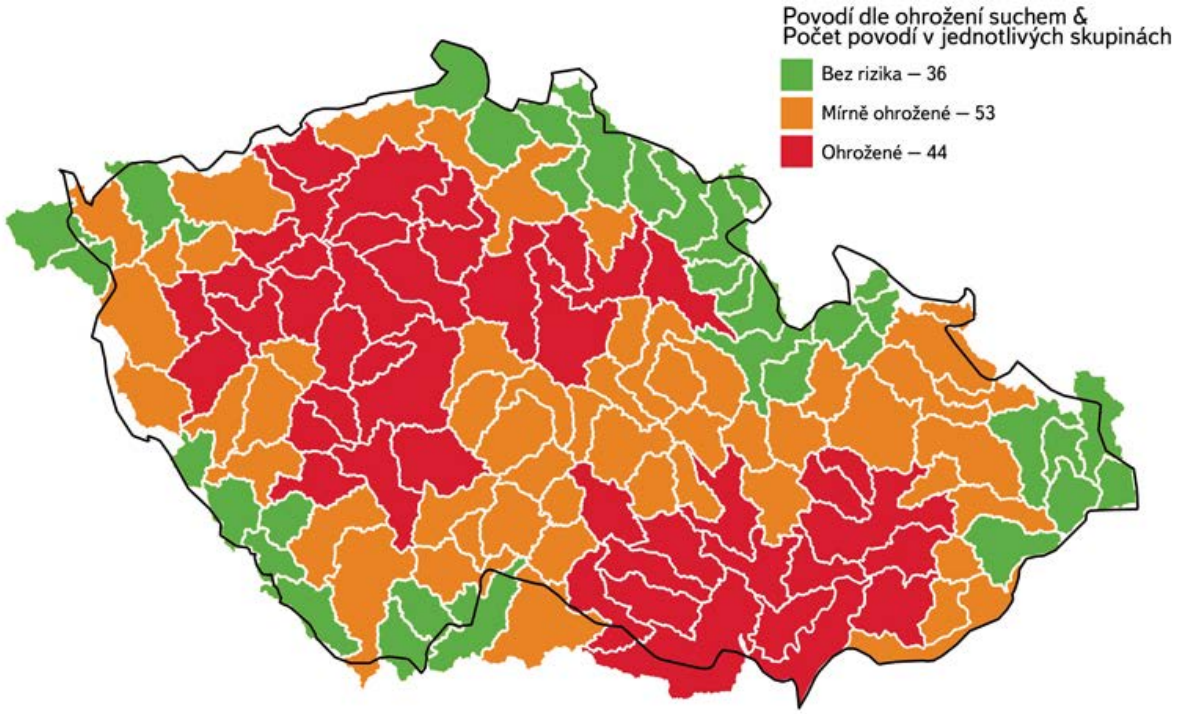


Obr. 4.3.16 Výhledový stav vodohospodářské soustavy k období 2071–2100 (Zdroj: Trnka 2015)

Strnad et al. (2017) provedli regionalizaci nedostatkových objemů odtoku na území ČR. V práci vymezili tři oblasti (obr. 4.3.17):

- bez rizika (horské polohy)
- mírně ohrožené (Českomoravská vrchovina a střední polohy)
- ohrožené (nížiny, zejména jižní Morava a střední Čechy).

Jednotlivé oblasti se liší zejména variabilitou sucha. Oblasti bez rizika mají poměrně vyrovnaný režim a nedostatkové objemy v jednotlivých suchých obdobích se příliš neliší. Naopak v ohrožených oblastech je velký rozdíl mezi různě extrémními epizodami sucha (Strnad et al. 2017). Vyhodnocení disponibilních zdrojů vody v současném klimatu a v suchých letech 2003 a 2015 zpracovali i Vizina et al. (2017). Zpracování studií tohoto typu vycházejících ze scénářů EURO-CORDEX či novějších dosud pro detailní podmínky ČR chybí a je nutné zvážit jejich zpracování jako podporu pro další plánovací cykly ve vodním hospodářství i v oblasti adaptace na změnu klimatu.



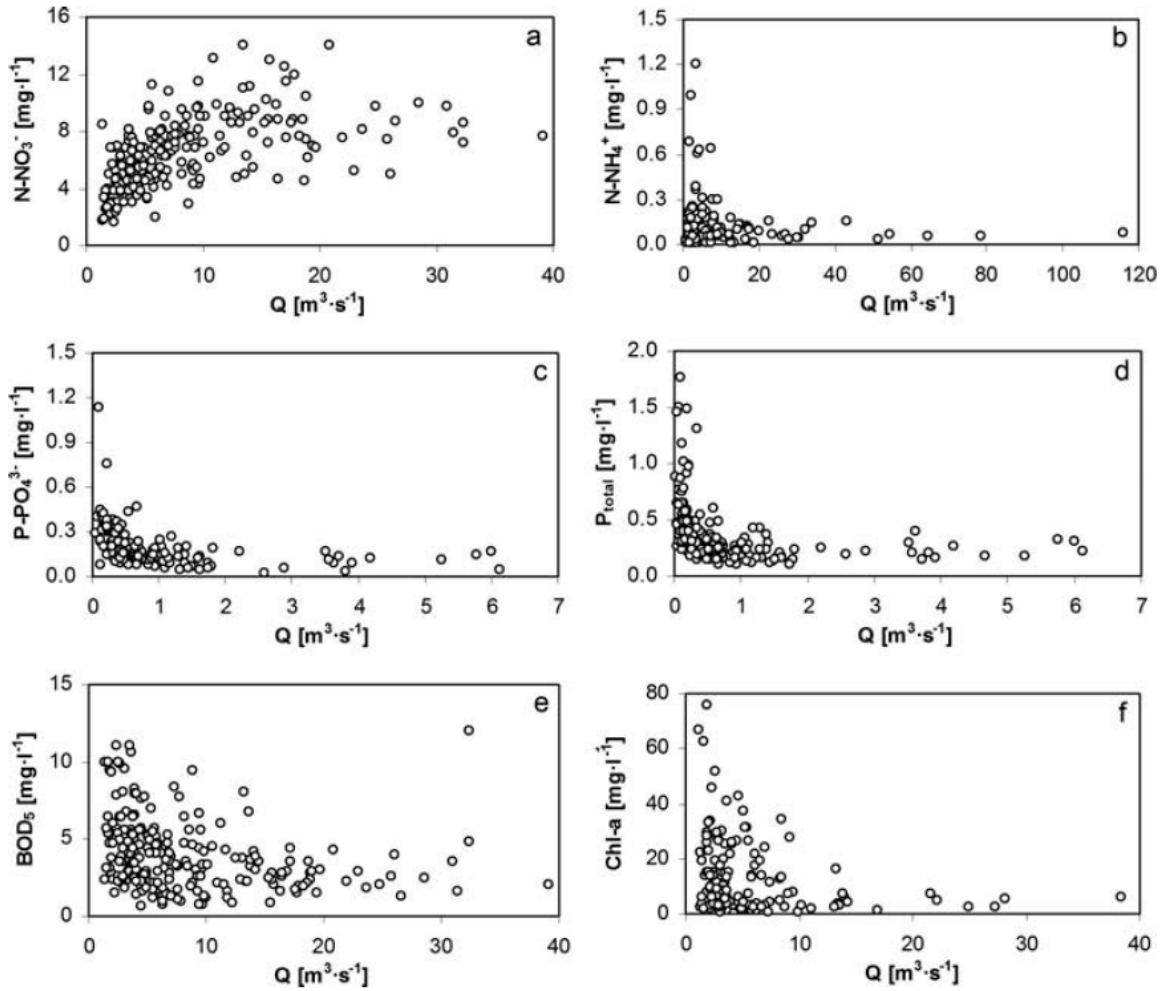
Obr. 4.3.17 Regionalizace ohrožení suchem dle Strnad et al. (2017)

4.3.3.3 Kvalita vody a biodiverzita ve vodních systémech

Jakost vody může být ovlivněna zejména změnou teploty a srážek (EEA 2008). Nárůst teploty vody ovlivní rychlost biogeochemických a ekologických procesů, které určují jakost vody. V případě srážek lze očekávat změny v režimu odtoku. Zejména pokles minim v letním období, a tedy vyšší koncentrace některých znečišťujících látek a současně intenzivnější přívalové srážky mohou sloužit jako zdroj vnosu látek v důsledku eroze. To může mít za následek změny v chemických parametrech a režimech vodních toků a nádrží.

Nárůst teploty vody ve vybraných profilech dosáhl 1,15 °C za 28 let, jak uvádí Hrdinka et al. (2015). Nárůst teploty proudící vody i vody v nádržích snižuje koncentraci kyslíku a zvyšuje rychlost biologické respirace, což může mít za následek další snížení koncentrace rozpuštěného kyslíku, zvláště v obdobích nízkých letních průtoků a ve spodních vrstvách nádrží. Současně se vytváří stabilnější vertikální stratifikace a dochází k menšímu promíchávání vody v nádržích a v jezerech, což v důsledku opět ovlivňuje kyslíkové podmínky v hlubokých vodách, oběh živin a ve svém důsledku společenství planktonu. Mrkva a Kirchesch (2018) na základě modelu jakosti vod pro Labe ukázali na nárůst doby postupu (zdržení) vody ve změněném klimatu, současně ukazují nárůst teploty vody, zejména v extrémních hodnotách nad 25 °C (až 20 dnů v roce). Pro další parametry, například chlorofyl, neposkytují scénáře jednoznačné trendy, ale je zřejmé rozkolísání nejistot zejména v letním a podzimním období.

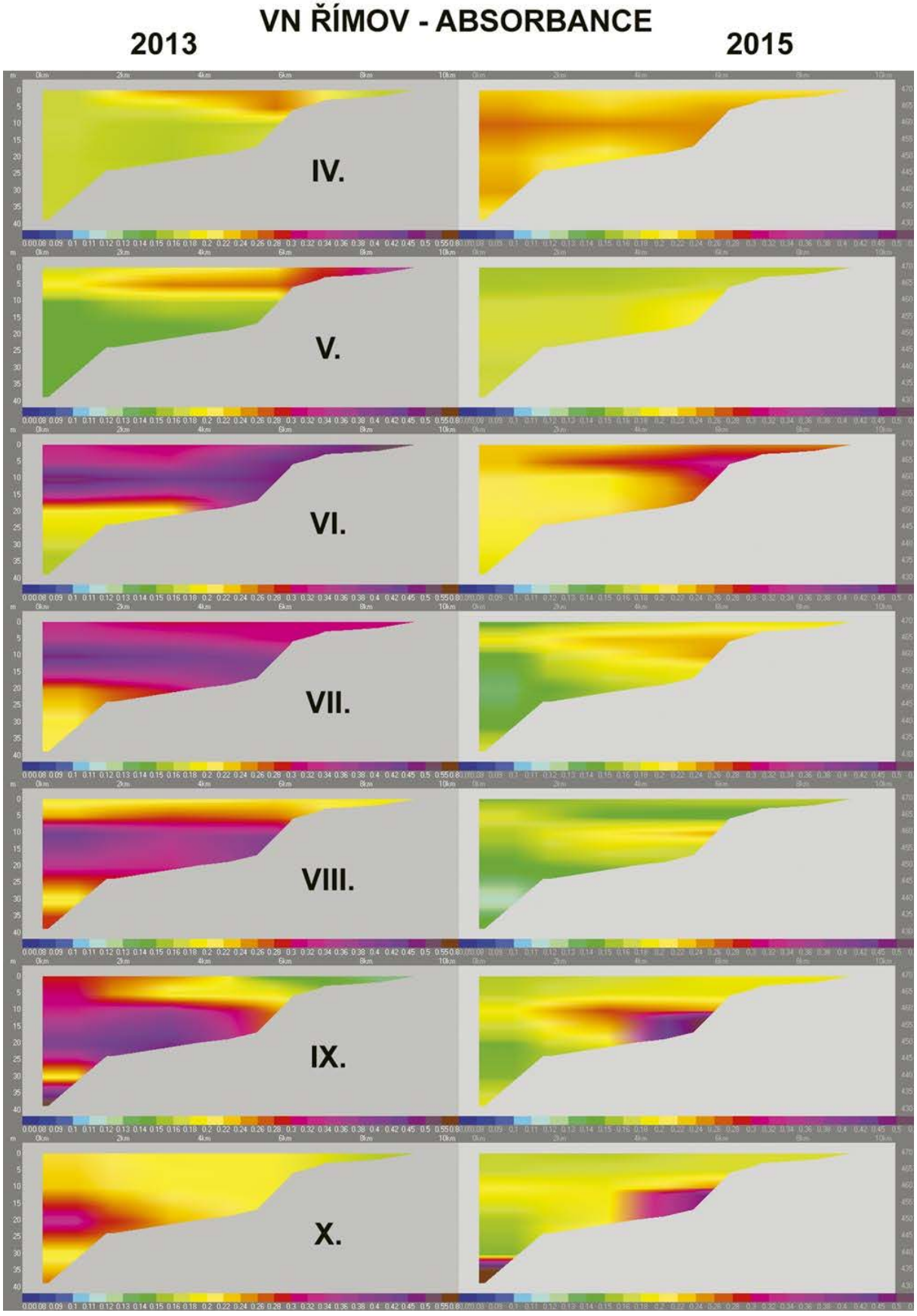
Předpokládá se, že vyšší teploty vzduchu zvyšují mineralizaci a uvolňování dusíku, fosforu a uhlíku z organické půdní hmoty a větší intenzita přívalových srážek nahrává odplavování a erozi, což může mít za následek intenzivnější transport znečišťujících látek. Celkový pokles průtoku v letním období pak působí na menší ředění znečišťujících látek. Na druhou stranu by vyšší deficit půdní vlhkosti měl vést ke snížení mineralizace. Hanslík et al. (2016) analyzovali vybrané ukazatele jakosti vody v povodí horní Vltavy a prokázali rozdílnost závislosti na průtoku mezi látkami pocházejícími s bodových zdrojů (negativní závislost na velikosti průtoku) a plošnými zdroji (pozitivní závislost na velikosti průtoku). Autoři však upozorňují, že z jejich výsledků nelze odvodit obecné závěry, neboť chování se liší místo od místa a je potřeba dalšího studia této problematiky.



Obr. 4.3.18 Závislost hodnot parametrů jakosti vody v závislosti na velikosti průtoku pro Sázavu (a, e), Vsetínskou Bečvu (b), Jevišovku (c, d) a Úhlavu (f) (Zdroj: Hanslík et al. 2016)

Hrdinka et al. (2015) při analýze 10 málo ovlivněných povodí prokázali významné nepříznivé důsledky na vybrané parametry jakosti vody při poklesu průtoku a nárůstu teploty vody. Naopak Duras et al. (2017) a Duras a Marcel (2018) vyhodnotili vliv suchého roku 2015 na jakost vod ve vodních tocích a nádržích a dokumentovali, že suchý rok z hlediska vodních nádrží znamenal zmenšení obsahu huminových látek ve vodě (menší eroze a odnos v suchém roce, obr. 4.3.19, snížil koncentrace dusíku, a naopak vedl k významnému zhoršení pod bodovými zdroji znečištění v důsledku menšího naředění.

Vzhledem k predikovaným nižším odtokům, a tedy vyšším koncentracím některých znečišťujících látek lze očekávat větší požadavky na úpravny vod včetně nutnosti doplnění technologií úpraven vody o nové technologické stupně. Úpravny vody, které byly v době výstavby koncipovány jako jednostupňové, pouze s pískovou filtrací, je třeba v současnosti rozšířit na dvoustupňové úpravny vody, příp. technologii doplňovat o ozonizaci a filtraci granulovaným aktivním uhlím. Mění se i pohled na hygienické zabezpečení pitné vody, které je doplňováno UV zářením a příp. i chloraminací (MZe 2010).



Obr. 4.3.19 VN Římov – huminové látky, porovnání vývoje podélného profilu nádrže ve vodném roce 2013 a v suchém roce 2015 (Zdroj: Duras et al. 2017)

Celkově se ukazuje, že vzájemné spolupůsobení srážek a teploty vzduchu je komplexní a ve velmi suchém roce (např. 2015) mohou převládnout jiné procesy než v roce s četnějšími srážkovými epizodami, které by mobilizovaly plošný vnos látek do teplejších a celkově méně ředěných vod. Působení změny klimatu a sucha může být velmi komplexní, což rovněž dokumentují Duras et al. (2017) a Duras a Marcel (2018) na rozdílu v režimu fosforu v nádržích. Zatímco hluboké nádrže v úzkých údolích, zejména u hráze, vykazují zlepšení koncentrací fosforu, a to především díky vzdálenosti od zdrojů fosforu (přítoky, sedimenty v mělkých částech), v mělkých částech nádrží a v celkově mělkých nádržích dochází v důsledku nárůstu teploty vody k vývoji stabilnější stratifikace, a tím ke vzniku kyslíkového deficitu u dna, který spolu s vyšší teplotou vody podporuje mobilizaci fosforu ze sedimentů. To celkově vede k vyšší eutrofizaci a zvýšení růstu cyanobakterií zejména na konci letního období. Potvrzují se tak obecná očekávání, že se zvýší uvolňování fosforu ze sedimentů ze dna nádrží, a to kvůli klesajícím koncentracím kyslíku u dna útvarů stojatých vod.

Vyšší teplota a nižší koncentrace kyslíku má vliv na plankton, bezobratlé i na studenovodní druhy, jako jsou lososovité ryby, a může omezit jejich přirozené prostředí. Geografické rozmístění vodních organismů je částečně kontrolováno teplotou. Vyšší teploty vody mohou vést ke změnám v rozmístění (druhy se stěhují na sever a do vyšších poloh), a mohou dokonce vést k vyhynutí některých vodních druhů. Podobně častější a delší vysychání menších toků představuje potenciální stres pro stávající druhy ryb, obratlovců a bezobratlých, a to zejména v případě výskytu v době reprodukce. Změny pH dané vyšší rozpustností látek při vyšší teplotě, urychlení a posílení procesu eutrofizace zvýšením metabolismu vodních organizmů a zvýšením počtu autotrofních organizmů, nižší obsah kyslíku daný jeho intenzivním spotřebováváním, může v letních měsících znamenat masivní úhyn vodních organizmů. Očekávaný přírůstek teplých dní může počet těchto stavů zvýšit. Výše uvedené procesy mají na vodní organizmy druhově selektivní účinek. Problém tkví v tom, že většina vzácných a ohrožených vodních organizmů v ČR jsou stenoeknní a nejsou tolerantní k výše uvedeným podmínkám. Tím je například celý řád obojživelníků, ohrožené a zákonem chráněné druhy ryb (mihule, vranky, střevle potoční, mník jednovousý, piskoř pruhovaný aj.) či některé druhy korýšů (korýši periodických tůní – listonozi, žábronožky). Obecně lze předpokládat růst populací druhů typických pro organicky znečištěné vody (nitěnky, pakomáři) a úbytek druhů chladnějších, prokysličených a méně úživných vod (viz výše).

Dalším očekávatelným trendem je šíření nepůvodních druhů, které budou lépe adaptované změněným klimatickým podmínkám a hydrologickému režimu a budou využívat zvýšeného stresu původních organismů pro obsazování stanovišť a ekologických nik. Uvedený mechanismus zdokumentovali pro Labe v Děčíně Špaček a Hájek (2018), kde v důsledku sucha zaznamenali významný pokles druhů i početnosti bezobratlých na zkoumané lokalitě, po návratu příznivějších průtokových podmínek se nepůvodní druhy rozšířily na úkor původních. Ovlivnitelným parametrem pro zpomalení popsaného negativního trendu je množství živin N a P a dalších znečišťujících látek ve vodách. Naším cílem pro snížení dopadů klimatických změn na život ve vodách by tedy mělo být účinné snižování množství vnosu těchto látek.

Dalším faktorem spojeným s rostoucí teplotou může být zmenšení ledové pokrývky vodních ploch, jak z hlediska frekvence jejího výskytu, tak i její mocnosti a kompaktnosti. Změny výskytu zámrzu může ovlivňovat vývoj teplotního zvrstvení v zimních měsících, ale rovněž může navyšovat výpar z vodní hladiny velkých ploch – tento jev je výrazný v oblasti např. Velkých kanadských jezer, kde zámrz zásadně ovlivňuje prostřednictvím výparu celkovou bilanci množství vod. V Českých podmínkách by šlo však o málo zřetelné projevy.

4.3.3.4 Kvalita podzemní vody

Dá se předpokládat, že útvary podzemní vody budou zranitelnější zejména z důvodu očekávaného menšího doplňování a tím menšího naředění znečišťujících látek pronikajících do podzemních vod. Potenciální zranitelnost podzemních vod vyplývá rovněž z pomalého pohybu vod, jejich nižší samočistící schopnosti, a tedy existence znečišťujících látek v podzemních vodách i po několik generací. Podobně se očekává, že vyšší intenzita a frekvence extrémních srážek zvýší zatížení vody znečišťujícími částicemi (organická hmota, živiny a nebezpečné látky), které se vymývají z půdy, a přetokem splaškových systémů do vodních celků (Pracovní skupina Komise EU, 2009). Změnu lze očekávat i v procesech dekompozice a mobilizace látek v půdním prostředí. Niklińska et al. (1999) prokázali zvýšení mineralizace N při teplotách nad 15 °C pro lokality napříč Evropou, Závislost mineralizace C na teplotě se jeví jako komplexnější (např. Dalias 2001; Benbi 2014). Otázka možnosti konkrétních dopadů změn půdních procesů na jakost podzemních vod v podmínkách ČR však bude nutné teprve ověřit budoucím výzkumem.

Vše výše uvedené opět souvisí se zvýšeným tlakem na úpravu vod (viz výše), zejména v situaci výrazně nižších poplatků za odběry podzemních vod ve srovnání s vodami povrchovými, které mohou být motivačním stimulem pro růst odběrů z podzemních vod.

4.3.4 Stanovení indikátorů

4.3.4.1 Indikátory klimatické

Z klimatických indikátorů, jež jsou zpracovány v samostatné kapitole (4.11), mají na danou prioritní oblast významnější vazbu tyto:

- Průměrná roční teplota
- Průměrná letní teplota
- Průměrná jarní teplota
- Průměrná zimní teplota
- Počet tropických dnů
- Délka a četnost vln veder
- Délka období sucha
- Zimní srážkové úhrny
- Jarní srážkové úhrny
- Letní srážkové úhrny
- Podzimní srážkové úhrny
- Počet dnů se srážkami nad 20 mm

4.3.4.2 Indikátory dopadové

Problematika vodního hospodářství přímo souvisí se změnami klimatu, předpokládá se, že voda bude jedním z hlavních prostředků, kde se bude změna klimatu projevovat a ovlivňovat jednotlivé sektory, včetně samotného sektoru vodního hospodářství. Pro hodnocení dopadů změn klimatu v rámci NAP byl zpracován rozsáhlý soubor indikátorů různých typů (dopadové, zranitelnosti aj.), jejich přehled nejnověji pro jednotlivé projevy uvádí zpráva Hodnocení zranitelnosti České republiky ve vztahu ke změně klimatu k roku 2017 (CENIA, 2019). Vzhledem k vodnímu hospodářství lze nalézt vhodné dopadové indikátory napříč skupinami pro jednotlivé projevy. Jedná se o:

1. **Míra délky trvání hydrologického sucha**
2. **Odběry vody jednotlivými sektory**
3. **Obyvatelé nenapojení na veřejné vodovody**
4. **Spotřeba vody**
5. **Ztráty ve vodovodní síti**
6. **Vydatnost vodních zdrojů**
7. **Počet významných povodní**
8. **Oblasti s významným povodňovým rizikem**
9. **Počet digitálních zveřejněných povodňových plánů**
10. **Kritické body rizika přívalových povodní**
11. **Obyvatelstvo v plochách s významným povodňovým rizikem**
12. **Výše povodňových škod**
13. **Průměrná měsíční teplota vody**
14. **Spotřeba vody na zasněžování**
15. **Objem zpoplatněných srážkových vod**
16. **Maximální sněhová pokrývka v průběhu zimy**
17. **Kvalita vody v tocích**
18. **Kvalita koupacích vod**
19. **Výpadky elektrické energie v souvislosti se suchem a povodněmi**
20. **Výroba elektřiny (z vodních elektráren)**

Na základě zkušeností z posledních let lze v případě indikátoru 16 hodnotícího množství sněhu doporučit uvažovat spíše celkový objem vody ve sněhu, resp. jeho maximální hodnotu v průběhu zimy (operativně vyhodnocuje ČHMÚ) a rovněž doporučení zvážit zaměření na nadmořské výšky odpovídající většině území ČR (např. do 600 m n. m.), neboť se ukazuje, že v jednotlivých zimních obdobích může být vývoj na horách a v nižších a středních polohách výrazně odlišný s dopadem na

rozdílnou míru doplňování podzemních vod v době jarního tání.

Původní studie z roku 2015 uvažovala ještě některé další indikátory, z nichž následující jsou jednoznačně smysluplné a mohou být využity jako doplnění rozsáhlé indikátorové sady NAP:

21. **Průměrná zabezpečenost zajištění funkcí vodních nádrží a vodohospodářských soustav**
22. **Limitní hodnoty jakosti vody v nádržích**

V uvedeném přehledu však jednoznačně chybí ukazatele popisující stav podzemních vod jak z hlediska množství, tak jejich jakosti. Současně není postiženo čištění odpadních vod (při uvažované změně zatížení i možností ředění v recipientu, kladoucí důraz na efektivnější čištění a postižení nových typů polutantů v odpadních vodách. Neřešeno zůstává rovněž přerušení základních služeb v podobě omezení dodávek pitné vody ve veřejných vodovodech. Naopak pozitivním dopadovým faktorem může být hodnocení rozvoje adaptací v hospodaření s vodou v podobě rostoucího počtu projektů hospodaření se srážkovými a šedými vodami, recyklací apod. Proto doporučujeme zvážit i následující indikátory:

23. **Množství podzemních vod (ve vztahu k normálovému období)**
24. **Jakost podzemních vod (počet útvarů PzV dosahujících dobrý stav dle Směrnice 2000/60/ES)**
25. **Vnos znečišťujících látek z ČOV jako ukazatel účinnosti čistíren odpadních vod, zejména se zaměřením na mikropolutanty, pesticidní látky, léčiva a jejich metabolity, aj.**
26. **Počet přerušení dodávek pitné vody ve veřejných vodovodech**
27. **Počet projektů/objektů hospodaření se srážkovou a šedou vodou apod.**

Většina uvedených indikátorů je v nějaké podobě již dnes sledována a nabízí se konkrétní definici indikátoru přizpůsobit právě již existujícím produktům, jejichž výhodou je jednak existence zpět do minulosti, a jednak relativní nenáročnost monitoringu.

4.3.5 Vyhodnocení zranitelnosti vůči dopadům změny klimatu, identifikace nejzranitelnějších regionů v ČR

4.3.5.1 Vyhodnocení zranitelnosti vůči dopadům změny klimatu pomocí zvolených indikátorů

Z predikcí uvedených výše vyplývá, že v některých oblastech, které se i v současnosti vyznačují sušším klimatem, je do budoucna predikováno zhoršování vláhové bilance. Ze studie Pretla (2011) současně vyplývá, že výskyt období s nedostatkem vody je očekáván s větší pravděpodobností, než zvětšení intenzity a četnosti přívalových srážek, které jsou příčinou povodní. Do budoucna se tedy z pohledu změn klimatu jeví jako nejvyšší riziko zvyšující se sucho. Nejvýznamnějším indikátorem jsou zde tedy srážkové úhrny, ať již úhrny ročních srážek, tak i sezónní. S tímto souvisí i dopadové indikátory zabývající se průtoky ve vodních tocích. Pro nejbližší budoucnost (cca 20 let) lze konstatovat, že projektované změny odtoků jsou značně nejisté, nicméně indikují tendence typické pro projekce pro konec 21. století, a to zejména růst zimních odtoků a pokles odtoků zejména v letním období. Z dlouhodobějšího pohledu (do konce 21. století) se pravděpodobnost snižování letních odtoků se výrazně zvyšuje.

4.3.5.2 Identifikace nejzranitelnějších regionů

Z analýz vyplývá, že zranitelnými oblastmi jsou zejména jižní a střední Morava, střední Čechy, Polabí a Poohří. Jedná se tedy o oblasti v nižších nadmořských výškách, kde již dnes panuje negativní evapotranspirační bilance a výhledy změny klimatu zde ukazují na zhoršení z hlediska celkové hydrologické bilance a větší zranitelnosti vodních zdrojů. Jedná se tedy o oblasti již dnes se výrazně potýkající s projevy sucha v různých podobách. Právě ve střední části ČR se nacházejí povodí, kde nevyrovnaný úhrn srážek a evapotranspirace vede k dlouhodobě pasivní hydrologické bilanci a projevují se (a budou se projevovat) zde negativní dopady změn klimatu v podobě nedostatku vodních zdrojů v některých letech. Příkladem mohou být povodí Rakovnického potoka, Srpiny, Blšanky a další. Jedná se o povodí přirozeně chudá na srážky. Podobně oblast jižní Moravy a východních Čech opatřily v období od roku 2014 k nejvíce suchem postiženým oblastem, kde v průběhu několika let nedochází k dostatečnému doplňování zásob podzemních vod. V tomto se kromě velkého výparu v létě uplatňuje i další z očekávaných jevů v podobě sněhově méně bohatých zim a jejich dřívějšího konce (tání).

4.3.6 Souhrn – What if analýza

Tab. 4.3.5 Změny základních složek hydrologické bilance [mm/rok] podle souboru klimatických

What if …? Co se stane, v důsledku …?	mechanismus působení	… za uvažovaného stavu/podmínek systému/oblasti	Předpokládané negativní dopady/rizika	Pravděpodobnost scénáře	Závažnost Dopadu	Zranitelnost systému	Subjektivní riziko
otázka				**(1–nejnižší, 5–nejvyšší)**			
Zvyšování průměrné teploty vzduchu	Zvyšování průměrné teploty vzduchu a nárůst počtu letních a tropických dnů při současném zmenšení průtoků vede ke zvýšení průměrné teploty vody a delší "doby zdržení", zejména v letním období a to v případě vodních toků i nádrží.	za současné úrovně znečišťování povrchových vod	Nárůst průměrné roční teploty vody – rychlejší průběh většiny nežádoucích chemických reakcí a bakteriálních procesů	5	3	3	**45**
		při nesnižující se spotřebě vody v energetice	Nárůst teploty a zmenšení průtoků – omezení chladícího efektu v energetice.	4	4	3	**48**
Zvýšená pravděpodobnost výskytu dlouhodobého sucha	Zmenšení průtoků při současném zvýšení teploty vzduchu bude v tocích i v nádržích docházet k periodickému vysychání menších vodních toků. V ostatních tocích bude při současně zvýšené teplotě vzduchu docházet ke změnám odbourávání a šíření znečišťujících látek.	za současné úrovně znečišťování vod	Delší doba zdržení vody v tocích a nádržích, zvýšení teploty vody, snížení parametrů jakosti vody (hlavně z bodových zdrojů)	3	4	3	**36**
			Nežádoucí stabilnější vertikální stratifikace a menší promísení vodního sloupce, negativní ovlivnění kyslíkových podmínek ve vodách, oběhu živin a společenství planktonu	4	2	3	**24**
			Snížení kvality a změna kvantity sedimentu a mobilizace látek ze sedimentu negativně ovlivňující vodní ekosystémy a kvalitu vody	3	2	3	**18**
			Snížení počtu dnů, kdy jsou vodní cesty splavné	4	2	3	**24**
			Vysychání malých toků a negativní dopady na vodní a terestrické, na vodu vázané ekosystémy.	4	2	3	**24**
		při zachování minimálních	Snížení zabezpečení odběrů, včetně	3	4	3	**36**

What if …? Co se stane, v důsledku …?	mechanismus působení	… za uvažovaného stavu/podmínek systému/oblasti	Předpokládané negativní dopady/rizika	Pravděpodobnost scénáře	Závažnost Dopadu	Zranitelnost systému	Subjektivní riziko
		průtoků	vodárenských				
			Omezení hydroenergetického využití toků a nádrží	4	2	2	**16**
	V případě podzemních vod se dlouhodobé sucho projevuje poklesem úrovní hladin zejména v letním a podzimním období, a to zejména v menších zvodních v oblasti krystalinika		Snížení zabezpečení odběrů podzemních vod	3	4	3	**36**
			Zvýšení zranitelnosti zvodní vůči znečištění v důsledku omezeného doplňování a oběhu	3	4	5	**60**
	Při suchu dochází k většímu zanášení stokových sítí, které nejsou dostatečně protékány, současně dochází k větší koncentraci znečišťujících látek v nátoku do ČOV a méně příznivému ředícímu poměru v recipientu.		Zvýšení zatížení a nároků na stupeň čištění, provoz ČOV a údržbu stokové sítě.	3	3	4	**36**
	Dopady zemědělského a půdní sucha budou při opakování vytvářet podmínky pro rozšiřování závlah na velké části území pro zajištění zemědělské produkce	při stávajícím způsobu zemědělského hospodaření	Zvýšení nároků na odběry vody především pro zemědělskou závlahu	3	2	2	**12**
Potenciální změny míry nebezpečí povodní a přívalových povodní	Změny teploty vzduchu (zejména v zimním a jarním období) a změny ve srážkovém režimu povedou k odpovídající změně povodňového režimu na území ČR. Zatímco u zimních, resp. jarních povodní je pravděpodobný pokles jejich typické velikosti a objemu, v letním období jsou dopady velmi nejisté. Bude totiž proti sobě působit četnější výskyt dnů s vyššími (přívalovými)		Zvýšené nebezpečí letních regionálních povodní	2	4	3	**24**
			Zvýšené nebezpečí letních přívalových povodní	2	3	3	**18**
			Zvýšené nebezpečí zimních "dešťových" povodní	2	3	2	**12**
			Zmenšení jarních povodní jako zdroje pro plnění nádrží a mělkých podzemních vod	3	3	4	**36**
			Ztráta povodňové paměti v důsledku změny parametrů statistického rozložení	2	2	2	**8**

What if …? Co se stane, v důsledku …?	mechanismus působení	… za uvažovaného stavu/podmínek systému/oblasti	Předpokládané negativní dopady/rizika	Pravděpodobnost scénáře	Závažnost Dopadu	Zranitelnost systému	Subjektivní riziko
	srážkami a úhrn takových epizod a spíše menší "počáteční" nasycení v důsledku výskytu delších bezesrážkových období a vyšímu výparu. Nejistý je i vliv změn vegetace a vegetačních fází (např. dřívější sklizně a tím obnažení půdního povrchu).		povodňových průtoků				
			Změna hodnoty vyhodnocení cost-benefit protipovodňových opatření	1	2	2	**4**
Změna výskytu extrémních jevů – Vydatné srážky	Zvyšování četnosti dnů s vyššími srážkami (přívalové srážky) a celkový úhrn takových epizod je kritickým faktorem zejména v případě odtoku z nepropustných, či špatně propustných území	v urbanizovaných oblastech za stávajícího způsobu dimenzování a provozu kanalizací	častější selhání drenážních systémů a kanalizace – zaplavení povrchových depresí a ulic	3	3	3	**27**
			zaplavení podzemních prostor a infrastruktury	3	4	4	**48**
		při současném stavu obhospodařování krajiny	zvýšení eroze půdy	4	4	5	**80**

4.3.7 Analýza navržených adaptačních opatření dle Adaptační strategie a NAP

Strategie adaptace na změnu klimatu v platné verzi používá sektorové dělení a pro sektor vodního hospodářství uvádí následující přehled opatření a doporučení:

Adaptační opatření – Vodní režim v krajině a vodní hospodářství

- Opatření pro zajištění stability vodního režimu v krajině
- Systémy hospodaření se srážkovými vodami a opětovného využití vody
- Plány povodí a plány pro zvládání povodňových rizik
- Plány rozvoje vodovodů a kanalizací
- Opatření na vodárenských systémech
- Opatření na čistírnách odpadních vod a kanalizacích
- Optimalizace funkce stávajících nádrží a vodohospodářských soustav
- Obnova malých vodních nádrží a zvyšování jejich spolehlivosti
- Úpravy vodních koryt a v nivách
- Racionalizace licenčního systému pro odběr vody a vypouštění
- Ochrana stávajících a výhledových vodních zdrojů
- Infiltrace povrchových vod do vod podzemních
- Převody vody
- Vodní nádrže v lokalitě chráněné pro akumulaci povrchových vod
- Hydrické využití důlních děl a lomů

Hlavní doporučení – Vodní režim v krajině a vodní hospodářství

- Podpořit integrované plánování v oblasti vod
- Optimalizovat vodní režim v krajině komplexním a integrovaným způsobem
- Využívat systém hodnocení výhledové vodní bilance v rámci šestiletých cyklů plánů povodí, aby umožnil posuzovat vývoj vodní bilance v její prostorové a časové proměnlivosti na území ČR (hydrologické i vodohospodářské) a racionální rozhodování státní správy při povolování odběrů a vypouštění.
- Koncepčně a legislativně řešit zvládání dlouhodobého nedostatku vody, a tím předcházet eskalaci mimořádných událostí vyvolaných těmito extrémními meteorologickými jevy a vývoji krizových stavů.
- Optimalizovat a zajistit funkce vodohospodářské infrastruktury (vodovodů a kanalizací) v případě extrémních hydrologických situací (sucho, povodně, zhoršená kvalita vody) a v případě dlouhodobých změn v hydrologickém cyklu.
- Provést revizi a aktualizaci vymezení oblastí ochrany vod ve smyslu vodního zákona (ochranných pásem vodních zdrojů, chráněných oblastí přirozené akumulace vod, zranitelných oblastí, citlivých oblastí, a dalších).
- Podpořit účinnými nástroji (legislativními, finančními, regulačními) vsakování dešťových srážek a systémy zachycování a opětovného využívání dešťových srážek
- Upravit systém povolování vypouštění odpadních vod tak, aby kladl maximální důraz na aplikaci BAT (*best available technology*).
- Snižovat spotřebu kvalitní pitné vody pro účely, k nimž není tak vysoká kvalita nezbytná a podporovat znovuvyužití částečně čištěných odpadních vod (grey water).
- Více zohlednit problematiku přístupu ke správě menších vodních toků a hospodaření v jejich povodích
- Revidovat seznam lokalit v Generelu území chráněných pro akumulaci povrchových vod

Naproti tomu NAP již používá členění podle hlavních projevů, z nichž pro vodní hospodářství jsou nejvýznamnější dlouhodobé sucho a povodně. V obou případech je strategickým cílem zvyšování odolnosti:

- **Hlavním cílem v oblasti řešení dlouhodobého sucha** je snížení zranitelnosti lidské společnosti a ekosystémů vůči dopadům dlouhodobého sucha a nedostatku vody především zlepšením integrovaného managementu vodních zdrojů na celé ploše území.
- **Zásadním strategickým cílem v oblasti ochrany před povodněmi** je snížit riziko povodní a zvýšit odolnost proti jejich negativním účinkům na lidské zdraví, životní prostředí, kulturní dědictví, hospodářskou činnost a infrastrukturu.
- Přičemž podpůrné jsou i v NAP samostatně definované cíle v **oblasti osvěty a vzdělávání a komunikační strategie**.

Relevantními specifickými cíli pro oba hlavní projevy (sucho, povodně) uvedenými v NAP jsou:

- Ochrana a obnova přirozeného vodního režimu v lesích
- Zvýšení efektivity pozemkových uprav s ohledem na změnu klimatu
- Zastaveni degradace půdy nadměrnou erozi, vyčerpáním živin, ztrátou organické hmoty a utužením
- Zlepšeni hospodařeni se srážkovými vodami v sídlech jejich využíváním
- Zvýšení přirozené retenční schopnosti vodních toků a niv
- Efektivní ochrana a využívání vodních zdrojů
- Ochrana obyvatelstva, systém včasného varovaní před mimořádnými událostmi
- Rozvoj a posílení integrovaného záchranného systému
- Zvyšování environmentální bezpečnosti
- Podporovat vzdělávací programy a osvětové kampaně zaměřené na zavádění adaptačních opatření v krajině i v zastavěném území (zejména v oblasti protipovodňových opatření a přípravy na suchá a horká období, zachytávání a využívání dešťové vody, noční chlazení a denní stínění, budování zelené infrastruktury v obcích, péče o zeleň v okolí budov apod.)

Jak je z uvedeného výčtu cílů a opatření zřejmé, existuje mezi pojetím Strategie a NAP určitý rozdíl. Například ve Strategii není na úrovni hlavních cílů a opatření podchycena potřeba osvěty a vzdělávání. Naopak v NAP nejsou v dané úrovni explicitně jmenovány legislativní a ekonomické nástroje.

Nejzávažnějším nedostatkem obou dokumentů je však absence opatření směřujících k ochraně množství a jakosti podzemních vod. Ačkoliv je často zmiňováno hospodaření v měřítku celého povodí, bylo by žádoucí vydefinovat nejdůležitější opatření ve vztahu k ochraně podzemních, nebo u navrhovaných opatření zdůraznit jejich případnou návaznost na podzemní vody. Za zvážení stojí jednoznačně úprava ceny za odběry podzemních vod, aby přispívala k jejich větší ochraně, dále definice institutu správy podzemních vod a úprava způsobu hospodaření a ekonomických aktivit s ohledem na nebezpečí znečištění podzemních vod.

4.3.7.1 Závěrečné zhodnocení Adaptační strategie a NAP doporučení pro úpravu

V komplexním systému, jakým je propojení přírody, krajiny a lidské společnosti, vzniká řada interakcí a kaskádových efektů, přičemž voda je často prostředkem jejich uplatňování a šíření a prostředkem působení disturbancí. Adaptační strategie a NAP definovaly strategické cíle a hlavní opatření, která mají potenciál přispívat ke zvyšování odolnosti sektoru vodního hospodářství a prostřednictvím vodních zdrojů i v dalších sektorech. Pro zpřehlednění cílů a hlavních opatření lze nicméně doporučit přehodnocení obsahu obou dokumentů tak, aby měly pokud možno jasnější logickou návaznost. Strategie by měla definovat cíle a strategické směřování adaptace, NAP by měl spíše obsahovat implementační část jednotlivých opatření. To by umožnilo odstranit i výše zmíněné mírné disproporce v uvažovaných opatřeních mezi oběma dokumenty. Jednoznačně rovněž doporučujeme doplnění vybraných cílů a opatření zacílených na ochranu podzemních vod jako jedinečného a velmi hodnotného a současně zranitelného zdroje.

4.4 BIODIVERZITA A EKOSYSTÉMOVÉ SLUŽBY

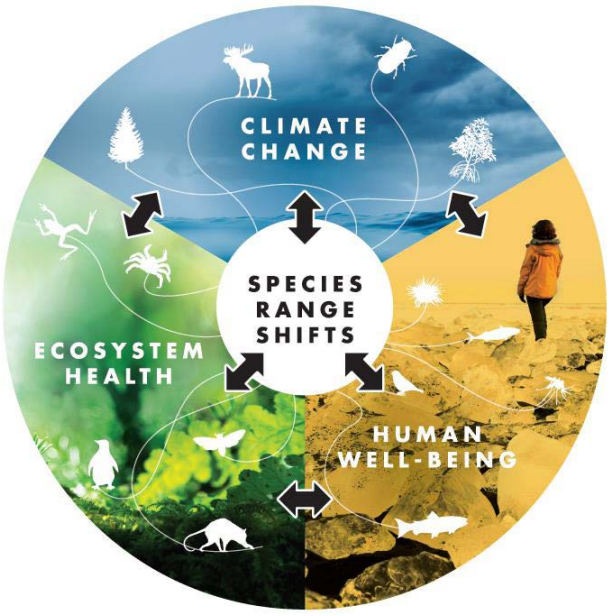
4.4.1 Úvod a kontext

4.4.1.1 Geografická redistribuce biodiverzity vlivem změn klimatu

V posledním desetiletí environmentální věda dokumentuje natolik výrazné změny geografického rozšíření organismů vlivem globálních klimatických změn, že musíme hovořit o „měnící se geografii života“ na naší planetě (Pecl et al. 2017). Redistribuce biodiverzity v měřítku globálního ekosystému (biosféry), indukovaná změnou klimatu (tzv. *range shifts of species*), ovlivňuje lidský blahobyt přímo (např. změnami v potravinové bezpečnosti a šířením nových patogenů) i nepřímo (např. degradací ekosystémů). Prvotní odezva biologických druhů na změnu klimatu se projevuje ve změnách fenologie a fyziologie organismů (Bertin 2008, Menzel et al. 2006). Odezva na změnu klimatu na úrovni biologických druhů může mít vážné důsledky na trofické sítě, v nichž se jednotlivé druhy ovlivňují navzájem (Harmon et al. 2009). Změny klimatických podmínek, na něž jsou druhy adaptovány, indukují genetické změny v organismu, které vedou ke spuštění kaskádových procesů v evoluci druhů (Hewitt, Nichols 2005).

Velmi významnou reakcí biologických druhů na měnící se klima je samozřejmě posun geografických areálů rozšíření do preferovaných životních podmínek v rámci ekosystému jednotlivých druhů i jejich společenstev. U terestrických ekosystémů proto obecně pozorujeme výrazný globální trend v posunu areálů rozšíření směrem k pólům a do vyšších a klimaticky chladnějších nadmořských výšek. Meta-analýzy publikovaných dat naznačují, že průměrný posun geografických areálů druhů vlivem změny klimatu směrem k pólům činí 17 km za dekádu (Chen et al. 2011). Je pravděpodobné, že řada biologických druhů nebude schopna na změnu klimatu reagovat změnou areálu rozšíření (Warren et al. 2001), a to z vnitřních příčin (daných například přílišnou specializací druhu v rámci ekosystému) nebo z vnějších příčin (jimiž mohou být například antropogenní bariéry pohybu druhů v krajině). Tyto klimaticky podmíněné trendy redistribuce biodiverzity jsou v globálním měřítku dokázané zejména u vegetace. Dokumentované globální změny vegetačního pokryvu Země indikují bezprecedentní změny distribuce planetárních biomů, naprosto nesrovnatelné s jakýmikoliv jinými změnami globálního ekosystému od skončení poslední doby ledové (Gonzales et al. 2010). Člověk nyní zcela bez pochybností dokonale naplňuje svoji roli klíčového biologického druhu v globálním ekosystému.

Mezi změnou klimatu a ekosystémy ovšem existuje i zpětná vazba – vegetace na pevninách ve značné míře spoluurčuje základní fyzikální parametry povrchu planety, např. albedo, které zpětně ovlivňují klima (Higgins 2009). Je tedy zřejmé, že budoucí vývoj změny klimatu bude v určité míře závislý na stavu a fungování jednotlivých ekosystémů (obr. 4.4.1).



Obr. 4.4.1 Schéma vztahů mezi globální změnou klimatu, biodiverzitou, ekosystémy a lidským blahobytem (Zdroj: Pecl et al. 2017)

Globální redistribuce biodiverzity je z ekologického hlediska velmi komplexní soubor provázaných procesů, jimž dosud rozumíme velmi málo. Každý biologický druh reaguje totiž na změny klimatu druhově specifickým rozsahem a způsobem. Dosavadní mezidruhové interakce v rámci společenstev a ekosystémů jsou změnou klimatu narušovány v nebývalém rozsahu a nové ekologické interakce vznikají, např. neobvykle rychlým a úspěšným šířením některých invazních druhů (Walther et al. 2009). Autoři některých významných studií (např. Gilman et al. 2010) proto doporučují přenést pozornost od jednotlivých druhů spíše na měnící se vazby mezi nimi.

Globálním problémem s lokálními dopady na biodiverzitu je synergie mezi změnou klimatu a změnami ve využití půdy (landuse) v podobě ztrát plochy přírodních stanovišť (*habitats*). Při aplikaci scénáře RCP8.5 tato synergie v globálním měřítku biosféry negativně ovlivní v 21. století nejméně 43,5 % ekoregionů světa, které tvoří biotopy pro více než polovinu (54,1 %) světových populací terestrických plazů, obojživelníků, ptáků a savců. Navíc, tato synergie dramaticky ovlivní většinu světových center biodiverzity (Chystal et al. 2015).

4.4.1.2 Dopady změn klimatu na ekosystémové služby

Klimaticky podmíněná redistribuce biodiverzity může směřovat ke vzniku nových společenstev a následně k rychlým změnám ekosystémových služeb (Civantos et al. 2012).

Významné ztráty se předpokládají zejména u zásobovacích ekosystémových služeb. Např. studie Hanewinkel et al. (2013) odhaduje, že změna klimatu sníží do roku 2050 ekonomickou hodnotu produkce dříví v evropských lesích nejméně o 34 % oproti dnešku.

Pravděpodobně nejvýznamnější ekosystémovou službou s přímým vztahem k biodiverzitě a změnám klimatu je ukládání uhlíku v ekosystémech. Uhlík patří mezi základní biogenní prvky, bez nichž není možný život na naší planetě Zemi. Klíčovým zdrojem uhlíku pro živé organismy je atmosférický plyn CO_2, který je v procesu fotosyntézy fixován autotrofními organismy (Olson, Blankenship 2004). Přeměna anorganicky vázaného uhlíku v CO_2 do organických uhlovodíkových sloučenin je považována za rozhraní mezi neživým a živým světem (Urban et al. 2011). Terestrické ekosystémy jsou proto považovány za biologickou pumpu atmosférického uhlíku a současně i za jeho potenciální úložiště. I když část uhlíku vázaného fotosyntézou v ekosystému se přirozeně uvolní zase zpět do atmosféry (respirací autotrofních i heterotrofních organismů, aktivitou edafonu apod.), značná část uhlíkové bilance ekosystémů je tvořena uhlíkem dlouhodobě deponovaným do živé i mrtvé biomasy organismů a do půdy. Měření toků uhlíku mezi atmosférou a ekosystémy je proto aktuálně v centru pozornosti environmentálního výzkumu (např. evropský integrační projekt CarboEurope, v ČR např. projekty CzechCarbo, CzechTerra, For Change), protože schopnost terestrických ekosystémů vázat dlouhodobě vzdušný uhlík je velmi významná pro zmírňování negativních dopadů globálních klimatických změn na lidskou společnost.

Okamžitá bilance toku uhlíku mezi atmosférou a ekosystémem (tedy poměr mezi difuzí CO_2 z ovzduší do listů při fotosyntéze a difuzí CO_2 z rostlinných pletiv a půdy do ovzduší) je nazýván čistou ekosystémovou výměnou uhlíku. Z hlediska změny klimatu má však větší význam uhlíková výměna v delším časovém měřítku, tedy dlouhodobá bilance mezi nárůstem množství uhlíku v ekosystému (tj. v podobě přírůstu biomasy a akumulace uhlíku v půdní organické hmotě) a uvolňováním uhlíku z ekosystému (respirací a mikrobiálním rozkladem organických látek), tzv. čistá produkce ekosystému (*Net Ecosystem Production, NEP*). Uvažujeme-li v kontextu globálních změn klimatu s ekologickou rolí člověka jako klíčového biologického druhu v dynamice globálního ekosystému (biosféry), potom mluvíme o čisté produkci biomu, která započítává i ztráty uhlíku v důsledku lidských zásahů do ekosystémů (např. odlesňování). Čistá produkce ekosystémů tak vyjadřuje reálnou schopnost ekosystémů dlouhodobě vázat uhlík (a zmírňovat změnu klimatu). Z tohoto úhlu pohledu je podstatné, že biom opadavých lesů mírného klimatického pásma, v němž se nachází i Česká republika, byl identifikován jako významné uhlíkové úložiště (Janssens et al. 2003).

4.4.2 Dopady predikovaných scénářů změny klimatu v ČR

4.4.2.1 Dopady na přirozenou sekvestraci uhlíku v podmínkách ČR

V České republice je ekologický výzkum schopnosti ekosystémů vázat atmosférický uhlík realizován od roku 2005 ve čtyřech typech ekosystémů: v horském smrkovém lese, v ekosystému horské louky, v agroekosystému kukuřice a v ekosystému mokřadních luk. Dosavadní poznatky (Janouš et al. 2011) ukazují, že NEP je nejvyšší u horského smrkového lesa. NEP kukuřice se blíží hodnotám zjištěným u horského lesa vlivem rychlé a řízené produkce biomasy, jejíž většina je ovšem při sklizni z ekosystému odvezena. Na třetím místě v pořadí je hodnota NEP u mokřadu. Ovšem část uhlíku z mokřadu se uvolňuje v podobě metanu, který má v atmosféře podstatně silnější radiační účinek než CO_2 (IPCC 2013). Výsledná NEP u horské louky se blížila nule (množství uhlíku přijatého fotosyntézou je vyváženo uhlíkem vydaným při respiraci heterotrofních mikroorganismů rozkládajících odumřelou rostlinnou biomasu).

Fixace atmosférického uhlíku ve vegetaci a zvyšování obsahu uhlíku v půdní organické hmotě je jedním z potenciálně významných možností, jak snižovat množství skleníkových plynů unikajících do atmosféry. Návrh vhodného managementu ekosystémů z hlediska řízení uhlíkového cyklu (s cílem sekvestrace uhlíku) vyžaduje detailní znalosti dynamiky toků a kvantifikace zásob uhlíku na globální, regionální a místní úrovni. Příklad koloběhu uhlíku v lesních ekosystémech a agroekosystémech na Novohradsku v roce 2005 demonstruje obr. 4.4.2.

Hrubé odhady kvantifikace zásob uhlíku ve vegetaci a v půdách České republiky již máme k dispozici (Šefrna, Janderková 2007). V lesních ekosystémech ČR byly kvantifikovány nejnižší zásoby uhlíku v biomase (47 t/ha) v oblasti Krušných hor. Tam jsou lesní ekosystémy silně ovlivněny imisní zátěží a acidifikací lesních půd ze 70.–80. let minulého století a současná převažující dřevinná skladba s tzv. přípravnými dřevinami zdaleka nedosahuje objemu biomasy lesů s přirozenou dřevinnou skladbou. Podobně jsou na tom horské lesy Jizerských hor, které se pomalu zotavují z následků celoplošného imisního rozpadu lesů (57 t/ha). Nejvyšší zásoby uhlíku v ČR (122 t/ha) mají lesy v regionu Slavkovského lesa na pestrém geologickém podloží a s optimální dřevinnou a věkovou skladbou. Zásoby uhlíku nad 100 t/ha mají převážně smíšené lesy s dominancí buku v Javorníkách a Hostýnských vrších, v oblasti Chřibů a v Novohradských horách.

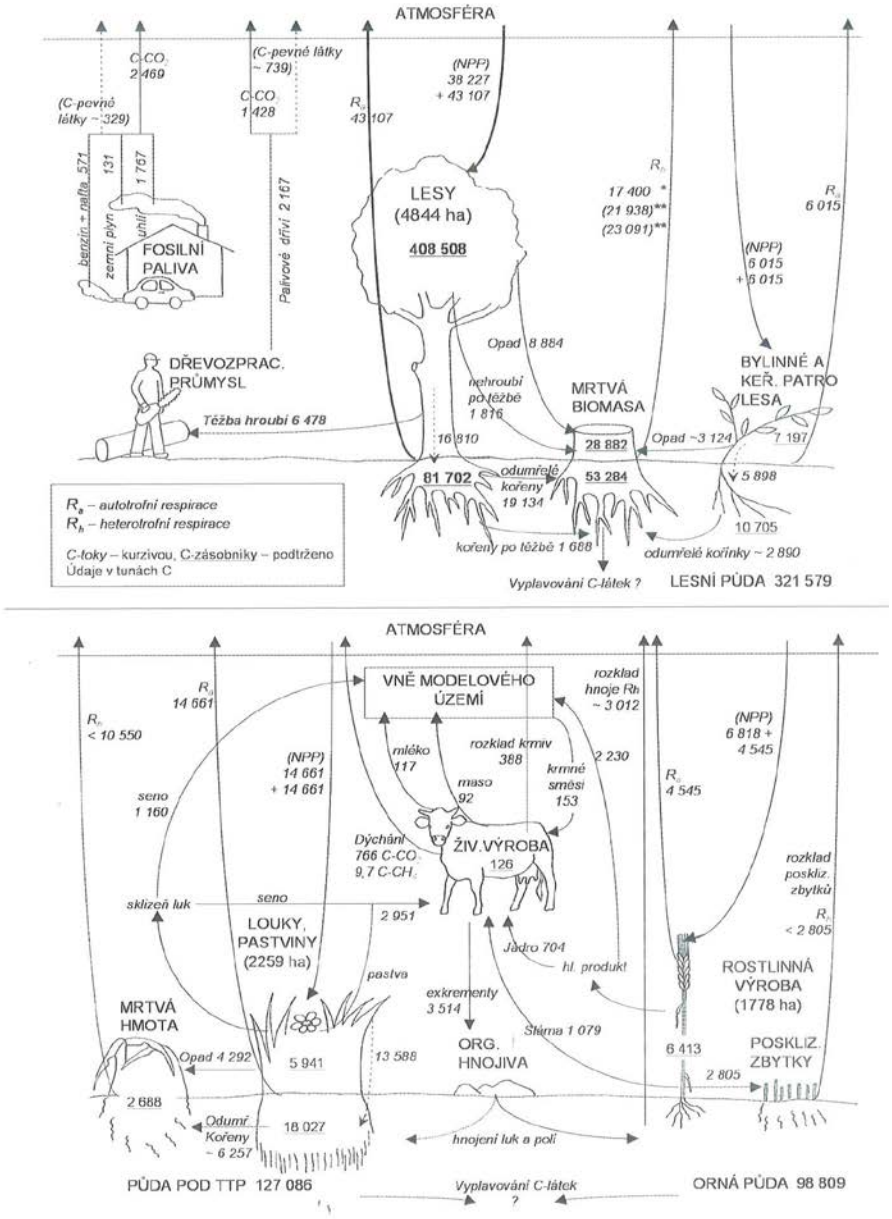
Snaha o změnu dřevinné skladby lesů v ČR směrem k tzv. cílové dřevinné skladbě (výrazné snížení podílu smrku a zvýšení procentuálního zastoupení listnatých dřevin) ovlivní ukládání uhlíku v lesích v budoucnu. Z provedených analýz (Ciencala et al. 2006) vyplývá, že dosažením cílového stavu lesa v ČR lze očekávat celkové snížení objemu hroubí stromové biomasy o cca 4 % v důsledku snížení podílu jehličnanů. Tento propad v zásobách dřevní hmoty ale bude pravděpodobně vyvážen vyšší bezpečností produkce kvalitního dříví, která v současnosti již u smrkových porostů v nížinných až pahorkatinných polohách není reálně možná. Toto platí i pro ostatní ekosystémové funkce lesů, které u plošně chřadnoucích smrkových monokultur ztrácíme. Pokles objemové zásoby hroubí u cílové dřevinné skladby lesů bude navíc kompenzován vyšší hustotou dřeva listnatých stromů (a tím větším množstvím uloženého uhlíku) a příznivými dopady na obnovu biodiverzity lesní krajiny nížinných poloh a pahorkatin. Souhrnně platí, že po dosažení cílové dřevinné skladby v lesích ČR se průměrná zásoba uloženého uhlíku v biomase i v půdním profilu do hloubky 30 cm mírně zvýší oproti současnému stavu (ze 157,5 t/ha na 161,7 t/ha).

Zásoby uhlíku vázané v ekosystémech zemědělské krajiny jsou díky každoroční sklizni produkce ve srovnání s lesy velmi nízké. Průměrná celková zásoba uhlíku v biomase zemědělských plodin na orné půdě v ČR byla kvantifikována na hodnotu 4,21 t/ha, přičemž nejvyšších hodnot přes 5 t/ha dosahují agroekosystémy v kukuřičných a řepařských výrobních oblastech na plochách s pěstováním cukrové řepy.

Můžeme tedy konstatovat, že v kontextu změny klimatu má z ekosystémových služeb patrně největší význam ekosystémová služba „ukládání uhlíku“. Tato ekosystémová služba má přitom bezprostřední vazbu na biodiverzitu ekosystémů. V agroekosystémech, které se obecně vyznačují nízkou biodiverzitou, jsou zásoby uhlíku minimální a jejich udržení závisí na obsahu organické (uhlíkaté) hmoty v půdním prostředí, protože vyprodukovaná biomasa je zde pravidelně sklízena. V lesních ekosystémech, s velmi dlouhou produkční dobou (až 140 let u lesů s dominancí dubu) a s relativně vysokou biodiverzitou (tedy nikoliv v monokulturách s relativně nízkou biodiverzitou) jsou zásoby uhlíku značně vysoké. Z těchto dosavadních, byť dosud předběžných, dat o významu terestrických

ekosystémů v ČR pro ukládání uhlíku, vyplývá několik obecných klíčových závěrů pro management ekosystémů v krajině v kontextu ochrany biodiverzity:

- Pro podporu ukládání uhlíku v lesních ekosystémech ČR je snaha o dosažení cílové dřevinné skladby hospodářských lesů vyhovující strategií. Z hlediska oprávněných zájmů vlastníků lesů se cílová druhová skladba lesů jeví jako vhodný kompromis mezi současným a přirozeným stavem, který realisticky není dosažitelný (nelze mít všechny lesy ČR v podobě pralesů). Z hlediska udržení a obnovy biodiverzity lesní přírody představuje cílová dřevinná skladba v současných hospodářských lesích výrazně pozitivní cíl (Machar et al. 2012).
- Pro ukládání uhlíku v řízených agroekosystémech v zemědělské krajině je zásadní udržet a pokud možno nadlepšovat množství organických látek v půdě, což je možné pouze pomocí agrotechnických opatření zohledňujících zásady správné zemědělské praxe, zaměřené na udržitelnou péči o zemědělskou krajinu (Sluis et al. 2016).



Obr. 4.4.2 Schéma koloběhu uhlíku (t/rok) v lesních ekosystémech a agroekosystémech krajiny na příkladu Novohradska v roce 2015. Toky uhlíku jsou znázorněny šipkami mezi jednotlivými zásobníky.

4.4.2.2 Synergické dopady změny klimatu na biodiverzitu v podmínkách ČR

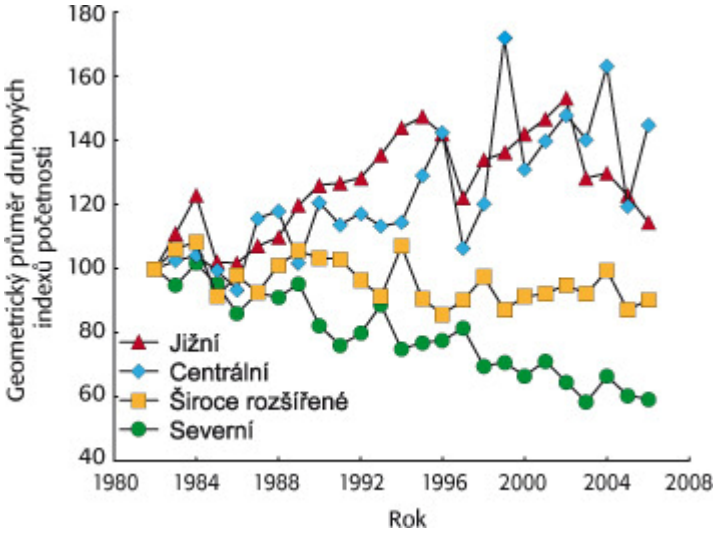
Velká pozornost je nyní věnována zejména synergickým vlivům změny klimatu ve spojení s jinými, antropogenně podmíněnými vlivy na biodiverzitu. Velká pozornost je zaměřena na antropogenní ovlivnění globálního cyklu dusíku. Toto je hodnoceno v synergii s globální změnou klimatu jako největší globální nepřítel biodiverzity (Cílek 2009). Ekosystémy přirozeného bezlesí v Evropě dramaticky rychle zarůstají několika málo druhy bylin (např. kopřivou dvoudomou) v důsledku přebytku dusíku a v kombinaci se zánikem tradičních forem hospodaření na venkově tyto biotopy ztrácejí biodiverzitu neuvěřitelně rychlým tempem. Lesy střední Evropy dnes dostávají desetinásobně více reaktivního dusíku než před sto lety, což v kombinaci se zvýšenou intenzitou fotosyntézy v důsledku globálního oteplování způsobuje neočekávaně rychlé přírůsty lesních stromů, ohrožující statickou i ekologickou stabilitu porostů (Pretzsch et al. 2014). Pro české lesy se odhaduje celková atmosférická depozice dusíku na 30–40 kg/ha/rok (Hůnová et al. 2016).

Významná synergie byla zjištěna např. mezi změnami klimatu a fragmentací ekosystémů (Opdam, Wascher 2004). Procesy změny klimatu a fragmentace spolu souvisí na úrovni metapopulací a na úrovni druhových areálů rozšíření. V krajinách, v nichž relativně nízký stupeň fragmentace ekosystémů umožňuje přežívání druhů, je posun geografických areálů druhů sice zpomalen, ale není zcela zablokován. V krajinách s relativně vysokou mírou fragmentace, která znemožňuje fungování metapopulační dynamiky většiny druhů, je posun geografických areálů druhů vlivem změny klimatu zablokován a tento stav vede k lokálnímu až regionálnímu vymírání druhů. To je velmi časté v kulturních krajinách Evropy, mimo jiné i v ČR. Jako potenciálně možné řešení tohoto problému je navrhována koncepce ekologických sítí v krajině na různých prostorových úrovních (lokální, regionální a nadregionální), přičemž tyto ekologické sítě mohou být jak spojité (formou biokoridorů) tak nespojité (v podobě tzv. nášlapných kamenů). V tomto případě se zdá, že velkou potenciální výhodou pro Českou republiku může být detailně teoreticky rozpracovaný a v praxi běžně rozvíjený koncept Územního systému ekologické stability, ÚSES (Buček, Lacina 2007).

Biodiverzita České republiky je na úrovních alfa i beta diverzity mimořádně vysoká. Vděčíme za to poloze našeho státu na rozhraní čtyř biogeografických provincií, pestré geodiverzitě a dlouhodobému využívání krajiny lidmi. Až do poloviny minulého století byla vysoká biodiverzita krajiny nezáměrně udržována tradičními hospodářskými způsoby v zemědělství a lesnictví, jako bylo např. mozaikovitě maloplošné zemědělství nebo výmladkové hospodaření v nížinných lesích. Přestože ani v minulosti nebylo vše v krajině konáno ve prospěch biodiverzity, značné zhoršení stavu přírody a krajiny přinesla až éra socialismu (kolektivizace a intenzifikace zemědělství, imisní zátěž a velkoplošný rozpad horských lesů, průmyslové znečištění vodních toků atd.).

V současnosti jsou dopady změny klimatu na biodiverzitu a ekosystémové služby v České republice v centru pozornosti základního i aplikovaného výzkumu (www.klimatickázměna.cz). Dobrým indikátorem reakce biodiverzity na klimatické změny jsou fenologické údaje, vztažené na jednotlivé biologické druhy. Fenologická pozorování v ČR jsou primárně zaměřena na zemědělské plodiny a v archívu ČHMÚ existují velmi cenná data zhruba z 300 fenologických stanic s řadou pozorování trvající alespoň 5 let (Hofmeister, Hruška 2005). Z fenologických dat lze vyčíst mnohé zásadní informace o prodlužování vegetačního období téměř o 14 dní za posledních 50 let, nebo o výrazné změně dalších fenofází u mnoha druhů rostlin. Změny se dotýkají i fauny, řada druhů motýlů se líhne o týden dříve, objevují se alarmující studie o masivním poklesu biomasy hmyzu v chráněných územích, tažní ptáci přilétají na hnízdiště o několik týdnů dříve, začátek hnízdění ptáků je časnější atd. Např. v roce 2019 na střední Moravě začínali někteří zpěvní ptáci v nížinných lesích tvořit hnízdní teritoria již 5. února.

Naše informace o budoucích změnách biodiverzity v ČR vlivem klimatických změn jsou tedy často opřené o analogie s trendy současných změn biodiverzity (Pelc 2009). Například Konvička a kol. (2003) zjistili posun rozšíření některých druhů motýlů směrem do vyšších nadmořských výšek, což odpovídá scénáři úbytku rozlohy ploch s podmínkami horských vegetačních stupňů. Reif a kol. (2008) prokázali probíhající změny početnosti a posunů hnízdních areálů ptáků v Česku (úbytek chladnomilných druhů horských poloh a současně šíření a posun areálu rozšíření druhů nižších poloh, obr. 4.4.3).



Obr. 4.4.3 Dokumentované trendy změn početnosti čtyř skupin ptačích druhů v ČR na základě dat z Jednotného programu sčítání ptáků (JPSP). Rozdělení druhů do skupin podle hnízdního rozšíření v Evropě. (Zdroj: Reif et al. 2008)

Klimaxovou vegetací na území ČR jsou především lesní ekosystémy, takže z tohoto pohledu je pro biodiverzitu lesů klíčové, jak se vlivem změny klimatu mění distribuce základní živé složky lesních ekosystémů – tedy stromů. Studie Dyderski et al. (2017) ukazuje, že z hlediska odezvy na klimatické změny můžeme lesní stromy rozdělit na tři skupiny:

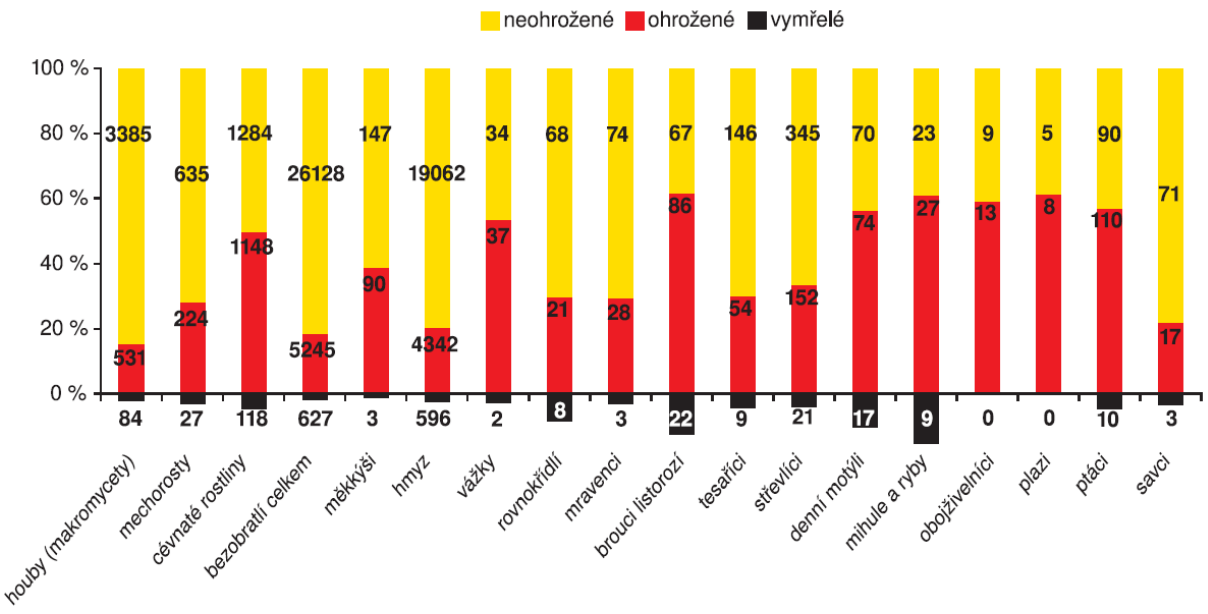
- První skupina, tzv. *winners* jsou druhy pozdních sukcesních stádií lesa jako jedle bělokorá (*Abies alba*), buk lesní (*Fagus sylvatica*), Jasan ztepilý (*Fraxinus excelsior*), dub letní (*Quercus robur*) a dub zimní (*Quercus petraea*).
- Druhou skupinu tzv. *losers* tvoří druhy pionýrských sukcesních stádií, tedy bříza bělokorá (*Betula pendula*), modřín opadavý (*Larix decidua*), smrk ztepilý (*Picea abies*) a borovice lesní (*Pinus sylvestris*).
- Třetí skupinou jsou nepůvodní druhy douglaska tisolistá (*Pseudotsuga menziesii*), dub červený (*Quercus rubra*) a trnovník akát (*Robinia pseudoaccacia*), které mohou být považovány v kontextu změn klimatu rovněž za *winners.*

Z tohoto rozdělení pak vyplývají zřejmé důsledky pro trvale udržitelný lesnický management zaměřený na udržení biodiverzity v ČR (viz dále).

Detailní informace o aktuálním stavu biodiverzity v České republice poskytují průběžně aktualizované výsledky mapování a monitoringu evropsky významných typů přírodních stanovišť a druhů (Hartel et al. 2009). V České republice rozlišujeme 157 typů přírodních stanovišť/biotopů (Chytrý et al. 2010), které pokrývají pouze 17 % území ČR. Ekologický stav tří čtvrtin těchto přírodních stanovišť je hodnocen jako nepříznivý (Miko, Hošek 2009). Převažující část krajiny ČR tedy tvoří ekosystémy člověkem řízené a výrazně přeměněné (Divišek et al. 2014; Romportl et al. 2013).

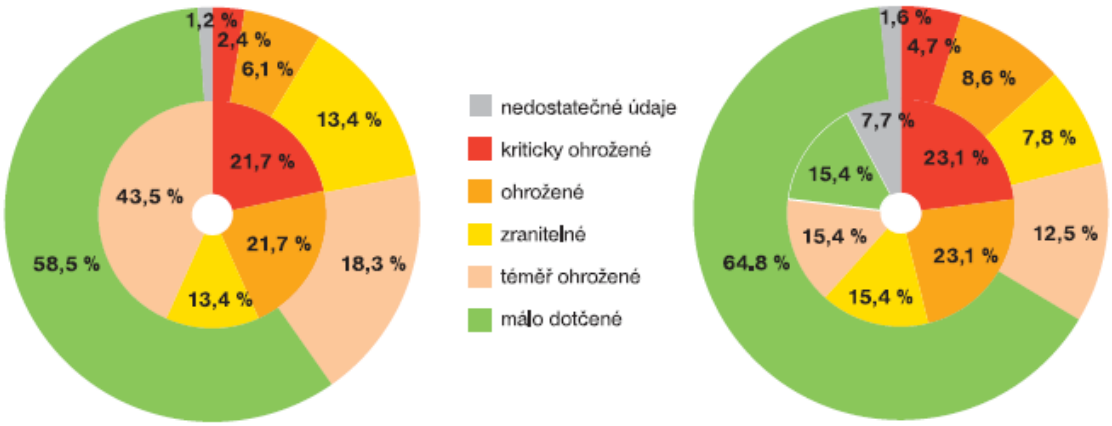
Zánikem jsou nejvíce ohrožena vzácná přírodní stanoviště, která se zachovala na malých rozlohách a která jsou vázána na specifické místní podmínky (Kučera 2012). Změna klimatu tak přímo ohrožuje přírodní stanoviště skalních výchozů sudetských karů (kód A5 podle Katalogu biotopů ČR, v ČR jen 7 segmentů o celkové rozloze 2,1 ha), sněhová výležiska (A3, 15 segmentů, 3,3 ha) a subalpínské křoviny s vrbou laponskou (A8, 9 segmentů, 4,1 ha). Mezi přírodní stanoviště, která jsou ohrožována změnou klimatu v synergii s jinými negativními vlivy (např. zátěží dusíkem), bychom mohli zařadit i mnohé další typy přírodních stanovišť (druhově bohaté louky, vřesoviště i mezotrofní mokřady ohrožené zarůstáním konkurenčně silných druhů trav, ústup šídlatek z oligotrofních horských jezer atd.).

Orientační informaci o stavu druhového bohatství ČR na úrovni alfa diverzity poskytují červené seznamy (obr. 4.4.4), které byly souhrnně tiskem publikovány v roce 2017 ve zvláštních číslech časopisu Příroda (Grulich et al. 2017; Hejda et al. 2017; Chobot et al. 2017).



Obr. 4.4.4 Stav biologických druhů v ČR podle červených seznamů (Zdroj: Miko, Hošek 2009)

V ČR byly dosud zpracovány červené seznamy pro cévnaté rostliny, mechorosty, houby, bezobratlé a obratlovce. Cévnaté rostliny i obratlovci vykazují nadpoloviční podíl ohrožených druhů. U druhově bohaté skupiny bezobratlých se situace jeví optimističtěji, ale při bližším rozboru taxonomických skupin, které jsou více prozkoumány, se tento optimismus ztrácí, mezi ohrožené druhy patří více než polovina druhů denních motýlů či vážek. Podobnou informaci lze získat i z tzv. Hodnotících zpráv o stavu evropsky významných druhů a typů přírodních stanovišť, které jsou členské státy EU povinny periodicky zpracovávat pro Evropskou komisi. Příklad vyhodnocených dat z této zprávy pro obojživelníky a plazy v ČR ukazuje obr. 4.4.5.



Obr. 4.4.5 Zařazení obojživelníků (vlevo) a plazů (vpravo) do jednotlivých kategorií Evropského červeného seznamu (vnější kruh) a do Červeného seznamu ČR (vnitřní kruh) (Zdroj: Miko, Hošek 2009)

Pozornost ochrany přírody se tradičně soustřeďuje na tzv. přirozeně vzácné druhy, tedy takové, které se vyskytují v málo početných populacích bez přímého přičinění člověka. Nejčastějším důvodem přirozené vzácnosti druhů na území ČR je fakt, že přes ČR probíhá hranice geografického areálu přirozeného rozšíření daného druhu. Např. na jižní Moravu zasahuje severním okrajem svého areálu řada druhů s panonským nebo mediteránním areálem rozšíření, na střední Moravu zasahuje západní okraj areálu rozšíření některých karpatských druhů rostlin atd. Se změnou klimatu se hranice areálů

budou výrazně měnit (známým příkladem je např. šíření kudlanky nábožné z teplé Panonie na Hanou a dále na sever). Některé z těchto přirozeně vzácných druhů se nyní (v souvislosti s oteplováním klimatu) stávají na území ČR běžnější než v minulosti (z ptáků např. dudek chocholatý nebo vlha pestrá). Jiné druhy jsou přirozeně vzácné tím, že obývají plošně málo rozšířená a ekologicky vyhraněná stanoviště. Část z těchto druhů má povahu tzv. reliktů, jde o přírodní památky na dávnou minulost, kdy příslušný typ stanoviště byl na našem území více rozšířen. Z hlediska probíhající změny klimatu je mimořádně významný problém tzv. glaciálních reliktů, pamětníků severské tundry z období zalednění v pleistocénu. Jde např. o krkonošského střevlíčka *Nebria gyllenhali* nebo o roztoče *Rhagidia gelida* z promrzajících sutí. Tyto druhy pod tlakem změny klimatu s největší pravděpodobností na území ČR vymřou.

Pro biodiverzitu by největší ztrátu znamenalo vymření endemitů, z nichž v ČR jsou změnami klimatu přímo ohroženy především rostlinné endemické druhy vysokohorských stanovišť, které nemají reálnou možnost migrovat v důsledku oteplení do vhodnějších lokalit:

- zvonek český *(Campanula bohemika*) a jeřáb sudetský (*Sorbus sudetica*) v Krkonoších
- zvonek jesenický *(Campanula gelida*) a lipnice jesenická *(Poa riphaea*) v Hrubém Jeseníku.

Jak již bylo naznačeno v předchozích kapitolách této studie, zabývajících se detailní problematikou lesů, zemědělství a vodního hospodářství, většina pozorovaných nebo predikovaných dopadů změn klimatu v krajině nepůsobí izolovaně a jejich synergické vlivy nemůžou být hodnoceny pouze „sektorově“. Rozsáhlé holiny, vznikající v některých regionech ČR v důsledku plošného hynutí smrků suchem a jako následek kůrovcové kalamity (Nízký Jeseník, Opavsko, Vysočina) jsou příčinou probíhajících změn biodiverzity v lokálním i regionálním měřítku. Na holinách se dominantně prosazují nitrofilní druhy několika málo kompetičně silných bylin a keřů, které vytlačují původní lesní vegetaci a na ni vázaný hmyz. Změny druhové skladby lesů (snížení zastoupení smrku ztepilého a zvýšení podílu listnatých dřevin včetně tzv. melioračních druhů dřevin) pravděpodobně pozitivně změní biodiverzitu lesních regionů na velkých rozlohách ČR. Sucho však pravděpodobně podpoří šíření některých problémových invazních druhů dřevin v lesích (např. trnovník akát, borovice černá). Šíření nových druhů lesních a zemědělských škůdců indukované změnou klimatu, může mít pro biodiverzitu dramatické a dnes ještě obtížně predikovatelné dopady. Např. šíření houbového patogenu *Chalara fraxinea*, který způsobuje chřadnutí jasanu ztepilého, je dáváno do souvislosti se změnou klimatu a vede ke změnám druhového složení nížinných lesů v rozsahu, který může být pravděpodobně v blízké budoucnosti velmi významný (Santini et al. 2013). Opakování period agronomického sucha v jarním a časně letním období může znamenat zánik biotopů pro rozmnožování obojživelníků v nížinných a pahorkatinných oblastech. Některé druhy obojživelníků (oba druhy kuněk, čolek obecný, čolek horský) využívají v kulturní krajině jako biotopy pro rozmnožování louže vznikající po jarních deštích v prohlubních lesních a polních cest. Empirická pozorování z posledních let naznačují, že tyto antropogenní, avšak pro přežití některých obojživelníků kritické, biotopy v suchých periodách počasí vůbec nevznikají. Stejný problém se týká existence biotopů mělkých mokřadů v krajině. Biotopy periodických tůní v lužních lesích hostí zcela unikátní společenstva kriticky ohrožených druhů korýšů (žábronožka sněžní, listonoh jarní, některé druhy škeblovek). Existence biotopů periodických tůní je zcela závislá na přirozené fluviální dynamice nížinných řek a na pravidelných plošných záplavách lužních lesů. Korýši periodických tůní sice přežijí v organických sedimentech dna periodických tůní i několikaleté období sucha, avšak existence těchto biotopů je na pravidelných disturbancích záplavami zcela závislá. Absence záplav v lužním lese by měla pro přežití těchto druhů fatální důsledky. V oboru vodního hospodářství pozorované a predikované snížení průtoků ve vodních tocích pod úroveň ekologického minima má pro organismy těchto biotopů (bezobratlí, ryby) letální dopady. Empirická pozorování ze suchého období roku 2018 ukázala, že např. vyschnutí drobných vodních toků v kulturní krajině vede k lokálnímu kolapsu rozmnožování mloka skvrnitého (jeho larvy se vyvíjejí v tekoucí prokysličené vodě malých potoků) a k lokálním úhynům populací raka říčního. Dlouhodobě trvající nízké průtoky v tocích zhoršují životní podmínky pro ledňáčka říčního a vydru říční.

V souvislosti s projevy globální změny klimatu můžeme oprávněně očekávat příchod nových nepůvodních druhů organismů (Mlíkovský, Stýblo 2006). Mezi živočišné invazní druhy, jejichž šíření na naše území je spojováno se změnou klimatu, patří např. plzák španělský (*Arion vulgaris*), který utlačuje naše domácí druhy měkkýšů a současně je významným zemědělským škůdcem. Podíl nepůvodních druhů v celkové biodiverzitě České republiky je překvapivě velký, z celkem 2750 druhů flóry ČR je 1378 druhů nepůvodních, z toho 333 archeofytů a 1045 neofytů (Pyšek et al. 2008). Invazní druh je naturalizovaný druh, který produkuje velké množství potomstva a překonává bariéry bránící jeho rozšiřování, takže je schopen se rychle šířit na velké vzdálenosti od svých zdrojových populací. Zdaleka ne každý invazní druh představuje pro biodiverzitu hrozbu. Ohrožení biodiverzity

přinášejí pouze ty invazní druhy, které svým působením výrazně mění vlastnosti nového ekosystému. V České republice se nyní vyskytuje 19 druhů bylin a 10 druhů stromů, které je možno z hlediska ochrany biodiverzity zařadit mezi problémové invazní druhy (tab. 4.4.1). Některé z těchto druhů se budou v důsledku změny klimatu v krajině ČR dále šířit. Změna klimatu může procesy biologické invaze indukovat dosud nepředvídatelnými způsoby. S jistotou dnes víme, že nejdůležitější faktor, určující míru invadovanosti různých lokalit, je typ biotopu (Pyšek et al. 2009). Tento poznatek může napomoci při přípravě i hodnocení strategií ochranářského adaptačního managementu v chráněných územích.

Tab. 4.4.1 Přehled problémových invazních druhů rostlin v ČR (Zdroj: Machar et al. 2012)

Druh	Růstová forma	Způsob šíření	Počet biotopů	Rozšíření (počet čtverců)
Epilobium ciliatum	vytrvalá	semeny/vegetativně	14	567
Solidago canadensis	vytrvalá	semeny/vegetativně	14	483
Aster lanceolatus et spp.	vytrvalá	semeny/vegetativně	12	17
Robinia pseudacacia	strom	semeny/vegetativně	11	528
Solidago gigantea	vytrvalá	semeny/vegetativně	11	413
Impatiens glandulifera	jednoletá	semeny	10	428
Fallopia japonica	vytrvalá	vegetativně	9	366
Fallopia sachalinensis	vytrvalá	vegetativně	9	135
Fallopia ×bohemica	vytrvalá	vegetativně	9	145
Rumex alpinus	vytrvalá	semeny/vegetativně	9	37
Helianthus tuberosu	vytrvalá	semeny/vegetativně	8	86
Lupinus polyphyllus	vytrvalá	semeny	8	486
Sarothamnus scoparius	keř	semeny	7	524
Lycium barbarum	keř	vegetativně	5	98
Quercus rubra	strom	semeny	5	146
Heracleum mantegazzianum	dvouletá až vytrvalá	semeny	4	232
Impatiens parviflora	jednoleté	semeny	4	588
Ailanthus altissima	strom	semeny/vegetativně	3	53
Padus serotina	strom	semeny	3	12
Pinus strobus	strom	semeny	3	103
Veronica filiformis	vytrvalá	vegetativně	3	167
Acer negundo	strom	semeny	2	85
Elodea canadensis	vytrvalá	vegetativně	2	276
Populus × canadensis	strom	semeny	2	?
Telekia speciosa	vytrvalá	semeny	2	82
Ambrosia artemisiifolia	jednoletá	semeny	1	64
Conyza canadensis	jednoletá	semeny	1	354
Mahonia aquifolium	keř	semeny	1	25
Rudbeckia laciniata	vytrvalá	semeny	1	150

4.4.3 Stanovení indikátorů

4.4.3.1 Indikátory klimatické

Z klimatických indikátorů, jež jsou zpracovány v samostatné kapitole 4.11, mají na danou prioritní oblast významnější vazbu tyto:

- Průměrná roční teplota
- Počet ledových dnů
- Délka období sucha
- Počet dnů se srážkou nad 20 mm

4.4.3.2 Indikátory dopadové

Na globální úrovni jsou centrální sadou indikátorů pro hodnocení úspěšnosti při ochraně biodiverzity a ekosystémových služeb tzv. indikátory Aichi cílů v rámci Úmluvy o biologické rozmanitosti (www.bipindicators.net).

Významnou slabou stránkou v připravenosti České republiky na dopady změny klimatu je dosavadní nevýrazná státní podpora monitoringu biodiverzity, cíleně zaměřeného na odborné dokumentování probíhajících změn biodiverzity a na modelování scénářů a z nich vyplývajících strategií adaptačního a mitigačního chování k udržení biodiverzity. Jak naznačil text předchozích kapitol této studie, absence mnoha důležitých informací, které by mohl přinášet monitoring změn biodiverzity a ekosystémových služeb v kontextu změny klimatu, vede k mnoha nejistotám ve formulování doporučení i predikcí. Monitoring soustavy Natura 2000 je využitelný pro analýzu dopadů změn klimatu na biodiverzitu jen velmi omezeně. V současnosti realizované dílčí programy monitoringu některých taxonomických skupin biodiverzity jsou vzájemně věcně i časově neprovázané a roztříštěné. Jejich informační vytěžování často záleží především na osobní iniciativě akademických pracovníků např. při zadávání studentských kvalifikačních prací. Na monitoring indikátorů změn biodiverzity v rámci změny klimatu neexistuje konkrétně zaměřený a státem podporovaný monitorovací program. Některé důležité programy monitorující vybrané taxonomické skupiny biodiverzity nejsou podporovány státem a jsou založeny pouze na dobrovolném úsilí veřejnosti zapojené do aktivit tzv. občanské vědy (typicky např. monitoring rozšíření motýlů nebo monitoring hnízdního rozšíření ptáků).

Základním předpokladem pro definování dopadových indikátorů v oblasti biodiverzity by tedy mělo být účelové propojení dosud nekoordinovaně probíhajících nejrůznějších monitorovacích aktivit do jednotného systému státem podpořeného monitoringu změn biodiverzity vlivem klimatických změn.

Klíčové skupiny dopadových indikátorů v tomto novém systému monitoringu by měly zahrnovat:

- Fenologické sledování vybraných taxonů rostlin a živočichů.
- Monitoring změn geografických areálů rozšíření vybraných taxonů rostlin a živočichů.
- Monitoring invazního chování vybraných geograficky nepůvodních druhů rostlin a živočichů.
- Monitoring trendů změn početnosti vybraných taxonomických skupin rostlin a živočichů.

4.4.4 Vyhodnocení zranitelnosti vůči dopadům změny klimatu a identifikace nejzranitelnějších regionů v ČR

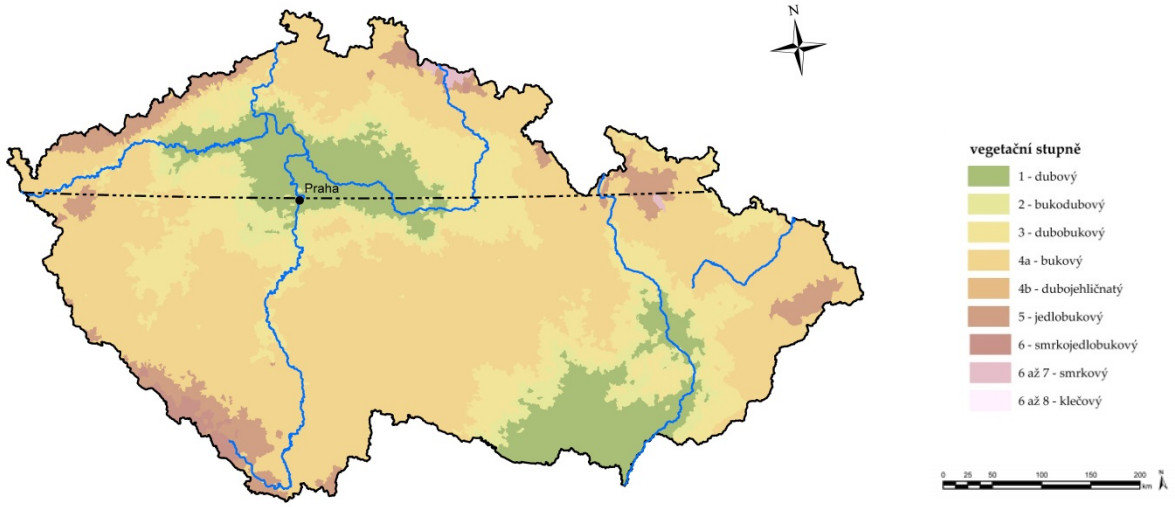
4.4.4.1 Vyhodnocení zranitelnosti biodiverzity a ekosystémů vůči dopadům změny klimatu

Orientačním vodítkem pro vyhodnocení zranitelnosti biodiverzity a ekosystémových služeb vlivem dopadů změny klimatu mohou být regionální biogeografické modely (Hannah et al. 2002), které pro Českou republiku již jsou k dispozici (např. Machar et al. 2017). Tyto modely aplikují poznatky o vegetační stupňovitosti krajiny do tvorby predikčních scénářů změn vegetace vlivem změny klimatu. Vegetační stupně byly v Česku poprvé vymezeny metodou bioindikace v klasické práci profesora Zlatníka (Zlatník 1976). Podrobné charakteristiky ekotopu, přírodního stavu biocenóz a současného stavu krajiny ve vegetačních stupních jsou součástí charakteristik jednotek geobiocenologické typologie krajiny České republiky (Buček, Lacina 2007). Klimatické a ekologické charakteristiky těchto vegetačních stupňů detailně popisuje práce Vlčková et al. (2015). V současných ekologických podmínkách v Česku převažuje čtvrtý (bukový) vegetační stupeň (zaujímající 43,07 % území Česka).

Regionální scénář trendu změn klimatických podmínek pro vegetační stupňovitost Česka (tab. 4.4.2) indikuje pro predikční období roku 2030 (obr. 4.4.6) znatelný nárůst ploch území s environmentálními podmínkami nižších vegetačních stupňů (prvního až čtvrtého). Čtvrtý vegetační stupeň si v tomto predikčním období udrží dominantní (55 %) plošné rozšíření v krajině celé ČR. Zřetelně se sníží výměra území s podmínkami vyšších vegetačních stupňů (pátého až osmého). Zejména plocha s environmentálními podmínkami pátého (jedlobukového) podhorského vegetačního stupně poklesne oproti současnosti o téměř 14 %.

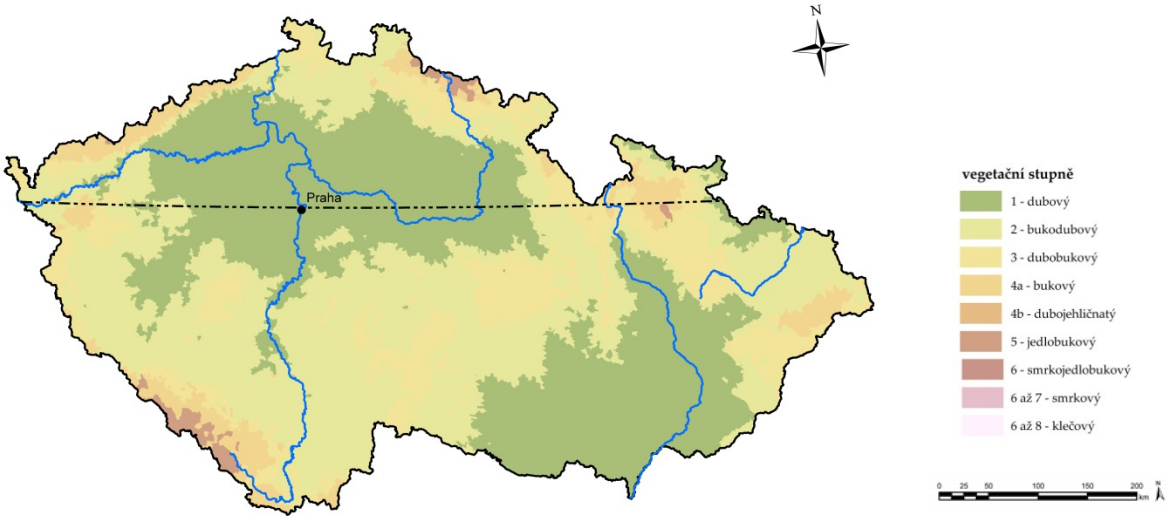
Tab. 4.4.2 Biogeografická predikce změn podmínek vegetační stupňovitosti krajiny v ČR (pro scénář RCP8.5)

vegetační stupně	1961 až 2009	2010 až 2029	2030 až 2049	2050 až 2069	2070 až 2089	1961 až 2009	2010 až 2029	2030 až 2049	2050 až 2069	2070 až 2089
	výměra v ha					podíl z výměry ČR v %				
1	272852.44	313819.18	1007407.06	3028186.31	3028186.31	3.46	3.98	12.78	38.41	38.41
2	946733.25	1126504.12	432916.24	3035878.36	3035878.36	12.01	14.29	5.49	38.51	38.51
3	1435640.13	1587863.01	1587863.01	1293334.92	1293334.92	18.21	20.14	20.14	16.41	16.41
4a	3123679.11	3644427.12	4329213.27	441116.03	314082.06	39.62	46.23	54.91	5.60	3.98
4b	285159.74	684786.16	0.00	0.00	189893.37	3.62	8.69	0.00	0.00	2.41
5	1536623.86	441116.03	441116.03	85010.00	22150.60	19.49	5.60	5.60	1.08	0.28
6	197827.09	62859.40	62859.40	0.00	0.00	2.51	0.80	0.80	0.00	0.00
6 až 7	62859.40	22150.60	22150.60	0.00	0.00	0.80	0.28	0.28	0.00	0.00
6 až 8	22150.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.28	0.00	0.00	0.00	0.00



Obr. 4.4.6 Rozšíření vegetačních stupňů na území v ČR, modelovaná situace pro rok 2030

V predikčním období roku 2050 (obr. 4.4.7) se klimatické podmínky prvního vegetačního stupně budou plošně značně rozšiřovat (až na 12,8 % území Česka). V krajině vymizí klimatické podmínky tzv. dubojehličnaté varianty čtvrtého vegetačního stupně vymezeného Bučkem a Lacinou (2007). Trend úbytku ploch s klimatickými podmínkami šestého až osmého vegetačního stupně bude pravděpodobně pokračovat podle tohoto scénáře i dále do budoucna. Detailní plošné změny klimatických rámců vegetační stupňovitosti krajiny v České republice v absolutních číselných údajích demonstruje tab. 4.4.2 v časových predikčních dvacetiletých krocích.



Obr. 4.4.7 Rozšíření vegetačních stupňů na území v ČR, modelovaná situace pro rok 2050

Prognózované trendy změn klimatických podmínek vegetační stupňovitosti se v Česku projeví výrazným postupným zlepšováním podmínek pro xerotermofilní ponticko-panonskou biotu, čímž se bude území s klimatickými podmínkami 1. vegetačního stupně plošně rozšiřovat. To může mít za důsledek dramatické zhoršení pěstebních podmínek pro některé lesní dřeviny, například dnes převládající pěstování monokultur smrku v nižších nadmořských výškách nebude možné. Naopak se zmenší rozsah území s podmínkami pro výskyt horských druhů boreálního typu rozšíření, vázaných na chladnější a vlhčí klima, neboť rozsah území s podmínkami 6. až 8. vegetačního stupně se radikálně sníží (v predikčním horizontu roku 2050) a postupně dokonce zcela vymizí (predikční horizont roku 2070). Tento scénář se projeví například ve výrazné změně existenčních podmínek ekosystémů rašelinišť a subalpínského bezlesí.

Při aplikaci těchto biogeografických modelů je ovšem nutno brát do úvahy, že tyto modely obsahují základní metodickou nejistotu. Jsou totiž principiálně založeny na analogiích se současným stavem ekologického poznání (např. na vztahu bioty ke kombinaci průměrné teploty a srážek, vyjádřenému v podobě současné vegetační stupňovitosti krajiny). Avšak, jak již bylo uvedeno výše, globální změna klimatu pravděpodobně naruší dnešní existující mezidruhové vztahy v ekosystémech v rozsahu, který neumíme odhadnout. Nelze tedy předpokládat, že dnešní obecně-ekologické vztahy mezi vegetací a klimatem zůstanou zachovány v budoucnu. Nejistoty do modelů posunů vegetačních stupňů vnáší také rozdílná fenotypová plasticita a odlišné lokální adaptace dominantních druhů (edifikátorů) konkrétního ekosystému (Iverson, McKenzie 2013). Význam těchto modelů je tedy především ve vizualizaci scénářů možného dopadu změn klimatu na biodiverzitu a ekosystémové služby, které mohou být využity jako strategické rámce v národním měřítku. Např. pokud biogeografický model (Machar et al. 2019) predikuje, že ekologické podmínky pro pěstování smrku ztepilého v roce 2070 zaniknou na většině území ČR (s výjimkou nejvyšších pohraničních pohoří), pak je možné tento model využít jako dobrou argumentační pomůcku při stanovení cílové dřevinné skladby lesních porostů v plánech péče o chráněné krajinné oblasti a národní parky, které se v budoucnu stanou patrně velmi významnými útočišti fauny i flóry (refugia) v ČR při redistribuci biodiverzity pod tlakem změny klimatu. V každém případě platí, že predikované změny klimatických charakteristik a vegetační stupňovitosti v Česku odpovídají očekávaným trendům vývoje ekosystémů v Evropě v rámci klimatických scénářů (Huntley 2007).

4.4.4.2 Identifikace nejzranitelnějších regionů

Jak vyplývá z výše uvedeného komentáře k biogeografickým modelům, je konkretizace nejzranitelnějších regionů z hlediska změn biodiverzity a ekosystémových služeb věcně problematická. Primárně totiž záleží na konkrétním posuzovaném biologickém druhu či konkrétní ekosystémové službě. Např. pro smrk ztepilý a pro ekosystémové služby lesů s dominancí smrku jsou jiné zranitelné regiony než pro buk lesní a pro ekosystémové služby poskytované ekosystémy bučin.

Na území ČR jsou z hlediska biodiverzity změnou klimatu jednoznačně nejohroženější tři vysokohorské regiony nad horní hranicí lesa (v Krkonoších, Hrubém Jeseníku, Kralickém Sněžníku). I malý nárůst průměrné teploty ve vegetační sezoně v kombinaci s jinými antropogenními vlivy (např. turistické využití) v těchto rozlohou velmi malých územích může vést, a pravděpodobně skutečně povede, k zániku některých biologických druhů a specifických biotopů jedinečných v měřítku celé ČR. Specializovaným ochranářským managementem (např. odstraňování nepůvodních porostů kleče) můžeme tento proces pravděpodobně zpomalit, nikoliv však zastavit.

4.4.5 Souhrn – What if analýza

Tab. 4.4.3 Biodiverzita, souhrnná what if analýza

What if …? Co se stane, v důsledku …?	mechanismus působení	… za uvažovaného stavu/podmínek systému/oblasti	Předpokládané negativní dopady/rizika	Pravděpodobnost scénáře	Závažnost Dopadu	Zranitelnost systému	Subjektivní riziko
otázka				**(1–nejnižší, 5–nejvyšší)**			
Zvyšování průměrné teploty vzduchu	Zvyšování průměrné teploty vzduchu a nárůst počtu letních a tropických dnů, současně se sníží počet mrazových dnů.	Negativní dopady na biotopy subalpínského a alpínského pásma	Zánik podmínek pro výskyt biotopů vázaných na vysoké nadmořské výšky (např. A3 sněhová výležiska, - A4.1 subalpínské vysokostébelné trávníky, A4.2 subalpínské vysokobylinné nivy)	4	5	4	**80**
		Negativní dopady na druhy s výskytem ve vyšších polohách (subalpínské a alpínské pásmo)	Zánik podmínek pro jejich pravidelný hnízdní výskyt (např. *Luscinia svecica svecica*), popřípadě jejich výskyt u nás (kompletní zánik vhodných biotopů)	4	5	3	**60**
		Zkrácení délky vegetačního klidu	Změna přirozené druhové skladby ve smyslu jejího ochuzení v horských vegetačních pásmech.	3	3	3	**27**
Zvýšená pravděpodobnost výskytu dlouhodobého sucha	Zmenšení průtoků při současném zvýšení teploty vzduchu bude v tocích i v nádržích docházet k periodickému vysychání menších vodních toků. V ostatních tocích bude při současně zvýšené teplotě vzduchu docházet ke změnám odbourávání a šíření znečišťujících látek.		Omezení průtoků, až kritické na druhy a společenstva při stávajícím nakládání s vodami (vodní elektrárny, nádrže, závlahy, zasněžování, rybníkářství apod.)	4	4	4	**64**
			Může dojít k vysychání stanovišť stojatých vod (mimo produkční rybníky a vodní nádrže). To představuje významné ohrožení pro existenci makrofyt a potenciálně bezobratlých.	4	4	3	**48**
Potenciální změny míry nebezpečí povodní a přívalových povodní	Změny povodňového režimu jsou nejisté, bude totiž proti sobě působit četnější výskyt dnů s vyššími (přívalovými) srážkami a úhrn takových epizod a spíše menší "počáteční" nasycení v důsledku výskytu delších		Dopady budou pravděpodobně pozitivní v případě, že průběh bude podobný těm dosavadním. Vodní fenomény jsou na takové situace dobře adaptované a povodně mohou zlepšit podmínky pro jejich rozvoj.	2	2	1	**4**

What if …? Co se stane, v důsledku …?	mechanismus působení	… za uvažovaného stavu/podmínek systému/oblasti	Předpokládané negativní dopady/rizika	Pravděpodobnost scénáře	Závažnost Dopadu	Zranitelnost systému	Subjektivní riziko
	bezesrážkových období a vyššímu výparu.						

4.4.6 Analýza navržených adaptačních opatření dle Adaptační strategie a NAP

4.4.6.1 Obecné zásady pro adaptační opatření

Obecně jsou pro udržení biodiverzity a na ni vázaných ekosystémových služeb v kontextu změny klimatu doporučovány následující základní strategické přístupy (Tilman et al. 2017):

1. Vytipování, ochrana a management vhodných oblastí, které mohou sloužit jako refugia bioty (v analogii s refugii bioty, která existovala v době opakovaného zalednění Evropy ve starších čtvrtohorách).
2. V regionech senzitivních ke klimatickým změnám (v ČR např. alpínská bezlesí nad horní hranicí lesa) zajistit intenzívní cílový management zaměřený na udržení definovaného předmětu ochrany (v ČR např. likvidace nepůvodní kleče nad horní hranicí lesa).
3. Zřízení biologických koridorů v krajině, které umožní redistribuci biodiverzity pod tlakem klimatických změn.

Pro Českou republiku lze tyto obecné strategické rámce adaptivního managementu ekosystémů zpřehlednit pro biodiverzitu a ekosystémové služby následovně:

Ad. 1. V ČR je potřebné provést v rámci národní strategie ochrany biodiverzity zhodnocení efektivity současné sítě chráněných území pro udržení biodiverzity v kontextu změny klimatu a definovat v tomto smyslu prioritní lokality a oblasti, včetně návrhu zásad jejich adaptivního managementu. Navázat lze na již publikované studie hodnotící efektivitu chráněných území v ČR (Pechanec et al. 2018).

Ad. 2. Aplikovat principy ekosystémového managementu (Grumbine et al. 1994) v krajině v podobě skutečně (nejen teoreticky) adaptivního managementu, jehož absolutně nedílnou součástí je monitoring dopadů managementu na vývoj chráněného nebo řízeného ekosystému. Tento přístup dodnes v ČR absentuje u realizovaných programů péče o krajinu i ve většině chráněných území, kde zpravidla chybí monitoring efektivity realizovaného managementu.

Ad. 3. Analyzovat efektivitu Územního systému ekologické stability v ČR z hlediska jeho funkčního potenciálu k podpoře migrace a distribuce biologických druhů v krajině v kontextu změny klimatu.

Ad. 4. Podporovat nízkouhlíkové technologie (mezi něž patří např. i jaderná energetika) a v krajině formou dotačních programů podporovat opatření, zaměřená na sekvestraci uhlíku.

4.4.6.2 Konkrétní návrhy k Adaptační strategii

Strategie přizpůsobení se změně klimatu (citace) zahrnuje všechny zásadní typy adaptačních opatření v oblasti biodiverzity a ekosystémových služeb. Souhrn hlavních doporučení pro přizpůsobení se změně klimatu v ČR pro oblast biodiverzity a ekosystémových služeb je nekomplexní a chybí v něm některá zásadně důležitá opatření.

V opatření „Zachovat a zlepšit přirozenou rezistenci a resilienci …“ by bylo vhodné doplnit text „Udržovat biodiverzitu člověkem řízených a ovlivněných ekosystémů podporou tradičních forem hospodaření. U ekosystémů blízkých klimaxovému stavu chránit jejich biodiverzitu vyloučením přímých i nepřímých antropických vlivů a ponecháním ekosystémů sukcesi“. V navrženém opatření „Investovat do obnovy a zlepšení propojenosti ekosystémů…“ by bylo vhodné explicitně doplnit text „Podporovat vytváření ekologické sítě krajiny a legislativně chránit všechny její skladebné prvky“.

Do „Souhrnu adaptačních opatření“ pro oblast „Biodiverzita a ekosystémové služby“ doporučujeme nově doplnit tato opatření:

- Provést inventuru v současnosti probíhajících monitorovacích programů biodiverzity a ekosystémů v ČR a na základě této inventury zvážit státní podporu realizace cíleně zaměřeného a jednotného monitoringu změn biodiverzity a ekosystémových služeb.
- V lesních ekosystémech cíleně podporovat opatření v rámci principů trvale udržitelného lesnictví s cílem vytvářet multifunkční bohatě strukturované a ekologicky stabilní lesní ekosystémy. Blíže viz také doporučení České botanické společnosti (Hédl et al. 2009).

- V zemědělské praxi radikálně změnit zásady dotačních titulů tak, aby zemědělci získali finanční motivace k reálné podpoře biodiverzity při hospodaření (blíže studie Reif, Vermouzek 2018 a doporučení České společnosti ornitologické).
- Pro udržení biodiverzity vodních toků a ekosystémů říční krajiny podporovat všechna přírodě blízká opatření, která jsou zaměřena na retenci vody v krajině. Ze strany státu výrazně podpořit projektování a realizaci přírodě blízkých opatření k revitalizacím ekologických funkcí říčních systémů a zajistit monitoring těchto opatření k hodnocení jejich efektivity.
- Vytvořit systém státní péče a ochrany pro přirozeně revitalizované vodní toky a jejich poříční ekosystémy v důsledku povodňových událostí.
- Definovat hodnoty minimálních ekologických průtoků pro všechny typy vodních toků v ČR. Pro udržení minimálních ekologických průtoků na vodních tocích bude pravděpodobně nutné přehodnotit dosavadní ochranářské dogma založené na nekompromisním odporu k výstavbě nových přehradních nádrží. Je nutno přiznat, že některé přehradní nádrže mohou být v budoucnu klíčové pro udržení minimálních ekologických průtoků ve vodních tocích.

Souhrn specifických cílů v NAP vyžaduje dílčí úpravy:

- Navrhujeme přeformulovat SC14 takto: Adaptace staveb na změnu klimatu při zajištění ochrany synantropní biodiverzity.
    - Vysvětlení: V řadě dokumentovaných případů v praxi dochází např. při zateplování staveb k vážné újmě na biodiverzitě synantropních druhů, jako jsou např. rorýsi apod. Pro některé vzácné druhy jsou stavby rozhodujícím biotopem pro jejich přežití. Existují přitom realizovatelná technická řešení, umožňující adaptace staveb na změnu klimatu při zajištění ochrany vzácných druhů vázaných na lidské stavby.)
- Navrhujeme přeformulovat SC17 takto: Obnova ekologických funkcí člověkem řízených i přirozených ekosystémů v krajině, vytváření a ochrana ekologických sítí v krajině a aplikace principů ekologie obnovy v krajině.
    - Vysvětlení. Termín „ekologická stabilita“ je zastaralý termín, dnes v moderní ekologii krajiny již překonaný. V současnosti je tento termín nahrazen pojetím krajiny jako mosaiky různých typů neustále se proměňujících ekosystémů, kde udržení biodiverzity je ve značné míře závislé na kombinaci tradičních forem hospodaření s uplatněním sukcese v rámci principů ekologie obnovy. Usměrnění lidských aktivit v krajině u řízených ekosystémů se zdá jako klíčový problém ochrany biodiverzity kulturní krajiny – nejnovější studie dokazují např. devastační vliv současného dotovaného zemědělství na biodiverzitu kulturní krajiny.).
- Navrhujeme přeformulovat SC19 následovně: Omezení šíření problémových invazních druhů.
    - Vysvětlení: Z hlediska biologie invazí jako vědy je pro biodiverzitu problematické pouze omezené množství invazních biologických druhů. Ne každý invazní druh je pro biodiverzitu škodlivý či nebezpečný. Invazní druhy skutečně nebezpečné pro geograficky původní biotu jsou terminologicky nazývány jako „problémové invazní druhy“ v ČR jde pouze o několik desítek druhů.)

V rámci Stanovení hlavních cílů NAP doporučujeme přeformulovat specifický cíl „Posílení stability a biologické rozmanitosti agroekosystémů“ nově na formulaci „Změnit současný způsob průmyslového zemědělství na udržitelnou péči o agroekosystémy s cílem obnovit jejich biodiverzitu“. Dále doporučuje upravit formulace dalších dvou specifických cílů podle návrhů uvedených v předchozích odstavcích výše (viz návrhy k SC 14 a SC19).

Specifický cíl „Zvýšení přirozené retenční schopnosti vodních toků a niv“ doporučujeme rozšířit takto: „Zvýšení přirozené retenční schopnosti niv vodních toků, zvětšení inundačních území v nivách mimo sídla a revitalizace říčních systémů“.

Do seznamu relevantních specifických cílů v oblasti ochrany před povodněmi navrhujeme doplnit nový specifický cíl: Podpora změn vyžití půdy v nivách vodních toků mimo zastavěná území z intenzívně využívaných pozemků (např. orná půda) na extenzívně využívané pozemky (např. trvalé travní porosty, lužní lesy).

4.5 ZDRAVÍ A HYGIENA

Obyvatelé v povodí řek, ale i nezabezpečených potoků a rybníků budou v riziku utonutí, poranění a psychického stresu. Bude častěji docházet k povodním jako důsledku vydatných srážek spojených s nebezpečím fyzické a duševní újmy na zdraví a přetrvávajícím posttraumatickým stresem. V souvislosti se střídáním vydatných srážek a období sucha bude docházet ještě více než dosud k sesuvům půdy, skalním sesuvům a tokům bahna.

Bude se zvyšovat úmrtnost v letním období vlivem výskytu horkých vln. Nejohroženější bude pravděpodobně starší a sociálně vyloučená populace, včetně malých dětí. V preventivních opatřeních bude nutno se specificky věnovat i obyvatelům ze sociálně vyloučených oblastí. Zvýšená úmrtnost v období vln horka bude postihovat zejména obyvatele mimo nemocnice nebo jiná zařízení (citlivé obyvatelstvo bez sociálního dohledu), bude nutné posílit terénní zdravotní a sociální služby. Postupem doby dochází zároveň ke zvyšování odolnosti obyvatelstva, mladší ročníky už nejsou postiženy úmrtností následkem vysokých teplot. Kladným vlivem změny klimatu je snižování úmrtnosti z chladu. Bude docházet ke zvýšení hospitalizací a zhoršení zdraví obyvatel s chronickými nemocemi všech věkových skupin v důsledku horkých vln.

Dojde k vytvoření podmínek pro množení choroboplodných zárodků v přírodních vodách a potravinách. Bude potřebné stanovit přísnější hygienický dozor, včetně vyšetření kontaminace surovin a produktů u výrobců potravin a pitné vody, který by nenechával bezpečnost vody a potravin pouze na dobré vůli a dobrozdání výrobce. Zde opět existuje možnost zvýšeného nálezu průjmových onemocnění souvisejících s teplotně nezabezpečenou stravou. Riziko je vyšší v sociálně vyloučených populačních skupinách, kde hygienické návyky a podmínky nejsou ideální. Že stále existují vodou přenosné infekce, jsme viděli v roce 2015 v Praze (Kožíšek, 2016) kde onemocnělo 10 000 obyvatel Dejvic hromadně zásobovaných pitnou vodou. Prevence znamená cílení pozornosti na odpovídající technické řešení vodovodů i kanalizací, na včasnou identifikaci původce a urychlené řešení. Nebezpečí přenosu onemocnění zažívacího systému může souviset i s kvalitou vody ve studních. V roce 2017 byl tento přenos zaznamenán třikrát (Kožíšek et al,, 2018).

Po rozsáhlých povodních, kdy zůstává zaplavené území, budou vhodné podmínky pro rozšíření tropických komárů, klíšťat a dalšího hmyzu, který v domácím prostředí přenáší infekce. Situace by měla být pod kontrolou, včetně monitoringu hmyzu. V roce 2018 byl zaznamenán vznik tropického onemocnění v důsledku domácí nákazy v ČR. Jedna osoba zemřela na západonilskou horečku, kterou přenáší náš „domácí“ komár *Culex pipiens*. Pozornost musí být věnována i tažným ptákům, uskutečňujícím dálkový přenos parazitů.

Sucho způsobuje ohrožení zdrojů pitné vody. Je nutné řešit šetření s vodou a zbytečné používání pitné vody. V některých oblastech už dochází k ubývání vody v podzemních zdrojích a situace je řešena novým, popřípadě náhradním zásobováním v lokalitě. Existují přitěžující okolnosti, např. povrchová těžba uhlí, odlesňování, hutnění půd a další postupy devastující půdu tak, že se srážky nevsáknou a zdroje pitné vody se vodou se neobohatí.

Kvalita podzemních vod je většinou nevyhovující pro obsah pesticidů. Státní zdravotní ústav odhadnul zdravotní riziko z požívání pitné vody s atrazinem jako nízké, ale pokud nebude realizována nová úprava vody, může příjem pesticidů pitnou vodou trvat.

Časným nástupem jara a prodloužením léta se prodlužuje pylová sezóna a astmatici mají delší období, kdy dochází ke zhoršování jejich zdravotního stavu. Alergií přibývá a bude dále přibývat. Hospodářská politika v lesích neodpovídá prevenci alergií. Ve městech pokračuje kácení zeleně, které zhoršuje mikroklima astmatikům a všem obyvatelům. Ovzduší bude znečištěno ozónem a aerosolovými částicemi, zejména ultra jemnými, obojí bude vzniklé z velké části fotochemickými reakcemi, dojde ke zvýšení příjmů do nemocnic a úmrtnosti pro znečištění ovzduší.

V našich podmínkách nejsou dokonale definovány a ošetřeny zranitelné skupiny populace. Na základě projektů jsou v České republice vymezeny oblasti sociálně vyloučené (Čada et al., 2015) a města s nízkou kvalitou života (MPSV, 2019). V této oblasti nemůžeme zvyšování odolnosti čekat, ale naopak mohou narůstat negativní zdravotní dopady. Proto bude nutné stanovit opatření cílená na tuto populaci.

S klimatickými změnami může dojít k pohybu klimatických migrantů, předpověď pro rok 2050 je 200 milionů. Přicházejí zpravidla za svými příbuznými nebo známými a tak se tento dopad změn klimatu dá jen těžko předpovědět pro naši republiku. Důležitou úlohu zde hraje neklimatická situace v

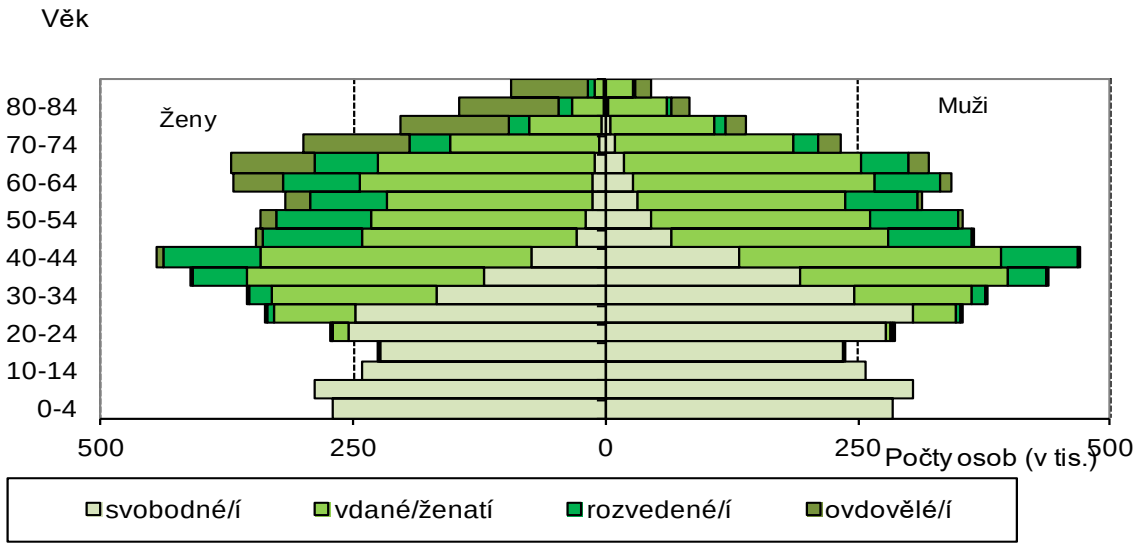
domovské zemi, která může migraci rozpoutat. Nutností je zlepšování kvality života obyvatel v rozvojových zemích (Brown, 2008) a znalost možností, jak se s touto krizí vyrovnat. Se změnou klimatu a přelidněním Afriky se budou dostávat do České republiky migranti, kteří mohou přenášet tropické, ale také civilizační nemoci. Zdravotnictví s těmito fakty příliš nepracuje.

4.5.1 Úvod a kontext

Cílem studie je doplnit a aktualizovat stávající studii klimatických dopadů na základě probíhající změny klimatu a nových vědeckých výstupů. Změna klimatu představuje narůstající riziko pro lidské zdraví a zdravotnické systémy, které zajišťují zdravotní péči populace. Zdraví je stav duševní, fyzické, psychické a sociální pohody, není jen absencí fyzické nemoci (WHO, 1948). Důležitým faktorem, který bývá z hlediska zdraví podceňován je tzv. „well-being“, tedy „životní pohoda“ jako výsledné působení řady faktorů a podmínek. Změna klimatu přináší jak rizika pro zdraví, tak pro nepohodu. Zdravotní stav obyvatelstva je určován souhrnem přírodních, životních a pracovních podmínek a způsobem života, jak vyplývá např. z definice uvedené v zákoně č. 258/2000 Sb., O ochraně veřejného zdraví v platném znění. Ukazatele zdravotního stavu jsou výskyt nejzávažnějších nemocí a počet úmrtí na všechna onemocnění a na hlavní příčiny smrti.

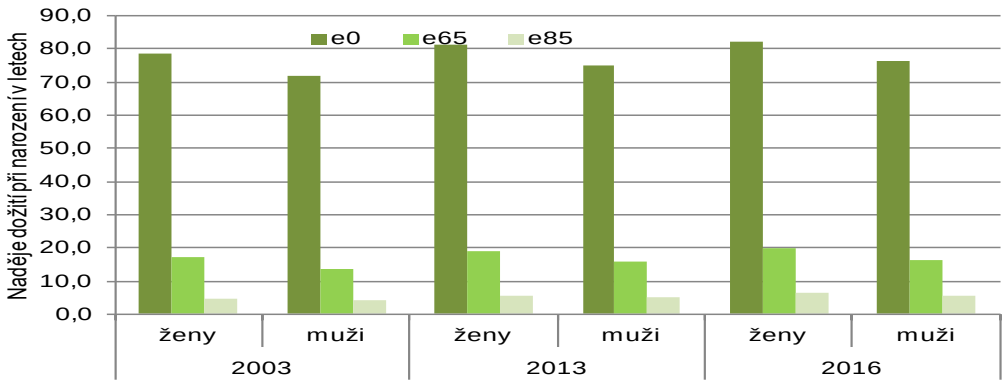
4.5.2 Dotčená populace

V České republice žilo k 31. 12. 2018 celkem 10 649 800 obyvatel. Přirozený přírůstek je od roku 2013 prakticky stejný, obyvatelstva však přibývá přistěhováním a to každým rokem více. Ženy v populaci mírně převažovaly, představují 51 % celkové populace.

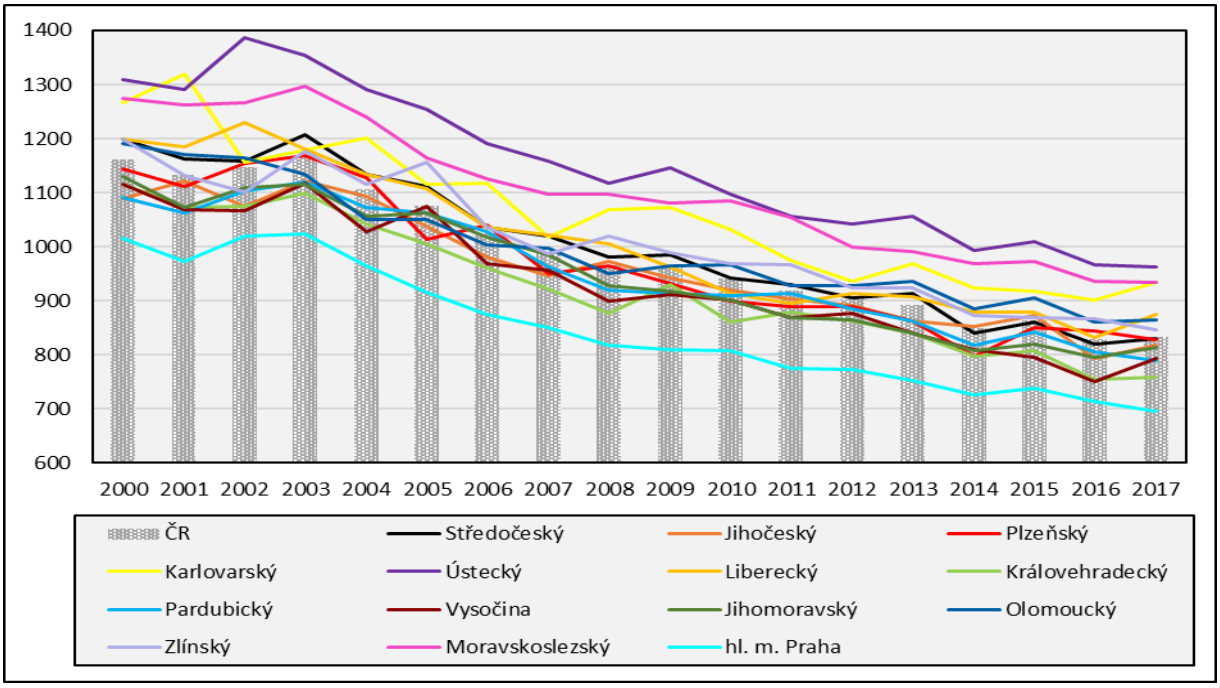


Obr. 4.5.1 Obyvatelstvo České republiky podle pohlaví, věku a rodinného stavu k 31. 12. 2016 (Zdroj: ČSÚ, 2017)

Naděje dožití při narození vyjadřuje pravděpodobný průměrný počet let, jichž se má právě narozená osoba za stávajících úmrtnostních poměrů šanci dožít. Naděje dožití při narození (střední délka života) se stále zvyšuje, a to u obou pohlaví. Platí dlouhodobý trend, že ženy se v průměru dožívají vyššího věku než muži, ale již neplatí, že zvyšování naděje dožití je u mužů dynamičtější než u žen. Mezi lety 2003–2016 se naděje dožití při narození zvýšila přibližně o 3,5 roku u žen a o 4,2 roku v případě mužů.

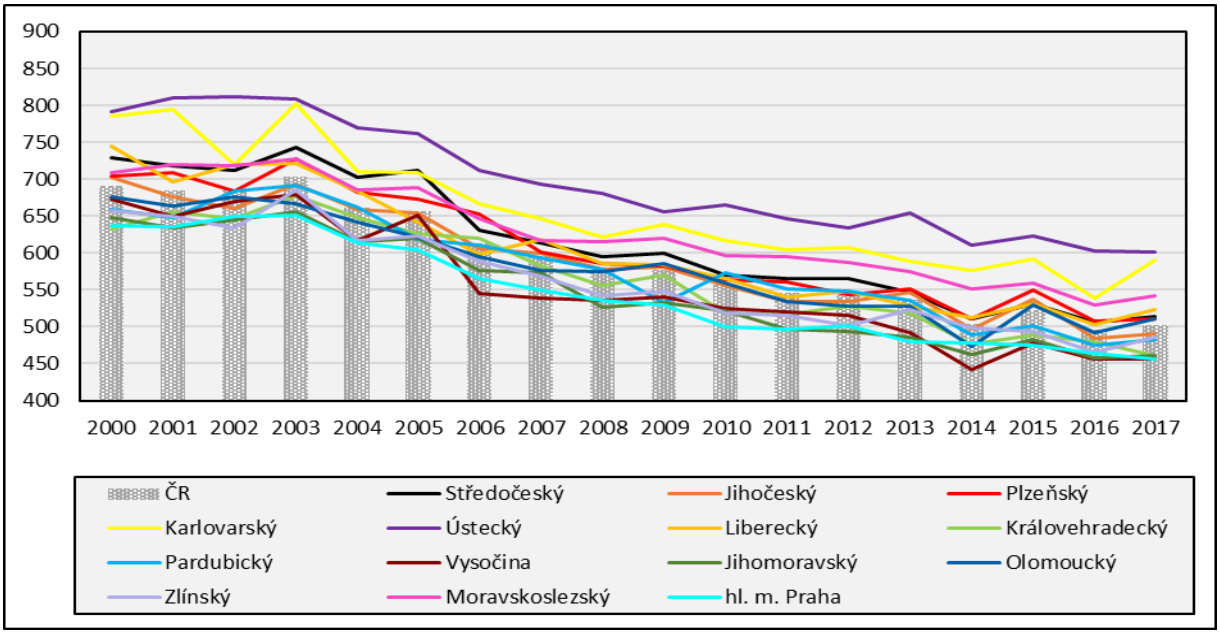


Obr. 4.5.2 Naděje dožití v České republice při narození a ve věku 65 a 85 let podle pohlaví (Zdroj: ČSÚ, 2017)



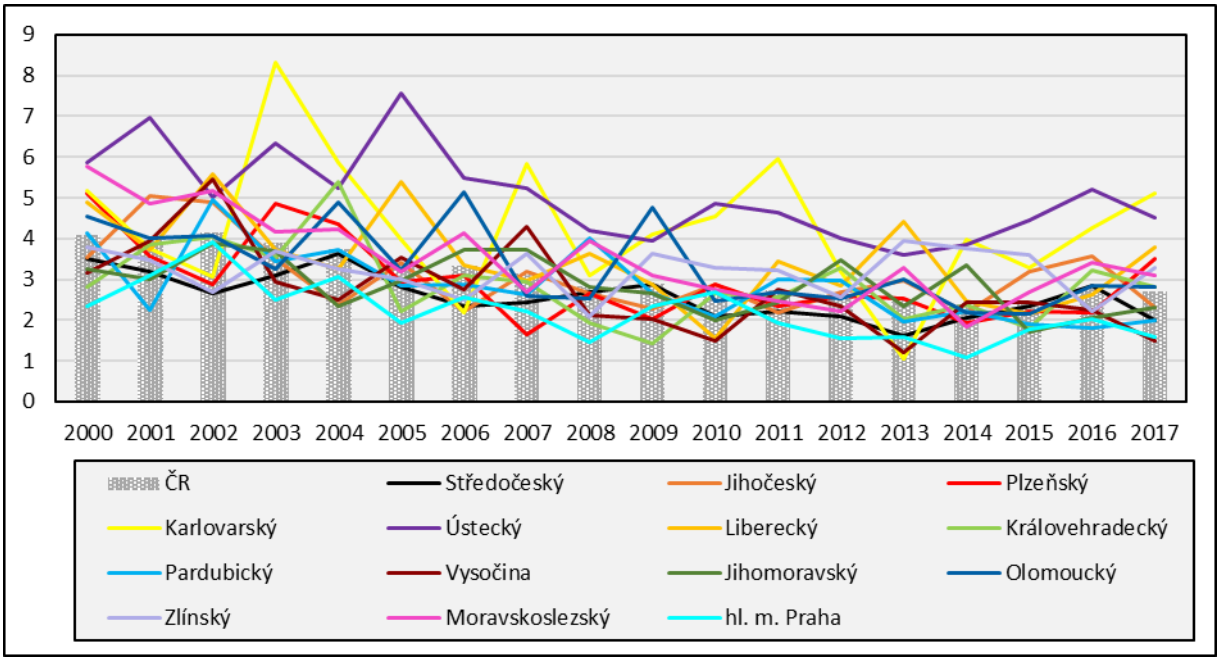
Obr. 4.5.3 Standardizovaná úmrtnost na 100 000 obyvatel, muži (standardizováno na evropskou standardní populaci) (Zdroj: ČSÚ, 2019b)

Podobně je vyjádřena i standardizovaná úmrtnost mužů na 100 000 obyvatel. U mužů od roku 2000, ale i před tím, klesá velmi významně. Stále však trvají rozdíly mezi kraji České republiky, kde se od všech krajů odlišuje zejména Praha. Rozdíly mohou souviset s faktory životního prostředí, zaměstnáním, ale také jsou ovlivněny socioekonomickou strukturou obyvatelstva a jejich životním stylem.



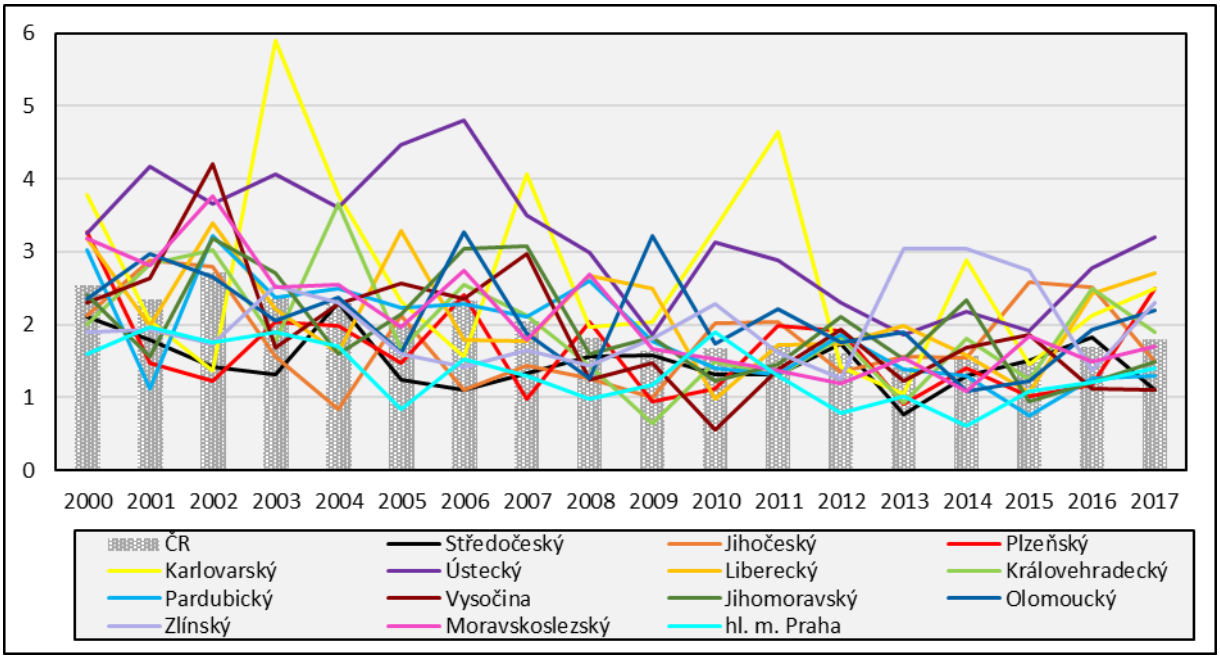
Obr. 4.5.4 Standardizovaná úmrtnost na 100 000 obyvatel, ženy (standardizováno na evropskou populaci) (Zdroj: ČSÚ, 2019)

U žen je standardizovaná úmrtnost trvale nižší než u mužů, ve většině krajů je vidět v průběhu let 2000–2017 významné snížení, ale trvale nejhorší hodnoty vykazují kraje Ústecký a Karlovarský, kde ženy umírají nejvíce z celé České republiky. Vzhledem k minimálním údajům na úmrtním listu nelze zjistit příčiny vedoucí k úmrtí.



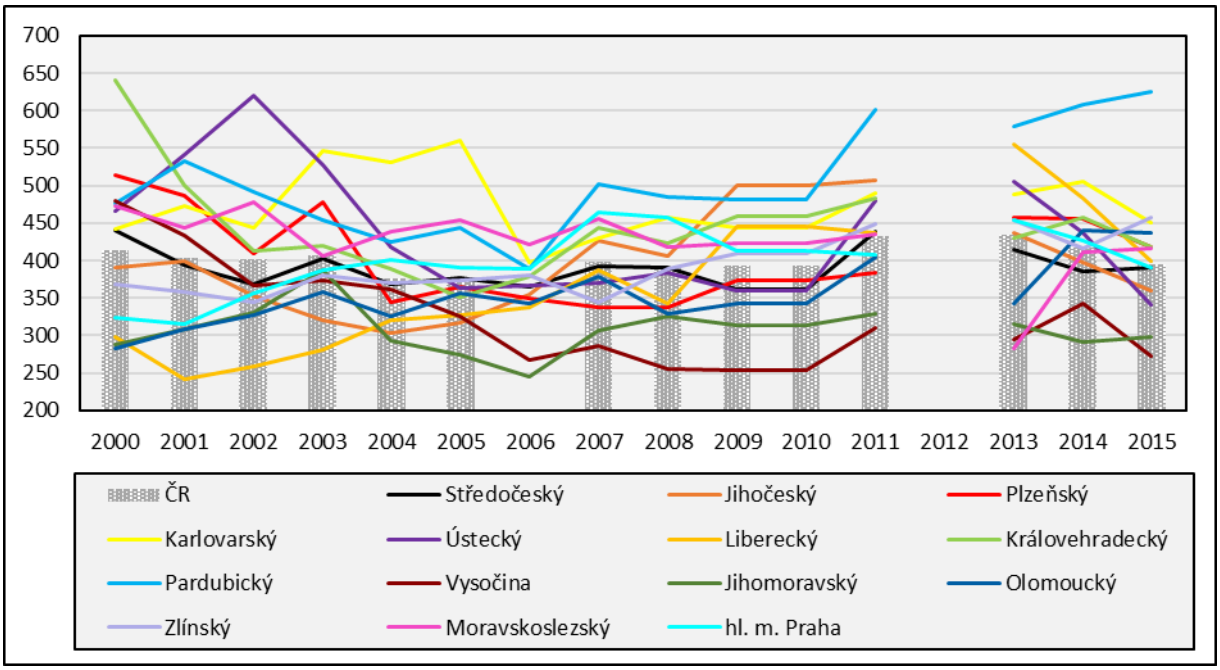
Obr. 4.5.5 Kojenecká úmrtnost (počet zemřelých do 1. roku života na 1000 živě narozených) v krajích České republiky (Zdroj: ČSÚ, 2019b)

Kojeneckou úmrtnost má Česká republika velmi nízkou (v průměru 2,7 promile). Existují však významné rozdíly mezi kraji, téměř dvojnásobnou úmrtnost oproti republikovému průměru dosahuje Ústecký a Karlovarský kraj. Na kojenecké úmrtnosti se podílí zejména novorozenecká úmrtnost, tj. úmrtnost do 28. dne po narození, která je nejvyšší v Ústeckém kraji.



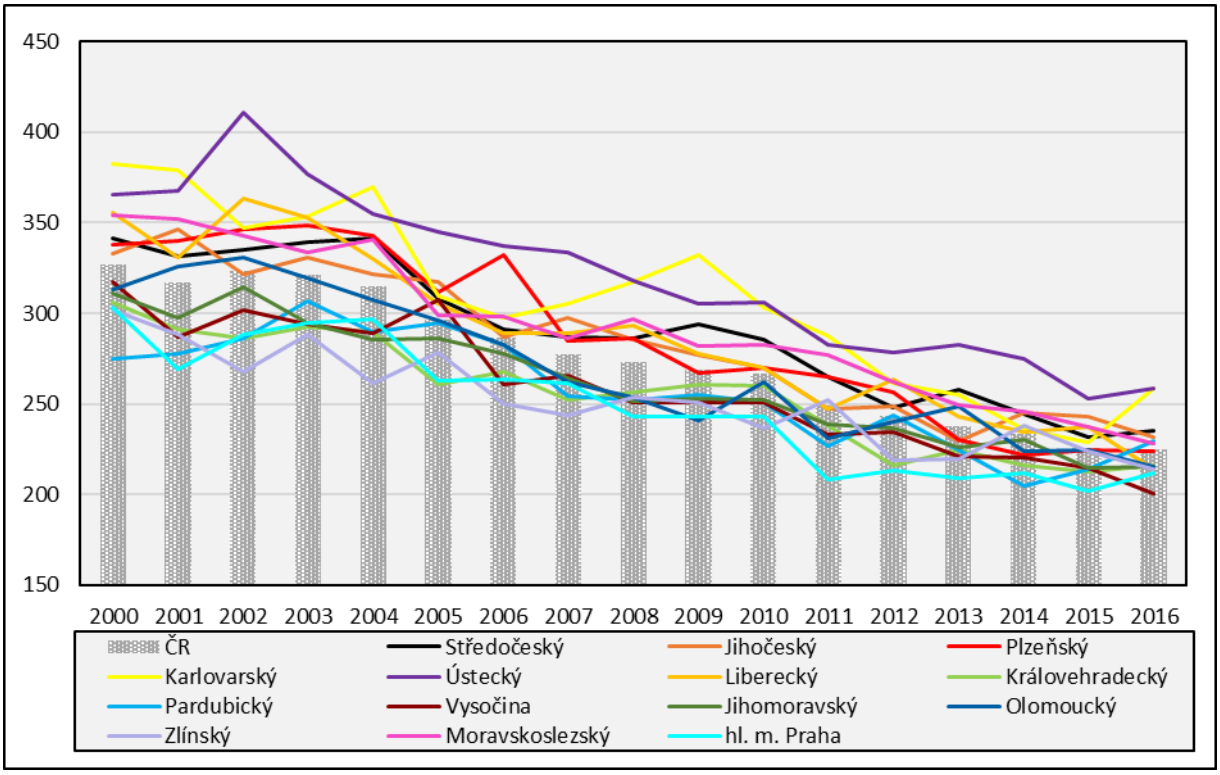
Obr. 4.5.6 Novorozenecká úmrtnost (počet zemřelých do 28. dne života na 1000 živě narozených) v České republice (Zdroj: ČSÚ, 2019b)

Zcela nejnižší novorozeneckou úmrtnost v roce 2017 měly kraje Vysočina, Praha a Středočeský kraj. Úmrtnost je indikátorem kvality života, ale i dalších faktorů. Pro životaschopnost novorozence je důležité chování matky během těhotenství, a to především v souvislosti s kouřením, kvalitou stravování a užíváním návykových látek.

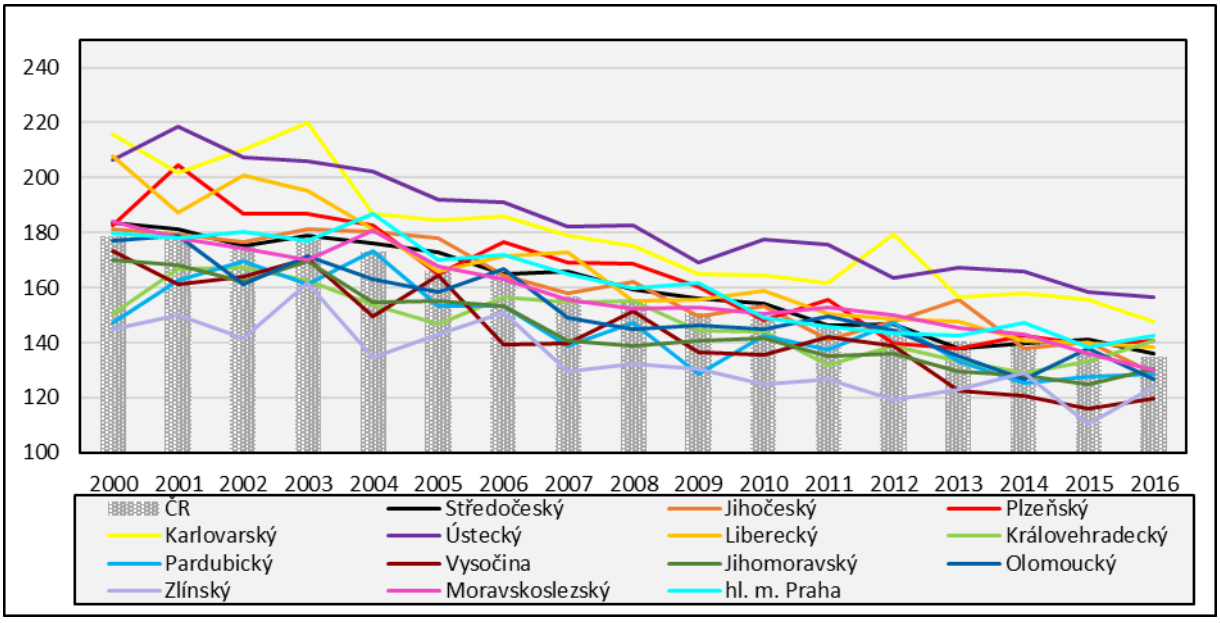


Obr. 4.5.7 Živě narození s vrozenou vývojovou vadou na 1000 živě narozených (Zdroj ČSÚ, 2019b)

Vrozené vady, incidence nádorů a nádorová úmrtnost, incidence endokrinních onemocnění, jako je diabetes, porody nedonošených dětí nebo dětí nezralých a další indikátory, jsou spojovány s efektem neuroendokrinních disruptorů, tj. látek, které kontaminují prostředí a jsou hormonálně aktivní v nízkých koncentracích a mohou se nacházet jako kontaminanty vody (Campbell et al., 2006).

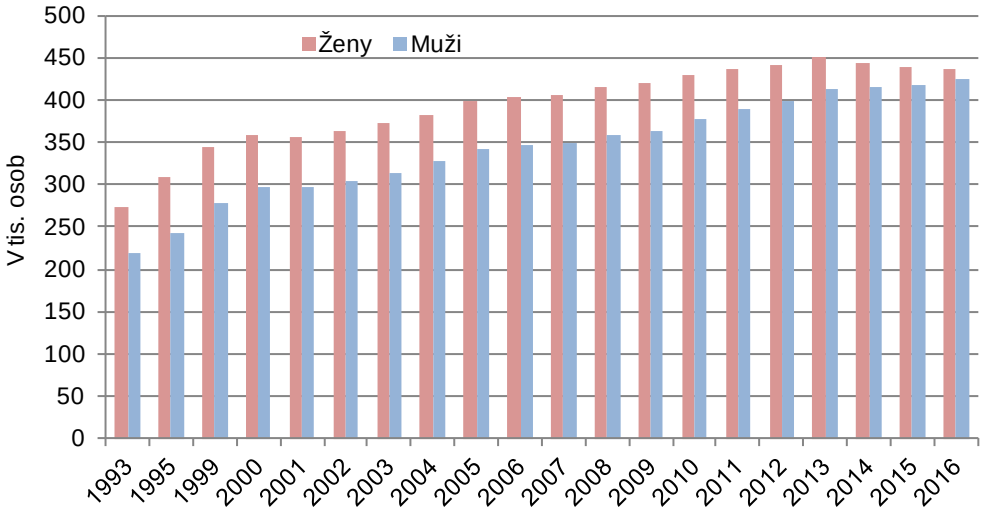


Obr. 4.5.8 Standardizovaná úmrtnost na novotvary na 100 000 obyvatel, muži (Zdroj: ÚZIS, 2019)



Obr. 4.5.9 Standardizovaná úmrtnost na novotvary na 100 000 obyvatel, ženy (Zdroj: ÚZIS, 2019)

V grafech na obr. 4.5.8 a 4.5.9 je zaznamenána úmrtnost na nádorová onemocnění u mužů i u žen, která v časové řadě 2000–2016 klesá zejména díky preventivním prohlídkám, časnému záchytu onemocnění a včasné a účinné léčbě. Současná incidence onemocnění nádory odpovídá kombinaci životního stylu a životosprávy s environmentální zátěží během předcházejícího života nemocného a zátěži populace chemickými látkami z minulého století až dosud. Varovnou záležitostí je přítomnost neuroendokrinních látek, které mohou způsobovat karcinomy, ve vodách. Vznik nádorů není záležitostí jedné škodliviny. Na grafech je opět vidět dominantní postavení Ústeckého a Karlovarského kraje.



Obr. 4.5.10 Vývoj počtu léčených diabetiků v ČR v letech 1993–2016 (Zdroj: ÚZIS, 2019)

Počet nemocných cukrovkou, naznačující pravděpodobnou neuroendokrinní zátěž z prostředí, je vidět na obr. 4.5.10. K 31. 12. 2016 bylo v České republice 861 450 léčených diabetiků. Oproti roku 1995 se jednalo o téměř 60% nárůst této diagnózy (ČSÚ, 2019b).

O kvalitě života vypovídá ve vztahu ke zdraví jiný ukazatel, tzv. zdravá délka života nebo délka života prožitá ve zdraví. V tomto směru je situace v ČR víceméně srovnatelná s průměrem EU, v České republice se udává u mužů 62,3 let a 64,1 let u žen (rok 2012). Jsou však země, kde jsou udávány roky prožité ve zdraví o 9 let vyšší při porovnání s Českou republikou, u mužů je to Norsko – 71,9 let, u žen je to Malta – 72,2 let (MPSV, 2019). Města s nízkou kvalitou života mají i nejhorší ukazatele zdravotní (Sudety) a populace je zde nejzranitelnější.

4.5.3 Vliv změny klimatu na lidské zdraví

Z pohledu vlivu změny klimatu na lidské zdraví je zranitelná veškerá populace – některé skupiny ovšem více. Silnější vliv bude možno najít u **malých dětí**, **starších osob** a u osob **závislých na sociální nebo zdravotní péči** nebo **chronicky nemocných**. Velmi důležitou charakteristikou je, kde lidé žijí. Lidé žijící v horských oblastech a velkoměstech jsou změnou klimatu zranitelní z rozdílných důvodů (WHO, 2009). Změna klimatu jsou dlouhodobým procesem a můžeme předpokládat, že došlo již díky přirozené odolnosti (resilienci) k přizpůsobení se vlivem dostupnosti informací, dostupnosti péče a sociálních kontaktů. Vliv na zdraví souvisí s:

- vlnami horka, mrazovými dny, změnami počasí
- lesními požáry a souvisejícím znečištěním ovzduší
- záplavami
- sesuvy a skalním řícením
- nedostatkem pitné vody
- kontaminací pitných vod chemickými látkami (pesticidy, produkty chlorace při eutrofizaci vod)
- ztrátou produktivity, ztrátou zaměstnání v chudých oblastech (velmi vysoce spolehlivé)
- nemocemi z potravin a pitných vod (vysoce spolehlivé) související s nedostatečnou hygienou potravin a vody
- zhoršenou kvalitou povrchových vod používaných ke koupání
- znečištěním ovzduší a souvisejícími nemocemi, (pyly, minerální složka, pesticidy, doprava, ozón a ultra jemné částice.

Globálně se promítají i pozitivní dopady změny klimatu, kam patří snížená úmrtnost při arktických dnech nebo studených vlnách („cold spells“) nebo opakovaná úroda, je-li dost vláhy.

Nezanedbatelným negativním dopadem změny klimatu na lidské zdraví je stres. Může to být reakce na náhlé změny počasí, nebo očekávání změn, jejichž dosah neumíme odhadnout, protože je neznáme, nezabýváme se jimi.

Stres je nespecifickou odpovědí organizmu na vnější požadavek. Připraveným obyvatelům umožňuje přežití i náhlých projevů změny klimatu dostupné informace o situaci a vzdělávání populace.

4.5.3.1 Vliv změn teploty

Staří lidé a senioři s chronickými nemocemi jsou nesrovnatelně citlivější vůči horkým vlnám ve srovnání s ostatní populací. Jejich mortalita pochází nejčastěji z kardiovaskulárních a cerebrovaskulárních nemocí a dýchacích onemocnění. Na úmrtí se podílí městský způsob života a tepelné ostrovy měst, kde po horkém dni se v noci snižuje teplota jen málo, protože stále sálají stavební materiály, prvky a povrchy, které během dne teplo absorbovaly, kde hustá zástavba umožňuje paprskům dopadat a neumožňuje vzduchu cirkulovat. Tmavé barvy a drsné povrchy situaci zhoršují. V Evropě byla provedena statistická analýza tepelných ostrovů ve velkých městech včetně Prahy, Plzně, Českých Budějovic, Ústí nad Labem (Vacík, 2013).

Hodnocení pravděpodobného dopadu změny klimatu přináší i místně omezené výhody, jako je snížení zimních úmrtí a nárůst produkce potravin, zejména ve vyšších zeměpisných šířkách. Veřejné zdraví a vysoký životní standard by mohly ochránit i citlivou populaci před specifickými vlivy spojenými se změnou klimatu. Problematická jsou místa a populace, kde standard chybí a péče je omezeně dostupná.

Vysoká teplota vzduchu a sluneční paprsky se podílejí na vzniku a zhoršují průběh těchto onemocnění:

Úpal, který je důsledkem selhání termoregulace s následným přehřátím organismu. Příčinou bývá nadměrná teplota a vlhkost prostředí, často ve spojení s větší fyzickou námahou. Úpal se projeví náhlou bolestí hlavy, pocitem nesnesitelného tepla a po krátkém období nadměrného pocení dojde k zastavení tvorby potu. Kůže je horká, suchá a zarudlá. Horečka dosahuje 40 ºC, dochází k poruchám vědomí, ke křečím, k tachykardii, poklesu krevního tlaku a šokovému stavu. Objevují se poruchy funkce ledvin, jater a krevní srážlivosti. Úpal vzniká častěji u malých dětí, u osob starších 65 let a u obézních jedinců (Beran et al., 2006).

Úžeh je stav podobný úpalu, který vzniká při pobytu na slunci, a to zvláště v případě, kdy hlava není chráněna před slunečními paprsky. Na kůži bývá solární dermatitida různého stupně.

Kolaps z horka je ortostatický kolaps buď z dlouhodobého stání v horku, nebo po prudké změně z horizontální do vertikální polohy v důsledku výrazné periferní vazodilatace (Beran et al., 2006).

Vyčerpání z horka vzniká především u nedostatečně aklimatizovaných osob během tělesné námahy či při ztrátě tekutin např. v důsledku průjmu nebo zvracení. Analýza krátko a dlouhodobých dopadů na pacienty s tepelným vyčerpáním, kteří přežili v roce 2003 ve Francii horké vlny, ukázala, že oběti tepelného vyčerpání trpěly dramatickým zhoršením životních funkcí a neměly možnost opustit domov. Výsledkem byla vysoká úmrtnost za této epizody (Argaud et al., 2007).

Křeče z horka vznikají spíše u mladých lidí při fyzické námaze v horkém prostředí v důsledku hydrominerální nerovnováhy (Beran et al., 2006).

Únava z tropů vzniká v prvních dnech pobytu osob přijíždějících z mírného do tropického pásma. Projeví se bolestmi hlavy, poruchami spánku, zvýšeným pocením, nápadnou únavností a sníženou pracovní výkonností (Beran et al., 2006). Totéž se může dostavit při příchodu vln tropických veder mimo tropické pásmo.

Sluneční záření a jeho ultrafialová složka proniká hluboko do kůže, uplatní se ale i v povrchových vrstvách kůže. Podílí se na vzniku kožních nádorů, vyvolává sluneční alergii, pigmentaci a způsobuje solární dermatitidu.

Rakovina kůže. V epidemiologických studiích byl prokázán vliv slunečního záření na vznik spinocelulárního a basocelulárního karcinomu kůže a melanomu (Beran et al., 2006).

Katarakta. UV záření poškozuje také oči, kde vzniká akutní konjunktivitida, vzácněji fotokeratitida a později katarakta (Beran et al, 2006).

Vliv slunečního záření na zdraví souvisí s fototypem kůže, který je geneticky dán. **Sluneční záření přináší také benefit** pro některé nemoci např. pro psoriázu, kde je sluneční záření léčebným

prostředkem. Důležitá je i účast při přeměně provitaminu D na vitamin a tím efekt protirachitický a jako prevence osteomalacie ve stáří.

Dotčenou populací pro reakce úmrtnosti za zvýšení teploty v letních měsících jsou hlavně obyvatelé velkých měst, kde žije většina obyvatelstva České republiky.

4.5.3.2 Aklimatizace a adaptace na změnu klimatu

Adaptace (McMichael et al., 2003) je proces přizpůsobení se vůči aktuálnímu nebo očekávanému klimatu a jeho vlivu. V lidský organismus se přizpůsobením snaží zmírnit negativní dopady nebo se jim zcela vyhnout. Adaptace vůči nebezpečí pro zdraví, které způsobují globální klimatické změny, může být proaktivní a reaktivní a může se projevit v makro, mezo i mikroškále, představující vliv na populaci, komunitu a také jednotlivce. Aklimatizace zahrnuje prvky behaviorální a fyziologické vykonávané automaticky osobami v celé populaci. Adaptací jsou míněny specifické organizované proaktivní a preventivní akce čelící změnám klimatu (PESETA, 2014; Paci 2014).

Pro to, aby se člověk vyrovnal s tepelnou zátěží, je jeho organismus fyziologicky vybaven. Rozšíření vlásečnic kůže se zvýšeným průtokem krve a pocením slouží pro odpařování a snižování povrchové teploty, zvýšení srdeční frekvence a práce srdce odvádějící teplo z velkých cév, jsou řízeny termoregulačním centrem v hypotalamu. Tato reakce se v průběhu života mění a uvnitř lidské populace jsou skupiny osob, u kterých termoregulace ještě vyvinutá není (děti), nebo se tato reakce pozvolna vytrácí (stárnoucí člověk). Ztrácí se i schopnost vyrovnat se s náhlými změnami teplot. Extrémní pocení přináší dehydrataci spojenou s únavou a malátností, může dojít i ke křečím z tepla a mdlobám. Zrádné je působení náhlých vysokých teplot na nemocné s chronickými onemocněními, kde je narušen metabolismus, iontová rovnováha a obsah vody v těle. Zvýšená teplota může způsobit zhoršení stavu, koma a smrt.

Teplo má významný vliv na práci srdečního svalu, a tak zatěžuje nejvíce osoby s poruchami oběhu a srdce. Během stresu (vyčerpání) z horka se snižuje krevní náplň srdce, zatímco vedení vzruchů v srdci narůstá, aby mohl být udržen objem srdeční práce. Kombinace velkého srdečního objemu a zvýšení tepové frekvence způsobuje zvýšení srdečního výkonu v období teplotní zátěže (Willson et al., 2006, 2011). Ačkoli úmrtí z horka lze poměrně snadno předejít, umírá právě na teplo mnoho lidí ročně. Dlouhodobá expozice vysokým teplotám může způsobit nemoci z tepla, jako jsou křeče, synkopa z tepla, tepelné vyčerpání, tepelný šok a smrt. Iktus z tepla je těžký stav, klinicky definovaný jako vysoká vnitřní teplota 40.6 °C spojená s horkou a suchou kůží, změnami činnosti CNS jako je delirium, křeče a koma. Tyto zdravotní dopady jsou nacházeny v populaci starších osob, žijících osaměle a u osob, které nemohou své prostředí přizpůsobit, ochladit, nemají klimatizaci. Senzitivní jsou i lidé s duševními chorobami a s dalšími onemocněními (kardiovaskulární nemoci, obezita, neurologická a psychiatrická onemocnění). Rovněž pacienti, kteří jsou léčení léky, které zatěžují rovnováhu elektrolytů a solí (diuretika, anticholoinergika, trankvilizéry, např. ty, které ovlivňují slzení), které poté přinášejí i možnost závažnějšího onemocnění z tepla a dokonce i smrt. Ale také popíjení alkoholických nápojů, požívání narkotik a fyzická činnost venku zvyšují riziko nemocí z tepla (Luber et al., 2008).

4.5.3.3 Úmrtnost v Čechách v důsledku horkých vln

V posledních letech je v České republice sledována úmrtnost a hospitalizace pro nejčastější onemocnění vedoucí k úmrtí ve vztahu k projevům změny klimatu a počasí mnoha autory (Davídková et al., 2014, Plavcová et al., 2014, Hanzlíková et al., 2015, Urban et al., 2014, 2016, 2017). Úmrtnost byla hodnocena z mnoha pohledů. Prostorová synoptická klasifikace je využívaná pro hodnocení mortality vztažené k teplu a k hodnocení nemocnosti ve střední Evropě. Autoři aplikovali spojení mezi typy počasí, kardiovaskulární úmrtností a nemocností ve vybrané letní sezóně (16. května až 15. září) v letech 1994–2009. V dřívějších studiích byly dvě synopticky klasifikované vzdušné masy (suchá tropická a vlhká tropická) spojeny se zvýšenou úmrtností na srdeční a oběhové nemoci v Praze, vliv na hospitalizace byl malý a nevýznamný. Zvýšení mortality pro ischemickou srdeční chorobu je více spojeno se suchými tropy a přechodu počasí, se snížením teploty a vzrůstající vlhkostí. Přechod mezi horkým suchem a vlhkým teplem je spojen s nejvyšším zvýšením úmrtnosti na nemoci srdeční a oběhové. Se zpožděním je nacházen i vliv na mortalitu pro cerebrovaskulární nemoci (Urban et al., 2017). V této práci byl sledován vliv horkých vln během léta 2015 na úmrtnost v ČR a srovnáván efekt dřívějších horkých vln v ČR, například z roku 1994. Autoři analyzovali denní úmrtnost z přirozených příčin v celé populaci. Léto 2015 bylo v trvání horkých vln a stejně v tepelné zátěži rekordní. Následné zvýšení úmrtnosti z hlavní vlny tepla 2015 ve vztahu k základní hodnotě bylo vyšší, než během předcházející rekordní vlny tepla v roce 1994 (260 % oproti 240 %). Zvýšení úmrtnosti bylo dříve mezi

populační skupinou mladších osob (0–64 let) a starších osob (65+) srovnatelné. Zatímco v roce 1994 umírala skupina starších obyvatel i mladších podobně, v roce 2015 byla významnější umírající skupina obyvatel nad 65 let. Výsledek ukazuje, že je potřebné zohlednit celkovou termickou zátěž z horkých vln.

Urban et al. (2016) analyzovali prostorové rozložení vazeb mezi vysokými teplotními extrémy a denní úmrtností pro srdeční a cévní nemoci na úrovni okresů. Uvažovali o rozdílech mezi demografickými charakteristikami okresů, socioekonomickým stavem a podmínkami fyzického prostředí. Výsledky získané analýzou na úrovni okresů poskytly obecné informace o prostorovém rozložení nadměrné úmrtnosti způsobené teplem v důsledku úmrtnosti pro srdeční a cévní nemoci. Když byly všechny okresy v České republice posuzovány společně, charakteristiky fyzického prostředí (průměrná letní teplota, nadmořská výška) a úroveň urbanizace (hustota obyvatelstva, procento nepropustného povrchu) měly významný vliv na úmrtnost související s teplem související s kardiovaskulárními nemocemi, zatímco socioekonomickému stavu nebyl přikládán významný vliv. Na druhé straně srovnání okresů s nízkým a vysokým indexem socioekonomického statusu ukázalo, že pod jeho určitou hranicí má významný vliv na nadměrnou úmrtnost.

Většinu nadměrných úmrtí ve venkovských oblastech lze přičíst „harvesting efektu“. Dlouhodobé vystavení nejvyšší environmentální a socioekonomické deprivaci v rámci ČR v městských částech s nízkým socioekonomickým statusem může mít navíc významný vliv na zpožděnou nadměrnou úmrtnost spojenou s horkými vlnami v důsledku vyššího podílu osob s chronickým oběhovým a srdečním onemocněním. Vzhledem k tomu, že těžba uhlí a s ním spojený těžký průmysl (energetika, hutnictví) jsou v některých okresech typickými ekonomickými aktivitami, jejich obyvatelé jsou potenciálně ohroženi rostoucí sociálním vyloučením v budoucnu v důsledku poklesu těžby a průmyslové transformace. Významný vztah mezi sníženým sociálně-ekonomickým stavem a zvýšenou úmrtností spojenou s teplem v nejchudší okresní skupině vyzdvihuje úlohu socioekonomického postavení v adaptabilitě na teplo napříč populací.

Autoři identifikovali okresy a kraje v České republice, jejichž populace je nejvíce ohrožena nadměrnou úmrtností v důsledku tepelného stresu a v budoucnu by mohla být ohrožena. Naše výsledky jsou potenciálně užitečné pro lepší zacílení biometeorologických předpovědí a varování, i když k dosažení přiměřené statistické síly je třeba zvážit spíše větší regiony než jednotlivé okresy. Tyto další zdravotní výsledky, jako jsou tísňová volání a hospitalizace pro onemocnění dýchacích cest a nemocí souvisejících s teplem, by měly být zohledněny v následném výzkumu dopadů tepelného stresu na veřejné zdraví v České republice. (Urban et al., 2016)

Davídková et al. (2014) zjistili, že mladší populace (0–64 let), přestože je postižena zvýšením úmrtnosti pro koronární chorobu srdeční, netrpí zvýšením úmrtnosti pro cévní nemoci mozku. Prodleva u cerebrovaskulárních nemocí jako příčiny smrti byla delší, než u nemocí kardiovaskulárních. Nárůst úmrtnosti pro srdeční a cévní nemoci spojen s nárůstem příjmů do nemocnic a převažoval během horkých vln pod očekávanou hladinou nemocnosti. Hlavní příčinou úmrtí byla koronární nemoc srdeční u nejstarší věkové skupiny. Úmrtí mimo zdravotnická zařízení reprezentují hlavní část úmrtí pro tyto nemoci během horkých vln, úmrtí ve zdravotnickém zařízení je spíše maskováno jinými nemocemi než primární diagnózou odpovědnou za hospitalizaci. Toto zjištění je velmi důležité pro prevenci dopadů horkých vln.

Plavcová a Kyselý (2014) analyzovali spojení mezi přechodem atmosférických front a příjmy do nemocnic, které zmizí, jsou-li změny počasí charakterizovány frontálními pasážemi. Náhlý pokles atmosférického tlaku je v zimě asociován se signifikantním excesem srdečně cévní úmrtnosti. Další výzkum je nutný pro pochopení mechanizmu působení. Stejní autoři (Urban et al., 2014) sledovali vyšší úmrtnost a morbiditu pro kardiovaskulární onemocnění v Praze a v jižních Čechách v období 1994–2009. Na rozdíl od mortality byla pozorována slabá nadměrná srdečně-cévní nemocnost v teplých i chladných dnech. Různé reakce jednotlivých nemocí srdce a cév na teplo proti reakcím na studený stres mohou být způsobeny odlišnou povahou každé nemoci a různými fyziologickými procesy způsobenými teplem nebo chladem. Mírné rozdíly mezi Prahou a jižními Čechy v reakci na teplotní rozdíly naznačují možný vliv environmentálních a socioekonomických faktorů, jako jsou dopady městského tepelného ostrova a vystavení znečištění ovzduší, rozdíly v životním stylu a rozdíly v populační struktuře, které mohou být v rozdílné zranitelnosti městského a venkovského obyvatelstva vůči teplotním extrémům. Práce mladých českých matematiků vyjasnila mnoho neznámého o úmrtnosti a pomohla lépe definovat způsob prevence. Objasnila pravděpodobně i vzniklou odolnost populace. Od devadesátých let došlo k posunu zvýšení úmrtnosti při vlnách horka do vyšších věkových skupin. Vysvětlení vidíme ve vědomé adaptaci mladší populace. Díky mediím a sociálním sítím jsou pro ni dostupné a snadno využitelné informace o prevenci vlivu horkých vln. Tato populace

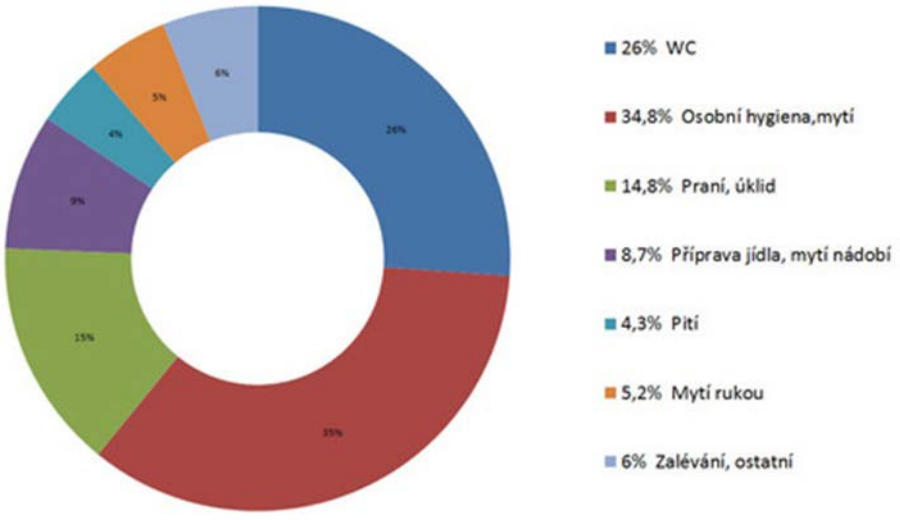
dovede přizpůsobit svůj životní styl horkému počasí a je obecně zdravější díky osobní prevenci nemocí, životnímu stylu, příjmu tekutin aj. a představuje i jinou populaci proti té, která byla horkými vlnami ohrožena v devadesátých letech. Pokroky v medicíně přinesly standardní léčbu náhlých srdečních příhod. Významná je i včasná první pomoc v takových případech. Došlo k významnému snížení úmrtnosti.

Tito autoři také zjistili i významnější odezvy v úmrtnosti při meteorologických situacích při změně suchých vysokých teplot směrem do vysokých teplot a vlhka. To lze vysvětlit fyziologicky, při vysoké teplotě se organizmus ochlazuje odpařováním a pocením, které je ale ve vlhku omezeno. Pocení a perspirace pomáhá organizmu se zbavit tepla. Horký vzduch s vysokou vlhkostí přináší významnou termickou zátěž vedoucí k přehřátí organizmu. Velká města jsou místy koncentrace zdravotního dopadu horkých vln. Jak bylo zjištěno i u nás, teplotní ostrovy jsou v Plzni, Praze, Českých Budějovicích, Ostravě, méně v Ústí nad Labem (Vacík, 2013). Kumulace a hustota obyvatel ve velkých městech stejně jako městské ostrovy tepla a tím i celková termická zátěž během dne a noci jsou významnou zátěží s odezvou v úmrtnosti. Význam poklesu tlaku pro úmrtnost na kardiovaskulární nemoci, ověřila matematicky opět Plavcová a Kyselý (2014). Titíž autoři s vedoucím Urbanem (2017) srovnávali úmrtnost při horkých vlnách v Českých Budějovicích a Praze. Rozdíly naznačují možný vliv environmentálních a socioekonomických faktorů, jako jsou dopady městského tepelného ostrova a vystavení znečištění ovzduší, rozdíly v životním stylu a rozdíly v populační struktuře, které mohou přinést rozdílnou zranitelnost městského a venkovského obyvatelstva vůči teplotním extrémům.

Uvedené práce vysvětlily reakce jak senzitivní populace, tak populace zranitelné, což se může prosadit a použít v adaptačních (preventivních) opatřeních.

4.5.3.4 Nedostatek pitné vody

Potřeba pitné vody z fyziologického hlediska reaguje na její ztráty. Podle Kožíška (2005) člověk denně vyloučí asi 2,5 litru vody močí, stolicí, dýcháním a kůží. Organizmus však musí mít vyrovnanou vodní bilanci a tak, aby tyto ztráty uhradil, musí vodu přijímat. Asi třetina litru „nové vody“ se denně vytvoří v těle metabolickou činností, vody vázané v potravě přijmeme asi 900 ml. To znamená, že zbytek (asi 1,5 litru) musíme do těla dostat přímo ve formě tekutin. Za 70 let to představuje 40 tisíc litrů tekutin. Akutními příznaky mírné dehydratace jsou bolesti hlavy, únava a malátnost, pokles fyzické a duševní výkonnosti, včetně poklesu koncentrace. Ztráta tekutin na úrovni 2 % tělesné hmotnosti představuje ztrátu až 20 % výkonu. U dětí se snižuje schopnost sledovat vyučování, což může nepříznivě ovlivnit jejich školní výsledky. Při 5 % dehydrataci již hrozí přehřátí, oběhové selhání a šok (Kožíšek, 2005). Směrná čísla potřeby vody stanovuje vyhláška č. 120/2011 Sb. určující potřebu pitné vody a množství vypouštěné odpadní vody. Pro zásobování obyvatel bytu, kde je tekoucí voda mimo byt, počítá příloha uvedené vyhlášky s 15 litry na osobu a den. V bytě bez teplé vody pak 25 l/osobu/den a v bytě, kde teče studená i teplá voda 35 litrů/osobu/den.



Obr. 4.5.11 Spotřeba pitné vody (Zdroj: https://www.scvk.cz/vse-o-vode/pitna-voda/spotreba-vody/)

Využívání pitné vody ukazuje na některé způsoby, které v našich podmínkách nutnost výroby pitné vody zvyšují (zalévání, splachování). Mnohé způsoby přitom na obr. 4.5.11 uvedeny nejsou, například plnění bazénů doplňující komfort života v rodinných domech. Podle informace prodejců bazénů už je bazén na každé třetí české zahradě.

4.5.3.5 Kontaminace pitných vod chemickými látkami a kontaminace aerosolů pesticidy

Podle biologické účinnosti se pesticidy dělí na insekticidy, herbicidy, fungicidy, rodenticidy a další. Jsou nebezpečné svojí

- Akutní toxicitou
- Chronickou toxicitou – dlouhodobá expozice pesticidům je spojena s rozvojem Parkinsonovy choroby, astmatu, depresí a anxiety, nádorů, včetně leukemie, a ne-Hodgkinského lymfomu, poruchami pozornosti a hyperaktivními poruchami u dětí
- Mohou mít efekt kombinovaný

V roce 2017 provedl Státní zdravotní ústav cílená šetření pitných vod na vybraný okruh 21 pesticidních látek a jejich metabolitů (PL) v reprezentativním vzorku více než 170 vodovodů ve všech krajích ČR. Jen čtvrtina zdrojů (42 vodovodů) nevykázala ani při jednom odběru pozitivní nález PL, z čehož vyplývá, že 75 % vodovodů je více či méně kontaminováno pesticidními látkami. V jednom vzorku vody bylo v těchto případech nalezeno 1 až 11 PL. V roce 2017 byly PL hlavním důvodem výjimek z kvality vody, kterou poskytují KHS ze zákona o veřejném zdraví, které se týkaly celkem 64 vodovodů zásobujících více než 250 tisíc osob.

Tab. 4.5.1 Přehled „výjimek“ z kvality pitné vody kvůli PL v roce 2017 podle jednotlivých látek i celkem. Tučně jsou uvedeny mateřské látky a relevantní metabolity (Moulisová et al., 2018) (Zdroj: IS PiVo)

Ukazatel	Počet PL u jedné výjimky			Počet oblastí celkem	Počet obyvatel
	1	2	3		
acetochlor ESA	45	10	0	55	254 739
acetochlor OA	0	7	0	7	84 046
desethylatrazin	3	0	1	4	389
alachlor ESA	1	3	0	4	764
hexazinon	1	1	1	3	453
atrazin	0	2	1	3	690
chloridazon-desphenyl	0	1	0	1	479
chloridazon-methyl-desphenyl	0	1	0	1	479
mecoprop	0	1	0	1	230
počet oblastí celkem	**50**	**13**	**1**	**64**	
počet obyvatel celkem	**170 849**	**85 650**	**40**	**256 539**	

Podle Státního zdravotního ústavu je tedy čtvrt milionu obyvatel ČR vystaveno od určité doby expozici pesticidům v pitné vodě (Moulisová et al., 2018). Z údajů získaných v rámci standardního chodu celostátního monitoringu jakosti pitných vod v letech 2004 až 2014 vyplývá, že dochází k postupnému mírnému zlepšování jakosti pitné vody distribuované veřejnými vodovody, což ovšem platí pro celorepublikové zpracování výsledků a nevylučuje, že v některých vodovodech nemohlo dojít

k výraznému zhoršení nebo (spíše) zlepšení stavu. Nicméně v roce 2015 se tento trend zastavil, když bylo pozorováno četnější nedodržování nejvyšších mezních hodnot než v předešlých letech. Hlavní příčinou je sledování většího spektra pesticidních látek a jejich metabolitů a častější nalézání vyšších koncentrací (do konce roku 2017 byly do IS PiVo vloženy výsledky stanovení 193 různých pesticidních látek, z čehož bylo 146 mateřských látek. Individuální riziko spojené a triazinem je však malé (SZÚ, 2019). Výjimka, kterou poskytují KHS z kvality pitné vody pro výrobce a dodavatele pitné vody však není na neomezenou dobu. Proto musí výrobce vody doplnit úpravu pitné vody o odstranění pesticidů. V úpravně vody Želivka, která dodává vodu pro Prahu a okolí, začne výstavba nové technologie s filtrací přes granulované aktivní uhlí. Obdobnou úpravu vody používají například vodárny v Plzni nebo v Českých Budějovicích.

Pesticidy představují skupinu různých chemických látek, které jsou toxické zejména pro děti. Pro děti je charakteristická nezralost metabolických cest. Významný je dopad organofosfátů, kdy se může „potkat" chemická látka s „vývojovým okénkem", tj. právě se vyvíjejícím orgánem, systémem, funkcí, a poznamenat jedince na celý život. Nervový systém není dostatečně schopný opravit strukturální poškození, které je způsobeno environmentálními toxiny. Je-li nervová buňka ve stadiu vývoje zničena chemickou látkou, nebo je-li zničena formace vitálně důležitých spojení, kde dochází k blokování těchto cest, nebo přežívá, existuje vysoké riziko poškození, ze kterého vyplyne nervová a psychická nedostatečnost. Poškození je nevratné. Děti před sebou mají dlouhý život, ve kterém se může vyvinout chronické onemocnění, jehož původ a počátek byl v raném dětství.

Dále hraje roli také směs pesticidů, které se mohou vyskytovat v přípravcích a určitou úlohu má i vehikulum, ve kterém jsou rozpuštěny a s nímž se aplikují (Landrigan, 2001). ČHMÚ v povrchových i podzemních vodách nalezl mnohé pesticidy, i zakázané, podobné chemickou strukturou i neurendokrinním efektem. Pesticidy, které se nejvíce vyskytují v pitných vodách, ale i ve vodách podzemních, jsou organochlorové a dusíkaté organické sloučeniny. Chronické studie prokazují, že atrazin a simazin jsou karcinogenní pro zvířata. U člověka se vysvětluje vznik nádorových onemocnění po expozici triazinům prostřednictvím neuroendokrinní disrupce. Chlorotriaziny ovlivňují endokrinní odpověď, ale jejich potenciální vliv u člověka je primárně ovlivňuje rozmnožování a vývoj. Atrazin je zařazen mezinárodní agenturou pro výzkum rakoviny v Lyonu jako karcinogen do skupiny 2A a jeho používání je zakázáno (IARC, 1999).

Alachlor je středně perzistentní pesticid s afinitou k půdě a má předpoklad, aby se dostal do podzemních vod. Je ve vysokých dávkách pravděpodobně karcinogenní pro člověka a je vývojově toxický během těhotenství a v časném poporodním stádiu, což bylo zjištěno u králíků a krys. Jeho používání je zakázáno (EPA, 1998). Lerro et al. (2015) ve své studii nalezli u osob aplikujících Acetochlor významnou incidenci nádorových onemocnění. Šlo o karcinom plic, karcinom kolorekta, melanom a pankreatický karcinom.

Monitoring pitné vody hodnocený SZÚ v roce 2017 sumarizuje 33138 výsledků stanovení ukazatele *pesticidní látky* získaných rozborem vzorků odebraných v roce 2017 z oblastí zásobujících více než 5000 obyvatel. Překročení limitní hodnoty bylo zjištěno ve výši 7,91 % pro acetochlor ESA (22 překročení z 278 stanovení), 4,02 % pro acetochlor OA (9 překročení z 224 stanovení) a 0,52 % pro pesticidní látky celkem. Relativně vysoká procentní hodnota nedodržení limitu pro metabolity acetochloru je způsobena nízkým počtem vzorků (Kožíšek et al., 2018).

4.5.3.6 Lesní požáry

Nebezpečí pro zdraví, které se týká lesních požárů, může být bezprostřední a znamená přímé ohrožení života, nebo úmrtí. Dopady znečištění ovzduší při nebo po lesních požárech dosud nevnímáme jako problém pro populaci, přitom lesní požáry trvají i několik dní. Klimatické změny však přinášejí zvýšené riziko lesních požárů, a tak existuje urgentní potřeba lépe pochopit zdravotní efekt a zároveň připravit povědomí veřejnosti o této problematice (Finlay et al., 2012).

Kouř z hořícího dřeva obsahuje vysoké koncentrace aerosolových částic a toxických látek. Ovlivňuje zejména onemocnění dýchacích cest, nemoci srdeční a oběhové, oční onemocnění a ve výsledku i duševní choroby. Nebezpečí může být přímé, kdy hrozí popáleniny a inhalace toxických látek, ale přenos emisí do okolí může zatížit populaci v sousedství. Pak záleží na její informovanosti, současném zdraví, věku a pochopení problému, a zejména na možnosti přístupu k hořícím nebo dohořívajícím plochám. Ke kontaminaci prostředí dochází i hasící vodou, kdy jsou smývány toxické látky do půdy a vod. Do ovzduší odchází oxid uhelnatý, oxid dusičitý, aerosoly, organické látky (polycyklické aromáty), aldehydy, organické kyseliny, benzen a aromáty, organické látky obsahující dusík, síru a chlór. Unikající látky se mohou lišit při hoření i při dýmání po dohašování požáru.

Dlouhodobý efekt inhalovaných aldehydů a dalších karcinogenů by neměl být opomíjen (Finlay et al., 2012). Expozice dýmu přináší zvýšenou incidenci akutních respiračních onemocnění, respirační a kardiovaskulární hospitalizaci a návštěvu lékaře pro onemocnění plic. Frekvence lesních požárů bude narůstat, protože přibývá sucha a horka.

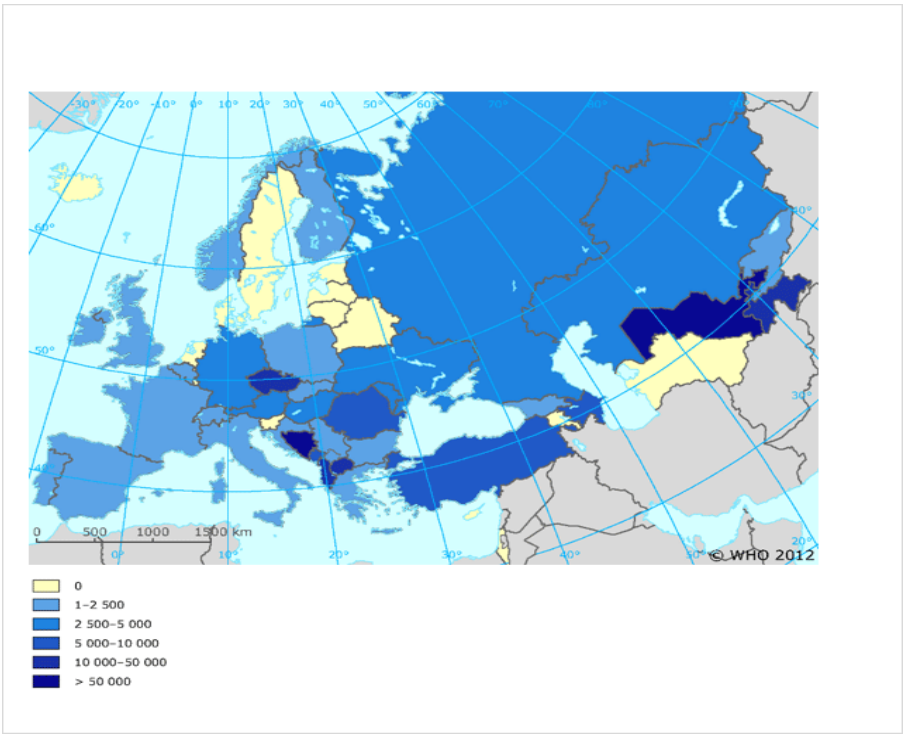
Požáry lesů se mohou vyskytnout kdekoli. Jsou zdroji znečištění ovzduší plynnými a aerosolovými částicemi s negativními dopady na zdraví a ohrožují další aktivity obyvatel, jako je doprava, turistika, zemědělství. Extrémní radiace tepla a inhalace dýmu mohou způsobit poranění a dokonce i úmrtí u osob exponovaných přímo u požárů. Přítomnost požárů je významně determinována suchem a horkými vlnami.



Obr. 4.5.12 Lesní požáry v Evropě 2012 (WHO/WMO, 2012)

4.5.3.7 Přívalové srážky a povodně

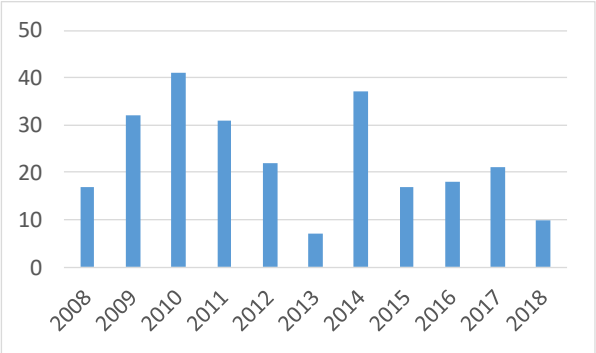
Nejčastěji vnímaným dopadem změny klimatu jsou povodně s následky na životech, zdraví i majetku. Podle WHO (2019a) je Česká republika jednou z nejvíce ohrožených zemí, což vyplynulo z analýzy za období 2000–2011, kdy jsme u nás zaznamenali více větších povodní. Dlouhodobá predikce povodní je obtížná, ve scénářích je konstatováno přesouvání srážkových období do jiných částí roku, než dosud, ubývání zimních srážek a přívalové deště. Podle mapy WHO je naše území povodněmi významně dotčeno.



Obr. 4.5.13 Populace v Evropě (osob v miliónu) ovlivněná povodněmi (2000–2011) (Zdroj: WHO, 2019a)

Vydatné srážky a povodně mohou způsobit utonutí a úrazy. Dalším často podceňovaným dopadem je psychický stres, který se výrazně podílí na zhoršení kvality života a na zhoršení stavu např. duševně nemocných. Souvisejícími dopady s vazbou na povodně mohou být nestabilní prostředí, sesuvy půdy, kontaminace obydlí, zahrad a vodních zdrojů, přechodný nedostatek a kontaminace potravin, přemnožení komárů v místech zátopových oblastí a v případě infekce komárů přenos virových infekcí, přemnožení hlodavců v objektech po zátopách s přenosem leptospirózy. Významná je ztráta sociálních kontaktů.

Základním problémem vedoucím k úmrtí utonutím je dušení a nedostatek kyslíku. Úrazy, ke kterým může dojít za povodní, představují většinou mechanické podněty (zhmoždění, utlačení a roztržení tkání, fraktury a naštípnutí kostí, zhmoždění a vykloubení kloubů, porušení cév.) Poranění mohou být při nedostatečném ošetření provázena zánětem. Poranění srdce a mozku mohou být smrtelná. Současně se může dostavit šok, poruchy oběhu, metabolismu, rovnováhy, porucha ledvin (Crush syndrom) (Nečas et al, 2014). Po povodních po návratu obyvatel do zaplaveného území hrozí kontaminace území, obydlí a majetku chemickými látkami i mikrobiálním znečištěním.

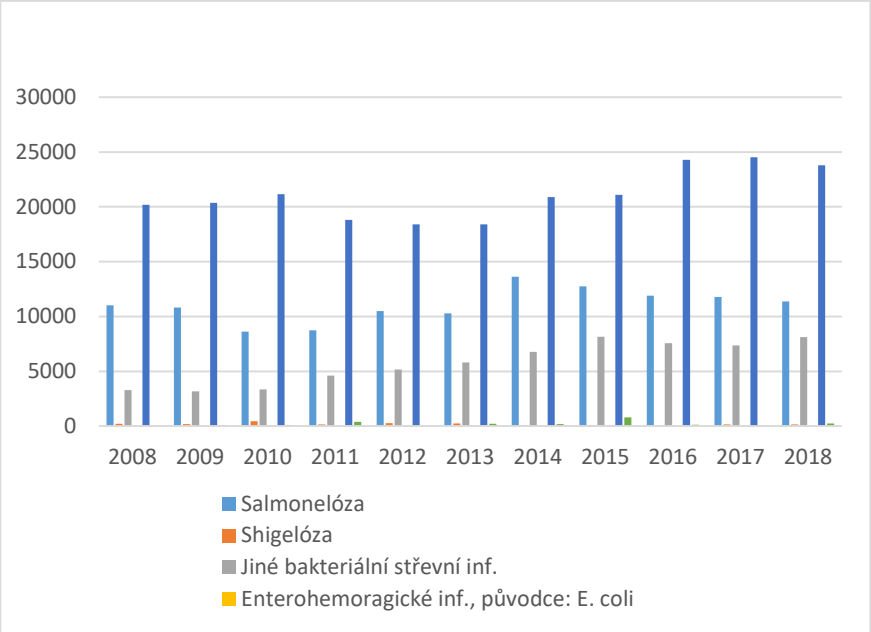


Obr. 4.5.14 Incidence leptospirózy v České republice v letech 2008–2018 (Zdroj: SZÚ, 2019)

Incidence leptospirózy ať již povodně jsou, či ne, je v Čechách zanedbatelná.

4.5.3.8 Infekční onemocnění související s potravinami a pitnou vodou

Změna klimatu, teplá jara, horká léta a nepříliš chladné zimy mohou představovat aktuální vzestup incidence přenosných nemocí zažívacích orgánů. Nemoci přenášené potravou, jako je salmonelóza, jsou významně závislé na teplotě. Ačkoli většina rozvinutých zemí v Evropě má dobře zajištěné zásobování pitnou vodou, nároky na zabezpečení musí být udrženy i za měnících se podmínek (např. vydatné srážky). Zde musí zejména dojít k zabezpečení před pravděpodobností onemocnění kryprosporidiózou v pitné vodě a vibrii v koupací vodě (ECDC, 2007). Nepatogenní vibria jsou podle Štěpánka et al. (1983) běžným nálezem v povrchových vodách. Při nedostatečné hygieně a chybějícím zdravotním povědomí narůstá se změnou klimatu i riziko alimentárních infekcí. Jsou přenosné potravinami, vodou a nedostatečnou hygienou nemocných. Prevencí je přísná hygiena produkce, transportu, zpracování potravin, prodeje a podávání jídel, ve kterých patogeny mohou být a přežít. Totéž se týká pitné vody, zejména malých zdrojů.



Obr. 4.5.15 Počet případů onemocnění salmonelózou, úplavicí, kampylobakteriózou, enterohemoragickou kolitidou a jinými střevními infekcemi (Zdroj: ÚZIS, 2019)

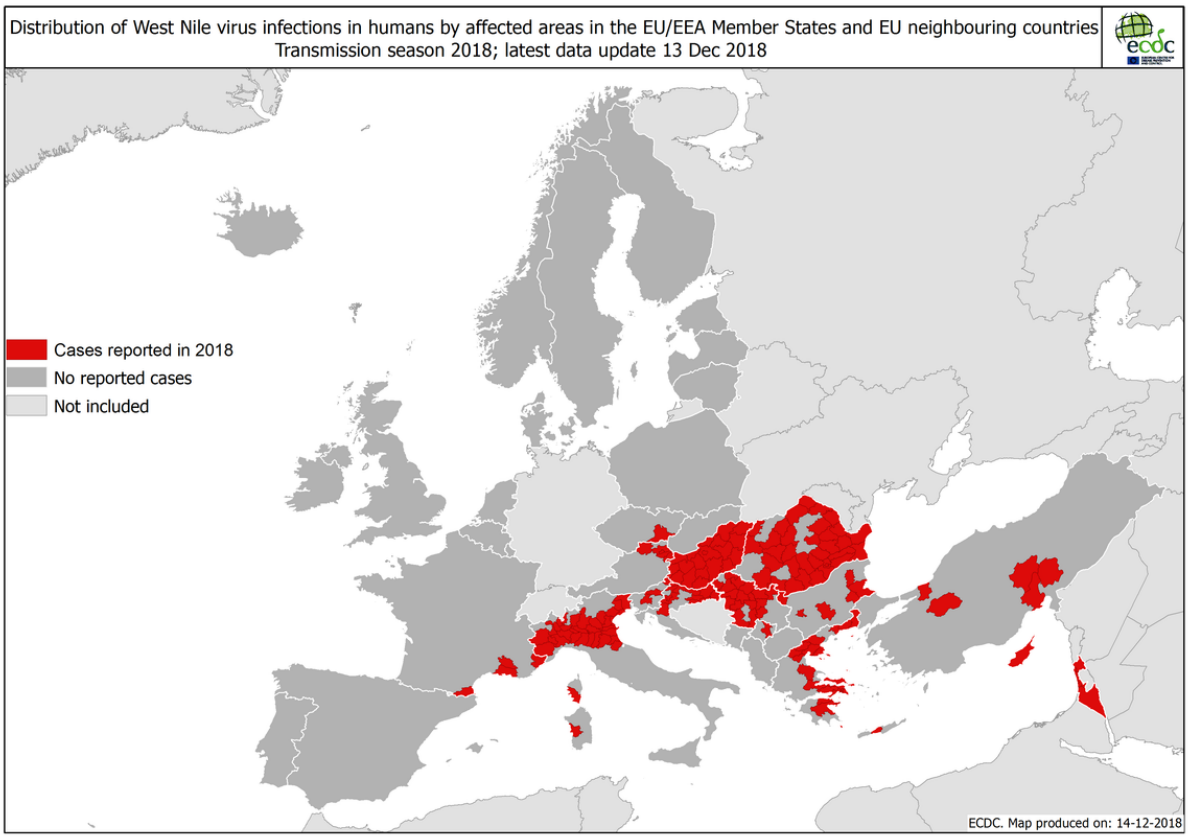
4.5.3.9 Tropická onemocnění a infekce přenášená vektory

Rostoucí teplota a změněný režim přísunu vody v důsledku změny klimatu by mohly ovlivnit úroveň proliferace a chování vektorových organizmů a mezihostitelů a životaschopnost a podmínky ke zrání infekčních patogenů, které způsobují nemoci přenášené hmyzem. Jedná se zejména o přenos infikovaných vektorů tropických nemocí z jižních zemí, který se může dít prostřednictvím vzdušného proudění přímo nebo transportem. Některé vektory, které již byly v Evropě nalezeny (komáři *Aedes Egypti*, *Aedes albopictus*) přenáší horečku dengue, Chikungkunya, žlutou zimnici, filariová nematoda). K přenosu nemoci je nutný ještě rezervoárový organismus. Zatím byli nově zjištěni jako rezervoáry či přenašeči tažní ptáci.

Komáři jsou pro člověka rizikovým živočichem. Jejich schopnost přenést a rozšířit lidskou nemoc způsobuje milióny úmrtí každý rok. V roce 2015 na malárii zemřelo 435 000 osob. Ve světě vzrostla incidence horečkou dengue za posledních 30 let 30krát. Více než polovina lidstva žije tam, kde se komáři vyskytují. Je několik druhů komárů, kteří jsou schopni přenést dokonce více různých nemocí. Jde o komáry druhu *Aedes* a *Anopheles*. Na Jižní Moravě bylo izolováno několik druhů virů přenášených komáry (moboviry), především virus Ťahyňa (TAHV) a virus západonilské horečky (WNV). Po roce 2000 byl na jižní Moravě zjištěn jeden nový druh komára (*Anopheles hyrcanus*), který se zde patrně dále úspěšně šíří. Varováním je přemnožení původně tropického komára *Aedes albopictus* v některých evropských zemích a následný výskyt onemocnění lidí způsobené chikungkunya virem v Itálii a Francii (Šebesta et al., 2012).

Západonilská horečka je virové onemocnění přenášené komáry, primárně komáry rodu *Culex*. V případě rozvoje nervové formy nemoci v podobě zánětu mozku nebo mozkových plen se vyskytují obtíže ve formě vysokých horeček, bolestí hlavy, dezorientace, třesu, křečí, svalové slabosti a obrny. Tyto formy se vyskytují u méně než 1 % případů (MZ, 2019). Ve třech jihomoravských rybnících (Rudolf et al., 2014) byli nalezeni komáři *Culex modestus* přenášející v jižní Evropě WNV. Solomon et al. (2003) informovali o progresi západonilské horečky a rozšiřování tohoto viru ve Spojených státech. Během roku 2002 onemocnělo 2300 osob a 200 zemřelo. Senioři a lidé s imunosupresí jsou ve zvýšeném riziku. Celková úmrtnost na WNV u osob hospitalizovaných v nemocnicích byla 4–14 % a šlo zejména o starší nemocné. Dalším rizikovým faktorem byla přítomnost významné slabosti, hlubokého komatu, vyčerpání, produkce IgM protilátek, léčba imunosupresí, současně existující nemoci, jako je hypertenze a diabetes mellitus. Onemocnění WNV se v České republice v minulých letech již objevila, také protilátky proti nemoc způsobujícím virům (Flaviviridae) byly nalezeny u obyvatel Jižní Moravy. V roce 2018 zemřela jedna 72letá žena v Břeclavi na WNV. Podmínky pro cirkulaci viru existují i ve střední Evropě včetně České republiky i přes rozvinutou ekonomiku a vysoký hygienický standard. Znalost složení lokální fauny komárů a suveillance virů v komárech je základním

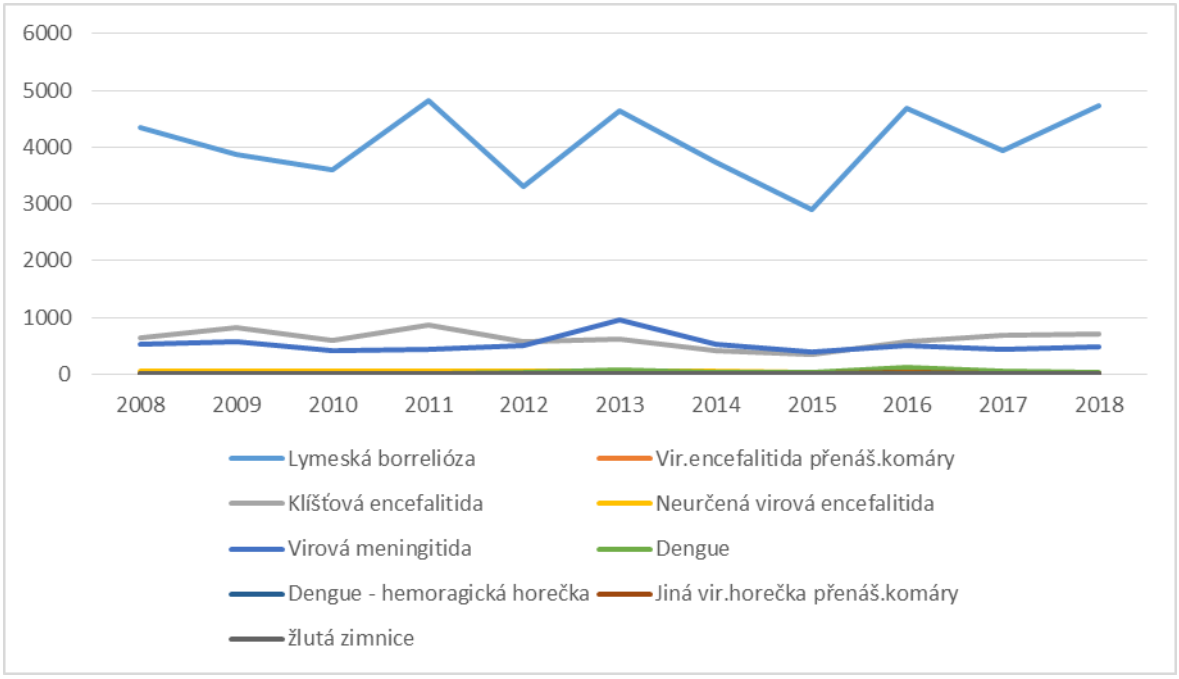
a nejlevnějším způsobem odhadu rizika výskytu nákaz WNV. V rámci mezinárodního projektu našli jihomoravští, slovenští a rakouští entomologové opakovaně u hlavních dopravních tras spojujících Slovensko, Rakousko a Česko komáry rodu *Aedes (Stegomyia) albopictus (Skuse)*. Počet komárů a jejich aktivita meziročně narůstaly (Rudolf et al., 2018). Tito komáři přenášejí zárodky tropických nemocí, například chikungkunya. Za příhodných klimatických podmínek (zejména zpoždění nástupu podzimních chladných dní) může kalamita komárů ve Střední Evropě v podzimních měsících dokonce narůst (říjen–listopad). Charakter takových kalamit (počet komárů a přítomnost druhů) odpovídá na letní povodně (Šebesta et al., 2016) a má důsledky pro místní obyvatele a domestikovanou zvířecí populaci. Mapa publikovaná Evropským centrem pro kontrolu nemocí (ECDC, 2019) informuje o tom, že už u nás lze prostřednictvím komárů onemocnět západonilskou horečkou.



Obr. 4.5.16 Distribuce infekce virem WNV u člověka na území EU/EEA a sousedních zemí. Sezóna přenosu 2018, poslední údaje 13. prosince 2018. (zdroj ECDC, 2019)

Hlavními přenašeči (současnými i potenciálními) nemocí přenášených hmyzem v našich podmínkách, kromě komárů, je klíště (klíšťová encefalitida, Lymeská borellioza), nebo pouštní blechy (např. orgánová leishmanióza). Klíšťová encefalitida je onemocnění s přírodní ohniskovostí a vyskytuje se tam, kde jsou podmínky pro rozvoj klíšťat a cirkulaci viru v přírodě. Letalita není vysoká, avšak může přejít do chronického stadia s porušením duševní činnosti, s psychickými poruchami a přetrvávajícím třesem. Virus je přenášen infikovaným klíštětem, živícím se na lesních zvířatech ve specifickém biotopu. Virus se u klíšťat jen málo přenáší transovariálně, častěji se klíště nakazí společným přijímáním potravy tj. sáním krve nejčastěji drobného lesního hlodavce z listnatého lesa (Kredba, 1970). Incidence lidské encefalitidy je ovlivněna teplotou. To je vedoucí klimatologický faktor současně spojený s dalšími vlivy, jako je biologie klíštěte, replikace viru, způsobem chování člověka (outdoorové aktivity) (Daniel et al 2006; Danielová et al, 1990). Vyšší výskyt klíšťové encefalitidy ve střední a východní Evropě souvisí s delším jarem a létem, ale také s rozšířením vektoru na sever (Kováts et al., 1999). Lymeská borellioza je způsobena Spirochetou *Borrelia burgdorferi*, v Evropě a severní Americe je přenášená klíštětem. Teplota ovlivňuje vývoj klíštěte ve třech stádiích (larva, nymfa, dospělec) a tím pravděpodobnost přenosu spirochéty. Lymeskou borreliozou onemocní v Evropě za rok 85 000 lidí. Je to systémové onemocnění léčitelné antibiotiky (SZÚ, 2015). Pokud je časné stadium onemocnění mylně diagnostikováno jako jiná nemoc, dochází ke komplikacím, které jsou

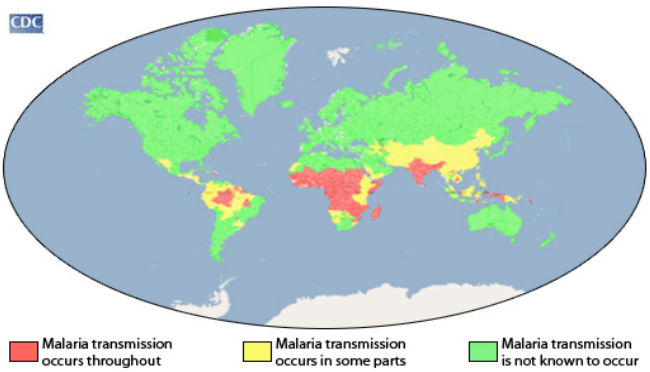
neurologické, srdeční a kloubní. Spirochety jsou udržovány v ekosystému nosiči, jimiž jsou drobní živočichové požírající hmyz, jako jsou myši, hraboši nebo malí ptáci a také ježci.



Obr. 4.5.17 Incidence nemocí přenášených klíšťaty a komáry v ČR 2008–2018 (Zdroj: ÚZIS, 2019)

Ježek evropský byl identifikován jako hostitel dvou druhů klíšťat přenášejících několik humánních onemocnění. Žije i ve velkých městech a tak i zde lze onemocnět boreliózou, encefalitidou a dalšími nemocemi. Klíšťata *Ixodes hexagonus* (1132 jedinců) i *Ixodes ricinus* (74 jedinců) v různých stadiích vývoje byla nalezena na 54 ježcích přirozeně žijících v blízkosti člověka v belgických zahradách (Jahfari et al., 2017). Neposlední hrozbou je malárie**,** která byla v Evropě silně rozšířena v první polovině minulého století.

Bio environmentální stresy indukované změnami klimatu mohou v určitých případech prolomit existující obranu preventivních opatření ve veřejném zdraví. Jediným zdrojem je nemocný člověk. Nákazu přenášejí samičky komára rodu *Anopheles*. Historicky byla malárie endemická všude v Evropě, včetně Skandinávie, ale onemocnění bylo zcela eliminováno mnohými faktory, vztaženými k socioekonomickému vývoji. Role klimatu by mohla být zanedbatelná, přestože je potenciál pro přenos malárie podložen meteorologickými podmínkami, jako jsou teplota a srážky (Kredba, 1970). Nyní se malárie vyskytuje endemicky již ve třech zemích evropského regionu WHO (Turecko, Tádžikistán, Ázerbájdžán). Nebyl zatím zaznamenán na našem území případ tzv. autochtonního přenosu malárie, tj. přenosu malarických plazmodií z člověka na člověka zde žijícím přenašečem (vektorem) (SZÚ, 2015).



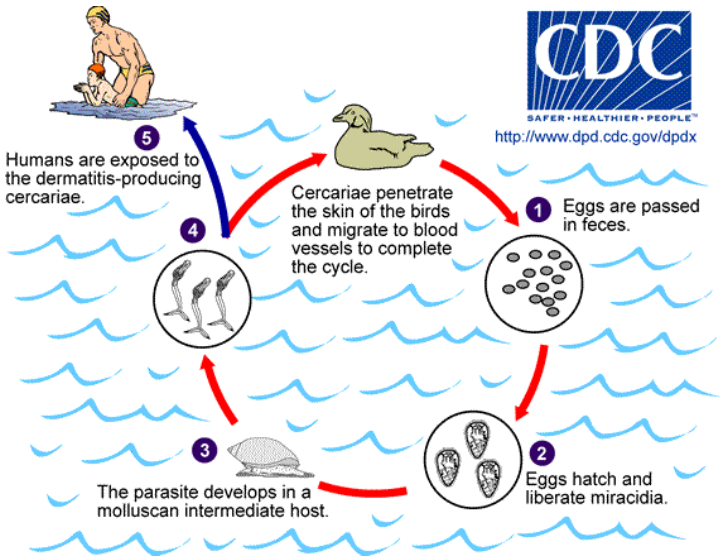
Obr. 4.5.18 Incidence malárie ve světě 2017 (Zdroj: ECDC, 2019)

Usutu je komáry přenášený ptačí virus, který může nakazit i člověka. Infekce člověka probíhá většinou zcela bezpříznakově, nebo má lehkou formu (teplota, únava, někdy vyrážka či žloutenka). Byly zaznamenány i případy vážných infekcí centrálního nervového systému u pacientů s oslabenou imunitou. Virus Usutu jeptačí virus je přenášen členovci (především komáry z rodu *Culex pipiens*). Je dobře známo, že volně žijící ptáci, včetně migrujících druhů, mají potenciál šířit určité patogenní mikroorganismy. Usutu virus byl nedávno zanesen do Evropy a šíří se Rakouskem, Maďarskem, Itálií, Španělskem a Švýcarskem a způsobuje onemocnění ptáků a lidí. Tak jako WNV se může i USUV stát rezidentním patogenem v Evropě, a proto by měly být zvažovány důsledky jeho výskytu pro veřejné zdraví (Tkadlecová, 2011).

4.5.3.10 Zdravotní vliv eutrofizace povrchových vod

Předpokládaný vliv změny klimatu se odráží i v kvalitě vnitrozemských sladkovodních nádrží ve spojitosti se zdravotním rizikem vod využívaných pro rekreaci. S růstem průměrné teploty vzduchu je úzce spojeno oteplování všech složek hydrosféry a je patrné, že globální hydrologický cyklus planety se mění. Zdraví občanů ČR je ovlivňováno zejména kvalitou vnitrozemských sladkovodních systémů a to jak stojatých tak tekoucích vod. Již dnes v mnoha vodních nádržích zaznamenáváme v teplých měsících rychlé a masivní množení sinic, které tvoří vodní květ a tak znehodnocují kvalitu vody. Pro lidské zdraví je důležité, že sinice produkují několik látek různé chemické povahy, tzv. cyanotoxiny. Jedná se o toxiny, které jsou lidskému zdraví nebezpečné, svým působením ovlivňují zejména nervový systém (anatoxiny a saxitoxiny) a játra (mikrocystiny a cylindrospermopsiny), způsobují i zažívací potíže, horečky a bolesti hlavy. Jeden z mikrocystinů je pravděpodobně karcinogenní i pro člověka. Nejčastější reakcí vnímavých jedinců po styku s takovou vodou jsou ekzémy na různých částech těla. Kromě obvyklých druhů sinic, které tvoří vodní květ, se častěji v našich vodních nádržích objevuje rovněž toxický invazní druh *Cylindrospermopsis raciborskii* (Paerl et al., 2012). Pro úpravu vody na vodu pitnou jsou významné také organické látky pocházející z řas.

Zvýšení početnosti v důsledku oteplení vod očekáváme i u parazitů, jejichž vývojová stádia jsou vázána na vodní prostředí, jako např. infekční stádia motolic (*Schistosoma*), cerkárie. Způsobují nepříjemná kožní onemocnění na alergickém základě u koupajících se obyvatel.



Obr. 4.5.19 Cyklus kachní motolice (Schistosoma) způsobující „swimmers itch" (Zdroj: http://www.dpd.cdc.gov/dpdx/HTML/CercarialDermatitis.htm a https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=36892536)

Eutrofizace povrchových nádrží, ze kterých je upravována pitná voda, může vést k tvorbě chlórorganických látek, z nichž některé mají karcinogenní vlastnosti. Prekursorem jsou organické metabolity řas.

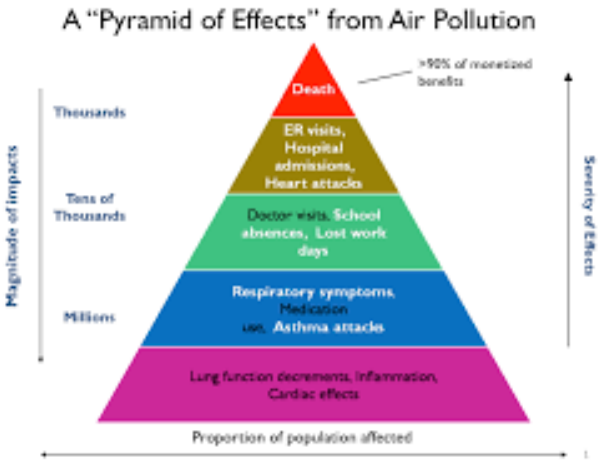
Trihalometany (THM) jsou bromoform, bromodichloromethan, chloroform a dibromo-chloromethan. Tyto látky vznikají v pitné vodě primárně jako důsledek chlorace organických látek přítomných

v surové vodě. Hodnota a úroveň vzniku THM narůstá jako funkce koncentrace chlóru, huminových kyselin, teploty, pH a koncentrace bromidového iontu. Chloroform je nejznámějším THM produktem chlorace. Za přítomnosti bromidů jsou preferenčně generovány bromované THM a chloroform se snižuje proporcionálně. Většina THM přítomných ve vodě je ultimativně přenášena do ovzduší v důsledku jejich volatility. A tak mohou být osoby individuálně exponovány během koupání ze zvýšených koncentrací v pitné vodě i inhalační cestou. Pro volatilní THM nastává za stejných podmínek celková expozice ve čtyřech oblastech – ingesce pitné vody, vnitřní inhalace ovzduší prostřednictvím volatilizace z pitné vody, dermální expozice při sprchování nebo koupání a ingesce potravin, kdy potraviny při přípravě souvisejí s pitnou vodou. Vnitřní inhalační expozice je relevantní místům, kde se omezeně větrá a lidé se intenzivně koupají a sprchují. IARC (1999) klasifikoval chloroform jako pravděpodobně karcinogenní pro člověka (skupina 2B), klasifikace je založena na omezeně prokazatelné karcinogenitě pro člověka, ale prokázané karcinogenitě pro pokusná zvířata. Většina pozorovaných toxických efektů chloroformu představuje poškození jater. Závažnost poškození tímto efektem na jednotku dávky závisí na druhu, vehikulu a metodě, kterou byl chloroform podáván (WHO, 2011). Bromoform podán v bioassayi indukuje malý nárůst relativně řídkých tumorů tlustého střeva u krys obou pohlaví, neindukuje nádory myší. IARC jej zařadil do skupiny 3 (není klasifikovaný jako karcinogenní pro člověka). Dibromochlorometan (DBCM) indukoval hepatální tumory u samiček myší a samečků a také samečků krys. IARC klasifikoval DBCM ve skupině 3 (není zařazen mezi karcinogenní látky). Bromodichlorometan (BDCM) zařadil IARC do skupiny 2B (pravděpodobně karcinogenní pro člověka).

4.5.3.11 Znečištění ovzduší ozónem a aerosolovými částicemi

Mezivládní panel pro změnu klimatu konstatuje, že změna klimatu může modifikovat chemické procesy ovlivňující kvalitu ovzduší. Mohou vést ke zvýšení koncentrací troposférického ozónu (vlivem intenzivního slunečního záření, které je podmínkou pro fotochemické reakce generující i přízemní ozón) i aerosolových částic**.** Ty mohou vznikat i mechanicky, nebo vznikají sekundárně z plynných molekul foto oxidačními procesy. Mohou také vznikat kondenzací a tvořit ultra jemné částice a za období sucha jsou unášeny do intravilánů měst. Zásadním problémem je, že v období sucha lze očekávat zvýšené znečištění, protože nedochází k mokré depozici aerosolových částic a vymývání plynných látek. Emise do ovzduší a znečištění specifickými škodlivinami jsou tzv. SLPC (Short Lived Climate Pollutants), například ozón, saze (black carbon) a metan, a kromě toho i oxid uhličitý, který patří mezi příčiny klimatických změn, ale většina z nich se uplatňuje i z hlediska zdravotního, zejména saze. Usazené aerosolové částice na ledovcích snižují albedo a tím zvyšují tání, mají tmavou barvu pohlcující sluneční záření. Působení uvedených znečišťujících látek na zdraví člověka je synergické. Synergický je i vliv současně se vyskytujících dnů s tropickou teplotou a dní s vysokou vlhkostí. Přibývají důkazy, že koncentrace přízemního ozónu a vysoká teplota ovlivňují úmrtnost rovněž synergicky. Ultrajemná frakce aerosolových částic (UFP) je předmětem zkoumání posledních let. Chemické složení a fyzikálně chemické vlastnosti hrají významnou roli. Ultra jemné částice vstupují do organismu, překonávají membrány, dostávají se do mozku podél čichového nervu a chovají se jinak, než částice malé a hrubé o stejném složení.

V závislosti na velikosti, více než 50 % UFP může být deponováno v nasofaryngeální oblasti při dýchání nosem. Předběžné odhady současných výsledků ukazují, že přibližně 20 % UFP je deponováno v olfaktorické sliznici u krys, odkud může být přemístěno do čichového mozku. Taková neurální translokace představuje přídatnou a nikoli obecně známou expoziční cestu pro vdechované pevné UFP, jejíž význam pro lidské zdraví ještě potřebuje vysvětlit (Oberdörster et al, 2004). Patrně se uplatní v závislosti na dávce při vzniku chronických neurologických onemocnění (pseudoparkinsonismus). WHO popisuje pyramidu zdravotních efektů, spojených se znečištěním ovzduší (EPA, 2015). Ty zahrnují subklinické efekty, symptomy, využití zdravotních služeb a mortalitu. Podobné závěry publikovala i US EPA (epa.gov).



Obr. 4.5.20 Pyramida vlivu znečištění ovzduší na zdraví (Zdroj: EPA, 2015)

Ozón má ve vysokých koncentracích dráždivé účinky, projevuje se zejména u osob s onemocněním dýchacích cest a u astmatiků. Na tento sekundární polutant je mimo jiné cílen varovný smogový regulační systém ČHMÚ.

4.5.3.12 Prodloužení pylové sezóny

Pylová alergie je zvýšená reakce imunitního systému jako odpověď na kontakt organismu s cizorodou substancí, alergenem (pyly, prach, plísně, roztoči, potraviny). Alergie je provázena zánětem, který se opakuje a může být spojena s uzavřením jemných dýchacích cest a nemožností výdechu, což je spojeno s dušením (astmatický záchvat a astma). Incidence těchto onemocnění v naší populaci narůstá. Změna klimatu přináší dřívější a delší dobu květu, časovou kumulaci kvetoucích alergenních druhů rostlin a stromů. To vede k vyšší incidenci exacerbace astmatu a nutnosti intenzivnější léčby.

4.5.4 Dopady predikovaných scénářů změny klimatu v ČR

Globální průměrná roční teplota vzduchu se mezi roky 1880 až 2018 zvýšila o přibližně 1 °C (IPCC, 2018). Projekce EURO-CORDEX modelů (Jacob et al., 2014) potvrzují nárůst teploty vzduchu v Evropě o 1,5–4,5 °C (scénář RCP4.5), resp. o 2,5–5,5 °C (scénář RCP8.5) na konci 21. století (2071–2100) vůči konci 20. století (1971–2000). Na většině evropského kontinentu by měly narůst roční úhrny srážek, nejvíce přitom v severní a severovýchodní Evropě. Naopak ve Středozemí by roční úhrny srážek měly poklesnout. Oproti dřívějším odhadům by oblast mírného nárůstu srážek měla být větší, než se dosud předpokládalo.

Podle projektu PESETA (2014) dojde v Evropě v období 2011–2040 v průměru k mírnému nárůstu úmrtnosti v důsledku tropických dní (další nárůst bude spojen s demografickými změnami a stárnutím populace). Výsledky budou znamenat přibližně navíc 25 000 úmrtí vztaženým k horku (JRC, 2009). Aklimatizací (fyziologickou aklimatizací a některými změnami v chování osob) může být významně snížen vliv klimatu. Trvalou aklimatizací za dekádu o jeden stupeň může být zachráněno před úmrtím přibližně 4000 lidí ročně. Ve stejné době dojde k nepatrnému snížení úmrtí za mrazových dní v zimě, které bude navýšeno ještě z důvodu demografických. V odhadu snížení úmrtí z chladu pro Evropu je velká variabilita, uvádí se 50000 až 100000 odvrácených úmrtí. Není jasné, zda populace bude inklinovat k vyšší úmrtnosti z tepla nebo z chladu a zda tedy nejsou odhady o odvrácených úmrtích nadhodnoceny. Čistý efekt klimatu na úmrtnost v tomto období znamená převážení benefitu odvrácených úmrtí z chladu nad letními ztrátami. Jde o odhad zatížený volbou funkce dávka/účinek. Jistě budou rozdíly místně specifické, ale vliv v Evropě je poměrně uniformní. Nevyšší počet úmrtí z tepla dosud byl v mediteránní oblasti, nejnižší pravděpodobný efekt v severských zemích (Norsko, Finsko). Funkce vztažené k území byly zjištěné ze specifických studií aplikovaných v konkrétní zemi. Největší klimatické změny způsobující úmrtnost byly zjištěny v zemích střední a východní Evropy (JRC, 2009). Pro Českou republiku byl vytvořen odhad očekávaného zvýšení úmrtnosti související se stresem z horka při nárůstu průměrné teploty o 1 °C na 8 až 33 % (Kyselý, 2004). V České republice se na základě všech dostupných experimentů zvýší roční teplota vzduchu do konce 21. století o 2,0 °C (RCP4.5) nebo o 4,1 °C v případě scénáře RCP8.5 a to ve srovnání s referenčním obdobím (1981–2010). Teplota bude v období 2021–2040 vyšší o 1 °C v porovnání s obdobím 1981–2010.

Rozpětí scénářů změny průměrné teploty k roku 2050 založených na simulacích klimatických modelů spolu s různými odhady změny úmrtnosti související se stresem z horka na jednotkové zvýšení průměrné teploty vede k rozpětí možné změny úmrtnosti v důsledku stresu z horka k roku 2050 o 7 % (dolní odhad změny klimatu i citlivosti populace) až 84 % (horní odhad změny klimatu i citlivosti populace). V žádném případě se tedy nejedná o několikanásobně zvýšení. Autoři předpokládají pro rok 2050 (při středním odhadu změny klimatu) za nejpravděpodobnější nárůst úmrtnosti o 10–15 %. Toto relativně optimistické zjištění rozhodně neznamená, že by mělo být omezeno úsilí dopady změny klimatu na úmrtnost způsobenou stresem z horka minimalizovat. V teplejším klimatu se také budou vyskytovat častěji horké letní sezóny podobné létu 2003, v nichž dopady na úmrtnost výrazně vybočují z dlouhodobého průměru (Kyselý, 2004). Podobně jako úmrtnost v důsledku horka se bude zvyšovat i hospitalizace a to ze všech důvodů.

Pro období 2070–2100 projekt PESETA dochází k závěru, že z důvodů horka zemře pravděpodobně při použití klima-specifické funkce cca 21,1 osob na 100 000 obyvatel. Pokud bude využita aklimatizace spolu se snížením senzitivity, sníží se počet úmrtí na 3,4 na 100 000. Jinou cestou za použití country-specifické funkce bylo předpovězeno, že z důvodů horka zemře pravděpodobně cca 21,3 osob na 100 000 obyvatel. Pokud bude využita aklimatizace spolu se snížením senzitivity, sníží se na 3,9 na 100 000. Při odhadech odvrácených úmrtí z důvodů chladu a za aklimatizace bude 3,7 zemřelých na 100 000 obyvatel. Analýza a odhad důsledku teplotních změn v letech 2070–2100 bude znamenat v absolutních číslech zvýšení pravděpodobných úmrtí v Evropě o 105 000 zemřelých osob za jeden rok (JRC, 2009). Aklimatizací (fyziologickou aklimatizací a některými změnami v chování osob) může být tento počet významně snížen až 5x. Trvalou aklimatizací za dekádu o jeden stupeň může dojít ke snížení na přibližně 20 000 úmrtí ročně. Ve stejné době analýza odhadu předpokládá významné snížení incidence úmrtí z chladu v zimě, které bude navýšeno z důvodu populačních a demografických změn. Vlivem změny teplot se pro Evropu odhaduje 86 000 až 184 000 odvrácených úmrtí z chladu (JRC, 2009).

Stejně byly odhadovány dopady na základě podmínek specifických pro jednotlivé země i navýšení incidence salmonelóz v Evropě. Pravděpodobně bude zvýšena incidence i ostatních střevních infekcí v důsledku tepla. Ve skladování, podávání a výrobě potravin však existují možnosti dodržování hygienických požadavků a jejich zvýšená kontrola, které rozšiřování střevních infekcí mohou zabránit podobně jako další sociálně ekonomický rozvoj (JRC, 2009).

4.5.5 Stanovení indikátorů

4.5.5.1 Indikátory klimatické

Z klimatických indikátorů, jež jsou zpracovány v samostatné kapitole, mají na danou prioritní oblast významnější vazbu tyto:

- Průměrná roční teplota
- Průměrná letní teplota
- Počet tropických dnů
- Délka a četnost vln veder
- Počet ledových dnů
- Počet dní se srážkami nad 20 mm
- Počet dní lesních požárů

Jako nejvýznamnější z těchto uvedených indikátorů pro oblast zdraví lze vyzdvihnout počet tropických dnů a jako ukazatel zátěže i délku a četnost vln veder. Tento je zde proto také z hlediska lidského zdraví podrobněji zhodnocen, tj. nad rámec informací uvedených v podkapitole zabývající se klimatickými indikátory.

4.5.5.1.1 Průměrný počet tropických dní v roce

Tento indikátor souvisí s předpokládanými projevy změny klimatu, kterým je nárůst průměrných teplot, nárůst průměrných teplot v jednotlivých obdobích roku a nárůst počtu dnů s mezními teplotami v průběhu roku, kterými mohou být nejen tropické dny, ale také tropické noci nebo letní dny. S výskytem těchto meteorologických jevů, jejichž počet bude v průběhu příštích desetiletí v ČR narůstat, souvisí také četnější výskyt řady zdravotních problémů obyvatel. Patří mezi ně zvýšená termická zátěž, dehydratace, zvýšená únava, zátěž oběhové soustavy, vyšší riziko infarktu a řada

dalších. S tímto souvisí samozřejmě také zvýšená úmrtnost nebo např. nižší pracovní produktivita. Souvisejícím jevem bývá také zvýšená vlhkost, která působení horka umocňuje.

4.5.5.2 Indikátory dopadové

Dopady změny klimatu ve vztahu ke zdraví lidí je možné sledovat formou absolutních počtů hlášených případů onemocnění, u kterých lze předpokládat souvislosti se změnou klimatu. Souvislost těchto onemocnění s predikovanou změnou klimatu je popsána v předchozích kapitolách, do souvislosti se změnou klimatu jsou dávána infekční onemocnění přenášená vodou, potravou, ovzduším, hlodavci, hmyzem. Přenos infekčních onemocnění je však určen i dalšími faktory, včetně sociálních, ekonomických, ekologických podmínek, přístupu k péči a imunitě. Proto tedy sledování těchto indikátorů navrhujeme doplňkově, nelze zde jednoznačně stanovit příspěvek změny klimatu:

- Počet potvrzených onemocnění v České republice přenášených hmyzem
- Počet hlášených případů střevních infekcí
- Počet endokrinně dependentních nádorů v krajích
- Počet vrozených vad v krajích
- Podíl nemocných diabetem v krajích

V případě malárie je nutno rozlišovat tzv. autochtonní a importovanou podobu. Střevní onemocnění, stejně jako nemoci přenášené hmyzem jsou onemocnění, která se povinně sledují a data jsou dostupná. Počet endokrinně dependentních nádorů v krajích, počet vrozených vad v krajích a podíl nemocných diabetem v krajích mohou souviset s příjmem látek s neuroendokrinním účinkem. Pravidelné statistiky nejsou vždy úplné (vrozené vady) a je nutné jim věnovat pozornost i ve zdravotnické sféře.

4.5.5.3 Indikátory zranitelnosti

- úmrtnost v sociálně vyloučených oblastech a úmrtnost v krajích pro kardiovaskulární nemoci a nemoci dýchacích orgánů
- kojenecká úmrtnost v sociálně vyloučených oblastech a kojenecká úmrtnost v krajích
- počet lékařů v sociálně vyloučených oblastech a počet v krajích na počet obyvatel

4.5.6 Vyhodnocení zranitelnosti vůči dopadům změny klimatu, identifikace nejzranitelnějších regionů v ČR

4.5.6.1 Vyhodnocení zranitelnosti vůči dopadům změny klimatu

Celá populace České republiky je zranitelná ve vztahu ke klimatickým změnám. Jde zejména o změny teploty jak v ročních průměrech, tak tropických teplot v letním období, které představují plošně působící faktor s významnými dopady. V populaci hraje úlohu její velikost a velikost citlivých skupin. Z obecného hlediska změny klimatu ovlivňují hlavní sociální a environmentální determinanty zdraví, jako dostupnost a kvalitu pitné vody, ekosystémy, zemědělství a produkci potravin, ekonomický rozvoj a migraci. Změna klimatu ovlivňuje základní podmínky, které člověk, stejně jako každý jiný živočich, potřebuje k životu – bezpečnost, mikroklima odpovídající jeho termoregulaci, kvalitu a dostatek pitné vody, kvalitu a dostatek potravy, přítomnost biologických determinant jeho zdraví, znečištění ovzduší, jímž jsou aerosolové částice a sekundárně vzniklý ozón.

Tropických dnů se v průměru za celou republiku objevuje jen několik za rok (v průměru 8 dnů ročně během období 1951–2010), ale v posledních letech pozorujeme jejich výrazný nárůst (obr. 2.5.24). Například v letech 2015 a 2018 se vyskytlo v průměru na celém území republiky kolem 30 tropických dnů (prostorově značně diferencováno), což je klimatickými projekcemi modelováno až pro konec tohoto století, a to podle pesimistického emisního scénáře RCP8.5. V letech 1961–1990 bylo pozorováno v průměru jen 4,4 tropických dní za rok. V období 1981–2010 je již výrazný nárůst o 70 % na 7,6 dní za rok. V posledním období 2001–2016 bylo zaznamenáno v průměru za celou ČR 10,7 tropických dní za rok, což je více než dvojnásobek oproti normálovému období.

V nejbližší budoucnosti (2021–2040) nedojde (podle současných modelových výstupů) k výraznému nárůstu počtu tropických dnů. Hodnoty odpovídají situaci v posledních letech. Větší rozptyl v predikci modelů a jinými emisními scénáři je pozorován na konci století. Emisní scénář RCP4.5 předpovídá téměř dvojnásobný počet tropických dnů oproti období 1981–2010, RCP8.5 je v tomto případě ještě více pesimistický. Předpovídá, že by mělo dojít k nárůstu počtu tropických dní na troj až čtyřnásobek

současného průměru (obr. 2.5.24). To by v praxi znamenalo, že situace z let 2015 a 2018 by se opakovaly prakticky každoročně a nebyly by pouze výjimkou.

4.5.6.2 Identifikace nejzranitelnějších regionů

Ohroženi jsou obecně nejvíce senioři nebo nemocní lidé. Geograficky nejvíce dotčenou populací jsou v našich podmínkách hlavně obyvatelé velkých měst, tedy většina obyvatelstva České republiky. Důvodem je stavební řešení měst a velká koncentrace zpevněných povrchů, aj., které způsobují tzv. tepelný ostrov města, jež působení vysokých teplot umocňuje ještě více. Obecně platí, že čím větší je velikost města, tím vyšší je tepelný ostrov města. Život v panelových domech zvyšuje riziko. Navíc v intravilánech se často nachází i zranitelnější část populace, sociálně vyloučení. V některých městech existuje i více takových populačních skupin. Dopady vysokých teplot na úmrtnost a hospitalizaci lze však očekávat na celém území České republiky.

V rámci studie „*Zpřesnění dosavadních odhadů dopadů klimatické změny v sektorech vodního hospodářství, zemědělství a lesnictví a návrhy adaptačních opatření*“ (Pretel, 2011) nebyl vývoj počtu tropických dní hodnocen podrobněji geograficky v rámci jednotlivých částí ČR. Problematika tropických dnů a predikce jejich vývoje však byla řešena v rámci projektu „*Výstupy regionálních klimatických modelů na území ČR pro období 2015 až 2060*“ (Belda, 2015). Z tohoto projektu jsou zde uvedeny predikce.

Nejvyšší zvýšení počtu tropických dnů je indikováno na jižní Moravě (přibližně mezi Znojmem a Hodonínem). Mezi regiony s výraznějším nárůstem počtu tropických dnů dále patří oblast České tabule, širší okolí Vltavy táhnoucí se z jižních Čech na sever, Plzeňsko a Hornomoravský úval a taky širší okolí Ostravy. Naopak mezi oblasti s minimálním nárůstem počtu tropických dnů patří výše položené oblasti Česka a pochopitelně horské oblasti – tam se pravděpodobně ani v polovině století ještě tropické dny objevovat nebudou (zejména v polohách nad 1300 metrů). V případě dopadů tropických teplot je zásadním předpokladem aplikace adaptačních opatření na centrální i lokální úrovni. V prevenci dopadů změny klimatu na zdraví je zejména nutná adaptace na úrovni komunity a zajištění personální péče u rizikové populace. K tomu patří i vzdělávání populace a osob, i odborníků, kteří se o ni starají.

Exponovaná populace bude v budoucnosti zranitelnější. Podle střední varianty projekce demografického vývoje zpracované Českým statistickým úřadem by měli lidé starší 65 let v roce 2030 tvořit 22,8 % populace, v roce 2050 pak 31,3 %, což představuje přibližně 3 miliony osob. V roce 2007 tvořily osoby starší 65 let 14,6 % obyvatel České republiky. Relativně nejrychleji se přitom bude zvyšovat počet osob nejstarších. Podle demografické prognózy zpracované Českým statistickým úřadem bude v roce 2050 žít v České republice přibližně půl milionu občanů ve věku 85 a více let (ve srovnání s 124 937 v roce 2007). K nárůstu senzitivity populace dojde i z důvodů přibývání alergiků v populaci, přibývání nemocných s nemocemi kardiovaskulárními, endokrinními a metabolickými, s chorobami duševními vyžadujícími péči okolí. U všech skupin lze očekávat zhoršování zdravotního stavu v důsledku klimatických změn a nutnost akutního zabezpečení v případě náhlých extrémních změn počasí. Tyto populační skupiny budou muset být na takovou situaci připraveny a v prevenci informovány stejně jako zdravotnický personál a sociální služby.

Změna klimatu ohrožuje zejména tyto skupiny obyvatel:

- osoby s nevyvinutou nebo změněnou termoregulací (senioři, děti)
- chronicky nemocné (oběhové a srdeční nemoci, dýchací nemoci, nemoci pohybového aparátu, endokrinní nemoci, duševně a nervově nemocní, invalidní osoby)
- osoby žijící v sociálně vyloučeném území, osamělí obyvatelé
- přistěhovalci, kteří neznají české prostředí, reálie a jazyk
- některé profese, realizované ve venkovním prostředí, realizované ve vnitřním prostředí bez klimatizace
- osoby žijící v území, kde není dostupná lékařská péče

Sociální vyloučení lze definovat i v souladu se zahraničními pracemi, např. Steinert a Pilgram (2003) jako postupnou a stupňující se exkluzi z plné participace na sociálních, materiálních i symbolických zdrojích produkovaných, sdílených a konzumovaných širokou společností k zajištění dobrých životních podmínek, organizaci sociálního života a k účasti na rozhodování. Obecně lze říci, že sociální vyloučení nastává v okamžiku, kdy člověk čelí komplexu problémů, jako jsou nezaměstnanost, diskriminace, nízká kvalifikace, nízké příjmy, špatná kvalita bydlení, špatný zdravotní stav či rozpad rodiny. Podíl osob ohrožených chudobou nebo sociálním vyloučením v České republice činí 14,6 %.

Ohroženo chudobou či sociálním vyloučením je v celém Česku přibližně 1,5 milionů lidí, a z toho téměř 100 000 dětí do šesti let a bezmála 180 000 lidí starších 65 let. Sociálně vyloučených osob je 95 000 až 115 000. Celkem bylo v 297 městech a obcích identifikováno 606 sociálně vyloučených lokalit (Čada et al, 2015). Existuje nutnost vzdělávání v adaptaci ke změnám klimatu a stejně jako znalost náležitých intervencí k prevenci dopadů klimatického zdravotního efektu, zejména pro citlivé populační skupiny. Zdravotníci mohou často špatně identifikovat svoje postavení v prevenci dopadů změny klimatu. V systému ochrany zdraví se nemusí vidět. Klíčovou roli hraje zdravé a bezpečné životní prostředí na komunitární úrovni. Preventivní opatření z adaptačních plánů musí být zakomponována do cílů a denní praxe veřejného zdraví. Neznalosti klimatických změn a vlastního postavení v prevenci může znamenat vážnou hrozbu v naplňování komunitárních adaptačních plánů (Shezi et al., 2019).

4.5.7 Prognóza – snížení citlivosti a posílení odolnosti

Zvýšení teploty v létě v Evropě roku 2003 způsobilo zvýšení počtu úmrtí 4–5x nad očekávaný počet v nejhorších možných očekávaných případech v několika městech, případně způsobilo 70 000 dodatečných úmrtí ve 12 evropských městech. Excesivní a narůstající ohrožení zdraví pro každý stupeň nad prahovou hodnotu může zvýšit počet úmrtí o 2–5 %. Změny klimatu, pro které je očekáván nárůst intenzity a frekvence klimatických extrémů navyšuje nebezpečí pro lidské zdraví. Po roce 2050 by se horké vlny mohly objevovat namísto jednou za 20 let častěji a to každých 2–5 let. Populační růst a stárnutí populace a zároveň urbanizace zvyšují počet obyvatel vystavených vysokému riziku. Města mohou fungovat jako tepelné ostrovy a tím se i zdravotní riziko působení horkých vln zvyšuje. Bez akčního plánu pro horké vlny na republikové a komunitní úrovni se patrně mnoho nezmění. Zde bude nutné adaptovat výuku zdravotnických pracovníků tak, aby se zaměřila na léčbu a prevenci u seniorů s kardiovaskulárním a cerebrovaskulárním onemocněním. Podobně je nutné vyškolit sociální pracovníky, hasiče a policii. Zejména půjde o nutnost přípravy terénních pracovníků, obvodních lékařů a jejich sester, ale také sociálních pracovníků, policistů a hasičů, podobně i charitativních organizací a občanských sdružení.

Prevence zde bude cílená jak na senzitivní, tak na ohrožené skupiny. Kombinace obojího lze najít v místech sociálního vyloučení, kde Čada a spolupracovníci (2015) prováděli šetření a upozorňují na stárnutí obyvatel v těchto lokalitách. Nárůst úmrtnosti na každý zvýšený stupeň je 1–3 %. Změna teploty zvláště ohrožuje pacienty trpící dýchacími onemocněními jako je astma, respirační infekce nebo chronická obstrukční plicní choroba. Zatímco zvýšení teploty o 1 °C zvyšuje úmrtnost v celé populaci o 1 až 3 %, mezi pacienty s dýchacím onemocněním už o 6 %. Jednotlivé indikátory se za vzrůstající teploty budou měnit. Nebude to však pouze negativní vliv. Počet zemřelých, nebo úmrtnost za mrazových dnů bude ubývat spolu se zvyšující se teplotou v chladném období roku. Kyselý (2010) zjistil, že se to týká zejména mužů. Ohrožené skupiny se to nemusí vůbec dotknout. Skupiny senzitivní, tj. osob, které si nejsou vědomy nutnosti být v příbytku za chladu, se to bude dotýkat přece jen méně, protože chladových vln bude ubývat. Prevence se týká sociální péče o senzitivní skupinu bezdomovců, jejich evidence, ochrana před chladem a další sociální zásahy. Přestože většina bezdomovců žije ve velkých městech, i v menších obcích se tito lidé musí chránit.

Prevencí před přímým působením slunečních paprsků je znalost účinků slunečních paprsků a ochrana před nimi. Nádorová onemocnění, předčasné stárnutí kůže (*Cutis vagantium*, kůže pobudů), zákal oční čočky, jsou nemoci, kterým lze předejít. Technickou prevencí je tvorba přívětivého prostředí ve městech, kde je dostatečně zeleně a stínu, s ní související. Zeleň přináší i příznivé mikroklima snižující tepelnou zátěž. Osobní ochranou je nošení širokých klobouků a přikrývání kůže oděvem.

Pro venkovní koupání je zajištěna dostatečná prevence prostřednictvím krajských hygienických stanic a monitoringu koupacích vod, který probíhá podle Vyhl.135/2004 Sb., kterou se stanoví hygienické požadavky na koupaliště, sauny a hygienické limity písku v pískovištích venkovních hracích ploch v aktuálním znění a podle požadavků §34 Vodního zákona. Požadavky vyhlášky na jakost koupací vody jsou převzaty ze směrnice 76/160/EEC o kvalitě vod pro koupání (dále jen směrnice) a dále jsou v některých směrech rozšířeny (např. při sledování sinic). Potřebné je i vzdělávání koupajících se.

Infekční onemocnění přenášená zažívací cestou nemusí být problémem ani v současnosti, budou-li dodržována hygienická pravidla při výrobě, transportu, distribuci, prodeji, uchovávání a podávání potravin, zejména nutnosti uchování v chladu a zabránění vniknutí a pomnožení choroboplodných zárodků. Dostatečnou technickou prevencí je dodržování evropského potravního práva. Minimalistickou prevencí je vynechání podezřelých potravin nejasného původu z jídelníčku za horkých dnů.

Po přívalových deštích v prodlouženém teplém období bude docházet k výskytu subtropických komárů přenášejících nemoci jako Chikungkunya, západonilskou horečku a malárii. Pokud zde budou nemocní, na kterých budou komáři sát, budou je přenášet na ostatní osoby. Prevencí je zamezování nekontrolovanému množení komárů a jejich monitoring. Osobní ochranou je používání repelentů, moskytiéra, pokrytí pokožky, kde by mohli komáři parazitovat.

Očkování proti klíšťové encefalitidě je dostupné. Zatím dostupné není očkování proti borelióze. Preventivním opatřením pro populaci je monitoring klíšťat s informacemi pro obyvatele, identifikace borelií a viru v klíšťatech. Osobní ochranou jsou repelenty, pokrývání holé pokožky rukávy, nohavicemi. Obezřetně by se měli lidé chovat k nalezeným ježkům, drobným i velkým savcům, na kterých mohou klíšťata parazitovat.

Koncentrace pesticidů patrně budou v pitné vodě ještě dlouho přetrvávat. Zde je možná pouze technická a komunální prevence a to úprava pitné vody, při které dojde k odstranění pesticidů. Dostatečná úprava může také pomoci k odstranění organického znečištění z eutrofizace jako prekurzoru chlór organických látek.

Lze předpokládat, že budoucí adaptace na klimatické změny přinese zejména změnu požadavků na zdravotní služby, které se budou muset vyrovnávat s vyšší zátěží populace nemocemi (WHO, 2019b).

4.5.8 Souhrn – What if analýza

Tab. 4.5.2 Zdraví a hygiena, souhrnná what if analýza

What if …? Co se stane, v důsledku …?	mechanismus působení	… za uvažovaného stavu/podmínek systému/oblasti	Předpokládané negativní dopady/rizika	Pravděpodobnost scénáře	Závažnost Dopadu	Zranitelnost systému	Subjektivní riziko
otázka				**(1–nejnižší, 5–nejvyšší)**			
Zvyšování průměrné teploty vzduch	Zvyšování četnosti horkých vln – působení termické zátěže v důsledku vysokých denních teplot a zároveň vysokých teplot v noci	ve velkých městských aglomeracích, kde byly zjištěny, modelovány nebo se předpokládají tepelné ostrovy a v sociálně vyloučených oblastech	zvýšení úmrtnosti a hospitalizace pro kardiovaskulární a srdečně cévní nemoci v populaci starší 65 let, u chronicky nemocných a dětí u sociálně vyloučených osob, v sociálně vyloučených oblastech a osob, neschopných komunikovat	5	3	5	**75**
		Harvesting efekt u venkovské populace	u sociálně vyloučených osob, v sociálně vyloučených oblastech a osob, neschopných komunikovat, může vést k vymizení trvalého bydlení v některých obcích	5	3	5	**75**
	Pomnožování choroboplodných zárodků v potravinách a vodě	V případě migrace osob z jihu nebo východu při neznalosti hygienických zásad vysoké nebezpečí	Zvýšená incidence alimentárních onemocnění až epidemie	3	2	5	**30**
	Ohrožení povrchových vod toxickými řasami a sinicemi	Kožní onemocnění rekreantů po koupání, zejména dětí	Zvýšení spotřeby dermatologik a antiflogistik při toxických a alergických reakcích	4	3	5	**60**
	Množení rezervoárů zoonóz, rozšiřování míst výskytu hlodavců a dalších rezervoárů	Množení klíšťat	Klíšťová encefalitida, borelióza, babessióza	4	3	5	**60**
	Zlepšení podmínek pro	Množení komárů	Weilova choroba, West-Nile	4	2	5	**40**

What if …? Co se stane, v důsledku …?	mechanismus působení	… za uvažovaného stavu/podmínek systému/oblasti	Předpokládané negativní dopady/rizika	Pravděpodobnost scénáře	Závažnost Dopadu	Zranitelnost systému	Subjektivní riziko
otázka				**(1–nejnižší, 5–nejvyšší)**			
	vodní faunu	včetně subtropických	encefalitida, Chikungkunya, malárie, usutu				
Zvýšená pravděpodobnost výskytu dlouhodobého sucha	Ohrožení zásobování pitnou vodou	za současné úrovně znečišťování vod	Dopad na osobní hygienu, snížení komfortu bydlení	3	5	5	**75**
			Možnost vzniku epidemií	4	3	5	**60**
			Ohrožení zejména ve vyloučených oblastech kde není kontrolováno přistěhovávání zejména sociálně slabých obyvatel nebo migrantů z ještě sociálně slabších míst Evropy	4	3	3	**36**
			Vysidlování území, ztráta zaměstnání	3	2	5	**30**
			Změna využití území	3	3	5	**45**
	Ohrožení kvality vody v důsledku dlouhodobého používání pesticidů	dlouhodobý negativní efekt na zdraví, trvalá poškození	chronická nemocnost, diabetes a další endokrinní choroby	2	2	5	**20**
			vrozené vývojové vady	2	2	5	**20**
			chronická onemocnění nervová, duševní	2	2	5	**20**
			nádorová onemocnění	2	2	5	**20**
	Zvýšení generace ozónu a ultrajemných částic	Zvýšená expozice ozónu a ultrajemným částicím	Zvýšení hospitalizace, zhoršení průběhu dýchacích nemocí, zhoršení kardiovaskulárních nemocí, vliv na úmrtnost	4	2	5	**40**

What if …? Co se stane, v důsledku …?	mechanismus působení	… za uvažovaného stavu/podmínek systému/oblasti	Předpokládané negativní dopady/rizika	Pravděpodobnost scénáře	Závažnost Dopadu	Zranitelnost systému	Subjektivní riziko
otázka				**(1–nejnižší, 5–nejvyšší)**			
	Zvýšení prašnosti z ploch, skládek, složišť, dolů	Zvýšená expozice aerosolovým částicím	Zvýšení hospitalizace, zhoršení průběhu dýchacích nemocí, zhoršení kardiovaskulárních nemocí, vliv na úmrtnost	4	2	5	**40**
Potenciální změny míry nebezpečí povodní a přívalových povodní	Změny teploty vzduchu (zejména v zimním a jarním období) a změny ve srážkovém režimu povedou k odpovídající změně povodňového režimu na území ČR. Zatímco u zimních, resp. jarních povodní je pravděpodobný pokles jejich typické velikosti a objemu, v letním období jsou dopady velmi nejisté. Bude totiž proti sobě působit četnější výskyt dnů s vyššími (přívalovými) srážkami a úhrn takových epizod a spíše menší "počáteční" nasycení v důsledku výskytu delších bezesrážkových období a vyššímu výparu. Nejistý je i vliv změn vegetace a vegetačních fází (např. dřívější sklizně a tím obnažení půdního povrchu).	Povodně, přívalové lijáky, sesuvy půdy	Zvýšené nebezpečí ohrožení života a majetku obyvatele při záplavách, psychický stres	4	3	5	**60**
		Množení komárů, migrace subtropických a tropických komárů	Zvýšené nebezpečí po záplavách, vliv uveden výše	4	2	5	**40**
		Množení hlodavců po povodních	Zvýšené nebezpečí zoonóz-listerióza	4	2	5	**40**
Prodloužení teplého období roku	Zvyšování četnosti dnů s vyššími teplotami	Prodloužení pylové sezóny	častější astmatické záchvaty a jiné alergické projevy, častější medikace nezbytná	5	3	5	**75**

4.6 URBANIZOVANÁ KRAJINA

Mezi hlavní projevy změny klimatu v městském prostředí patří zvýšení teplot, povodně a vydatné srážky a do budoucna i nedostatek vody.

Zvýšení teplot bude mít vliv na stav povrchových i podpovrchových vod (množství, kvalitu, a dostupnost vody); zhorší se stav ovzduší (vlhkost, kvalita). To bude mít vliv jednak na obyvatele (zdraví, pohoda); stavební objekty a veřejnou infrastrukturu (poruchy a selhání sítí dopravní i technické infrastruktury) spolu s dopady na hospodářství (ohrožení výroby, služeb a zásobování a cestovního ruchu a přírodní plochy a prvky (zhoršení závlah a údržby zeleně, zhoršení stavu a kvality vodních ploch). V důsledku toho může dojít k ovlivnění sociálně-ekonomických jevů ve společnosti (psychologické dopady, zvýšená kriminalita a násilí atd).

Povodně způsobují materiální škody na stavebních objektech, veřejné infrastruktuře a majetku. To ovlivňuje přímo část obyvatelstva (evakuace, náhradní ubytování, zdraví, pohoda), stavební objekty a veřejnou infrastrukturu (vyřazení a poruchy části sítí dopravní a technické infrastruktury, omezení nebo ztráta funkčnosti objektů), s čímž souvisejí dopady na hospodářství (omezení nebo zastavení výroby, omezení služeb a dopravní obsluhy omezení cestovního ruchu). Vydatné srážky lokální ohrožení urbárbáního prostředí s obdobnými důsledky; závažnost ohrožení zvětšuje obtížnost předpovědí těchto událostí.

Nedostatek vody a výskyty sucha budou způsobeny nejen zvýšením teploty vzduchu, ale i nedostatkem srážek a vyšším výparem. Nebude tak dotčeno jen množství vody, ale i její kvalita. Hrozí vyčerpávání zdrojů podzemních vod (v některých případech i z důvodu změn poměrů podzemních vod vyvolaných vrty pro tepelná čerpadla). Povrchové vody s minimální hladinou v tocích, kdy se zvyšuje teplota vody, zaznamenají vyšší koncentrace znečišťujících látek v důsledku menšího zředění. To bude mít vliv na nedostatečnou dodávku vody z veřejného vodovodu pro obyvatelstvo, výrobu, služby a cestovní ruch spolu s dopady na zdraví (bakteriální a virová kontaminace spojené s nedostatkem a vyšší teplotou vody), výrobu energie, kdy nedostatek chladicí vody omezuje produkci elektrické energie, obdobně jako nízká hladina vody v nádržích a tocích omezuje výrobu energie ve vodních elektrárnách. Nedostatek vody v kombinaci s dalšími faktory (zátěž v podobě znečištění prostředí, prostorové a půdní podmínky) mohou ohrožovat a ztěžovat údržbu přírodních ploch ve městech.

4.6.1 Úvod a kontext

K roku 2017 bylo v České republice jedno město nad 1 milión obyvatel, 6 měst nad 100000 obyvatel, 130 měst nad 10 000 obyvatel a 274 měst s více než 5000 obyvatel. Současná sídelní struktura České republiky se vyznačuje poměrně značnou roztříštěností, která se odráží i prostřednictvím existence velkého počtu relativně malých obcí. Více než 5500 obcí na území ČR má počet obyvatel menší než 1 000 (77 % z celkového počtu všech obcí) a k roku 2017 žilo v těchto malých obcích pouze 17 % obyvatelstva ČR. Česko má v Evropě k roku 2017 nadprůměrnou hustotu zalidnění – 135 obyvatel/km², což je řadí na 11. místo v Evropě. Průměrná hodnota EU 28 je 118 obyvatel/km². Úplně nejnižší hustotu mají Prachaticko (37 obyvatel/km²) a Českokrumlovsko (38 obyvatel na km²). Nejnižší hustotu zalidnění má kraj Vysočina (75 obyvatel/km²). Naopak nejvyšší hustotu zalidnění mají kromě čtyř městských okresů (Praha, okres Brno-město, okres Ostrava-město, okres Plzeň-město) průmyslové oblasti jako okres Most, Teplice a Ústí nad Labem, a dále okres Jablonec nad Nisou, okres Kladno, okres Karviná, Praha-východ a Praha-západ, které mají přes 200 obyvatel/km².

Urbanizovaná krajina, tedy krajina sídel, zahrnuje zastavěné plochy včetně veřejných prostranství a ploch veřejné zeleně, průmyslových a logistických areálů a rekreační zástavby, ale také dopravně-technické infrastruktury (síť silnic, dálnic a železnic, plavební kanály), vodních nádrží a dalších lidskou činností přeměněných území. Krajina sídel je krajina lidskou činností nejvýznamněji přeměněná. V rámci České republiky charakterizuje sídelní krajinu především vysoká hustota obyvatel, vysoký podíl zastavěného území, vysoký podíl zpevněných a nepropustných ploch, vysoká koncentrace hospodářské činnosti a služeb (vysoký podíl pracovních míst) a vysoká koncentrace infrastruktury (vč. sítí). Navíc zde převládá trend postupného velikostního rozrůstání urbanizované krajiny. Značné zastoupení zpevněného území ovlivňuje celkové mikroklima území a způsobuje přehřívání povrchu, vyšší teploty vzduchu, zvýšenou výparnost, rychlý odtok srážkových vod, prašnost, znečištění ovzduší, atd.

Menší podíl ekologicky stabilních ploch, sídelní zeleně, vodních ploch a jejich nízká propojenost v sídelní krajině vede ke snížené adaptační schopnosti sídelní krajiny na změnu klimatu. Zpevněné plochy sídel vytváří lokality, kterou jsou náchylnější k povrchovému přehřívání a mají větší potenciál svým energetickým působením ovlivňovat i okolí vzduchové hmoty, čímž zvyšují i zranitelnost obyvatelstva. S ohledem na zvýšenou koncentraci obyvatel ve městech, je nutné jim v případě klimatických změn věnovat zvýšenou pozornost.

4.6.2 Dopady predikovaných scénářů změny klimatu v ČR

Probíhající změny klimatu představují rizika pro města a urbanizovanou krajinu. Extrémní povětrnostní jevy, jako jsou vlny veder, povodně a sucho, probíhají v celém světě, střední Evropu nevyjímaje. Dopady jsou zřetelné a jsou provázány se socio-ekonomickými změnami.

Zastavěné plochy ve městě vytváří specifické mikroklima v důsledku postupného nahrazování propustných ploch a přirozené vegetace umělými povrchy. To ovlivňuje hospodaření se srážkovými vodami, teplotu vzduchu, směr a sílu větru a množství srážek.

4.6.2.1 Ovlivnění teplotního režimu ve městech

Podstata vytváření **městských tepelných ostrovů – MTO** (Urban Heat Island, UHI) vyplývá z uspořádání a hmotové struktury měst; s tím souvisí charakteristické rysy klimatu.

Pro klima měst je typické, že procesy ve spodních vrstvách atmosféry jsou výrazným způsobem formovány vlastnostmi aktivního povrchu, především radiačními a tepelnými, ale i vlastnostmi aerodynamickými (drsností) či vlhkostními (propustností). Aktivním povrchem se rozumí povrch, na kterém dochází k transformaci zářivé energie v jiné druhy energie.

Pro analýzu zranitelnosti a zdrojů rizik souvisejících se změnou klimatu je nezbytné charakterizovat procesy a podmínky městského klimatu. Dále upraveno podle: Víceúrovňová analýza městského a příměstského klimatu na příkladu středně velkých měst, Projekt Grantové agentury ČR č. 205/09/1297 Klima Brna – víceúrovňová analýza městského klimatu (Dobrovolný, 2012).

K formování uvedených vrstev a specifického klimatu měst přispívá různou měrou řada faktorů, ke kterým se řadí především tyto (Oke 1981):

- Tepelné a radiační vlastnosti aktivních povrchů významně ovlivňují intenzitu pohlcování a odrazu krátkovlnného elektromagnetického záření, a emitování záření dlouhovlnného; rozhodujícím faktorem pro formování městského klimatu je ve většině případů charakter aktivního povrchu (Oke 1997).
- Nepropustný charakter aktivních povrchů způsobuje zvýšený odtok srážek a snížení výparu a vlhkosti vzduchu; pro formování městského klimatu je podstatné především zvýšení celkové plochy aktivních povrchů, na kterých dochází ke složitým procesům transformace energie opakovaným odrazem záření.
- Geometrické upořádání aktivních povrchů zvyšuje jejich celkovou plochu a přispívá k značnému podílu ploch s vertikální orientací, tím dochází k vytváření tzv. uličních kaňonů a k vysoké drsnosti povrchu. V důsledku to znamená, že sluneční záření do určitých prostor během dne nedopadá; naopak v noci může být v důsledku zastínění oblohy výrazně omezen proces dlouhovlnného vyzařování z těchto lokalit. Vliv geometrie zástavby je v urbánní klimatologii charakterizován poměrem mezi průměrnou výškou budov a jejich vzájemnou vzdáleností tzv. height-to-width ratio – H/W, který vyjadřuje míru hustoty zástavby, nebo stupněm pokrytí oblohy okolními překážkami tzv. sky view factor – SVF (Svensson 2004; Unger 2004), který charakterizuje těsnou závislost na teplotních poměrech dané lokality.
- Znečištění atmosféry související s výskytem polutantů v ovzduší a zvýšeným výskytem kondenzačních jader; produkce znečišťujících látek modifikuje pozitivními či negativními vazbami roli procesů souvisejících s tepelnými a radiačními vlastnostmi povrchů.
- Produkce antropogenního (odpadního) tepla; celkový objem antropogenního tepla je generován třemi složkami 1. budovami, 2. mobilními zdroji (dopravou) a 3. obyvatelstvem (Sailor a Lu 2004). Každá složka souvisí s počtem a hustotou obyvatelstva.

Podle Oke (1973) platí empirická souvislost mezi velikostí populace měst a intenzitou MTO:

Maximální **zjištěná intenzita MTO** se zvyšuje lineárně v závislosti na logaritmu populace měst; MTO (v °C) se zvyšuje podle vzorce:

Intenzita MTO (°C) **= 0,73log$_{10}$(pop)**

kde pop označuje populaci. To znamená, že obec s počtem obyvatel 10 má teplotní gradient (intenzita MTO) 0,73 °C, vesnice se 100 obyvateli 1,46 °C, město s počtem obyvatel 1000 lidí 2,2 °C a velké město s milionem lidí 4,4 °C. MTO bude ovlivněn globálním zvyšováním teploty, která souvisí s geografickou polohou. Obecně lze usuzovat, že města s počtem obyvatel méně než 10.000 mají venkovský charakter a zásahy do urbánní struktury nebudou nezbytné (Peterson 2003).

Studie Ward et al. (2017) prokázala význam tepelného ostrova u měst v Evropě (včetně ČR na úrovni okolo 0,4 K u měst o studovaných velikostech 100 000 – 1 mil. obyvatel). Z hlediska klimatických oblastí v Evropě pak právě chladnější studovaná území (včetně ČR) vykazují relativně větší vliv městského tepelného ostrova než v teplejších částech Evropy.

Poměrně nedávno se začal klást důraz směrem k modelování prostorového rozložení MTO s využitím parametrů (charakteristik) „landuse“. Parametry využití a geometrické vlastnosti zastavěného území (např. SVF) jsou specifikovány jako typické proměnné (Bottyán a Unger 2003); Bottyán et al. 2005; Unger 2006; Montaveza et al. 2008). Ve zpracovaných studiích je často průměr maximální intenzity MTO nebo střední intenzity MTO považován za závislou proměnnou právě vzhledem k rozdílnému využití a geometrickým vlastnostem zastavěného území, na rozdíl od odvozené **intenzity MTO max**, jak je definována podle Oke (1973). Např. Theeuwes et al. (2017) pro severozápadní Evropu nalezli negativní korelační vztah mezi intenzitou tepelného ostrova města a parametry podílu vegetace a velikostí SVF.

MTO max vyjadřuje teplotní gradient MTO ve °C vůči okolnímu území, který souvisí s velikostí populace města, kap. 4.6.2.2.2; tedy že např. v případě vlny veder budou negativní vlivy ve městech působit s o to větší intenzitou, oč větší je populace města koncentrovaná v zastavěném území a s tím související charakter prostředí, přičemž teplota se vlivem klimatické změny ještě zvýší, a to podle geografické polohy měst, obr. 4.6.3. Z toho vyplývá, že intenzita MTO max je hodnota určující úroveň zranitelnosti města, přičemž lze očekávat, že v různých lokalitách města mohou být projevy MTO odlišné.

4.6.2.2 Potenciální dopady změny klimatu

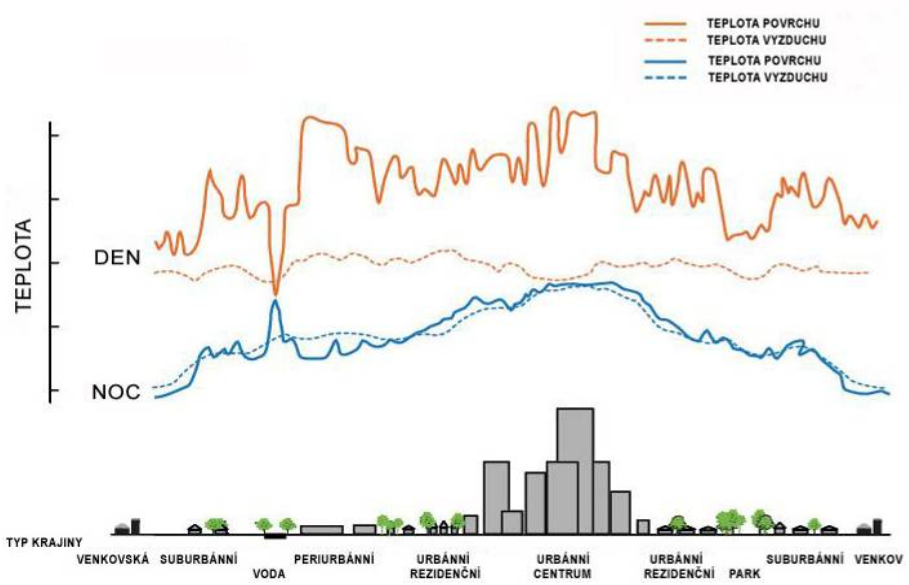
4.6.2.2.1 Extrémní teploty

Predikované scénáře změny klimatu budou mít významný vliv na klima měst v ČR zejména v kontextu empiricky doložené zákonitosti, že město vytváří městský tepelný ostrov. MTO ve srovnání s venkovským prostředím generuje zvýšenou teplotu vzduchu. Rozdíl povrchové teploty ve dne mezi urbanizovaným územím a venkovskými oblastmi se pohybuje v rozsahu 10–15 °C; rozdíl povrchové teploty v noci je typicky menší 5–10 °C (Oke T. R. 1982). Podle scénářů změn klimatu se teplota v MTO může zvýšit o 2–4 °C. Celkové zvýšení teploty o 5–8 °C může mít nejen v případě vlny veder vážné dopady na život ve městech. Dokonce i relativně malé město (do 10 tis. obyvatel) může za určitých podmínek (geografická poloha, specifické uspořádání ploch, hmotové struktury apod.) očekávat značné negativní vlivy MTO (Steeneveld et al. 2011).

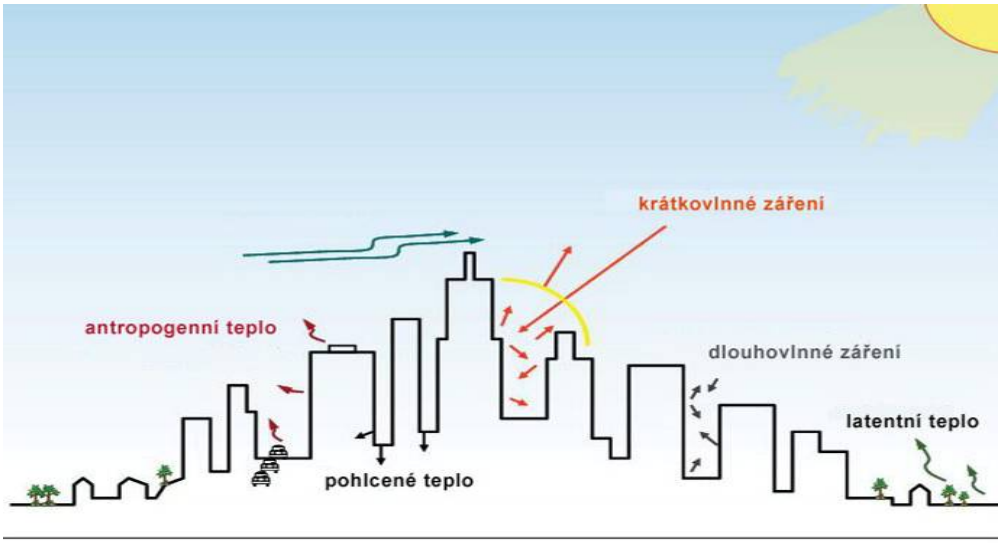
Pro analýzu zranitelnosti a zdrojů rizik souvisejících se změnou klimatu v ČR v prostorech odpovídajících charakteru urbanizované krajiny je nezbytné vymezit předmět analýzy a současně základní pojmy, ke kterým se vztahují dopady rizika související se změnou klimatu. Pro účel této studie se vymezuje předmět analýzy „Urbanizovaná krajina“ takto:

Urbanizovaná krajina je součást kulturní krajiny, jejíž vlastnosti vykazují významnou míru civilizačních složek – krajina městská (urbánní), příměstská (periurbánní, suburbánní). (Principy a pravidla územního plánování ÚÚR – odvozeno)**.**

Pro analýzu zranitelnosti a zdrojů rizik souvisejících se změnou klimatu je pak rozhodující taková struktura území, ve které se formují a jsou zkoumány vzájemné souvislosti projevů změny klimatu, umělých povrchů a vlivy na obyvatelstvo v sídelním útvaru**.**



Obr. 4.6.1 Přehřívání lokalit s umělými a nepropustnými povrchy (Zdroj: Voogt 2000)



Obr. 4.6.2 Energetická bilance povrchů města (Zdroj: Sailor 2002)

4.6.2.3 Projevy změny klimatu ovlivňující města

Mezi hlavní projevy změny klimatu, které mají zvlášť významný vliv na města a jsou zdroji rizik, patří:

- délka a četnost vln veder,
- povodně,
- délka období sucha.

4.6.2.3.1 Vlny veder

Urbanizace a lidské činnosti v zásadě mění dopad energie ze slunce, která je absorbována povrchem, ukládá se do budov a později se uvolňuje do okolí. Chladicí účinek přírodních povrchů je nahrazen absorbováním tepla do materiálů, jako je beton, asfalt, kámen apod. To znamená, že intenzita vln veder ve městech je ovlivněna městskou strukturou zástavby s nedostatkem propustných ploch, zeleně a vodních ploch**.** (Arnfield 2003). Nejvíce přehřívané části ve městech a obcích jsou obecně ty s četnými vysokými budovami, bez zeleně a včetně oblastí generujících velké množství antropogenního tepla. Zvláštní úlohu v interakci mezi městskou zástavbou a počasím má vítr, a to nejen proto, že snížená rychlost větru obecně zvyšuje působení MTO (Wilby 2008), ale také proto, že takzvané "větrné cesty" mohou nabídnout příležitost k provětrávání měst. Městské oblasti ukládají více

tepla během dne než venkovské oblasti a následně je uvolňují. Většina lidí v Evropě žije ve městech s vysokou hustotou populace. Počet obyvatel měst se bude v blízké budoucnosti (UN 2017) dále zvyšovat. Některé skupiny obyvatel jsou citlivější na teplo než ostatní. Zvláště důležitá skupina obyvatel pokud jde o citlivost vůči teplu, jsou občané ve věku 65 let a více. Tato populační skupina v současné době tvoří asi 19 % z celkového počtu obyvatel Evropy (rovněž 19 % z celkového počtu obyvatel ČR), ale dá se očekávat, že tento podíl vzroste na 30 % do roku 2060. Podíl lidí ve věku 80 roků nebo starší (EU28 5,4 % v roce 2016) bude v roce 2080 více než dvojnásobný (Eurostat 2019). V Evropě se předpokládá stárnutí populace z průměru 42,4 let (2015) na 46,6 let (2080), (Eurostat 2019). Tento demografický vývoj samozřejmě přinese zvýšenou úmrtnost, pokud nebudou přijata adaptační opatření.

Faktory, které mají tendenci zvyšovat riziko vlivu přehřívání sídel:

- vysoký podíl zastavění ploch a jejich nepropustnost,
- hustota zalidnění (vztažená k zastavěnému území),
- nízký podíl zastínění (nedostatek vzrostlé zeleně),
- nedostatek vodních ploch,
- nepropojenost prvků vodních a zelených ploch,
- nedostatečné zateplování budov (jež rovněž omezuje jejich přehřívání) a jejich nedostatečné vybavení zastíněním,
- další generování tepla v důsledku výrobních procesů, dopravy, vytápění atd.

4.6.2.3.2 Povodně a přívalové srážky

Povodně vznikají především shodou přírodních podmínek v povodí vodního toku v daném místě; intenzitu povodně určují kombinace místních podmínek v korytech vodních toků a výskytu příčinných meteorologických jevů. Projevují se jako:

- déletrvající povodně po regionálních, zpravidla vícedenních srážkách s vysokými úhrny, s výraznými důsledky na středních a větších vodních tocích,
- přívalové povodně způsobené krátkodobými srážkami s velkou intenzitou (lokální ohrožení), s možnými katastrofálními důsledky na menších vodních tocích odvodňujících zejména sklonitá území; závažnost ohrožení zvětšuje obtížnost přesnějších předpovědí těchto událostí; zimní a jarní povodně způsobené rychlým táním sněhové pokrývky, často v kombinaci s dešťovými srážkami, nebo způsobené ledovými zácpami, které mohou vzniknout na vodních tocích všech kategorií.

Citlivost měst je závislá na několika faktorech, zejména na poloze měst v krajině a konfiguraci terénu. Města v nízko položených oblastech ve střední nebo dolní části toků jsou zvláště citlivá. Zvýšená urbanizace způsobuje zábor půdy a významnou změnu kvality povrchu ploch; tím snižuje přirozenou schopnost retence vody. Související nárůst podílu nepropustného zemského povrchu ve spojení s bydlením a rozvojem podnikání v říčních nivách povodňové riziko v oblastech měst zvyšuje. I přes legislativní omezení je do záplavových území lokalizována nová výstavba, která zvyšuje povodňové ohrožení a následně je vyžadováno zajištění protipovodňové ochrany ze strany veřejné správy, což omezuje možnosti řešení problematiky povodní a zvyšuje rozsah a finanční náročnost protipovodňových opatření.

Významným problémem je také nedostatečné hospodaření s dešťovou vodou v urbanizovaném území. Po celá desetiletí byla vodohospodářská koncepce měst na území České republiky založena na odvodnění optimalizované pro dané návrhové parametry. Vzhledem k budoucí změně klimatu a probíhající urbanizaci tato optimalizace již nemusí platit, a to ani při změně koncepce založené na zadržování a vsakování vod, kterou lze obtížně uplatnit v kompaktní historické zástavbě. Zvyšující se výskyt intenzivních srážek tak může představovat zatížení systémů odvodu srážkových vod překračující stávající parametry takových systémů a z nich vyplývající častější zaplavení podzemních a níže ležících prostor, či přetok vod z kanalizace bez jejich čištění (kap. 4.3).

Faktory, které mají tendenci zvyšovat riziko vlivů povodní:

- tempu urbanizace neodpovídá dosavadní způsob (ne)hospodaření se srážkovými vodami (infrastruktura pro odvádění dešťových vod nevyhovuje z hlediska tlumení přívalových srážek a často ani z hlediska kapacity),
- způsob využití nezpevněných ploch nesplňuje podmínky účinné retence,

- protipovodňová opatření nejsou kvalitně a dostatečně rychle realizována,
- vysoký podíl zpevněných, resp. nepropustných, ploch,
- propojenost vodních a zelených prvků/ploch.

4.6.2.3.3 Sucho

Nedostatek vody v povodí má zásadní dopady na společnost, ekonomiku a životní prostředí s následnými dopady do nákladů. Zvýšená citlivost měst vyplývá především z koncentrace obyvatel a ekonomických činností. Hospodaření s vodními zdroji může probíhat na třech úrovních: v povodí, na úrovni města nebo jeho části anebo v rozsahu jednotlivých budov a jejich okolí. Specifickým problémem může být větší zanášení kanalizačních sítí a větší koncentrace znečištění v kanalizaci i v tocích ve městech (kap. 4.3).

Faktory, které přispívají k nedostatku vody a suchu v sídlech:

- vysoké teploty (zvýšené odpařování),
- nedostatečné hospodaření se srážkovými vodaminízká retenční schopnost půdynízká hladina podzemní vody a její omezené množství,
- opatření k zadržení vod na pozemcích, které jsou součástí staveb, nejsou dostatečná (vsakování, retence a následné využívání vody), malá dostupnost povrchové vody,
- pitná voda je využívána i k činnostem, pro které není nezbytně nutná,
- vysoký podíl zpevněných, resp. nepropustných, ploch,
- nízká propojenost vodních a zelených prvků/ploch.

4.6.2.3.4 Extrémní jevy

Expozice vůči negativním projevům ostatních extrémních meteorologických jevů spočívá zejména v ohrožení koncentrovaných lidských aktivit a velkého množství obyvatel v sídlech. V případě vichřic a bouřek hrozí ve městech (a to zejména při hromadně konaných akcích) ohrožení zdraví a života obyvatel. Například v průběhu orkánu Kyrril (2007) došlo ke dvěma úmrtím v intravilánu obcí Řevnice a Vestec v důsledku pádu stromů, orkán Emma (2008) si vyžádal dbvě oběti pohybující se na obecních hřbitovech. Extrémním případem ohrožení při hromadných akcích byly oslavy Dne státnosti v Budapešti 20. 8. 2006, kdy při konvekční bouři zahynuly 3 osoby. Přechod teploty přes hranici 0 °C pak zejména v městech znamená nebezpečí vzniku námrazových jevů ovlivňujících dopravu a nebezpečí zranění obyvatel při pohybu venku (ledovka, náledí).

4.6.2.4 Nezávislé adaptační aktivity na úrovni měst

Dle doporučení obsažená v usnesení vlády, jímž byla schválena Strategie přizpůsobení se změně klimatu v podmínkách ČR (2015), probíha koordinace MŽP s hejtmany na implementaci národní strategie a realizace opatření na regionální a lokální úrovni. Na těchto úrovních mohou probíhat nezávislé adaptační aktivity naplňované místní správou, samosprávou, občanskými sdruženími apod. Zapojení jednotlivých měst a obcí a jejich obyvatel je klíčové. Ty mohou využít zapojení do některé z mezinárodních iniciativ jako např. Pakt starostů a primátorů pro snižování emisí skleníkových plynů a adaptace na změnu klimatu (Covenant of Mayors, resp. Mayors Adapt). Za ČR je aktuálně (2019) přihlášeno 10 měst. Dále je možné se zapojit do iniciativy NAZCA (Non-State Actor Zone for Climate Action), která podporuje a registruje závazky měst, podniků i jednotlivců k mitigačním i adaptačním opatřením. V roce 2019 má tato iniciativa více než 19 000 klimatických závazků od více než 12 000 aktérů.

Od roku 2015 bylo s podporou EHP a Norských fondů a dalších dotačních nástrojů realizováno několik projektů se zaměřením na adaptace na změnu klimatu na místní úrovni. V rámci těchto projektů byla vypracována řada metodik a publikací, které slouží jako informativní zdroj a podklad pro rozvoj adaptačních opatření v regionech, městech a obcích ČR. Vybranými projekty jsou:

- CzechAdapt – Systém pro výměnu informací o dopadech změny klimatu, zranitelnosti a území ČR; http://www.klimatickazmena.cz.
- Regio-adaptace – Podpora výměny informací o dopadech změny klimatu a adaptačních opatření na národní a regionální úrovni; http://www.regio-adaptace.cz.
- UrbanAdapt – Rozvoj strategií přizpůsobení se změně klimatu v podmínkách měst s využitím ekosystémově založených přístupů k adaptacím; http://urbanadapt.cz.

- Adaptace sídel na změnu klimatu – praktická řešení a sdílení zkušeností; http://www.adaptacesidel.cz.
- Zvyšování povědomí o adaptačních opatřeních na změnu klimatu v prostředí českých měst s využitím norských zkušeností; http://adaptace.ci2.co.cz.
- KLIMADAPT pro obce Středočeského kraje; http://www.klimadapt.cz.
- Počítáme s vodou – Poradensko-vzdělávací projekt pro jednotlivce a municipality ČR; http://www.pocitamesvodou.cz.

Díky metodikám vzniklých právě v rámci některých výše uvedených projektů, mají obce a města ČR nástroje a vzory pro zpracování vlastní adaptační strategie. Tyto strategie by měly vycházet z národní strategie a jejího akčního plánu adaptace. V současnosti jimi disponují tato města, která ve svých strategiích reagují na dva hlavní projevy změny klimatu, a to 1) vlny veder a 2) extrémní srážky a nedostatečné zasakování srážkové vody.

– **Praha:** *Strategie adaptace hl. m. Prahy na klimatickou změnu* (2016–2030)

A. Snížit negativní vliv extrémních teplot, vln horka a městského tepelného ostrova na zdraví citlivých skupin obyvatel Prahy.
B. Snížit dopady přívalových dešťů, povodní a dlouhodobého sucha a tím zajistit stabilní vodní režim na území hl. města Prahy a ve volné krajině metropolitní oblasti.
C. Snížit energetickou náročnost Prahy a podpořit adaptaci budov.
D. Zlepšit podmínky Prahy v oblasti udržitelné mobility.
E. Zlepšit připravenost v oblasti mimořádných událostí a krizového řízení.
F. Zlepšit podmínky v oblasti environmentálního vzdělávání, podpořit monitoring a výzkum dopadů klimatické změny v Praze.

- **Brno:** *Zásady pro rozvoj adaptací na změnu klimatu ve městě Brně: s využitím ekosystémově založených přístupů* (2016–2050)

A. Vytvořit systém zelené infrastruktury pro snížení rizik spojených s vlnami horka, městským tepelným ostrovem, zároveň funkčně propojit jednotlivé prvky zelené infrastruktury v rámci města a zvýšit heterogenitu urbanizovaného území.
B. Zvýšit efektivitu hospodaření se srážkovou vodou ve smyslu „zadržet a využít“ – zvýšením podílu ploch s propustným povrchem a zaváděním udržitelných odvodňovacích systémů umožňujících zasakování dešťové vody, její retenci a opětovné využití.
C. S využitím ekosystémově založených přístupů při realizaci protipovodňových opatření zajistit stabilní vodní režim a revitalizaci vybraných toků v Brněnské metropolitní oblasti.
D. Podpořit osvětu a vzdělávaní veřejnosti v oblasti změny klimatu, podpořit aktivity vedoucí ke zvýšení environmentálního povědomí obyvatel a ekologicky šetrného chování.

– **Ostrava:** *Adaptační strategie statutárního města Ostravy na dopady a rizika vyplývající ze změny klimatu* (2017–2023)

A. Dostatek vody (dostatek kvalitní vody, ochrana před suchem, zlepšování nakládání s vodou).
B. Příjemné město (zlepšování stavu veřejné zeleně a veřejného prostoru v intravilánu).
C. Zdravá krajina (zlepšování stavu krajiny).
D. Ochrana klimatu (snižování produkce skleníkových plynů, zvyšování energetické účinnosti a podpora adaptací budov na změny klimatu – součástí adaptační strategie je i mitigační část, která umožňuje vnímat problematiku klimatu komplexně v obou souvislostech).
E. Lidé (ochrana zdraví, vzdělávání, prevence, péče o citlivé skupiny obyvatel).

Dalšími městy, která mají zpracovánu adaptační strategii (květen 2019), jsou dosud například Hradec Králové, Žďár nad Sázavou, Rakovník, Dobruška, Chrudim, Hlučín, Hrádek nad Nisou, Kopřivnice, Nový Bor, Opava a Plzeň.

4.6.3 Stanovení indikátorů

4.6.3.1 Indikátory klimatické

Z klimatických indikátorů, jež jsou prezentovány v samostatné kap. 4.11, mají na danou prioritní oblast významnější vazbu tyto:

- Průměrná letní teplota
- Počet tropických dnů
- Délka, intenzita a četnost vln veder
- Délka, intenzita a četnost suchých období
- Letní srážkové úhrny
- Počet dnů se srážkami nad 20 mm.
- Exrémně silný vítr

4.6.3.2 Indikátory dopadové

V NAP je uvedeno celkem 16 doapdových indikátorů relevantních pro oblast urbanizovaného prostředí. Z uvedeného výčtu se pro účely vyhodnocení dopadů dle výsledků této studie jeví:

a) Pro oblast dopadů extrémní teploty:

- Plochy zeleně ve městech
- Plochy urbánního prostředí náchylné k přehřívání
- Nepropustnost povrchu
- Podíl adaptovaných budov

Uvedené indikátory vhodně reprezentují náchylnost území k intenzivním projevům vln horka a jejich případného zesílení městkým tepelným ostrovem.

b) Pro oblast dopadů povodní:

- Výše škod způsobených jednotlivými povodňovými událostmi
- Oblasti s významným povodňovým rizikem
- Kritické body z hlediska přívalových povodní
- Nepropustnost povrchu

c) Pro oblast dopadů sucha a nedostatku vody:

- Míra délky trvání hydrologického sucha
- Zásoba využitelné vody v půdě
- Ztráty ve vodovodních sítích

Ke zvážení lze doporučit doplnění indikátor, který by sledoval i celkovou spotřebu vody v městech (v přepočtu na 1 obyvatele i v celkových objemech vody) jako ukazatele případné měnící se spotřeby a chování uživatelů vody a současně jako možný indikátor nárůstu či změny potřeb zdrojů pro zabezpečení zásobování vodou.

d) Pro oblast dopadů ostatních extrémních jevů

- Kvalita integrovaného záchranného systému

4.6.4 Vyhodnocení zranitelnosti vůči dopadům změny klimatu, identifikace nejzranitelnějších regionů v ČR

4.6.4.1 Vyhodnocení zranitelnosti pomocí indikátorů vůči dopadům klimatické změny v souvislosti se specifickým prostředím městského klimatu

Je zřejmé, že pro stanovení indikátorů a vyhodnocení zranitelnosti měst vůči dopadům klimatické změny budou rozhodující faktory, které lze sledovat zejména v měřítku mezoklimatu urbanizovaného území měst:

a) průměrná letní teplota a intenzita MTO – určené velikostí populace měst, v kontextu s geografickou polohou

b) „aktivní povrchy“ (veškeré povrchy vystavené přímému působení klimatu) struktura, kvalita a rozsah
c) prostorové uspořádání aktivních povrchů (lze sledovat v měřítku místního klimatu nebo mikroklimatu)
d) antropogenní teplo.

S ohledem na dostupnost dat je jako hlavní indikátor navržen a vypočítán indikátor:

– průměrná letní teplota v městských tepelných ostrovech.

Tento indikátor souvisí s předpokládanými projevy změny klimatu, a současně s intenzitou MTO, a to v závislosti na geografické poloze města. Vzhledem k tomu, že intenzita MTO je vyšší než zvýšení teploty v důsledku změny klimatu, bude průměrná letní teplota v prostředí měst podstatně vyšší. Určujícím parametrem intenzity MTO je populace města určená ze zjištěné závislosti:

Intenzita MTO = $0{,}73\log_{10}(pop)$ a zvýšené teploty podle geografické polohy v příslušném období.

Indikátor **intenzity MTO** lze trvale sledovat podle údajů ČSÚ a geografické polohy, kterému odpovídá možné zvýšení teploty v jednotlivých sledovaných obdobích. Současně lze identifikovat skupiny měst, které by mohly dle tohoto ukazatele být více zranitelné, např. města s populační velikostí nad 10 tis. obyvatel (131 měst – intenzita MTO max. v rozmezí 4,45–2,92) resp. nad 75 tis. (12 měst – intenzita MTO max. v rozmezí 4,45–3,56), tab. 4.6.1.

Tab. 4.6.1 Intenzita městského ostrova ve městech nad 75 tis. obyvatel

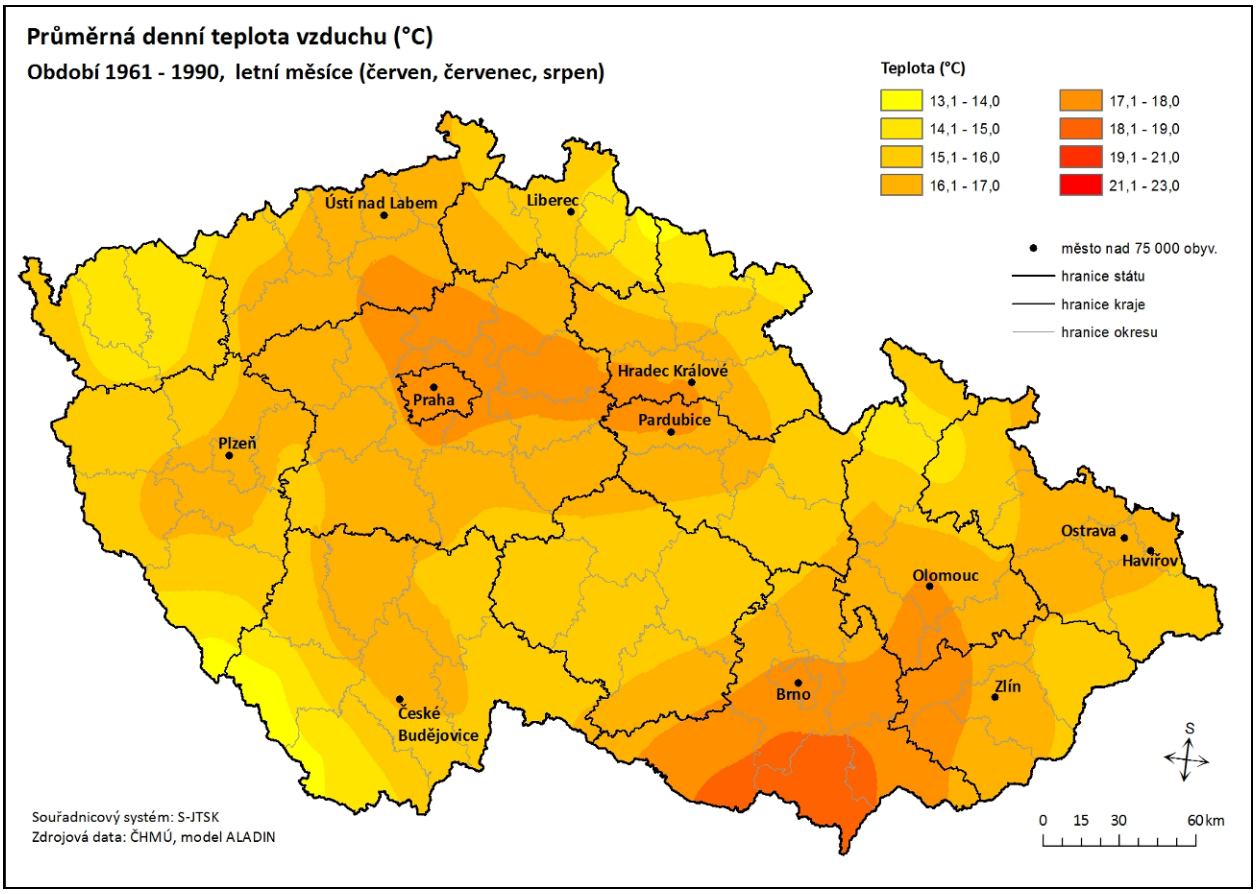
ID dle velikosti	populační velikost obyvatel	počet obyvatel	Intenzita MTO = 0,73log10 (P) (°C)	Intenzita MTO max. (°C)	Predikce průměrné roční teploty vzduchu* (bez intenzity MTO)		
					2030	2050	2090
1	Praha	1 243 201	6,09	**4,45**	11,1-12	11,1-12/ 12,1-14	12,1-14
2	Brno	377 508	5,58	**4,07**	11,1-12	11,1-12/ 12,1-14	12,1-14
3	Ostrava	295 653	5,47	**3,99**	10,1-11	10,1-11/ 11,1-12	11,1-12
4	Plzeň	168 034	5,23	**3,81**	10,1-11	10,1-11/ 11,1-12	11,1-12
5	Liberec	102 301	5,01	**3,66**	9,1-10	9,1-10/ 10,1-11	10,1-11
6	Olomouc	99 489	5,00	**3,65**	10,1-11	10,1-11	11,1-12
7	Ústí nad Labem	93 523	4,97	**3,63**	10,1-11/ 11,1-12	11,1-12	11,1-12/ 12,1-14
8	České Budějovice	93 253	4,97	**3,63**	10,1-11	10,1-11	11,1-12
9	Hradec Králové	92 904	4,97	**3,63**	10,1-11	11,1-12	11,1-12
10	Pardubice	89 432	4,95	**3,61**	10,1-11	11,1-12	11,1-12/ 12,1-14
11	Havířov	76 109	4,88	**3,56**	9,1-10/ 10,1-11	10,1-11	11,1-12
12	Zlín	75 278	4,88	**3,56**	9,1-10/ 10,1-11	10,1-11/ 11,1-12	11,1-12/ 12,1-14

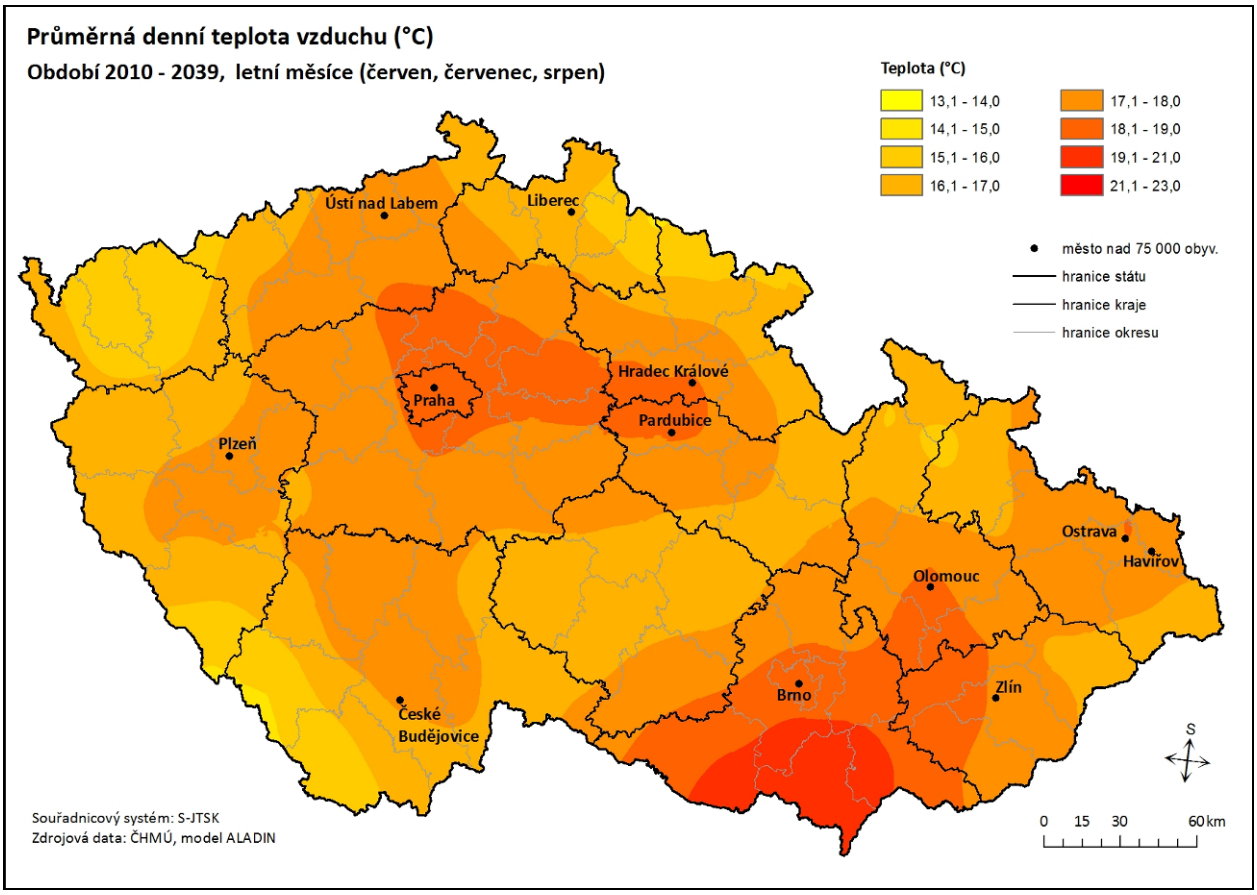
Pozn: Dle výsledků projektu CzechAdapt, střední emise IPSL (www.klimatickazmena.cz)

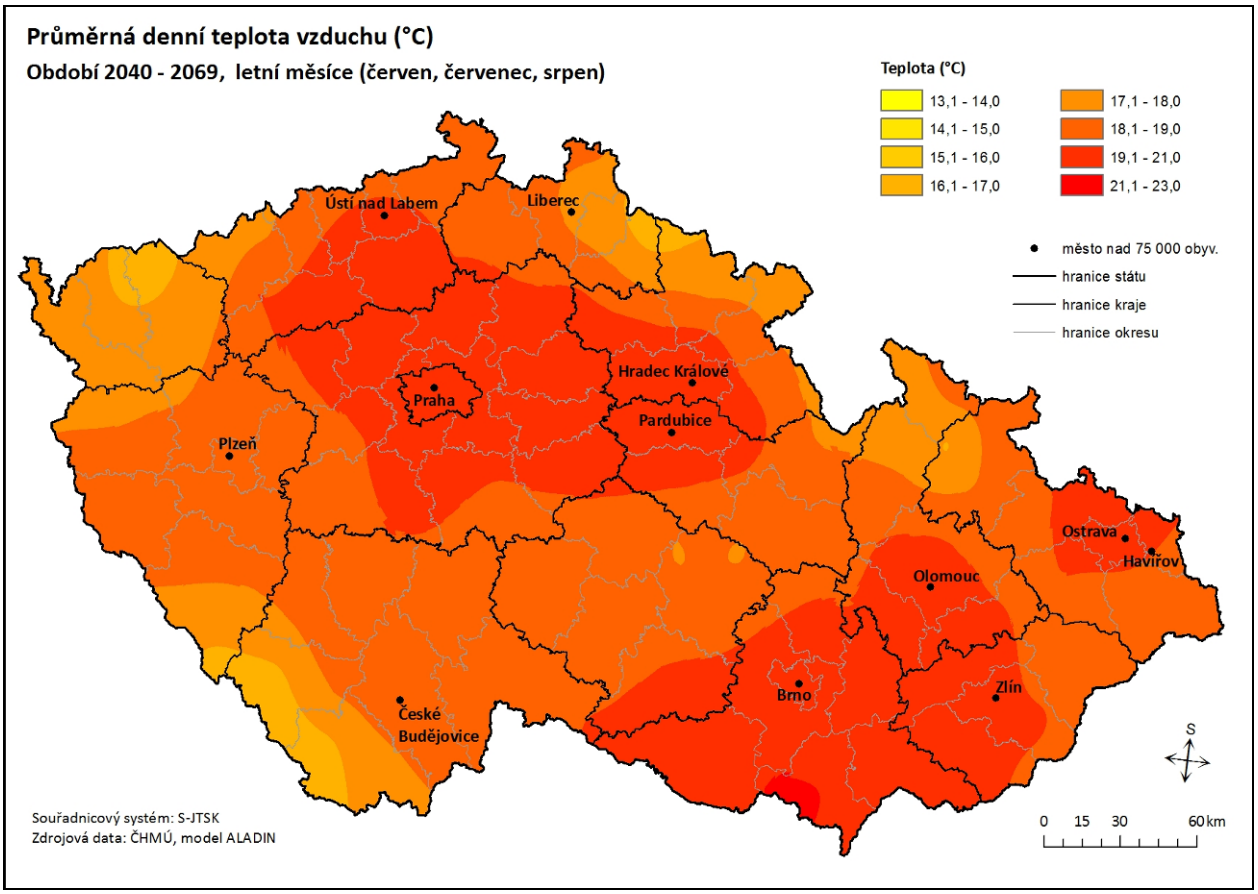
4.6.4.2 Identifikace nejzranitelnějších měst (regionů)

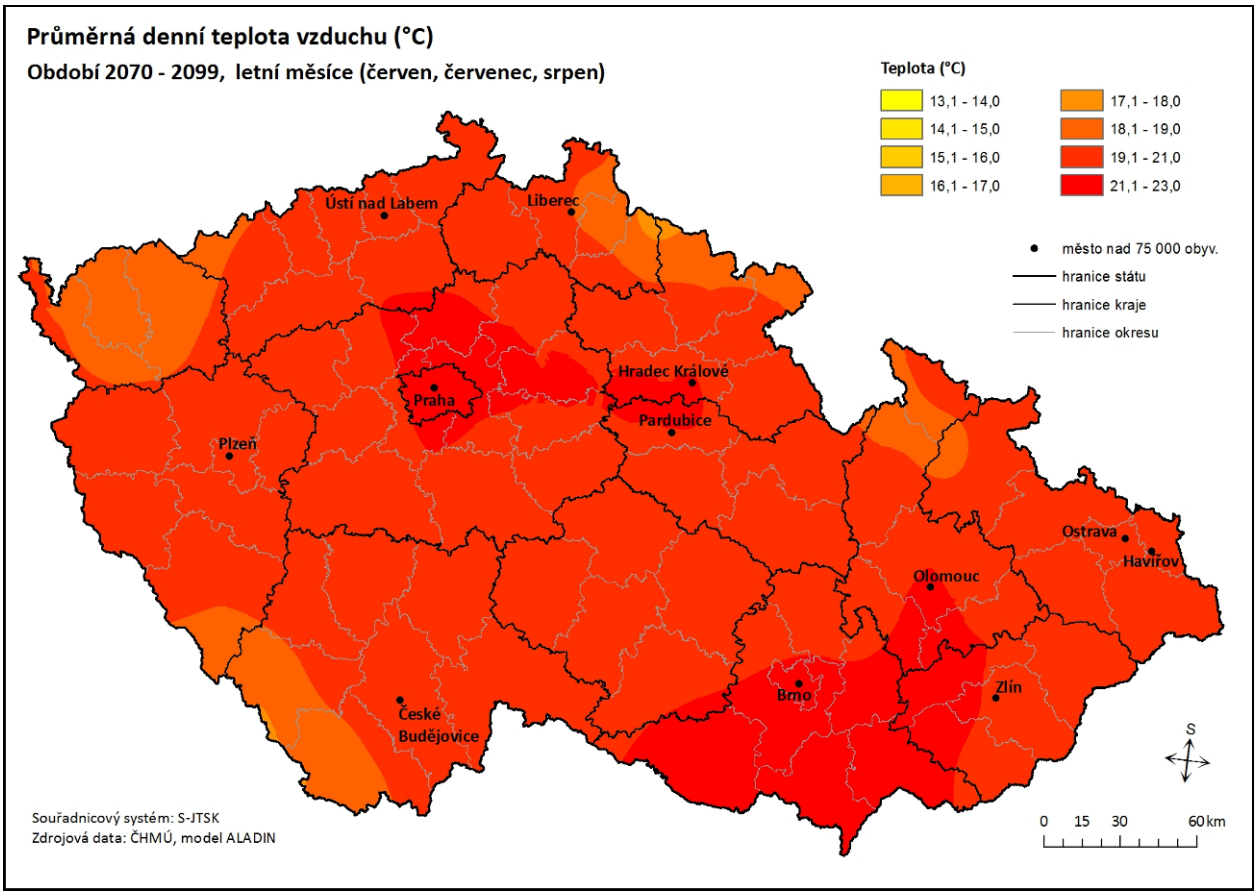
Nejzranitelnější budou městské struktury, ve kterých spolupůsobení změny klimatu a intenzity městského tepelného ostrova zasáhne významnou část populace:

- Města s počtem obyvatel větším než 75 000 obyvatel v oblastech intenzivního působení klimatické změny (míra ohrožení je vyjádřena nárůstem teplot způsobených klimatickou změnou a intenzitou tepelného ostrova).
- Zranitelnost regionů lze vyvodit z funkce měst jako pracovních a obslužných center funkčních regionů s významnou dojížďkou, a tedy významným počtem denně přítomných osob, které budou vystaveny vlivům klimatické změny a zároveň vlivu MTO po značnou část dne. Současně se zvýší produkce antropogenního tepla (dosud se uvažuje pouze s prostým počtem obyvatel).

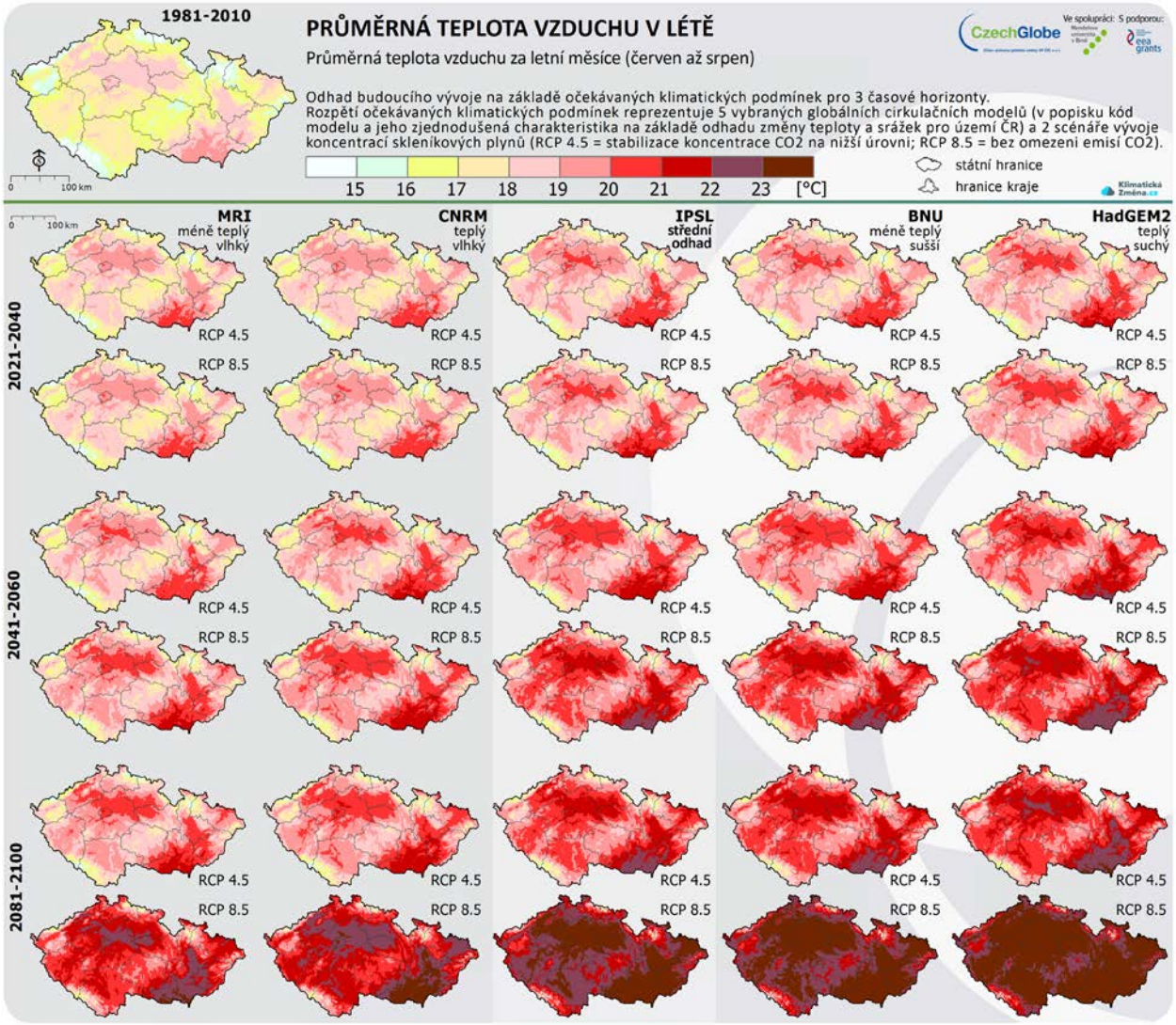

Průměrná denní teplota vzduchu (°C)
Období 1961 - 1990, letní měsíce (červen, červenec, srpen)
Teplota (°C)
13,1 - 14,0
14,1 - 15,0
15,1 - 16,0
16,1 - 17,0
17,1 - 18,0
18,1 - 19,0
19,1 - 21,0
21,1 - 23,0
město nad 75 000 obyv.
hranice státu
hranice kraje
hranice okresu
Ústí nad Labem
Liberec
Hradec Králové
Praha
Pardubice
Plzeň
Ostrava
Havířov
Olomouc
Zlín
Brno
České Budějovice
S
0 15 30 60 km
Souřadnicový systém: S-JTSK
Zdrojová data: ČHMÚ, model ALADIN


Průměrná denní teplota vzduchu (°C)
Období 2010 - 2039, letní měsíce (červen, červenec, srpen)
Teplota (°C)
13,1 - 14,0
14,1 - 15,0
15,1 - 16,0
16,1 - 17,0
17,1 - 18,0
18,1 - 19,0
19,1 - 21,0
21,1 - 23,0
město nad 75 000 obyv.
hranice státu
hranice kraje
hranice okresu
Ústí nad Labem
Liberec
Hradec Králové
Praha
Pardubice
Plzeň
Ostrava
Havířov
Olomouc
Zlín
Brno
České Budějovice
S
0 15 30 60 km
Souřadnicový systém: S-JTSK
Zdrojová data: ČHMÚ, model ALADIN





Obr. 4.6.3 Průměrné letní teploty za sledovaná období a poloha měst větších jak 75tis. obyvatel (a. 1961–1990, b. 2010–2039, c. 2040–2069, d. 2070–2099) (Zdroj: Pretel 2011)



Obr. 4.6.4 Predikované průměrné letní teploty pro střední a vysoký emisní scénář (Zdroj:www.klimatickazmena.cz)

Tab. 4.6.2 Ohrožení měst nad 75 tis. obyvatel při působení klimatických změn a MTO (výpočet)

	Průměrná denní teplota (červen, červenec, srpen) ve °C				Nárůst vzhledem k měřené teplotě ve °C			Intenzita MTO ve°C	Celkový teplotní gradient stupeň ohrožení					
Ohrožená oblast / město	1961–2009	2010–2039	2040–2069	2070–2099	2010–2039	2040–2069	2070–2099	Intenzita MTO max	1961–2009	stupeň ohrožení	2040–2069	stupeň ohrožení	2070–2099	stupeň ohrožení
	měřená	modelovaná			modelovaná			výpočet	hodnota °C / relativní					
Praha	18	18	20	21	0	2	3	4,5	4,5	I	6,5	III	7,5	IV
Brno	17	18	20	21	1	3	4	4,1	5,1	II	7,1	IV	8,1	V
Ostrava	17	18	19	20	1	2	3	4	5,0	II	6,0	II	7,0	IV

Plzeň	16	17	18	20	1	2	4	3,8	4,8	I	5,8	II	7,8	V
Liberec	14	15	17	18	1	3	4	3,7	4,7	I	6,7	III	7,7	IV
Olomouc	17	18	19	21	1	2	4	3,7	4,7	I	5,7	II	7,7	IV
Ústí n. Labem	16	17	18	20	1	2	4	3,6	4,6	I	5,6	II	7,6	IV
Č. Budějovice	16	17	18	20	1	2	4	3,6	4,6	I	5,6	II	7,6	IV
Hradec	17	18	20	21	1	3	4	3,6	4,6	I	6,6	III	7,6	IV
Pardubice	17	18	20	21	1	3	4	3,6	4,6	I	6,6	III	7,6	IV
Havířov	17	18	19	20	1	2	3	3,6	4,6	I	5,6	II	6,6	III
Zlín	17	18	19	21	1	2	4	3,6	4,6	I	5,6	II	7,6	IV

Stupeň ohrožení je vyjádřen teplotním gradientem vyvolaným působením klimatické změny a MTO

- do 5,0 °C I
- do 6,0 °C II
- do 7,0 °C III
- do 8,0 °C IV
- nad 8,0 °C V

Je zřejmé, že zvýšení teploty ve městech v důsledku působení klimatické změny a MTO bude významné, a lze očekávat výrazně vyšší průměrné letní teploty.

4.6.5 Souhrn – What if analýza

Tab. 4.6.3 Urbanizovaná krajina, souhrnná what-if analýza

What if …? Co se stane, když …?	Mechanismus působení	… za uvažovaného stavu systému/oblasti	Předpokládané negativní dopady/rizika	Pravděpodobnost scénáře	Závažnost	Zranitelnost systému	Subjektivní riziko
otázka				**(1–nejnižší, 5–nejvyšší)**			
Zvyšování průměrné teploty vzduchu a extrémní teploty	V důsledku nárůstu teploty vzduchu se bude nadále zintenzivňovat vliv tepelného ostrova města a to zejména v letním období.	Působení efektu tepelného ostrova města může dále zhoršovat zvyšování rozsahu zastavěných ploch na úkor zeleně ve velkých městech s předpokládaným nárůstem počtu obyvatel. Navíc častější výskyt suchých období může dále omezovat výpar v městském prostředí a tím snižovat jeho chladící efekt.	Zvýšení zdravotních rizik, zejména ohrožených skupin osob (nemocní, senioři) v období horkých vln a zvýšení zatížení zdravotních služeb.	4	5	5	**100**
			snížená produktivita práce zejména v exteriéru, negativní dopady na pohodu obyvatel (psychologické dopady, zvýšené násilí)	4	5	5	**100**
			Selhání dopravních a energetických sítí s důsledky na plynulost zajištění základních služeb, výroby a zásobování.	5	3	4	**60**
Zvýšená pravděpodobnost výskytu dlouhodobého sucha	Pokles srážek v létě a prodlužování bezsrážkových období bude mít vliv na snížení vodních stavů a průtoků na řekách využívaných k vodní turistice		zhoršení podmínek údržby/stavu zelených ploch (chřadnutí porostů) v intravilánech, nebo zvýšení nákladů na údržbu	5	5	4	**100**

Potenciální změny míry nebezpečí povodní a přívalových povodní	Změny teploty vzduchu (zejména v zimním a jarním období) a změny ve srážkovém režimu povedou k odpovídající změně povodňového režimu na území ČR. Zatímco u zimních, resp. jarních povodní je pravděpodobný pokles jejich typické velikosti a objemu, v letním období jsou dopady velmi nejisté. Bude totiž proti sobě působit četnější výskyt dnů s vyššími (přívalovými) srážkami a úhrn takových epizod a spíše menší "počáteční" nasycení v důsledku výskytu delších bezesrážkových období a vyšímu výparu. Nejistý je i vliv změn vegetace a vegetačních fází (např. dřívější sklizně a tím obnažení půdního povrchu).	při současné praxi zaostávající realizace protipovodňových opatření (projektovaných zpravidla na ochranu jen na 100leté povodně) a při praxi stavebního využití ploch na hranici nebo uvnitř záplavového území, případně zvyšování hodnoty majetku za mobilními protipovodňovými stěnami	Ohrožení životů a majetku, škody na hospodářství a veřejné infrastruktuře (dopravní a technické sítě)	2	4	3	**24**
Změna výskytu dalších extrémních jevů (nebezpečný vítr, bouře, ledovka)	Četnější výskyt extrémních konvekčních meteorologických jevů (bouře, větrné smršťě). A námrazových jevů.		Zvýšené riziko poškození zdraví (úrazů) či ohrožení na životě při pobytu v otevřeném prostoru.	3	4	2	**24**
	četnější přívalové srážky	v urbanizovaných oblastech za stávajícího způsobu dimenzování a provozu kanalizací	častější selhání drenážních systémů a kanalizace – zaplavení povrchových depresí a ulic	3	3	3	**27**
			zaplavení podzemních prostor a infrastruktury	3	4	4	**48**

4.6.6 Analýza navržených adaptačních opatření dle Adaptační strategie

Tab. 4.6.4 Urbanizovaná krajina – analýza navržených adaptačních opatření dle Adaptační strategie

Hlavní identifikovaná rizika	Porovnání rizik s opatřeními dle Adaptační strategie	Návrh na doplnění dalších opatření
Teplo • vysoký podíl zastavění ploch a jejich nepropustnost • hustota zalidnění • malé zastínění • nedostatečné zateplování budov • další generování antropogenního tepla	Adaptační strategie na daná rizika reaguje pouze částečně, navrhujeme doplnit.	**Návrh způsobu monitorování vývoje rozsahu zpevněných ploch, ploch zeleně a vodních ploch** (minimálně v ohrožených oblastech) s využitím „Základní báze geografických dat České republiky (ZABAGED®)“ a metod GIS; za tím účelem zpracovat metodiku a **doplnit strukturu „Územně analytických podkladů“** (ÚAP) o odpovídající data **a jejich hodnocení v rámci pravidelné aktualizace** (MMR). **Návrh způsobu monitorování zateplování domů a realizace pasivních domů** **Úprava** formulace opatření **– Územní plány by** v návrhu zastavitelných ploch **měly vyvážit intenzitu (hustotu) zástavby a ploch zeleně za účelem efektivního využití území; vymezením ploch zeleně současně vytvářet systém sídelní zeleně;** tím přispět k omezení nekontrolovatelného rozrůstání urbanizovaného území (suburbanizace, urban sprawl) a záborů zemědělské půdy a její zástavby.
Povodně a vydatné srážky • nedostačující infrastruktura pro odvádění dešťových vod • protipovodňová opatření nejsou kvalitně a dostatečně rychle realizována • stavební využívání pozemků v nivách vodních toků	Adaptační strategie na daná rizika reaguje dostatečně, viz Vodní režim v krajině	**V Územních plánech navrhovat a zvlášť vymezovat vodohospodářské plochy jako součást protipovodňových opatření (retenční nádrže, poldry); Vymezovat vohodospodářské plochy pro účely řízených rozlivů (např. povodňové parky) na vhodných místech i v rámci zástavby.**
Nedostatek vody a sucho / hospodaření s vodou • vysoké teploty (velké odpařování) • nízká vlhkost a vysoké znečištění vzduchu • nízká úroveň vlhkosti půdy a nízká půdní retenční kapacita vody • nízká hladina a omezené množství podzemní vody • opatření k zadržení vod na pozemcích, které jsou součástí staveb, nejsou dostatečná (retence, vsakování, předčištění a využívání vody) • malá dostupnost povrchové vody	Adaptační strategie na daná rizika reaguje dostatečně, viz Vodní režim v krajině	Dát větší důraz na funkčnost (široké spektrum ekosystémových služeb včetně hospodaření se srážkovými vodami) a funkční propojenost vodních a zelených ploch, a jejich zapojení prostřednictvím nástrojů stavebního zákona. Pro zlepšení rozvoje zasakování srážkové vody v místě spadu podporovat a doporučovat městům vypracování generelu odvodnění, který zaručí komplexní přístup při retenci.

4.6.6.1 Srovnání identifikovaných rizik s návrhy adaptačních opatření v NAP

NAP řeší problematiku urbanizované krajiny v rámci specifických cílů:

- SC10 Zlepšení hospodaření se srážkovými vodami v urbanizovaných uzemích jejich využíváním
- SC13 Zmírňování následků povodní v urbanizovaném území
- SC14 Posílení ekologické stability a snížení rizik spojených s teplotou kvalitou ovzduší v urbanizované krajině

Tab. 4.6.5 Urbanizovaná krajina – analýza navržených adaptačních opatření dle NAP

Hlavní identifikovaná rizika	Porovnání rizik s opatřeními dle NAP	Návrh na doplnění dalších opatření
Teplo • vysoký podíl zastavění ploch a jejich nepropustnost • hustota zalidnění • malé zastínění • nedostatečné zateplování a zastínění budov • další generování antropogenního tepla	Řešeno v obecné rovině. Neřeší se, jakým způsobem je možné ovlivnit novou nebo stávající zástavbu ve vztahu nárůstu objemu zeleně pro zvýšení mikroklimatického komfortu. Především pak množství střešních ploch přispívající k intenzitě přehřívání měst.	Konkretizovat opatření ve vztahu ke střešním plochám, podpořit realizaci zelených střech u novostaveb a rekonstrukcí. Vyrovnat se s otázkou památkové péče, která je často překážkou při realizaci adaptačních opatření.
Povodně • nedostačující infrastruktura pro odvádění dešťových vod • protipovodňová opatření nejsou kvalitně a dostatečně rychle realizována • stavební využívání pozemků v nivách vodních toků	NAP se nezabývá možností multifunkčního využití veřejných staveb, např. jejich přeměny v retenční objekty v případě extrémních srážek.	Chybí opatření podporující budování větších retenčních ploch, resp. úprava již stávajících zelených ploch (např. parků), které mohou mimo svou běžnou funkci veřejné plochy sloužit jako území určená k řízenému zaplavování.
Nedostatek vody a sucho / hospodaření s vodou • vysoké teploty (velké odpařování) • nízká vlhkost a vysoké znečištění vzduchu • nízká úroveň vlhkosti půdy a nízká půdní retenční kapacita vody • nízká hladina a omezené množství podzemní vody • opatření k zadržení vod na pozemcích, které jsou součástí staveb, nejsou dostatečná (retence, vsakování, předčištění a využívání vody) • malá dostupnost povrchové vody	NAP neklade dostatečný důraz na rozvoj funkčních a vzájemně propojených vodních a zelených ploch, ve městech. S tím souvisí i správná údržba těchto ploch pro plné využití jejich funkcí.	Doporučujeme přesun opatření 10–3 do priority 1. V odborných kruzích v ČR i zahraničí se legislativní zpoplatnění odvádění srážkových vod považuje za účinný nástroj podpory retence a zpomalování odtoku srážkových vod v urbanizované krajině. Vyčkávání v tomto směru přinese pouze vyšší ekonomickou zátěž důsledkem sucha.

4.7 CESTOVNÍ RUCH A KULTURNÍ DĚDICTVÍ

Klimatické změny mají vliv na podmínky pro cestovní ruch, a to na podmínky přírodní i socioekonomické. Podmínky socioekonomické jsou ovlivněny změnami klimatu nepřímo, působením na další hospodářské oblasti a celkovou hospodářskou stabilitu regionu či státu. To může znamenat snížení potenciálu cestovního ruchu vlivem zhoršení základních kapacit (ubytování), doprovodné a dopravní infrastruktury a zhoršení doplňkových služeb v oblasti cestovního ruchu.

Se změnami klimatu je nejtěsněji spojen cestovní ruch „sportovně-outdoorový“, který je vázán na podmínky přírodní a je těmito změnami nejvíce dotčen. Přímými vlivy na přírodní podmínky je nejvíce dotčena sezóna zimních sportů. S ubýváním počtu ledových a mrazových dní, snížením množství sněhových srážek a zkrácením období se sněhovou pokrývkou se zhoršují přírodní podmínky pro zimní sporty vázané na sněhovou pokrývku, jako je sjezdové lyžování, běh na lyžích, skialpinismus, snowboarding apod. Dále je ohrožen cestovní ruch, jehož stěžejním potenciálem jsou přírodní zajímavosti, jejichž existence může být ohrožena vlivem změn klimatu.

Mezi další hlavní dopady a rizika spojené s projevy změn klimatu patří:

Zvýšení teploty a postupný úbytek sněhové pokrývky v zimním období

- Zhoršení podmínek pro zimní rekreaci
    - Zkrácení zimní sezóny, nižší maximální výška sněhové pokrývky, pokles počtu bezmrazových dní
    - Posun výšky s přítomností sněhové pokrývky z cca 600 m n. m. v současnosti do 630 m pro období 2021–2050 a až na 845 m pro období 2081–2100
    - Posun lyžařských areálů s vhodnými podmínkami do vyšších nadmořských výšek
    - Zvýšení konfliktů se zájmy ochrany přírody
    - Potřeba zvýšeného zasněžování a vyšších nároků na vodní zdroje
    - Riziko prohlubování sucha v dalších částech roku při vyšších odběrech

Zvýšení teploty a mírné ubývání srážek v letním období

- Změna podmínek pro letní rekreaci u vody
    - Prodloužení sezóny
    - Úbytek vody ve vodních tocích a nádržích, zhoršení kvality koupacích vod
- Zlepšení podmínek pro venkovský cestovní ruch, prodloužení sezóny
- Zlepšení podmínek pro vinařskou turistiku
    - Prodloužení sezóny
    - Rozvoj vinařství a vinařské turistiky do dalších oblastí ČR

Zvýšená četnost extrémních jevů

- Zvýšení bezpečnostních rizik při konání sportovních a kulturních akcí typu „open air“ i individuálních aktivit přímo úměrně riziku výskytu extrémních jevů (bouřky, vichřice, povodně i vedra)
- Materiální škody na základní a doprovodné infrastruktuře (ubytovací zařízení, sjezdovky, lanovky, vleky, cyklostezky, turistické cesty apod.)

Specifickou oblastí, ve které se může změna klimatu projevit negativními dopady, je kulturní dědictví. Význam potenciálních ztrát stupňuje nenahraditelnost jednou ztraceného kulturního dědictví. Ohrožení kulturního dědictví představuje změna klimatu zejména prostřednictvím projevů extrémních jevů, ale rovněž v podobě dlouhodobého negativního působení klimatických podmínek na objekty a možného urychlení jejich degradace.

Turismus samotný rovněž ovlivňuje emise skleníkových plynů, a to v oblasti dopravy, ubytování a volnočasových aktivitách. Odhaduje se, že podíl turismu na globálních emisích skleníkových plynů tvoří 4,9 %.

4.7.1 Úvod a kontext

Odvětví cestovního ruchu v rámci České republiky vykazuje dlouhodobě stoupající tendenci, a to jak z pohledu každoročně rostoucího objemu příjezdového cestovního ruchu, tak i v množství celkových výdajů, které zahraniční i domácí účastníci cestovního ruchu vynaložili v rámci jednotlivých regionů České republiky. Naopak pouze mírný růst zaznamenal ukazatel počtu přenocování, který potvrzuje stávající trend stále častějšího zkracování délky pobytů či dovolených (MMR 2018).

V roce 2017 tvořil sektor cestovního ruchu 2,9 % hrubého domácího produktu, zaměstnával 238,8 tisíce osob, což bylo meziročně o 2,4 % více. Zaměstnanci tvořili 82 % a podnikatelé v oboru 18 %. Objem výdajů za cestovní ruch dosáhl v roce 2017 celkem 292 mld. Kč. Jedná se o souhrnný ukazatel poptávky všech návštěvníků, kteří trávili svou dovolenou v Česku. V porovnání s rokem 2016 byl o 7,4 % vyšší a zároveň dosáhl nejvyšší hodnoty od začátku sledování v roce 2003.

Příjezdový cestovní ruch tvořený zahraničními návštěvníky činil více než 56 %, tj. 164,9 mld. Kč. Zbývajících 44 % financí (127,6 mld. Kč) generovali tuzemští návštěvníci prostřednictvím domácího cestovního ruchu. Podíl na tvorbě hrubé přidané hodnoty v národním hospodářství činil 2,8 %. V roce 2017 navštívilo Českou republiku 34,7 milionu zahraničních návštěvníků. Naopak čeští občané realizovali více než 90 milionů cest v tuzemsku a přes 11 milionů cest do zahraničí. Nejvíce turistů do ČR přijíždí z Německa, Polska, Ruska, USA a Číny (ČSÚ 2019).

Jednotlivé kraje a regiony České republiky se značně liší v podílu k celkovému objemu cestovního ruchu. To je dáno především charakterem a konkrétním sektorem cestovního ruchu, který v dané oblasti převažuje. Městskému cestovnímu ruchu zcela dominuje hlavní město Praha, a to díky své pestré nabídce kulturně-historických a architektonických památek. Lázeňsko-léčebný cestovní ruch je nejvíce rozvinut v hydrogeologicky příznivé oblasti západních Čech. Cestovní ruch zaměřený na zimní sporty a rekreaci je díky rozvinuté technické infrastruktuře rozvinut převážně v oblasti severních Čech, v Krkonoších a okolních oblastech.

Klasickou formou cestovního ruchu jsou pak návštěvy kulturních a přírodních památek, ale rovněž individuální víkendové pobyty ve vlastních (případně pronajatých) rekreačních objektech (chaty a chalupy).

Rozvoj venkovského cestovního ruchu (s vícedenním pobytem a s rekreačními aktivitami na venkově spojený s procházkami a pěší turistikou, projížďkami na kole nebo na koni, pozorováním a péčí o domácí zvířata, konzumaci podomácku vyrobených potravin atd.) souvisí s rozvojem venkova, budováním pěších tras a cyklotras, farem s alternativním zemědělstvím, budováním místních muzeí, skanzenů, rozvojem tradičních řemesel, budováním a obnovou ubytovacích a stravovacích zařízení atd. (Pásková a Zelenka 2002). K němu patří aktivity spjaté jak s vodními sporty, pěší a horskou turistikou, cykloturistikou, tak i se sportovními a poznávacími aktivitami přírodně cenných oblastí, převážně pak chráněných krajinných oblastí a národních parků (Vystoupil 2006). V tomto směru jsou specifické také destinace v blízkosti vodních zdrojů využívané pro letní rekreaci u vody.

K rozvíjejícím se sektorům patří také vinařská turistika, jíž je možno také chápat jako specifickou formu venkovského cestovního ruchu vázáného na určité oblasti, jež je lokalizovaná do tradičně vinařského jihomoravského regionu (Vystoupil 2006).

Svou roli hraje také kongresová turistika a veletržní cestovní ruch, který je převážně spjat s velkými městy, kde je pro tyto aktivity vybudovaná vhodná infrastruktura a zázemí (Vystoupil 2006).

Předpokládané projevy změny klimatu mohou mít vliv na většinu z výše zmíněných oblastí cestovního ruchu v České republice a v budoucnu tak mohou významně pozměnit aktuální rozložení a dominantní postavení jednotlivých sektorů v rámci turistických regionů.

4.7.2 Dopady predikovaných scénářů změny klimatu v ČR

4.7.2.1 Rizika z hlediska širších evropských souvislostí

Změna klimatu a její dopady na cestovní ruch se týkají celého světa. V evropských podmínkách je v současnosti klimaticky nejpříznivější a nejpreferovanější oblastí pro cestovní ruch jižní Evropa. V souvislosti se změnou klimatu je předpokládáno prodloužení letní sezóny i dále směrem na sever, ve střední i v severní Evropě. V jižní Evropě by změny mohly způsobit pokles návštěvnosti v letních měsících, ale naopak zvýšení návštěvnosti v ostatních částech roku.

Všeobecné ubývání sněhové pokrývky a zkracování zimní sezóny negativně ovlivní provozování zimních sportů v mnoha regionech. V Evropě jsou v současné době hlavní lyžařskou destinací Alpy. V nich je většina zimních rekreačních oblastí považována za oblasti se spolehlivou přirozenou sněhovou pokrývkou v zimním období (konkrétně v 69 % v Německu, v 87 % v Rakousku, v 93 % v Itálii a v 97 % ve Francii a Švýcarsku), (Agrawala 2007). Nicméně i zde je ve 48 % oblastí využíváno zasněžování umělým sněhem za účelem nadlepšení sněhových podmínek a prodloužení sezóny. Tento trend nadále roste (Agrawala 2007; Rixen et al. 2011). Tento způsob adaptace je ekonomicky i environmentálně značně náročný a nese velké množství negativ a rizik.

Očekává se, že předpokládané změny klimatu ovlivní rozložení turistické návštěvnosti v Evropě, což může mít nepříjemný dopad na regiony silně ekonomicky vázané na cestovní ruch. Velikost ekonomických změn a trendů v cestovním ruchu je však silně ovlivněna hlavně neklimatickými faktory, především možnostmi trávení volného času a životní úrovní návštěvníků, socioekonomickými podmínkami a turistickou infrastrukturou v destinaci.

Do budoucna je dle TCI (Tourism Climatic Index) předpokládáno rozšíření klimaticky komfortních podmínek do střední i severní Evropy a tím prodloužení sezóny letního cestovního ruchu (Amelung et al. 2007). Tento index nezohledňuje nutné klimatické podmínky pro zimní sporty ani dle něj nelze vypozorovat konkrétní dílčí dopady na cestovní ruch ani rizika.

Cestovní ruch se rovněž významně podílí na emisích skleníkových plynů, zejména v oblastech dopravy (cestování), ubytování a volnočasových aktivit. Světová organizace cestovního ruchu odhaduje, že cestovní ruch se v těchto třech zmíněných oblastech podílí 4,9 % na globálních emisích skleníkových plynů (Grimm et al. 2018).

4.7.2.2 Dopady na různé druhy potenciálu cestovního ruchu

Dopady změn klimatu na cestovní ruch jsou různé, dle jednotlivých forem cestovního ruchu a různého potenciálu cestovního ruchu v oblasti. Hodnocení dopadů dle regionů administrativního členění je zavádějící, protože v těchto regionech je většinou zastoupeno více typů s různým poměrem zastoupení cestovního ruchu a také mají více různého potenciálu pro cestovní ruch. Dále se druhy potenciálu cestovního ruchu a typy cestovního ruchu opakují a kombinují v různých administrativních regionech. V základní úrovni je proto lepší specifikovat dopady na jednotlivé druhy potenciálu cestovního ruchu a jeho jednotlivé typy.

Dále jsou uvedeny dopady změn klimatu na dílčí aspekty cestovního ruchu (klasifikace podle Vystoupil 2005).

4.7.2.2.1 Přírodní potenciál cestovního ruchu

Přírodní potenciál cestovního ruchu se odvíjí od fyzicko-geografických podmínek a změny klimatu mají na tuto oblast největší přímý vliv. Cílovými zájmy cestovního ruchu a kulturně přírodního potenciálu jsou:

- **Přírodní zajímavosti**
  Např.: skalní útvary, krasové jevy, geobotanicky atraktivní lokality
- **Přírodní podmínky vhodné pro sportovní vyžití a rekreaci**
  Např.: oblasti geomorfologicky a současně klimaticky vhodné k provozování různých forem zimních sportů, oblasti s vodním režimem vhodným k vodáckému využití, koupací oblasti, skalní útvary vhodné k lezení, krajina vhodná k cykloturistice či pěší turistice, oblasti rybolovu, myslivectví.

Tab. 4.7.1 shrnuje rizika jednotlivých cílových zájmů v oblasti přírodního potenciálu cestovního ruchu.

Tab. 4.7.1 Rizika – přírodní potenciál cestovního ruchu

Přírodní potenciál cestovního ruchu	Rizika
Přírodní zajímavosti	Zánik v důsledku vazby na fyzicko-geografické podmínky a jejich změnu. Např. vysychání rašelinných jezírek, vysychání mokřadů (snížení úhrnu srážek, změna hydrologického režimu a změna teplotních podmínek), *(vazba na oblast biodiverzity).* Zánik geobotanických lokalit vlivem posunu vegetační stupňovitosti *(vazba na oblast biodiverzity).* Změna hydrologického režimu, např. snížení vodního stavu při jarním tání či období

Přírodní potenciál cestovního ruchu	Rizika
	sucha, snížení vydatnosti až zánik vodopádů apod.
Přírodní podmínky vhodné pro sportovní vyžití a rekreaci	Posun podmínek vhodných pro zimní sporty do vyšších nadmořských výšek a možné další střety s ochranou přírody. Zhoršení podmínek, zkrácení sezóny pro zimní sporty vázané na sněhovou pokrývku, změny hydrologického režimu a negativní změny vodního stavu pro vodácké využití i sportovní rybolov *(obdobně i rizika u rybochovu).* Přírodní podmínky predisponující některé lokality k vyšší náchylnosti k extrémním jevům a následné snížení potenciálu krajiny pro cestovní ruch – přívalové povodně, větrné polomy, vznik bouřek.

4.7.2.2.2 Kulturně-historický potenciál cestovního ruchu

Kulturně historický potenciál cestovního ruchu se odvíjí od kulturně historických kapacit oblasti. Tyto kapacity můžeme rozdělit do tří základních skupin:

- Kulturně-historické objekty
- Kulturní zařízení
- Společenské akce

Do skupiny **kulturně-historické objekty** lze zařadit objekty, které jsou statickým předmětem zájmu cestovního ruchu, tedy sám objekt je cílem. Jedná se o architektonické objekty (hrady, zámky, historická jádra měst apod.), sakrální stavby (chrámy, kláštery, katedrály, rotundy atd.), technické památky (fortifikační památky, dopravně technické památky, vodní stavby apod.), vojenské památky a objekty lidové architektury. Tyto objekty, pokud to možnosti dovolí, se často stávají i místem komplexně využitelným pro další skupiny kulturně historického potenciálu.

Do skupiny **kulturních zařízení** lze zařadit objekty primárně cílené jako prostor dalšího vyplnění produkcí lidské činnosti, programem. Nikoliv sám objekt, ale jeho náplň, je předmětem zájmu cestovního ruchu. Jsou to divadla, galerie, hvězdárny a planetária. Specifickou podskupinou je lázeňství, které je vázáno na fyzicko-geografické podmínky avšak pro značně rozvinutou komplexní antropogenní infrastrukturu a zařízení je nejvhodnější zařadit je do skupiny kulturních zařízení.

Do skupiny **společenské akce** (události) řadíme kulturní, sportovní, výstavní a kongresové akce, akce spojené s lidovými tradicemi. Zájmem cestovního ruchu je zde dynamický, volný, nepravidelný předmět.

Tab. 4.7.2 uvádí rizika v oblasti kulturně-historického potenciálu cestovního ruchu.

Tab. 4.7.2 Rizika – kulturně-historický potenciál cestovního ruchu

Kulturně historický potenciál cestovního ruchu	Rizika
Kulturně-historické objekty	Dle polohy zranitelnost vůči extrémním jevům – bouřky, vichřice, povodně a jimi způsobené škody na majetku. Dlouhodobé negativní působení klimatických podmínek na objekty a urychlení jejich degradace.
Kulturní zařízení	Dle polohy zranitelnost vůči extrémním jevům – bouřky, vichřice, povodně a jimi způsobené škody na majetku.
Společenské akce	Open air festivaly – citlivost vůči extrémním jevům – bouřky, vichřice, povodně i vedra. V takovém případě dochází k ohrožení bezpečnosti majetku, a především lidského zdraví ve velkém počtu.

4.7.2.2.3 Základní a doprovodná infrastruktura

Potenciál pro cestovní ruch tvoří také základní a doprovodná infrastruktura. Základní infrastrukturou rozumíme ubytovací zařízení. Doprovodnou a dopravní infrastrukturou rozumíme sportovně rekreační infrastrukturu plnící rovněž sportovně-rekreační funkci. Nejvýznamnější jsou:

- infrastruktura zimních sportů (lyžařské vleky, sjezdovky, lanovky, lyžařské běžecké trasy a tzv. „těžká“ infrastruktura – zimní stadiony a kryté bazény)
- infrastruktura pěší turistiky (značené trasy, naučné stezky)
- infrastruktura cykloturistiky (cyklotrasy, cyklostezky a cykloturistické trasy)

Tab. 4.7.3 uvádí rizika v oblasti základní a doprovodné infrastruktury cestovního ruchu.

Tab. 4.7.3 Rizika – základní a doprovodná infrastruktura cestovního ruchu

Základní a doprovodná infrastruktura	Rizika
Základní infrastruktura	Nepřímo socio-ekonomickými podmínkami regionu. Poškození extrémními jevy – bouřky, vichřice, povodně, zranitelnost dle lokace.
Infrastruktura zimních sportů	Nepřímo socio-ekonomickými podmínkami regionu. Poškození extrémními jevy – bouřky, vichřice, povodně, zranitelnost dle lokace.
Infrastruktura pěší turistiky	
Infrastruktura cykloturistiky	

4.7.2.2.4 Shrnutí dopadů na potenciály cestovního ruchu

Nejvýznamnější okamžitý přímý dopad budou mít změny klimatu na přírodní podmínky. Nejznatelnějším negativním dopadem je již probíhající zhoršování podmínek pro zimní sporty a zhoršování podmínek pro vodáctví.

Další silný dopad bude v oblastech, kde je potenciál cestovního ruchu v oblasti přírodních zajímavostí, které přes změnu přírodních podmínek, a tím i změny geoekologických vazeb a změny v biodiverzitě, mohou zaniknout. Jde však o potenciál místního významu, dotýkající se především jednotlivých obcí, nikoliv větších regionů.

Kulturně-historický potenciál a potenciál základní a doprovodné infrastruktury cestovního ruchu je přímo ovlivněn extrémními jevy. Stupeň rizika je individuální u jednotlivých objektů. Např.: zřícenina hradu na kopci a ubytovací zařízení v přilehlé obci – nízké riziko, historický mlýn, vesnický skanzen, ubytovací zařízení v záplavové oblasti – zvýšené riziko.

4.7.2.3 Dopady na různé typy cestovního ruchu

Je nutno zvážit více forem neboli typů cestovního ruchu. Na různé typy mají klimatické změny různé dopady, dle různého potenciálu, od kterého se typ cestovního ruchu odvíjí, a jejich rizik. Pro všechny typy je nutný potenciál základní infrastruktury.

Tab. 4.7.4 uvádí rizika podle typologie cestovního ruchu (Vystoupil 2005).

Tab. 4.7.4 Rizika dle typologie cestovního ruchu

Typologie cestovního ruchu	Stěžejní potenciál	Rizika
Městský cestovní ruch	kulturně-historické objekty	Obecně méně závislý na změnách klimatu. Možné riziko dočasného/sezónního snížení atraktivity vlivem extrémních jevů (vlny veder).
Veletržní a kongresový cestovní ruch	společenské akce, kulturní zařízení	Nezávislý na změnách klimatu.
Lázeňský cestovní ruch	společenské akce, kulturní zařízení, přírodní podmínky	Oblast lázeňství, jako významná součást cestovního ruchu v ČR je vázána na zdroje minerálních vod pro léčebné užití. Kolísání jejich vydatnosti bylo v minulosti pozorováno jako přirozené, nebo ovlivněné antropogenní činností, zejména v podobě hornických prací, které nepříznivě ovlivňovaly oběh vody v geologických strukturách. Hlavní lázeňská města jsou vázána na zdroje o vydatnosti většinou přesahující 5 $l.s^{-1}$ (Němec a kol. 2006). Studie o možném dopadu změny klimatu na vydatnost jednotlivých pramenů není známa.
Sportovní a kulturní akce	společenské akce, přírodní podmínky, infrastruktura zimních sportů, často také těžká infrastruktura – stadiony, kulturní domy	Zvýšení nákladnosti konání zimních sportovních akcí vázaných na sněhovou pokrývku. Citlivost vůči extrémním jevům – bouřky, vichřice, povodně i vedra – v takovém případě dochází k ohrožení bezpečnosti majetku, a především lidského

		zdraví ve větším počtu. Riziko ekonomických ztrát.
Zimní rekreace	přírodní podmínky vhodné pro sportovní vyžití a rekreaci, infrastruktura zimních sportů	Zhoršení podmínek, zkrácení sezóny pro zimní sporty vázané na sněhovou pokrývku, zvýšené náklady na údržbu zařízení (zasněžování). Ohroženy jsou zejména níže položená lyžařská střediska. (např. v případě níže položených alpských středisek se předpokládá při nárůstu teploty o 1 °C zkrácení zimní sezóny o cca 4–6 týdnů). Riziko čerpání/narušení vodních zdrojů. Zvýšení intenzity umělého zasněžování a negativních dopadů s ním spojených. Posun podmínek vhodných pro sjezdové lyžování do vyšších nadmořských výšek a možné další střety s ochranou přírody. Zvýšená koncentrace návštěvníků v omezeném množství vhodných lokalit.
Letní rekreace u vody	přírodní podmínky vhodné pro sportovní vyžití a rekreaci, (infrastruktura cykloturistiky, infrastruktura pěší turistiky)	Riziko snižování vodního stavu řek – nižší vodnost toků, nesjízdnost. Riziko eutrofizace koupacích vod při souběhu dalších aspektů. Obecně naopak zlepšení přírodního potenciálu prodloužením sezóny a možné zvýšení atraktivity tohoto typu cestovního ruchu.
Venkovský cestovní ruch	přírodní podmínky vhodné pro sportovní vyžití (horskou turistiku, cykloturistiku, vodní sporty apod.) a rekreaci, přírodní zajímavosti, kulturně-historické objekty, infrastruktura cykloturistiky, infrastruktura pěší turistiky	Potenciál agroturistiky závislý na změnách v oblasti zemědělství. Možné zlepšení přírodního potenciálu prodloužením sezóny a možné zvýšení atraktivity cestovního ruchu tohoto typu.
Vinařská turistika	přírodní podmínky vhodné pro sportovní vyžití a rekreaci, společenské akce, infrastruktura cykloturistiky, infrastruktura pěší turistiky	Potenciál vinařské turistiky závislý na změnách v oblasti zemědělství, rozvoj podmínek pro vinařství i do dalších oblastí ČR. Možné zlepšení přírodního potenciálu prodloužením sezóny a možné zvýšení atraktivity cestovního ruchu tohoto typu.

Nad rámec uvedených typů může do budoucna být problémem spojeným s cestovním ruchem „víkendové“ vyšší zatížení lokalit malých obcí s velkým podílem víkendových pobytů (chalupy), jejichž omezené lokální zdroje zásobování mohou být citlivé na nárazové zvýšení spotřeby vody v důsledku relativně velkého nárůstu dočasného počtu odběratelů.

4.7.2.3.1 Shrnutí dopadů na typy cestovního ruchu

Stejně jako u potenciálů cestovního ruchu, od kterých se typy cestovního ruchu odvíjí, je nejvíce přímo ohrožena zimní rekreace a s tím i cestovní ruch spojený se zimními sportovními akcemi. Změna přírodních podmínek bude mít také negativní vliv na vodní stav v řekách s dopadem na vodáckou rekreaci, a také na kvalitu vody a tím i letní rekreaci u vody.

Pro všechny ostatní výše zmíněné typy cestovního ruchu vázané na letní sezónu může být přínosem prodloužení sezóny (zvýšení jarní i podzimní teploty, prodlužování bezesrážkového období). Ovšem mimo letní rekreaci u vody a zimní rekreaci, je již nyní z hlediska klimatického komfortu pro většinu ostatních typů cestovního ruchu vhodných 6–12 měsíců v roce. V tomto případě mají klimatické faktory na cestovní ruch zanedbatelný vliv ve srovnání se sociálními a ekonomickými faktory.

4.7.2.4 Ohrožení kulturního dědictví v důsledku změny klimatu

Významným faktorem cestovního ruchu v ČR jsou kulturní památky. Relativní návštěvnost kulturních památek v roce 2016 dosáhla 1,24 návštěv na obyvatele (NIPOS 2017).

Na území ČR se nachází celkem 12 památek hmotného dědictví UNESCO:

- Historické centrum Prahy
- Historické centrum Českého Krumlova
- Historické centrum Telče

- Poutní kostel svatého Jana Nepomuckého
- Historické centrum Kutné Hory s chrámem sv. Barbory a s kostelem Nanebevzetí Panny Marie v Sedlci
- Lednicko-valtický areál
- Zámek se zahradami v Kroměříži
- Vesnická památková rezervace v Holašovicích
- Zámek v Litomyšli
- Sloup Nejsvětější Trojice v Olomouci
- Vila Tugendhat
- Třebíčská židovská čtvrť, židovský hřbitov v Třebíči, bazilika svatého Prokopa, zámek Třebíč

Mezi další hojně navštěvované památky patří Valašské muzeum v přírodě v Rožnově pod Radhoštěm (skanzen), státní zámek Hluboká nad Vltavou, Památník Terezín, zámek a arboretum Průhonice a státní hrad Karlštejn (CzechTourism 2018).

Ztráta či poškození movitých a nemovitých objektů kulturního dědictví je nenahraditelná. Nejčastějším ohrožením kulturních památek v ČR jsou požáry. I když spojení výskytu požárů se změnou klimatu není dosud metodicky zpracováno, velký počet požárů historických staveb (tab. 4.7.5) a rizika vyvolaná klimatickou změnou, které potenciálně mohou průběh a rizika požárů zesilovat (dlouhodobé sucho, výskyt konvekčních jevů) implikují potřebu tuto problematiku do budoucna řešit. Význam ochrany kulturního dědictví se i proto promítá do řady dokumentů, například do usnesení vlády ze dne 9. 2. 2015 č. 92 ke Zprávě o stavu požární ochrany kulturního dědictví, kde mimo jiné ukládá ministru vnitra předložit vládě do 31. 12. 2019 aktualizovanou zprávu a doporučuje hejtmanům a dalším činitelům spolupracovat na ochraně kulturního dědictví.

Tab. 4.7.5 Statistika požárů památkově chráněných objektů (Zdroj: Kaiser 2015)

	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Hrady a zámky	2	11	6	2	4	4	4	3
Kostely, kláštery a jiné církevní objekty	4	4	7	4	11	8	2	3
Jiné historické budovy a objekty	4	13	2	4	3	8	2	7
Celkem	10	28	15	10	18	20	8	13

Největší škody na památkách napáchaly zřejmě povodně v roce 2002, kdy došlo k zaplavení několika památkově chráněných objektů – kromě centra Českého Krumlova a Prahy (UNESCO, 2009), šlo například o státní zámek Vetrusy aj. Postiženy byly rovněž archivy a knihovny ve třech oblastech: v jižních Čechách, v Praze a na Litoměřicku. Největší škody na knihovních sbírkách byly v pražských knihovnách (Polišenský 2002). V průběhu povodní bylo zasaženo více než 40 knihoven a zaplaveno přes 700 tisíc svazků.

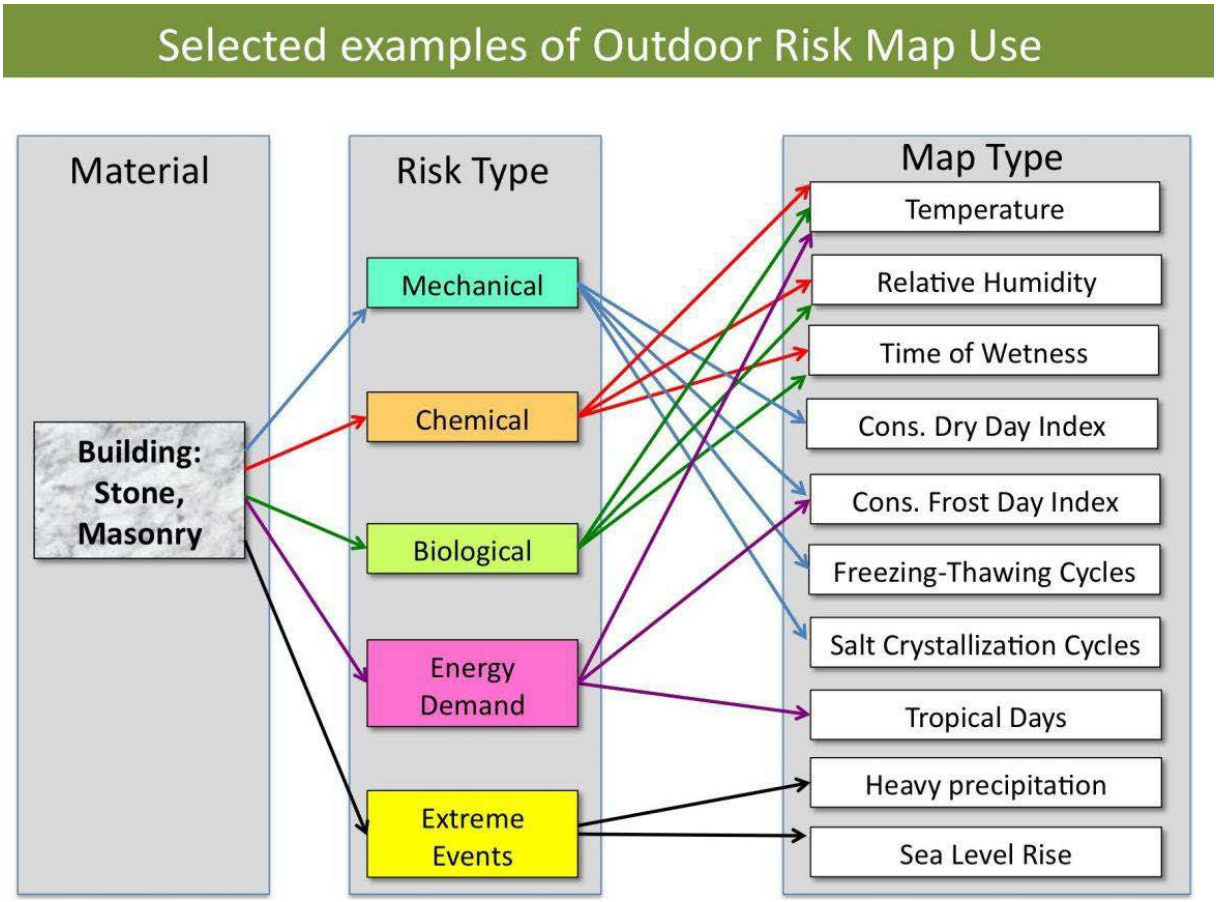
Přírodní katastrofy přitom představují riziko nejen pro zachování objektů kulturního dědictví ve smyslu jejich kulturní, historické a umělecké hodnoty, ale i z hlediska bezpečnosti návštěvníků, zaměstnanců a místních komunit. Navíc mají bezpochyby negativní dopady na lokální ekonomiky kvůli úbytku příjmů z cestovního ruchu. I proto se ochrana kulturního dědictví stal jedním z bodů obsažených v Sendaiském rámci pro snižování rizika katastrof a je samozřejmě

Aktivní roli v aktivitách na ochranu kulturního dědictví před následky klimatických změn hraje UNESCO a jeho programy, které se tomuto problému věnují již od počátku milénia (viz např. UNESCO 2007, 2009). Jednou z organizací navázaných na UNESCO je Mezinárodní komise Modrého štítu (theblueshield.org), jehož cíle jsou preventivní opatření na ochranu světového kulturního dědictví, pomoc ve stavu nouze, záchrana kulturních statků ohrožených mimo jiné, přírodními katastrofami. Přesto platí, že rizika způsobená klimatickou změnou pro kulturní dědictví jsou dosud v detailním měřítku nedostatečně prozkoumána, což potvrzují literární zdroje zpracované Fatorićem a Seekampem (2017), přímo pro území ČR se konkrétní studie nepodařilo získat.

Výzkum možného dopadu změny klimatu na objekty kulturního dědictví a možnosti jejich ochrany řešilo či aktuálně řeší i několik projektů v kontextu Evropy. Význam klimatickou změnou způsobených hrozeb pro kulturní dědictví identifikoval již projekt NoahsArk a z něj vycházející zpráva EUR-OPA

a Evropského parlamentu z roku 2008 (Sabbioni et al. 2008) a později zpracovaný Atlas dopadů změny klimatu na evropské kulturní dědictví (Sabbioni et al. 2010). Nověji pak např. projekt v rámci programu InterReg – ProteCHt2save, jehož součástí je i modelové místo v podobě Trojského zámku, a jež cílí na informace o politice EU a opatřeních pro ohrožené dědictví, rozvoj kompetencí k ochraně kulturního dědictví a strategie boje proti již zmiňovaným hrozbám a katastrofám poškozujících povrchy budov a dalších památek.

Podrobněji se v nedávné době riziku pro historické objekty na celoevropské úrovni věnoval projekt CLIMATE FOR CULTURE (www.climateforculture.eu) a to jak z hlediska vnějšího, tak vnitřního prostředí a jeho možných změn v důsledku změny klimatu. Mapa vybraných rizik pro venkovní působení změny klimatu na kamenné stavby ukazuje obr. 4.7.1.



Obr. 4.7.1 Ukázka mapy rizik klimatické změny v závislosti na materiálu stavby a typu rizika (Zdroj: Bertolin et al. 2010)

V rámci projektu byly modelovány i možné změny vnitřního prostředí (Huijbregts et al., 2012a, 2013), a změny vybraných parametrů dopadů změny klimatu (růst průměrné vnitřní teploty a vlhkosti v budovách, rychlost růstu plísní, mechanická degradace dřevěných konstrukcí, mechanická degradace vrstev maleb) na území Evropy. Výsledky neukazují výrazné změny ve střední Evropě, zatímco například na severu Evropy pravděpodobně dojde k významnému nárůstu rychlosti růstu plísní (Huijbregts et al. 2012b; Ashley-Smith et al. 2013).

Klimatickou změnou a jejími následky mohou být ohroženy jak historické budovy, tak i movité předměty vysoké kulturní hodnoty. Na základě uvedených publikací (UNESCO, 2007; Bertolin et al. 2010) lze shrnout, že budovy kulturního dědictví v podmínkách ČR mohou být změnou klimatu ohrožovány dvěma základními mechanismy:

1) Četnějším výskytem extrémních jevů jako konvekční bouře, přívalové srážky, případně povodně.
2) Dlouhodobou změnou klimatických charakteristik a tím změnou zatížení povrchu historických budov, a to prostřednictvím:
    a. Možného zvýšeného zatížení prostřednictvím změn teploty, kdy je negativní působení vázáno na počet cyklů mrznutí (cca při –3 °C) a tání (cca při 1 °C) rozrušujících

porézní povrch kamene objemovými změnami, celkový rozsah teplot, jímž je budova vystavena a případných tepelných šoků (vazba např. na požáry). V tomto ohledu zatím scénáře neindikují významné zvýšení uvedených parametrů v našich podmínkách, ačkoliv např. ve vyšších nadmořských výškách se počet cyklů mrznutí a tání může oproti stávajícímu stavu zvýšit.

b. Možného zvýšeného zatížení vodou a vlhkostí, kdy negativní působení je vázáno na krystalizaci solí při změnách vlhkosti přes kritickou hranici 75,5 %, nebo při častějším omočení stěn budovy. Vzhledem ke skutečnosti, že se očekává zvýšení počtu dnů s vyššími srážkami (10 mm a více) může docházet k častějšímu intenzivnímu omočení budov, které současně může být problémem z hlediska výskytu v průběhu roku s ohledem na spolupůsobení teploty vzduchu.
c. Větrem, zejména prostřednictvím abraze, která však v našich podmínkách není v současnosti příliš intenzivní.
d. Četnějším výskytem, nebo výskytem nových druhů mikrobů, plísní, rostlin a živočichů narušujících materiály historických budov v interiéru i exteriéru.

Nad rámec narušení budov je v případě kulturních památek jako Lednicko-valtický areál, či zámek a zahrady v Kroměříži nutné počítat s možnými vlivy změnu klimatu na zahrady a parky, jež jsou jejich nedílnou součástí, ať již z hlediska změn podmínek pro růst rostlinných druhů a nároků na jejich údržbu.

4.7.3 Stanovení indikátorů

4.7.3.1 Indikátory klimatické

Z klimatických indikátorů, jež jsou zpracovány v samostatné kapitole 4.11, mají na danou prioritní oblast významnější vazbu:

- Zimní cestovní ruch
  - Průměrná zimní teplota
  - Délka trvání sněhové pokrývky
  - Počet mrazových dnů
- Letní cestovní ruch
  - Průměrná letní teplota
  - Počet tropických dnů
  - Délka a četnost vln veder
  - Délka období sucha
  - Letní srážkové úhrny

Nejcitelnější dopad na zimní cestovní ruch má délka trvání sněhové pokrývky**.** Ta je odvislá od teploty a srážek pro vytvoření souvislé vrstvy sněhové pokrývky a období s dostatkem ledových/mrazových dní pro její udržení. Níže jsou proto uvedena pouze hlavní fakta se vztahem k cestovnímu ruchu.

Délka trvání sněhové pokrývky je vhodným indikátorem signalizujícím charakter počasí v zimním období, a to jak z pohledu teploty, tak z pohledu srážek. K významnějšímu propadu v množství sněhové pokrývky došlo hlavně od roku 2001, a to v nejvyšších partiích České republiky. Tam je změna markantnější, což mj. znamená, že i v místech, kde napadne stejné množství sněhu, dochází k rychlejšímu odtávání díky vyšším teplotám. Na mnoha místech došlo ke zkrácení sněhové sezóny, jelikož byl zaznamenán pokles maximální sněhové vrstvy v jarních měsících, což negativně ovlivňuje lyžařskou sezónu. Napadlo zde v průměru o 11 % nového sněhu méně než je dlouhodobý průměr a maximální výška sněhové pokrývky je o 7 % nižší. Klesá počet dní, kdy najednou napadne více sněhu a i na horách se zmenšuje maximální výška sněhu. Pokles v posledních 15 letech oproti období 1961–1990 je až 30–45 %.

Změny tohoto indikátoru jsou a budou i nadále intenzívní. Při realizaci předpokládaného emisního scénáře RCP4.5 by během tohoto století poklesl průměrný počet dní se sněhovou pokrývkou vyšší než 3 cm na přibližně jednu desetinu současných hodnot i méně. K nejvyššímu poklesu počtu dní přitom dojde ve vyšších polohách, což bude mít negativní dopad právě na tuto část odvětví cestovního ruchu.

Mezi dobře sledovatelné a relevantní meteorologické indikátory, které jsou ovlivněny největší měrou změnou klimatu a vypovídají o zkracování délky sezóny a o snižování kvality podmínek pro provozování zimních sportů, patří počet mrazových dnů a průměrná teplota v zimní sezóně.

Při zvyšování průměrné denní teploty v zimním období a snížení počtu mrazových dní se předpokládá vyšší potřeba a intenzita zasněžování. Zimní sporty vázané na sněhovou pokrývku jsou ohroženy přímým dopadem z důvodu nutnosti přítomnosti sněhu. Za předpokladu, že se v zimních obdobích bude věnovat více nákladů na údržbu sjezdových tratí umělým zasněžováním, je trend intenzity zasněžování důležitým a dobrým ukazatelem náročnosti vytváření podmínek pro cestovní ruch. Negativním dopadem umělého zasněžování je spotřeba vody.

Dále je možno využít indikátory vlivu změn klimatu v letní sezóně, které budou mít také vliv na cestovní ruch, např. vlny veder, bezesrážková období, počty tropických dní apod. Tyto jsou uvedeny a vyhodnoceny v samostatné kap. 2.

4.7.3.2 Indikátory dopadové

Indikátorem turistického komfortu, který je využíván na evropské úrovni, je Tourism Climate Index (TCI), který je druhem biometeorologického indikátoru indikujícího lidský fyzický komfort. V budoucím predikovaném období v rámci celé Evropy je předpokládán trend pozitivní změny TCI, tj. zvyšování hodnoty, na většině území Evropy zvláště ve střední a severní Evropě. Naopak v letním období se zvyšujícími se maximálními teplotami a vlnami veder se snižuje fyzický komfort ve středomořské oblasti (Amelung 2007). Použitelnost toho indikátoru je zavádějící a není vhodný z důvodu opomíjení klimatických podmínek vhodných pro provozování zimních sportů, rizik vln veder, nedostatku vody, případného vlivu extrémních událostí apod.

Dopady na městský cestovní ruch jsou odvoditelné od biometeorologického vlivu vln veder a vývoje tepelného ostrova města. Obecně TCI na Evropské úrovni předpokládá ve střední Evropě pozitivní změny v souvislosti s prodloužením letní sezóny. Zvýšená biometeorologická zátěž v letních měsících ve městech může nést negativní dopady na městský cestovní ruch. Pro jednoduchost je v této oblasti vhodné použít indikátor změn v oblasti urbanismu.

Vliv extrémních jevů na cestovní ruch je možné odvodit z trendů návštěvnosti v hromadných ubytovacích zařízeních, tento indikátor dobře reagoval na povodně v roce 2002. Ve třetím čtvrtletí roku 2002 vlivem povodní klesly počty hostů v hlavních ubytovacích zařízeních ČR o 17,5 % a z toho v kempech o 34,6 % (MAG Consulting 2013).

V městském turistickém ruchu, kde je zcela dominantní hlavní město Praha, mezi roky 2000 a 2005 byl zaznamenán nárůst počtu cizinců ubytovaných v pražských ubytovacích zařízeních o 60 %. Nárůst byl zaznamenáván každoročně, opět s výjimkou roku 2002, kdy katastrofické povodně v Praze způsobily 16,4% pokles ve srovnání s předchozím rokem. Nad hodnotu z roku 2001 se počet cizinců v Praze dostal až v roce 2004, takže lze říci, že povodněmi byl početní růst zahraničních návštěvníků dočasně pomalen (ČSÚ 2007).

Tento indikátor je ovšem vlivem změn klimatu ovlivněn v malé míře a větší vliv mají socio-ekonomické dopady. Pro sledování změn klimatu není jeho použití vhodné. Jako správně vyhodnocený doplňkový ukazatel může být přínosem.

Pro vyhodnocení predikcí budoucích trendů a zranitelnosti byly využity indikátory klimatické.

4.7.4 Vyhodnocení zranitelnosti vůči dopadům změny klimatu, identifikace nejzranitelnějších regionů v ČR

4.7.4.1 Vyhodnocení zranitelnosti pomocí indikátorů

- Počet mrazových a ledových dnů
- Průměrná teplota v zimní sezóně
- Délka trvání sněhové pokrývky
- Počet tropických dní

Sněhová pokrývka je limitujícím faktorem pro provozování ski-areálů, a tím i pro existenci zimního cestovního ruchu. Tyto indikátory podmiňují možnost vzniku sněhové pokrývky (vhodné mocnosti a kvality) a možnosti jejího udržení. Minimální výška sněhové pokrývky bývá stanovována např. v chráněných krajinných oblastech jako podmínka pro zahájení provozu vleků. V Jeseníkách na Ovčárně se tato hodnota pohybuje např. od cca 50 do 80 cm.

Vznik přirozené sněhové pokrývky podmiňuje také dostatek srážek, ovšem bez teploty pod bodem mrazu se nedostavují srážky ve formě sněhu, případně se na zemském povrchu neudrží dostatečná vrstva. V případě absence srážek, ovšem za přítomnosti vhodných teplot, je možné přistoupit k umělému zasněžování. Proto primárním klíčovým faktorem nejsou srážky, ale teplota. Umělé zasněžování s sebou ovšem nese rizika doporučeného volitelného indikátoru zmíněná níže:

Rizika nesoucí výroba umělého sněhu (Flousek a Harčarik 2009):

- K vytvoření 1 m^3 umělého sněhu je třeba 250–500 l vody, což při jeho vrstvě 20–35 cm představuje spotřebu 70–120 l/m^2 (tj. 700 000–1 200 000 litrů na 1 hektar sjezdovky). Žádná studie však dosud nehodnotí, jak se extrémní odběr vody v době minimálních zimních průtoků projevuje na její celoroční dostupnosti pro obyvatele a návštěvníky lyžařských center (z francouzských Alp se udává pokles průtoku vody v dotčených tocích až o 70 %).
- Výše naznačenému problému se často předchází výstavbou umělých vodních nádrží. Dochází tak k dalšímu záboru půdy, ke změnám reliéfu, k čerpání vody (většinou přirozeně úživnější, s vyšším obsahem minerálů a dalších prvků i s vyšším znečištěním) z údolí do vyšších poloh a k následné eutrofizaci zasněžovaných ploch.
- Samostatným problémem je vysoká energetická náročnost zasněžovacích zařízení (v alpských zemích souhrnně odhadovaná na 600 GWh ročně), nepřímo ovlivňující životní prostředí v jiných lokalitách a na mnohem rozsáhlejším území, než se nacházejí vlastní ski-areály (výstavba nových zdrojů energie, produkce emisí CO_2 atd.).
- Výroba technického sněhu je často spojena s celonočním světelným a hlukovým znečištěním.
- Technický sníh lze vytvářet při teplotách nižších než −4 °C. Od přírodního sněhu se liší. Je mnohem tvrdší a kompaktnější, má velkou hustotu a nepropouští tolik vzduchu k vegetaci a půda bez vegetace je náchylnější k erozi. Současně se dá s ohledem na predikce vývoje teplot předpokládat zhoršení podmínek pro samotné umělé zasněžování (snížení počtu vhodných hodin).

Počet tropických dní bude ovlivňovat situaci v cestovním ruchu jak pozitivně, tak negativně. Nárůst teplot a počtu tropických dní bude prodlužovat letní sezónu i do jarního a podzimního období a může být přínosem např. na rekreaci u vody (koupání, vodní sporty). Rizikem pro tuto oblast vyšší riziko znečištění povrchových vod a zhoršení jejich kvality a podmínek pro koupání (např. sinice).

Vysoká teplota ve městech v kombinaci s účinky efektu městského tepelného ostrova mohou vést ke snížení atraktivity (především) větších měst v dobách nejvyšších teplot a vln veder. Týká se to např. historických center měst s nízkým podílem zeleně a vysokou koncentrací zástavby. Toto však bude současně kompenzováno prodloužení sezóny do jarních a podzimních měsíců.

4.7.4.1.1 Předpokládaný časový trend indikátorů

Z hlediska průměrné teploty v zimním období (pro období 2040–69) se předpokládá postupný nárůst až o 2,1 °C oproti referenčnímu období 1981–2010, což může být pro řadu lokalit v horských polohách, kde se teploty v zimním období pohybují okolo 0 °C, z hlediska cestovního ruchu velmi významný nárůst. Současně se předpokládá postupný pokles počtu mrazových dní, do konce století až o 70 %.

Tab. 4.7.6 Předpokládaný časový trend indikátorů na území ČR podle scénáře RCP8.5

Indikátor	Období 2040–2069	Období 2081–2100
Průměrná teplota v zimním období	Nárůst o 1,4–2,1 °C	Nárůst o 3,4–6,0 °C

Počet mrazových dnů	Výrazný pokles počtu mrazových dní o 43	Výrazný pokles počtu mrazových dní o 50–70 %
Počet tropických dnů	Postupný růst počtu tropických dnů až o 12	Výrazný růst počtu tropických dnů až o 20

4.7.4.2 Identifikace nejzranitelnějších regionů a regionálně nejzávažnějších dopadů

Mezi nejvíce zranitelné regiony z hlediska cestovního ruchu ve vazbě na výše uvedený indikátor patří horské a podhorské regiony zaměřené na zimní cestovní ruch (běžkové a sjezdové lyžování, zimní turistika), tj. zejména příhraniční oblasti ČR, Krkonoše, Jeseníky, Šumava, Krušné hory, Moravskoslezské Beskydy. Ohroženy jsou zejména níže položená lyžařská střediska (např. v případě níže položených alpských středisek se předpokládá při nárůstu teploty o 1 °C zkrácení zimní sezóny o cca 4–6 týdnů).

S předpokládanými změnami souvisí předpokládané zhoršení podmínek pro zimní formy cestovního ruchu, úbytek sněhu, kdy vhodné podmínky zůstanou pouze v nejvyšších polohách těchto oblastí, bude vést k vyšší koncentraci turistů v těchto lokalitách, vyšší náročnosti a nákladům na údržbu a provoz (umělé zasněžování) a současně k potenciálnímu nárůstu střetů se zájmy ochrany přírody. V nižších polohách se oblast zimní rekreace stane ekonomicky neperspektivní.

Tab. 4.7.7 Identifikace nejzranitelnějších regionů a regionálně nejzávažnějších dopadů

Průměrná teplota v zimním období	Horské a podhorské regiony, výrazně orientované na zimní cestovní ruch, Krkonoše, Jeseníky, Šumava, Krušné hory, Moravskoslezské Beskydy
Počet mrazových dnů	Horské a podhorské regiony, výrazně orientované na zimní cestovní ruch, Krkonoše, Jeseníky, Šumava, Krušné hory, Moravskoslezské Beskydy
Počet tropických dnů	Turisty nejčastěji navštěvovaná větší města, respektive jejich historická centra

4.7.5 Souhrn – What if analýza

Při zhodnocení hlavních referenčních bodů dopadu potvrzuje What if analýza téměř ve všech bodech identifikovaná rizika dílčích specifik cestovního ruchu. V některých bodech se dopady opakují, což ukazuje na synergické působení jednotlivých dopadů na oblast, konkrétněji zvláště na oblast zimní turistiky vázané na sněhovou pokrývku.

Hlavními analyzovanými negativními dopady jsou:

- Neudržitelnost fungování níže položených ski-areálů a zachování ski-areálů pouze ve vyšších nadmořských výškách, případně vznik nových ve výše položených oblastech, zvýšení rizika střetů sjezdového a běžeckého lyžování se zájmy ochrany přírody (bude docházet také k posunu vegetační stupňovitosti, k úbytku rozlohy 5–8 vegetačního stupně a ohrožení některých cenných přírodních fenoménů),
- zhoršení sněhových podmínek,
- zkracování sezóny zimních sportů,
- snížení atraktivity městské turistiky, zvýšení prašnosti, vyšší náklady provozu klimatizace a chlazení potravin a nápojů,
- zhoršení přírodních podmínek pro vodáky a turisty.

Tab. 4.7.8 Cestovní ruch, souhrnná what if analýza

What if …? Co se stane, když …?	Mechanismus působení	… za uvažovaného stavu systému/oblasti	Předpokládané negativní dopady/rizika	Pravděpodobnost scénáře	Závažnost	Zranitelnost systému	Subjektivní riziko
otázka		**zpřesnění otázky**	**akutní i chronické**	**(1–nejnižší, 5–nejvyšší)**			**=PravxZavxZranit**
Zvyšování průměrné teploty vzduchu a extrémní teploty	V důsledku nárůstu teploty vzduchu v zimním období poklesne počet mrazových dnů, současně se zvýší četnost dešťových srážek v zimním období a posune se jejich výšková hranice	Provozování lyžařských areálů ve zhoršených sněhových podmínkách a potenciálně při omezeném množství vody pro zasněžování	posun vegetační stupňovitosti do vyšších nadmořských výšek, snížení rozlohy výše položených VS a zároveň posun ski-areálů do vyšších nadmořských výšek – střet se zájmy ochrany přírody	4	3	4	**48**
			zkracování sezóny zimních sportů a zhoršení sněhových podmínek., za současného zhoršení podmínek pro umělé zasněžování (snížení počtu hodin vhodných k umělému zasněžování) a zvýšená potřeba vody pro zasněžování, nebo její nedostatek	5	3	4	**60**
	Změny teplotního režimu a spojeného režimu vlhkosti vzduchu může působit na kulturní památky v podobě změny zvětrávacích a degradačních procesů různého druhu.		Vyšší poškození kulturních památek	3	3	4	**36**
	Zvýší se četnost a prodlouží se délky vln veder a zvýší průměrné teploty	v městském prostředí	snížení atraktivity městské turistiky, zdravotní rizika, vyšší náklady provozu klimatizace	3	3	2	**18**
Zvýšená pravděpodobnost výskytu dlouhodobého sucha	Pokles srážek v létě a prodlužování bezsrážkových období bude mít vliv na snížení vodních stavů a průtoků na řekách využívaných k vodní turistice		zhoršení přírodních podmínek pro vodáky a provozovatele navázaných aktivit	4	3	3	**36**
	Prodloužení období zemědělského sucha	ohrožení rovozování malých zemědělských hospodářství může potenciálně ohrozit i podmínky pro agroturistiku	Ohrožení podmínek agroturistiky	3	2	2	**12**

What if …? Co se stane, když …?	Mechanismus působení	… za uvažovaného stavu systému/oblasti	Předpokládané negativní dopady/rizika	Pravděpodobnost scénáře	Závažnost	Zranitelnost systému	Subjektivní riziko
otázka		**zpřesnění otázky**	**akutní i chronické**	**(1–nejnižší, 5–nejvyšší)**			**=PravxZavxZranit**
Potenciální změny míry nebezpečí povodní a přívalových povodní	Zvyšování četnosti dnů s vyššími srážkami (přívalové srážky) mohou především v letním období způsobovat lokální přívalové povodně nebo vyvolat sesuvy půdy		Riziko poškození infrastruktury cestovního ruchu včetně památek	2	4	3	**24**
Změna výskytu dalších extrémních jevů (nebezpečný vítr, bouře, ledovka)	Četnější výskyt extrémních konvekčních meteorologických jevů (bouře, větrné smršťě).	Pro masově pořádané akce v otevřeném prostoru	Zvýšené riziko poškození zdraví či ohrožení na životě konaných open air akcí	3	4	2	**24**
		Pro nemovité a movité kulturní památky	Zvýšené riziko poškození kulturního dědictví a památek	3	3	4	**36**

4.7.6 Analýza navržených adaptačních opatření dle Adaptační strategie Národního akčního plánu a doporučení pro úpravu

4.7.6.1 Srovnání identifikovaných rizik s návrhy adaptačních opatření v Adaptační strategii

Adaptační opatření v oblasti cestovního ruchu jsou zaměřena na 4 prioritní oblasti. Tj. na oblast státní správy, odvětví a destinace cestovního ruchu, opatření spotřebitelská a výzkum a komunikace. Opatření jsou ve větší míře zaměřena na podporu šetrných forem cestovního ruchu, které mají spíše mitigační než adaptační charakter.

Tab. 4.7.9 Cestovní ruch, analýza navržených adaptačních opatření dle Adaptační strategie

Hlavní identifikovaná rizika	Porovnání rizik s opatřeními dle Adaptační strategie	Návrh na doplnění dalších opatření
Úbytek sněhové pokrývky, zkrácení sezóny zimních sportů, zánik ski-areálů v nevhodných (zejména níže položených), koncentrace zimní turistiky do omezeného množství lokalit ve vyšších polohách	Částečně řešeno. V obecné rovině doporučuje šetrné formy cestovního ruchu. Opatření uvádí potřebu zahrnout do procesu EIA a SEA při posuzování vlivu cestovního ruchu na ŽP výrazněji vlivy na krajinu zejména z pohledu spotřeby vody, v ÚPD nastavení výškových a lokalizačních regulativů pro stavbu sjezdovek a lanovek, zasněžování apod.	Doporučujeme uvést potřebu diverzifikace příjmů z cestovního ruchu v lokalitách s ohroženým potenciálem zejména v oblasti zimních sportů a využití jarní a podzimní sezóny. Při umělém zasněžování zamezení používání chemických aditiv v souvislosti s degradací půdy, zdůraznit potřebu současné ochrany přírodních fenoménů v horských oblastech.
Vyšší četnosti, délka a intenzita vln veder (ve městech umocněna tepelným ostrovem)	Reaguje napříč většinou adaptačních opatřeními v urbanizované krajině.	Podrobnější návrhy pro snižování tepelného ostrova města jsou uvedeny v kapitole Urbanizovaná krajina. Doporučujeme zdůraznit možnosti marketingu městské turistiky zaměřené mimo hlavní letní sezónu, tedy na oblast jara a podzimu.
Nedostatek vody pro vodáckou rekreaci	Adaptační strategie reaguje v oblasti vodního režimu v krajině.	Bez dalších doporučení.
Zvýšení bezpečnostních rizik konání open air akcí vliv zvýšení četnosti extrémních jevů	Reaguje v kapitole Mimořádné události.	Bez dalších doporučení.

Diverzifikace příjmů z cestovního ruchu a přeorientování lokalit s ohroženým potenciálem na cestovní ruch se stabilnějším potenciálem či potenciálem rostoucím i vlivem změn klimatu, zvýšení atraktivity turistických zajímavostí antropogenního původu, posílení potenciálů jiného typu především kulturně-historického a společenských akcí, posílení infrastruktury pěší turistiky, infrastruktury pro cykloturistiku apod.

V případě lyžařských center je vhodné využít zimní infrastrukturu lanovek k využití pro pěší turistiku a cykloturistiku, zvláště nově se rozvíjející populární trend singltreků a bikeparků. Využitím, rozšířením a transformací již stávajících služeb a zimní infrastruktury je možné získat ekonomický přínos i z tohoto druhu cestovního ruchu.

4.7.6.2 Srovnání identifikovaných rizik s návrhy adaptačních opatření v NAP

NAP řeší problematiku cestovního ruchu v rámci specifických cílů:

- SC21 Řízení a rozvoj šetrného a udržitelného cestovního ruchu s ohledem na změnu klimatu
- SC22 Posílení znalostní základny vzájemných vztahů a dopadů změny klimatu na cestovní ruch

Tab. 4.7.10 Cestovní ruch, analýza navržených adaptačních opatření dle NAP

Hlavní identifikovaná rizika	Porovnání rizik s opatřeními dle NAP	Návrh na doplnění dalších opatření
Úbytek sněhové pokrývky, zkrácení sezóny zimních sportů, zánik ski-areálů v nevhodných (zejména níže položených), koncentrace zimní turistiky do omezeného množství lokalit ve vyšších polohách	Řešeno dostatečně. Např. nastavením stimulačních opatření pro podporu diverzifikace služeb v cestovním ruchu v rizikových oblastech anebo v rámci aktualizace Koncepce státní politiky cestovního ruchu v ČR na období po roce 2020. Také řešeno s cílem zpracovat analýzu možností nalezení ekologicky nejšetrnějšího způsobu zasněžování, včetně problematiky používání aditiv a možností akumulace vody z tajícího sněhu i dešťových vod v nádržích s využitím pro zasněžování.	Doporučujeme zohlednit také problematiku možných střetů se zájmy ochrany přírody zejména v nejvyšších partiích hor, tj. s vysokou koncentrací turistů v zimě. Hledat odborně podložené kompromisy mezi těmito odlišnými zájmy.
Vyšší četnosti, délka a intenzita vln veder (ve městech umocněna tepelným ostrovem)	Reaguje v obecnější rovině zpracováním odborných projektů a zahrnutím této problematiky do příslušných oborových dokumentů.	Doporučujeme zdůraznit možnosti marketingu městské turistiky zaměřený mimo hlavní letní sezónu, tedy na oblast jara a podzimu.
Nedostatek vody pro vodáckou rekreaci	NAP reaguje v oblasti vodního režimu v krajině. Cestovní ruch reaguje v obecnější rovině zpracováním odborných projektů a zahrnutím této problematiky do příslušných oborových dokumentů.	Bez dalších doporučení.
Zvýšení bezpečnostních rizik konání open air akcí vliv zvýšení četnosti extrémních jevů	NAP reaguje v obecnější rovině zpracováním odborných projektů a zahrnutím této problematiky do příslušných oborových dokumentů.	Bez dalších doporučení.

Národní akční plán adaptace se problematikou změny klimatu a cestovního ruchu zabývá v rámci dvou specifických cílů. Problematika cestovního ruchu se prolíná také s dalšími oblastmi, ochranou přírody, urbanizovanou krajinou, vodním hospodářstvím a je tedy částečně podporována v rámci těchto částí.

Zásadnější připomínky pro aktualizaci NAP nejsou uplatňovány, s podporou diverzifikace služeb v rizikových oblastech a s přesunem části aktivit ze zimní sezóny do jarní a podzimní sezóny lze souhlasit.

4.8 PRŮMYSL A ENERGETIKA

Služby a podnikání v oblasti průmyslu a energetiky (včetně chemického, těžebního, automobilového a dalších typů) na území ČR již jsou a do budoucna s jistotou budou ovlivňovány a také ohrožovány dopady změny klimatu, a to jak přímo, tak nepřímo. Státní správa i podnikatelský sektor jsou si toho poměrně dobře vědomy, jak je zřejmé z nově formulované klimaticko-energetické politiky EU, tak z aktualizované české Státní energetické koncepce (SEK) na následujících 25 let (do roku 2040), vypracované MPO a schválené vládou ČR 18. května 2015 (MPO 2014a). Se SEK úzce souvisí mimo jiné Národní akční plán energetické účinnosti ČR, který byl upraven podle směrnice Evropského parlamentu a Rady 2012/27/EU o energetické účinnosti (MPO 2014b). Aktualizace směrnice o energické účinnosti (EU) 2018/844 požadavky dále upřesňuje, ale aktualizace dosud není v plné míře implementována do národních politik.

Dopady změny klimatu jsou z průmyslových odvětví zvlášť významné pro energetiku, čehož si je vědoma většina dotčených subjektů v této oblasti. Mezinárodní agentura pro energii (IEA), jíž je ČR členem, konstatuje ve své zprávě Energy, Climate Change and Environment – insight (IEA 2016), že nevyhnutelné změny klimatu vytváří jasné výzvy pro energetický sektor, který poskytuje základní energetické služby, podmiňující kvalitu života a ekonomický rozvoj. Zlepšení odolnosti energetického sektoru vůči změně klimatu je tudíž životně důležité pro ekonomiku, domácnosti i vlády.

Změna klimatu bude mít na průmysl tři typy dopadů, související jak s preventivními akcemi k zabránění nežádoucí eskalace změny klimatu, tak s negativními účinky již vzniklé změny klimatu na podniky a služby. Největší a také ekonomicky nejnáročnější je nezbytná změna struktury a efektivity průmyslu s ohledem na antropogenní vlivy na klima. Jedná se tak hlavně o naplnění cílů Pařížské úmluvy a dalších politik vyžadujících snížení emisí skleníkových plynů a vyčerpávání zdrojů. To bude vyžadovat zásadní změny technologií, vysoký stupeň inovací a tudíž i vysoké investiční náklady. Nejvíce bude zasažen energetický sektor, který je v současné době již chápán nikoliv jako izolovaný – energetický, ale jako energeticko-environmentální. V oblasti dopadů již proběhlých změn se již nyní setkáváme s ohrožením kontinuity provozu kvůli vysokým teplotám, nedostatku vody a extrémním meteorologickým jevům, tedy s ohrožením provozuschopnosti bez fyzického ohrožení samotných energetických zařízené, ale také s přímými dopady přírodních katastrof na podniky, tedy s haváriemi vyvolanými přírodními jevy. To se týká nejen energetiky, ale také ostatního průmyslu, například chemických provozů (OECD 2015a). Stejnou problematikou se na evropské úrovni zabývá například Joint Research Centre Ispra (2004) nebo na globální úrovni různé orgány OSN, např. UNISDR ve svých doporučeních. Významné je riziko nedostatečné rychlosti adaptace na změnu klimatu včetně implementace nízkouhlíkové energetiky a průmyslu v globálním měřítku, takže může být ČR a její průmysl a energetika po roce 2040 nucena reagovat jinak, než je naznačeno v aktuální koncepci SEK do roku 2040 (například nouzově investovat do výstavby dalších jaderných elektráren s dostatečnou odolností vůči hydrometeorologickým extrémům, urychleně zavádět obnovitelné zdroje, reagovat vyšším importem energie apod.), aby byla zajištěna úroveň a kvalita současných a budoucích služeb.

V důsledku příliš pomalé adaptace na klimatickou změnu a pomalého přechodu na nízkouhlíkovou energetiku může ČR a její průmysl ztratit současnou (i budoucí) konkurenceschopnost v porovnání se sousedními zeměmi EU.

Nedostatečná adaptace na měnící se klimatické podmínky může také vyústit do vzniku významných a déletrvajících výpadků (blackoutů), stejně tak i do havárií technologií typu NATECH (Natural Disasters Triggering Technological Hazards).

4.8.1 Úvod a kontext

Průmysl a energetika jsou klíčovými faktory blahobytu a bezpečnosti společnosti a poskytují nenahraditelné služby, zároveň však jsou významným zdrojem ohrožení životního prostředí včetně zásadního příspěvku k antropogenním vlivům na klimatickou změnu. Jejich role je tak nejen významná, ale i komplexní a někdy dokonce ambivalentní. Vztah mezi průmyslem, zvláště pak energetickým, a změnou klimatu je charakteristický složitým systémem zpětných vazeb a vzájemných ovlivnění. Ve značném zjednodušení řečeno, průmysl je zdrojem blahobytu, ale také emisí skleníkových plynů a dalších efektů přispívajících ke změně klimatu, a zároveň je i sám ohrožován klimatickou změnou, kterou pomáhá vyvolat. Složitost problematiky, spolu s velkým počtem a diverzitou dotčených subjektů a stále ještě omezenými znalostmi, tak vede k nejednotným postojům a dynamicky se vyvíjející znalostní

základně. Na ní, spolu s hodnotovým systémem společnosti, který se také dramaticky vyvíjí, jsou pak postavené politiky adaptace na klimatickou změnu a budování připravenosti na možné krize environmentálního, technického i společenského charakteru a je přirozené, že se názory i nástroje rychle vyvíjí.

V oblasti energetiky a průmyslu obecně existuje rozsáhlé propojení na mezinárodní úrovni, národní energetika i další průmyslové segmenty jsou nedílnou součástí velkých nadnárodních celků, minimálně na úrovni Evropské unie a mnohdy, například v surovinové bezpečnosti, jsou zcela globální. Tento mezinárodní rozměr průmyslu se propojuje s mezinárodním rozměrem změny klimatu, což se zákonitě promítá do nezbytnosti řešit danou problematiku v mezinárodním kontextu. V mezinárodním měřítku byly hlavním zdrojem informací pro tuto studii materiály OSN, hlavně pak materiály UNDRR (United Nations Office for Disaster Risk Reduction, donedávna známá jako UNISDR) a související dokumenty k Rámci ze Sendai. Ty byly doplněny o zdroje UNECE (United Nations Economic Committee for Europe) a dalšími dokumenty Organizace spojených národů. Z globálních organizací pak byl zásadní příspěvek OECD, ale také ILO (International Labour Organisation) a IEA (International Energy Agency).

Nejvýznamnějším průmyslovým odvětvím propojeným s klimatickou změnou je energetika, a to i jako zdroj emisí skleníkových plynů.

Tab. 4.8.1 Předpověď emisí ze stacionárních zdrojů dle IEA

	2014	2020	2025	2030
Skleníkové plyny z energetiky	35,5	36,9	37,5	38,4
Emise CO_2 z procesů	2,8	3,2	3,4	3,5
Zemědělství a lesnictví CO_2	0,8	0,3	–0,1	–0,5
jiné	9,6	10,0	10,3	10,6
celkem	48,7	50,4	51,1	52,0

Mezinárodní pohled na vztah energetiky a změny klimatu se rychle vyvíjí a následující odstavce se věnují nikoliv dopadu energetiky na klimatickou změnu, což je problém řešený jinde, ale dopadům změny klimatu na energetiku. Změna klimatu bude mít na průmysl tři typy dopadů, související jak s preventivními akcemi k zabránění nežádoucí eskalace změny klimatu, tak s negativními účinky již vzniklé změny klimatu na podniky a služby. Největší a také ekonomicky nejnáročnější je nezbytná změna struktury a efektivity průmyslu s ohledem na antropogenní vlivy na klima. V oblasti dopadů již proběhlých změn se již nyní setkáváme s ohrožením kontinuity provozu kvůli vysokým teplotám, nedostatku vody a extrémním meteorologickým jevům, tedy s ohrožením provozuschopnosti bez fyzického ohrožení samotných energetických zařízené, ale také s přímými dopady přírodních katastrof na podniky, tedy s haváriemi vyvolanými přírodními jevy.

Rizika spojená se změnou struktury energetiky jsou značná a mohou mít devastující efekty nejen na energetiku, ale na celé hospodářství. Dokument IEA (2015) udává, že bude nezbytné zvýšit roční investice do technologií obnovitelných energií z 270 mld. USD v roce 2014 na nejméně 400 mld. USD ročně v roce 2030. Transformace energetiky tak bude investičně nesmírně náročná. Stejný dokument také sumarizuje rizika, která ohrožují energetiku.

Změna klimatu představuje pro energetický sektor jasné výzvy. Kromě nutnosti snižovat emise čelí energetický sektor rostoucím rizikům také z celé řady dopadů klimatických změn, které představují vážnou hrozbu pro energetickou bezpečnost. Přestože energetický sektor již podniká řadu opatření ke zmírnění krátkodobých rizik v zásobování energiemi (např. vývoj systémů reakce na mimořádné události, diverzifikace zdrojů energie a provádění opatření pro energetickou a vodohospodářskou účinnost), změna klimatu tato rizika v krátkodobém i dlouhodobém horizontu pravděpodobně prohloubí. Změna klimatu má dopad nejen na fungování energetického sektoru a jeho aktérů, ale i na společnost jako takovou, která se opírá o poskytování energetických služeb. Patří sem průmysl, komerční provoz, nemocnice, školy a další sociální služby a také jednotlivé domácnosti, které na ně spoléhají. Zvýšení odolnosti energetického sektoru tak nechrání jen energetické společnosti, ale také ekonomiky a obyvatelstvo, které se na energetické služby spoléhá.

Široká škála dopadů změny klimatu by mohla ovlivnit základní složky energetického odvětví: Výrobu, transformaci, dopravu a skladování, ale i poptávku. Tyto dopady se liší podle regionů, přičemž rizika

závisí i na zranitelnosti dané oblasti vůči fyzickému vystavení nebezpečím. Změny klimatu a počasí ovlivňují fyzikální povahu a těžbu energetických zdrojů, na nichž energetický systém zásadně závisí. Například proto, že voda je důležitým vstupem do některé těžby fosilních paliv, může absence vody tyto procesy omezit. Změna klimatu ovlivňuje také transformaci energetických zdrojů na sekundární nosiče energie. Tyto dopady jsou důležité zejména proto, že velká část související infrastruktury (např. elektrárny, rafinérie) je nákladná a dlouhodobě používaná s očekávanou životností mnoha desetiletí. Zvýšený výskyt extrémních meteorologických jevů, a další, sekundární nebezpečí související s hydrometeorologickými jevy (např. sesuvy půdy, požáry vegetace) a stoupající hladiny moří ohrožují širokou škálu infrastruktury zásobování fosilními a nefosilními palivy na globální úrovni. Změny v dostupnosti, distribuci a teplotě vody, způsobené částečně změnou klimatu, se mohou promítnout do výroby elektřiny a dalších procesů přeměny energie. Na rozdíl od infrastruktury pro těžbu a zpracování energie, která bývá geograficky centralizovaná, je síť infrastruktury pro přepravu energetických produktů rozptýlená a vedoucí do velkých vzdáleností, což ovlivňuje její expozici nebezpečím a rizika. Přenosová, skladovací a distribuční infrastruktura energetických systémů je zranitelná různými klimatickými událostmi, jako jsou extrémní vítr, bouřkové jevy, přívalové povodně a zvýšená akumulace sněhu a ledu; to jsou jedny z nejvýznamnějších hrozeb pro zabezpečení dodávek elektřiny. Ve Spojených státech rostou poruchy související s počasím v energetickém sektoru, roční náklady pro ekonomiku se odhadují na 18 až 70 mld. USD. Závěrem je, že je nezbytné budovat odolnost podél celého dodavatelského řetězce.

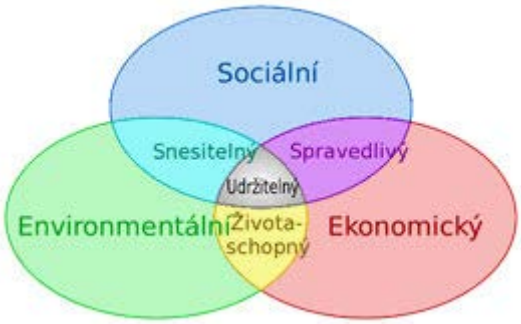
Změna klimatu, která se mimo jiné projevuje také dlouhými obdobími bez deště nebo jeho nerovnoměrným rozdělením, začíná působit problémy i ve světové energetice. Nejzranitelnější jsou podle očekávání vodní elektrárny, ale zkušenosti z posledních několika let ukazují, že změny klimatu mohou ovlivnit výrobu elektřiny i v uhelných, jaderných a zdánlivě paradoxně i ve větrných a fotovoltaických elektrárnách. Potvrzuje se tak, jak důležitý je pro stabilní zásobování elektřinou vyvážený mix energetických zdrojů.

Zkušenosti evropských zemí ukázaly, jak riskantní by mohlo být spoléhání jen na jeden dominantní zdroj energie. V Rakousku, které i v létě obvykle získává asi 60 % elektřiny z vodních elektráren, vyráběly malé zdroje na Dyji a Křemži v období sucha sotva 30 procent své kapacity, ale produkci omezila i velká díla na Dunaji. Plné byly v té době jen přečerpávací elektrárny v Alpách, které naopak měly nadbytek vody z rychleji tajících ledovců. Paradoxní situace nastala i v jiné periodě, kdy vlna dešťů vedla v Rakousku k omezení výroby ve větrných elektrárnách, které vyrobily jen tři procenta svého obvyklého výkonu. Hladiny vody v nádržích Norska a Švédska, jejichž energetiky jsou z 99 resp. 47 % založeny na hydroelektrárnách, byly na začátku loňského léta jen na 62 % obvyklého stavu a dále klesaly i v době, kdy se obvykle zvyšují díky vodě z tajícího sněhu. Norská státní společnost Statskraft v loňském druhém čtvrtletí v důsledku sucha vyrobila o 22 % méně elektřiny, jejíž cena na skandinávském spotovém trhu ve stejném období vzrostla o 42 %. Rekordně nízké hladiny řek loni v létě ale způsobily problémy i německým uhelným elektrárnám, jejichž velká část je zásobována uhlím dováženým z celého světa do severoněmeckých přístavů a odtud po Rýně dále do elektráren. V srpnu se v důsledku sucha obvyklá přepravní kapacita rýnské lodní dopravy snížila na méně než jednu třetinu a energetické společnosti RWE a EnBW se potýkaly s omezeným zásobováním uhelných elektráren, které slouží i pro zálohování větrných a fotovoltaických zdrojů v noci a za bezvětří. V důsledku počasí zaznamenaly omezení výroby i některé francouzské, švýcarské a německé jaderné elektrárny, zejména ty, které leží na velkých řekách, jako jsou Rýn, Rhôna a Dunaj. Málo vody sice nepředstavovalo provozní riziko, ale její teplota loni v létě několikrát dosáhla 25°C, což se blíží horní hranici pro použití pro chlazení, proto se musel snížit výkon reaktorů. Vysoké teploty jsou ale problémem i pro fotovoltaické elektrárny. Jejich výkon totiž klesá zhruba o půl procenta s každým stupněm Celsia, o který vzroste okolní teplota. Proto ideální místo pro fotovoltaické elektrárny představují spíš chladné oblasti vysoko v horách, více než například rozpálené pouště.

Problémy v energetice samozřejmě mohou způsobit i opačné jevy spojené s klimatickými změnami a jejími extrémy. Několikrát se to v posledních letech ukázalo v USA, jejichž východ se potýkal s extrémními mrazy. Plynové elektrárny, které by se podle některých amerických expertů i politiků měly díky masivnímu rozvoji těžby břidličného plynu stát páteří americké energetiky, mají výrobní problémy v důsledku nedostatečné kapacity plynovodní sítě. Větrné elektrárny dodávaly v USA prvním mrazivém lednovém víkendu jen 3 tisíce megawattů. Situaci tak zachraňovaly uhelné elektrárny s výkonem 47 tisíc megawattů a výrobu plynových elektráren překročily i jaderné zdroje, které dodávaly zhruba 35 tisíc MW. Ministr energetiky Rick Perry i v důsledku těchto zkušeností proto požadoval, aby americký energetický regulační úřad přijal opatření na zachování role uhelných a jaderných elektráren jako záruky stability a spolehlivosti energetické sítě. V každém případě současné změny klimatu, které jsou do značné míry důsledkem spalování fosilních paliv v energetice, potvrzují, že by lidstvo i jednotlivé země

měly při zajišťování svých energetických potřeb využívat především nízko emisní zdroje, které by se vhodně doplňovaly a zároveň minimalizovaly negativní vliv energetiky na světové klima a ukazují také zranitelnost energetiky přírodními ději.

Na mezinárodní situaci navazují naše národní strategie a přístupy. Významnými národními materiály pro tuto studii byly kromě SEK (MPO 2014a) rovněž aktuální verze Adaptační strategie (MŽP 2015), Koncepce ochrany obyvatelstva, a v neposlední řadě aktualizovaná Koncepce environmentální bezpečnosti 2016–2020 s výhledem do roku 2030 (MŽP 2015). Historicky významná je také studie Pretela (2011). Vzhledem k tomu, že v energetice a v průmyslu obecně nelze od sebe zcela oddělit katastrofy s krátkodobým průběhem a události s dlouhodobými efekty, přičemž oba tyto typy mohou být kritické, patří mezi klíčové zdroje studie také koncepční materiály k udržitelnosti. Potřeba učinit náš svět udržitelným se v posledních letech stala významnou u nás, v Evropě i ve světě. Téměř všechny země světa musí řešit palčivé výzvy, mezi něž patří i změna klimatu. Zrychlující se technologická změna a narůstající propojování současného světa znamená, že je nutné vnímat svět v souvislostech a brát ohled na zodpovědnost každého státu vůči globálnímu společenství. V roce 2015 OSN přijalo 17 cílů udržitelného rozvoje, jež navázaly na tzv. Rozvojové cíle tisíciletí. Cíle udržitelného rozvoje se týkají všech států.



Obr. 4.8.1 Struktura pilířů udržitelnosti

Českou odpovědí na přijetí globální rozvojové agendy Valným shromážděním OSN v New Yorku v září 2015 je Strategický rámec Česká republika 2030[1] (dále jen „ČR 2030“), jež přenáší do domácího prostředí 17 cílů udržitelného rozvoje. Tento strategický dokument nahradil Strategický rámec udržitelného rozvoje z roku 2010. ČR 2030 je klíčovým dokumentem státní správy pro udržitelný rozvoj a zvyšování kvality života. Vláda jej schválila v dubnu 2017. V šesti klíčových oblastech shrnuje, kam rozvoj České republiky dospěl, jakým čelí rizikům a jakých příležitostí může využít. Pro každou oblast formuluje strategické i specifické cíle. Jejich naplnění leží na všech ministerstvech.

Součástí udržitelnosti společnosti je udržitelnost průmyslu a zvláště pak udržitelnost v energetice, která je klíčovým zdrojem pro zásadní část lidských aktivit. Rizika, která ohrožují udržitelnost energetiky, jsou přinejmenším stejně významná jako rizika katastrof, což reflektuje i Rámec ze Sendai když vyžaduje věnovat se také „slow onset risks“.

Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2012/27/EU o energetické účinnosti, čl. 24, odst. 1 ukládá členským státům každoročně vypracovat zprávu o pokroku dosaženém při plnění vnitrostátních cílů energetické účinnosti. Zprávu o pokroku předkládají členské státy Evropské včetně ČR Komisi každoročně do 30. dubna. Zpráva poskytuje základní údaje pro sledování pokroku při plnění vnitrostátních cílů pro rok 2020: spotřeby energie za rok předcházející uplynulému roku, přehled legislativních opatření, pokrok v renovaci budov ústředních vládních institucí dle čl. 5 a úspory energie dosažené v rámci povinného systému nebo alternativních opatření dle čl. 7.

Aktualizace směrnice o energické účinnosti 2018/844 požadavky dále upřesňuje, ale aktualizace dosud není v plné míře implementována do národních politik. Poslední roky se v evropských orgánech intenzivně debatuje o budoucí podobě evropské energetické legislativy[2]. Tento proces začal v roce 2016, kdy Evropská komise představila takzvaný „zimní balíček“ – komplexní soubor legislativních i nelegislativních návrhů na nastavení evropské energetické a klimatické politiky po roce 2020.

[1] https://www.cr2030.cz/strategie/
[2] https://euractiv.cz/section/klima-a-zivotni-prostredi/opinion/v-bruselu-se-finalizuje-nova-podoba-evropske-energetiky-jaka-bude/

Podle tohoto návrhu má EU do roku 2030 snížit emise skleníkových plynů alespoň o 40 % (oproti roku 1990), k témuž roku má dosáhnout 27% podílu obnovitelných zdrojů na hrubé spotřebě energie a zvýšit energetickou účinnost z 20 % v roce 2020 na 32,5 % na konci příští dekády. V rámci zimního balíčku vznikají čtyři nové soubory legislativních návrhů upravující zásadní energetické otázky v členských státech. Tyto návrhy se týkají pravidel pro trh s elektřinou, obnovitelných zdrojů, energetické účinnosti a správy energetické unie. V současné době už legislativní proces postoupil do fáze tzv. trialogu, tedy neformálního projednávání návrhů mezi zástupci Evropské komise, členy Evropského parlamentu a zástupci Rady ministrů, kteří přeneseně vyjadřují pozice členských států. Cílem tohoto procesu je najít kompromisní řešení přijatelné pro všechny tři strany, a shodnout se tak na podobě budoucích směrnic a nařízení před tím, než budou formálně přijaty.

V otázce pravidel pro budoucí obchodování na společném evropském trhu s elektřinou jsou zásadní dvě témata: kapacitní mechanismy a přednostní přístup k distribuční síti pro obnovitelné zdroje. Nastavení těchto dvou opatření je častým jablkem sváru mezi vyjednávajícími stranami. V současné době dospěly jednací strany ke kompromisu ohledně prioritního přístupu, kdy elektřina z obnovitelných zdrojů může mít garantovaný lepší přístup k síti než ta z ostatních zdrojů. Členské státy také mohou udělit prioritní přístup elektřině vyrobené přímo občany v tzv. „energetických komunitách“, jedné z novinek, kterou Komise v zimním balíčku navrhla. Pokud si však členský stát nepřeje mít na svém trhu prioritní přístup, může Evropskou komisi požádat o výjimku. Energetické komunity mohou přispět k bezpečnosti svojí kapacitou vytvářet ostrovní provozy jakožto mitigace problémů blackoutu.

Kapacitní mechanismy mají fungovat pouze jako poslední možnost a členské státy by jich měly přestat využívat, jakmile riziko ohrožení bezpečnosti dodávek elektřiny pomine. Kapacitní mechanismy, které mají sloužit k zajištění bezpečnosti dodávek, však mohou být využívány k de facto dotování elektřiny z fosilních zdrojů. V rámci trialogu se všechny tři strany shodují, že by kapacitní mechanismy do budoucna měly fungovat pouze jako poslední možnost a členské státy by jich měly přestat využívat, jakmile riziko ohrožení bezpečnosti dodávek elektřiny pomine. Kapacitní platby mají být dostupné pouze pro elektrárny, které nepřesáhnou určitý limit vypouštěných emisí oxidu uhličitého – Evropská komise navrhuje, aby tento limit byl 550 g CO_2/kWh, což ale mnohé nevládní organizace označují za příliš nízce nastavenou laťku. I tak by měl nový návrh více omezit finanční dotace výrobcům elektřiny z fosilních zdrojů, zejména z uhlí.

Zde se nejvíce diskutuje o výši a závaznosti cíle pro podíl spotřebované energie z obnovitelných zdrojů do roku 2030. Ani jeden z diskutovaných cílů však nepovede ke splnění závazků z Pařížské dohody – k tomu by cíl Evropské unie pro energetickou účinnost musel dosáhnout 40 %.

Na naší národní úrovni je klíčovým dokumentem vytvářejícím podmínky pro energetický průmysl Státní energetická koncepce (MPO 2014a). Ta staví na přirozených komparativních výhodách ČR, které jsou dány možnostmi využívání jednotlivých druhů energetických zdrojů v rámci omezeného přírodního potenciálu a ekonomickými charakteristikami státu. Hlavním posláním SEK je přitom zajistit spolehlivou, bezpečnou a k životnímu prostředí šetrnou dodávku energie pro potřeby obyvatelstva a ekonomiky ČR, a to za konkurenceschopné a přijatelné ceny za standardních podmínek. Současně je jejím cílem zabezpečit nepřerušené dodávky energie v krizových situacích v rozsahu nezbytném pro fungování nejdůležitějších složek státu a přežití obyvatelstva. V neposlední řadě je cílem SEK také zajistit stabilní a předvídatelné podnikatelské prostředí, efektivní státní správu a dostatečnou a bezpečnou energetickou infrastrukturu. SEK identifikuje pět strategických priorit, které mají přispět k plnění vrcholových cílů. Mezi tyto priority patří: vyvážený mix primárních energetických zdrojů i zdrojů výroby elektřiny založený na jejich širokém portfoliu, efektivním využití všech dostupných tuzemských energetických zdrojů, udržení přebytkové výkonové bilance ES s dostatkem rezerv a udržování dostupných strategických rezerv tuzemských forem energie; zvyšování energetické účinnosti národního hospodářství; rozvoj síťové infrastruktury ČR v kontextu zemí střední Evropy, posílení mezinárodní spolupráce a integrace trhů s elektřinou a plynem v regionu EU; zvýšení energetické bezpečnosti a odolnosti ČR a posílení schopnosti zajistit nezbytné dodávky energií v případech kumulace poruch, vícenásobných útoků proti kritické infrastruktuře a v případech déle trvajících krizí v zásobování palivy.

V oblasti energetické koncepce nepanuje úplná shoda mezi výrobci a regulátorem. Například ČEZ poukazuje na takzvaný „zimní balíček“ Evropské komise, kde silně akcentuje důraz na energetické úspory. „To ovlivní budoucí bilanci spotřeby elektřiny. Je dobré se podívat, zda i po tomto opatření budou bilance z Aktualizace státní energetické koncepce stále platné. Postupuje technologický vývoj, rozvíjí se nejen obnovitelné zdroje, decentrální energetika, ale též bateriové systémy a ukládání energie ve větší míře. To vše má dopad na energetickou koncepci. Ministerstvo průmyslu a obchodu, kde koncepce převážně vznikala, však změny nyní neprosazuje. Stávající česká energetická koncepce obsahuje různé varianty scénářů. Za nejpravděpodobnější v roce 2015 označila variantu, která spoléhá na jaderné

elektrárny a zároveň chce maximálně využít potenciál obnovitelných zdrojů, uhelné zdroje pak využívat především v teplárenství.

Spotřeba primárních energetických zdrojů je v České republice z téměř 50 % pokryta domácími zdroji. Ukazatel dovozní energetické závislosti ČR (včetně zahrnutí jaderného paliva) dosahuje tedy okolo 50 % a patří tak k nejnižším v celé EU. Česká republika je dosud i díky fosilním palivům a jaderným elektrárnám plně soběstačná ve výrobě elektřiny a tepla, což z hlediska aktuální – relativně nestabilní celosvětové politické situace, do jisté míry chrání obyvatele ČR před krizovými situacemi v sektoru energetiky.

V důsledku podpory obnovitelných zdrojů energie v uplynulých letech se zvýšil podíl jiných obnovitelných zdrojů než vodních elektráren, ale zatím ani při vysokých dotacích nedokázal nahradit významnější část fosilních zdrojů. Podíl výroby tepla z domácích paliv dosahuje okolo 60 % a v soustavách zásobování teplem více než 80 %. V ČR je dobře zavedená kombinovaná výroba elektřiny a tepla, přičemž ve velkých a středních zdrojích činí podíl kogenerace necelých 70 % z celkové hrubé výroby tepla. Podíl kogenerační výroby tepla na celkové výrobě tepla (včetně decentralizovaných zdrojů bez domácností) však činí necelou polovinu (předností kogenerační výroby je vysoký stupeň využití energie paliva). V kogeneraci je zároveň vyráběno 12–13 % hrubé výroby elektřiny. Prioritou dalšího vývoje dle SEK je efektivnější využití vyrobeného tepla i elektřiny. Teplárny s kogenerační výrobou, vedle výtopen malého výkonu, také představují nejefektivnější využití biomasy a současně se tím z hlediska technicko-ekonomického řeší přijatelná úroveň koncentrace emisních škodlivin.

Rozvinutá rozvodná síť, zajišťuje bezpečné dodávky elektřiny s vysokou spolehlivostí zásobování. Rozhodující část zdrojů a sítí je ovšem 35 a více let stará a vyžaduje rozsáhlou obnovu a modernizaci. Tato obnova bude muset být dle SEK provedena v následujících 10–15 letech. Značné finanční a věcné nároky bude vyžadovat adaptace sítí zejména na úrovni nízkého napětí umožňující další rozvoj malých výrobních zdrojů elektřiny, popřípadě i ostrovní energetické systémy. Pokles podílu tuzemských zdrojů energie na spotřebě primárních energetických zdrojů povede nezbytně k rozvoji nízkouhlíkových zdrojů základního i špičkového zatížení a také k mírnému nezbytnému růstu dovozu energetických surovin. Cílem SEK je dlouhodobé udržení výše dovozní energetické závislosti ČR nepřesahující 65 % do roku 2030 a 70 % do roku 2040.

Spotřeba ropy se s výjimkou využití v dopravě nezvyšuje (významné však je i její využití v chemickém průmyslu). Spotřeba ropy pro výrobu tepla (topné oleje) v ČR činí jen cca 2 %, oproti zemích západní Evropy, kde byly v minulých letech pro otop domů využívány topné oleje až do poloviny celkového výkonu.

Vzhledem ke zpřísnění emisních limitů nelze očekávat stimul na další zvyšování spotřeby ropy. V sektoru dopravy nicméně bude ropa ještě řadu let dominovat, a proto je třeba zajistit dostatečné a diverzifikované cesty pro její dovoz. Stát může po liberalizaci trhu prostřednictvím legislativy ovlivňovat pouze některé oblasti ropného hospodářství ČR (například výši a strukturu nouzových zásob ropy a ropných produktů). Ve strategickém zájmu ČR udržet určitou minimální úroveň zpracování ropy v ČR trvale. Významný dopad v průmyslu i mimo energetiku mají a budou mít i požadavky na snížení emisí v dopravě, vyžadující nové technologie a tím i inovace ve výrobě. Zásadní vliv může mít i elektrizace v dopravě, avšak změněné požadavky na strukturu a množství dodávané energie si vyžádají rekonstrukci soustav přenosu energií; v opačném případě by bylo zvýšeno riziko blackoutů vyvolaných přetížením sítí.

Biomasa je jediným dodatečným a ve větším rozsahu dostupným systémovým obnovitelným zdrojem energie v ČR pro potřeby teplárenství. Ostatní formy obnovitelných zdrojů jsou z technických a jiných důvodů (sociálně-environmentálních) pro účely teplárenství omezené. Očekává se narůstající význam využití bioplynu především v zemědělství. Obecně je podpora biomasy prorůstové opatření z pohledu českých výrobců. Úspora produkce skleníkových plynů je u biomasy realizována s nejnižším nákladem na cenu uspořené tuny CO_2. Do roku 2020 se Česká republika zavázala, že 13 % hrubé konečné spotřeby energie bude kryto z OZE a MPO deklarovalo, že pro to udělá maximum možného.

Na rozdíl od již existujících vodních, slunečních i větrných elektráren, ve velké míře využívajících aktuální možnosti v podmínkách ČR, má poměrně nevyužitý potenciál pro náhradu uhlí v ČR energetické využívání účelově selektovaného komunálního odpadu. Jedná se o potenciální náhradu primárních energetických zdrojů (ve smyslu výroby elektrické energie a tepla) a zároveň se řeší i odstranění nevyužité složky odpadu. Ve světě jsou k dispozici vyspělé technologie, vyhovující všem technickým i environmentálním požadavkům současnosti. Směrnice 1999/31/ES o skládkách odpadů stanoví pro členské státy požadavek na snížení množství biologicky rozložitelného komunálního odpadu (BRKO) ukládaného na skládky. Z celkové hmotnosti BRKO produkovaných v roce 1995 bylo třeba

snížit množství, které je ukládáno na skládky do roku 2006 na 75 % (množství vyprodukovaného BRKO v roce 1995), do roku 2009 na 50 % a do roku 2016 na 35 % této hodnoty. Česká republika využila možnosti odložení těchto cílů o čtyři roky pro ty státy, které v roce 1995 ukládaly na skládky více než 80 % komunálních odpadů. V závazném právním předpisu definuje hierarchii nakládání s nimi, přičemž na první místo klade prevenci vzniku odpadů, poté jejich opětovné používání a recyklaci následovanou energetickým využitím. Plnění tohoto závazku se v ČR doposud nedaří zcela naplňovat a napomoci jeho splnění je i jedním z cílů SEK. Dnešní stav techniky i legislativy zaručuje vysokou účinnost transformace energie (např. při kombinované výrobě) a kontrolovanou velmi nízkou emisní koncentraci celé řady škodlivin. Obnovitelným zdrojům bude v příštích letech náležet stále větší role, ale podle řady zahraničních studií (např. IEA) a i v souladu s energetickými strategiemi významných členských zemí EU, se počítá s tím, že ještě minimálně dvě až tři desetiletí se bude jednat o doplňkový zdroj, který neřeší hlavní energetickou spotřebu, ale je vhodný pro malé a v některých případech střední odběratele. Je zapotřebí pohlížet na obnovitelné zdroje energie jako na rozptýlený, decentralizovaný zdroj, který snižuje závislost na dovozu a ve většině případů je šetrný k ŽP (MPO 2014a).

Ve výrobě elektřiny i tepla v zařízeních pro energetické využívání odpadu (ZEVO) Česká republika v rámci EU zaostává, ve výrobě elektřiny se řadí mezi evropskými státy až na šestnácté místo, ve výrobě tepla na místo jedenácté. Evropským lídrem ve výrobě tepla i elektřiny ze ZEVO je Německo, které je následováno Francií. V České republice jsou aktuálně provozována čtyři zařízení, která využívají odpad k energetickým účelům. Jedná se o provozy v Liberci, Chotíkově u Plzně, Praze a Brně. Pro srovnání, sousední Německo provozuje podle údajů z roku 2015 přes 120 zařízení tohoto druhu, Rakousko jedenáct a Dánsko šestadvacet. Vzhledem k minimu těchto zařízení v ČR, je i výroba elektřiny a tepla v těchto zdrojích poměrně nízká. Výroba elektřiny ze ZEVO se v roce 2016 pohybovala pouze kolem 100 GWh. Při srovnání s celkovou výrobou elektřiny v ČR, která přesahuje 83 TWh, se jedná o zanedbatelné množství elektřiny. Nejvíce elektřiny vyrobí ZEVO v sousedním Německu, celkem přes 7 TWh elektrické energie. To je pro srovnání přibližně stejné množství, které za jeden rok vyrobí jeden z bloků jaderné elektrárny Temelín. Obdobná situace je i u výroby tepelné energie, která dosahovala za rok 2016 v ČR 1,4 PJ (resp. cca 0,4 TWh tepelné energie). Poslední ZEVO bylo v ČR spuštěno v Chotíkově u Plzně v druhé polovině roku 2016. Česká republika v současnosti dostatek kapacit pro energetické zpracování odpadu nemá, v souladu s Vládou schváleným Plánem odpadového hospodářství (POH) má být do roku 2024 energeticky využíváno 1,47 milionů tun komunálního odpadu ročně. V současnosti je kapacita českých ZEVO přibližně poloviční, a to i se započtením nově vybudovaného plzeňského ZEVO Chotíkov. Výrazně větší množství zařízení, které energeticky zpracovávají odpad, je v západní Evropě. Zatímco v zemích V4 je podle dat z roku 2015 sedm zařízení, jen ve Francii je těchto zařízení 126. Nicméně i země srovnatelné s ČR nebo menší jsou z pohledu ZEVO výrazně dál. V Nizozemsku je v provozu 12 zařízení, v Belgii 18 a v Dánsku 26. Současně se projekty ZEVO těší podpoře od Evropské investiční banky a Evropské unie. Jeden z posledních projektů, kterým je litevské ZEVO u Vilniusu, získal od EU celkem 139 milionů EUR a další podporu ve formě půjčky od Evropské investiční banky ve výši 190 milionů EUR.

Ke zvyšování energetické účinnosti při využívání primárních zdrojů energie jako jedné z cest adaptace na projevy změny klimatu, přispěly svou měrou také tzv. „kotlíkové dotace“ (Společný program na podporu výměny kotlů; SFŽP). A to přesto, že hlavním cílem Společného programu na podporu výměny kotlů bylo, je a zřejmě nadále bude snížení znečištění ovzduší z malých spalovacích zdrojů do tepelného výkonu 50 kW, tzv. lokálních topenišť využívajících tuhá paliva. Předmětem dotace je výměna stávajících ručně plněných kotlů na tuhá paliva za nové účinné nízko emisní tepelné zdroje. Tyto dotační příležitosti jsou v posledních letech hojně čerpány jak fyzickými i právnickými osobami.

4.8.2 Dopady predikovaných scénářů změny klimatu v ČR

Studie vývoje energetiky a jejích rizik jsou primárně zaměřené na dlouhodobý vývoj a změnu klimatu na území ČR. Většinou se nezabývají a ani příliš nenaznačují krátkodobé extrémní projevy počasí, které dlouhodobou změnu klimatu v současnosti provázejí a v budoucnu ji s vysokou pravděpodobností budou provázet také (Hov 2013; EEA 2012). Naštěstí, adaptační strategie i SEK s dopady extrémů již do jisté míry pracuje.

Je možno říci, že extrémní projevy počasí jsou pro průmysl i obyvatelstvo do jisté míry přesvědčivým indikátorem probíhající změny klimatu. Než aby si průmysloví provozovatelé intenzivně všímali plíživého nárůstu teploty, v průměru nižších srážek apod., spíše reagují na četnější výskyty extrémních projevů počasí, které lze pozorovat v posledním desetiletí až dvacetiletí, což je poměrně krátká doba, odpovídající také míře reálné lidské paměti. V oboru bezpečnosti se traduje, že cca 20 let je perioda,

po které se opakovaně stávají stejné nehody a havárie a také doba, za kterou má společnost tendenci zapomínat. Extrémů si průmysl i obyvatelstvo všímá podstatně více – vzhledem k jejich akutním, často dramatickým následkům a poměrně dobře vyčíslitelným škodám. Je však na místě upozornit, že dlouhodobé efekty související s udržitelností mohou mít dopady mnohem vážnější.

Jak uvádí EEA (2012) a EASAC (Hov 2013), tyto extrémní jevy jsou výrazným hnacím prvkem, který vlády a obyvatelstvo tlačí k adaptaci a zmírňování obou typů projevů změny klimatu. V materiálu EASAC je přímo uvedeno, že negativní dopady antropogenní činnosti se díky pomalé reakci politiků nedaří dlouhodobě včas eliminovat či dostatečně mírnit – proto de facto nezbývá jiná strategie, než se pokusit přizpůsobit. Sekundární projevy změny klimatu rovněž při svých následcích způsobují v minulosti, současnosti i budoucnosti měřitelné škody, které vyhodnocují vlády i pojišťovny (např. Munich Re, Swiss Re a řada dalších). Je proto třeba v Adaptační strategii brát v úvahu také rostoucí výskyt událostí typu „NATECH“ (Natural Disasters Triggering Technological Hazards). K působení krátkodobé paměti přispívá i teorie tzv. „černých labutí“, popsaná Talebem (2007), pojednávající o následcích vysoce nepravděpodobných a obtížně predikovaných událostí (pohrom, katastrof, přírodních extrémů), na které má člověk instinktivně tendenci nemyslet a nepředpovídat je, neboť se podle něj nemohou stát, ani se o nich ve společnosti nemluví. Tyto nepravděpodobné události v historii téměř vždy nebyly předpovězeny, a přesto se stávají. Na druhou stranu také byly a jsou hybnou silou dalšího pokroku, včetně procesu adaptace a zvyšování odolnosti, včetně zlepšování procesu governance rizik. V podmínkách ČR, která je charakteristická mírným podnebným pásmem, geomorfologií, hustotou osídlení atd. budou mít projevy změny klimatu pravděpodobně méně dramatický průběh, než v mnoha dalších zemích světa. Půjde zřejmě o pomalé dlouhodobé změny, u kterých si nejsme jisti výsledkem ani v horizontu dalších několika desetiletí. Výhledově bude na území zřejmě ČR stále lépe než v například v jižních zemích Evropy.

4.8.2.1 Dopady predikovaných scénářů změny klimatu na český průmysl a energetiku

Tab. 4.8.2 Rizika změny klimatu na český průmysl a energetiku (Podle Finley, 2009)

Dopady na podniky (riziko)	Příležitosti (potenciál adaptací)
Hypotéza: Častější extrémy počasí (v kontextu celé EU také možný dopad zvýšení hladiny moře), spolu s vyvíjející se poptávkou spotřebitelů, významně ovlivní přístup k dodávkám energie a paliv.	
Změny v krajině, včetně vzedmutí hladiny moře a tání ledu a permafrostu v cizině, má dopad na přístup a udržitelnost zásob fosilních paliv u nás v ČR.	Orientovat se i nadále na obnovitelné zdroje energie Podporovat další programy výzkumu nových výrobních technologií. Využití sluneční energie – podpora decentralizace zdrojů elektrické energie, podpora malovýrobců, atd.
(Pokračující) trend nedostatku zdrojů, primárně fosilních paliv, vzhledem k variabilitě počasí, zvýší náklady na průzkum a těžbu.	Sledovat tzv. „market coupling“, tj. propojení energetických trhů zemí EU. Testovat adaptační technologie (např. HEAT SAVER).
S proměnlivou dostupností zdrojů se mění přístup k fosilním palivům a vodě, čímž stoupají velkoobchodní ceny energií.	V červenci 2015 plánovala Evropská Komise sdělení k novému nastavení společného evropského energetického trhu, kvůli stabilizaci cen.
Hypotéza: Teplotní extrémy, zároveň s měnícím se energetickým mixem, povedou spotřebitele, poskytovatele služeb a energetické společnosti k hledání nových řešení a východisek reagujících na měnící se klima.	
Změny teploty ovlivní provoz zařízení, chladící procesy a způsobí nedostatek zdrojů vody, což vede ke zvýšení nákladů na úpravy zařízení, nový management (priority) či přemístění areálů firem.	Adaptovat podnik např. kogeneračním řešením (KVET). Týká se provozovatelů objektových a blokových kotelen, výtopen a tepláren, závodní energetiky a subjektů podnikajících v oboru energetiky. Jde o podporu výroby elektřiny, tepla a biometanu z obnovitelných zdrojů energie (OZE), dále o vysokoúčinnou kombinovanou výrobu elektřiny a tepla, druhotných energetických zdrojů (DZ) a decentrální výrobu elektřiny.
Zejména geografická změna výskytu horkých a chladných dnů bude mít za následek snížení spolehlivosti sítě a zvýšení výpadků proudu.	Se zvýšením elektrizace vozidel poroste i poptávka po elektrické energii mimo (denní, týdenní) špičku. Podpora pan-evropského posílení infrastruktury
Nepředvídatelné počasí a teplotní změny mohou vést k větším výkyvům v poptávce spotřebitelů po energii.	Zvýšené povědomí spotřebitelů o využívání a hospodaření s energií povede ke zvýšení poptávky po výrobcích a službách, včetně energetických přehodnocení (auditů) domácností a sledování energetických systémů (energy tracking systems)
Hypotéza: S rostoucí (globální) teplotou se změní úrovně hladin sladkovodní i mořské vody, ovlivňujíc tak významně provoz průmyslu, mimo jiné i energetického.	
Slabé zásobování vodou bude omezovat provoz chlazení, což vede k poruchám a přetěžování strojů, ke znehodnocování a nekvalitě výrobků (ztráty, odpisy) a k výpadkům elektřiny.	Podpořit výzkum, stavbu a/nebo údržbu evropské a zejména české infrastruktury pro zásobování vodou (nad / v zemi). Vybudování odsolovacích zařízení při pobřeží, případné využití ropovodů v budoucnu (když dojde ropa), které tak najdou nový smysl. Adaptace firem díky stavbě multifunkčních vodních zásobníků.
Drastické změny v zásobování vodou by mohly mít za následek dočasné nebo trvalé uzavření vodních elektráren v důsledku sucha nebo povodní.	Vodní elektrárny mohou být doplněny nebo nahrazovány jinými technologiemi OZE díky stále příznivým podmínkám zásobování vodou, zejména v určitých vhodných zeměpisných oblastech.

Dopady na podniky (riziko)	Příležitosti (potenciál adaptací)
<u>Hypotéza:</u> Častější extrémy počasí (v kontextu celé EU také možný dopad zvýšení hladiny moře), spolu s vyvíjející se poptávkou spotřebitelů, významně ovlivní přístup k dodávkám energie a paliv.	
Zvýšená konkurence (v požadavcích) zásobování vodou mezi sektory a komunitami povede k vyšším nákladům, snížení dostupnosti vody a regulaci povolených odběrů vody.	Podpora lokální soběstačnosti kritických oblastí včetně podniků, nejde-li migrovat (generátory, solární kolektory, studny a vrty (i 50 až 100 metrů) s větrným čerpadlem nebo větrníkem). Tepelná čerpadla v záloze pro případ dostatečného zásobování elektrickou energií.
<u>Hypotéza:</u> Očekávání politiky v oblasti změny klimatu a „dekarbonizace" a na druhé straně investor, pochybující o schopnosti podniku účinně reagovat – to vše klade značný tlak na výrobní podnik a jeho schopnosti prokázat, zda či jak si stojí v nízkouhlíkovém ekologickém hospodaření.	
Investoři vyhledávají podniky s méně riziky fosilních paliv a s větší perspektivou i možnostmi pro obnovitelné zdroje energie a rozvoj „zelených" technologií.	Politické pobídky byly navrženy tak, aby odměnily nástroje (snahy) pro dosažení energetické účinnosti, které lze dosáhnout prostřednictvím zapojení spotřebitele, stejně jako nové nabídky adaptivních produktů a služeb (např. zelená energie).
Zvýšení veřejné kontroly zahrnující využití energie a vody (např. ve firmách) může vést ke snížení (přísunu) investic a poškození pověsti společnosti (podniku).	Řešením je zapojit se do procesu tvorby adaptací a rozvíjet sebekontrolu podniku. Sdílet a popisovat snahy ve výročních zprávách.
Společnosti (podniky) čelí proměnlivé a nejisté politické situaci či politice ochrany klimatu a krajiny, zejména na globální úrovni, což vede ke zvýšení rizik v případě nečinnosti managementu podniku.	S vědomím těchto konkrétních rizik (nejen pro podnikovou sféru) pracuje projekt BINGO, jehož výstupem budou přesnější predikce klimatu pro kritické oblasti a také konkrétní návrhy vhodných řešení pro podniky, které se na řešení také spolupodílejí. České podniky se zatím dle databáze EK moc neúčastní.
<u>Hypotéza:</u> Nepříznivé (extrémní) povětrnostní podmínky mohou vést ke zvýšení zdravotních a bezpečnostních rizik, společně s bezpečností na pracovišti, včetně přístupnosti na něj.	
Roste četnost nepředvídatelných extrémních povětrnostních jevů, což pracovní síle zhoršuje dostupnost na pracoviště, dochází ke zpomalení nebo stagnaci výroby a to má za následek nejistou pracovní dobu pro zaměstnance. Včetně vyšší četnosti smrtelných pracovních úrazů, větších nákladů na odškodnění rodin zaměstnanců, rostoucí náklady na pojištění těchto rizik.	Připravit pro tyto mimořádné případy nouze záložní plány kolektivní dopravy zaměstnanců na pracoviště. Připravit a realizovat nebo revidovat a adaptovat specializovaná školení BOZP pro práci za ztížených až extrémních povětrnostních podmínek, včetně doporučení ve směrnicích podniku, od jakých limitů teplot, rychlostí větru, viditelnosti apod., zastavit výkon práce, aby nedocházelo ke zbytečným úmrtím.
Změna je také aspektem, který způsobuje migraci. Zaměstnancům nezbývá než opustit svá stávající sídla, což způsobuje posun v dostupnosti pracovních sil (jejich nedostatek), včetně nárůstu klimatických uprchlíků (zřejmě do jiných geografických oblastí, tedy i států).	Viz všechna předchozí řešení a mnohá další v databázích EK EU. Umožnit životu schopné až příjemné podmínky zaměstnancům v rizikových lokalitách, extrémních provozech, apod.
<u>Hypotéza:</u> Projevy změny klimatu mohou mít následující možné dopady na průběh těžebního cyklu na povrchových a v hlubinných dolech	
– Rizika pro strukturální integritu povrchových nádrží v místních podmínkách před povodněmi, sedáním, sesuvy půdy a erozi půdy. – Zdravotní a bezpečnostní rizika ze zvýšeného rizika povodní a požárů.	Těžební průmysl by měl přijmout proaktivní přístup k přizpůsobení se změně klimatu z následujících důvodů: • Dodávka kritických vstupů a postupů těžby, jako je voda a energie, je

Dopady na podniky (riziko)	Příležitosti (potenciál adaptací)
<u>Hypotéza:</u> Častější extrémy počasí (v kontextu celé EU také možný dopad zvýšení hladiny moře), spolu s vyvíjející se poptávkou spotřebitelů, významně ovlivní přístup k dodávkám energie a paliv.	
– Provozní činnost: snížená účinnost, vzrůst prostojů a vyšší provozní náklady v důsledku vyšších teplot, zvýšená intenzita extrémních povětrnostních jevů a snížená kvalita vody a dostupnosti, zejména v oblastech, kde jsou již vodní zdroje pod napětím. – Snížený výkon nebo nedostatečná kapacita pro úpravu vody, vody a odpadních nádrží v důsledku změn v složitějších hydrologických podmínkách. – Stavební činnost při uzavírání dolů a po jejich uzavření: nutnost posouzení vlivů na životní prostředí již v průběhu těžby, nejlépe při zřizování dolu. Dlouhodobé uzavření a rekultivační plány by měly odrážet očekávanou změnu klimatu po celou dobu životnosti dolu a jeho související infrastruktury. – Vstupy do důlních a hutních provozů: Voda: snížená dostupnost kritických vstupů citlivých na změnu podnebí, jako je voda a energie, zejména v regionech namáhaných nedostatkem/přebytkem vody. Energie: nižší spolehlivost při výrobě a přenosu energie v důsledku narušení extrémními klimatickými jevy; nedostatek vody pro chlazení nebo generátory elektřiny poháněné vodou, zvýšení poptávky po elektrické energii při extrémních tepelných událostech. Lidé: vyšší absence, nemocnost a snížená výkonnost zaměstnanců kvůli zvýšenému riziku tepelného stresu, chronických nemocí, zdraví a sociálních dopadů sucha a dalších ekosystémových změn. – Dodavatelské řetězce: Poškození dopravní infrastruktury v důsledku extrémních projevů počasí (např. záplavy, tropické cyklóny, sucha, sesuvy půdy). Snížená spolehlivost z narušení nebo zpoždění na dopravních cestách kvůli sezónním změnám a extrémním událostem. Zvýšené riziko poškození uskladněné rudy / kovu v důsledku přerušení dodavatelského řetězce. Změny v období, během kterých jsou odlehlá místa přístupná pozemními dopravními režimy (platí zejména pro exportéry z ČR do zahraničí a importéry ze zahraničí). – Trhy: Změny v poptávce po kovech a minerálech, aby splňovaly požadavky na technologie ke zmírnění či přizpůsobení se změně klimatu. Příležitost vydělávat na změně klimatu (vyšší poptávka po nových či existujících technologiích dosud v ČR příliš nevyužívaných – klimatizace apod.), nebo rizicích ze ztráty, konkurenční výhody či vznik konkurenčních nevýhod. – Vstupy do těžebních a hutnických procesů: Voda: Těžba a hutnické postupy jsou vysoce citlivé na klima. Voda je rozhodující pro těžbu a hutnické činnosti (například pro chlazení, drcení, mletí, frézování rud, dopravu a skladování hlušiny), a jakýkoliv dopadů změny klimatu v souvislosti s kvalitou a dostupností vodních zdrojů. To bude mít dopad na efektivitu a náklady. V oblastech, kde jsou vodní zdroje v současné době namáhány, bude jakékoliv další snížení pravděpodobně představovat riziko pro výrobu.	pravděpodobné, že se potýkají s většími omezení. • Zdraví a bezpečnost zaměstnanců budou ohroženy zvýšením přenosných nemocí, vystavení nemocí způsobených teplem a pravděpodobnosti nehod souvisejících s rostoucími teplotami. • Získání a udržení společenského povolení k provozování bude stále těžší v komunitách, ve kterých změna klimatu zhoršuje již existující zranitelnosti a zvýšení přímé konkurenci mezi společností a společenství pro zdroje.

4.8.3 Stanovení indikátorů

V souvislosti s návrhem indikátorů, které by v současnosti i do budoucna byly dlouhodobě schopny vypovídat o tom, zda finanční prostředky, investované nadále do adaptačních opatření vůči změně klimatu, je potřeba zmínit aktuální intenzivní činnost na úrovni OSN a UNISDR, kde se pracuje na návrhu a definování globálních indikátorů katastrof. Adaptovat a zvyšovat odolnost vůči projevům změny klimatu je a bude potřeba nejen technologie v oblasti průmyslu a energetiky, ale také v ostatních sektorech služeb.

V souvislosti s indikátory je vhodné upozornit na rozdíl, který aktuálně panuje v terminologii kritické infrastruktury v ČR (EU) a na globální úrovni. Prvky kritické infrastruktury nezbytné k zajištění a udržení funkce státu, jsou v ČR především objekty energetiky a dopravy. Na globální úrovni jsou jako prvky kritické infrastruktury v prvé řadě vnímány nemocnice, školy, objekty dalších služeb (banky, IT služby) a až asi na 5. místě jsou řazeny technické objekty (v ČR vnímané na 1. místě).

4.8.3.1 Indikátory klimatické

Z klimatických indikátorů, jež jsou zpracovány v samostatné kap. 4.11, mají na danou prioritní oblast významnější vazbu tyto:

- Počet tropických dnů
- Délka, četnost a intenzita vln veder
- Délka, četnost a intenzita vln mrazů
- Délka a intenzita období sucha
- Počet dnů se srážkami nad 20 mm
- Počet a velikost přívalových povodní
- Počet a intenzita extrémních větrů
- Počet mrazových dnů

4.8.3.2 Indikátory dopadové

Vhodnými indikátory pro prioritní oblast v souladu s návrhem indikátorů pro Rámec snižování katastrof ze UNISDR (2015) mohou být:

a) Přímé ekonomické ztráty na průmyslových zařízení poškozených nebo zničených v důsledku mimořádných událostí (zejména katastrof přírodního původu jakožto projevů změny klimatu, extrémních hydro-meteorologických jevů) za dané období.

b) Poškození kritické infrastruktury v důsledku mimořádných událostí / dané období (například za rok). Prvky kritické infrastruktury v ČR jsou stanoveny vyhláškou MPO, případně usnesením vlády.

c) Počet časově závislých služeb, přímo narušených vlivem mimořádných událostí. Mezi sledované sektory patří dodávky energií, dopravní obslužnost a klíčové průmyslové oblasti. Kvantifikace indikátoru: počet člověko-dnů nebo klíčových hospodářských segmentů bez konkrétní služby za časový interval (dny, týdny měsíce).

d) Počet časově závislých služeb, nepřímo narušených vlivem mimořádných událostí. Mezi sledované sektory patří zdravotnické služby, vzdělávací služby, informačních a komunikačních technologií, dodávky vody, kanalizace, skládky a zařízení nakládající s pevným odpadem a systém včasné odezvy na mimořádné události. Alternativní indikátor: počet člověko-dnů bez konkrétní služby za časový interval (dny, týdny měsíce).

Nezávisle na Akčním rámci ze Sendai (UNISDR 2015) mohou být navrženy následující indikátory:

- Počet pojistných událostí (dle možností včetně vyčíslení škod v Kč), vzniklých a nahlášených provozovateli v oblasti energetiky a průmyslu, v důsledku katastrof přírodního původu, indukovaných či vzniklých jako projevy změny klimatu. (Dle dat od pojišťoven a zajišťoven, pokud je bude možno získat pro státní správu).

Vzhledem k aktuálně obtížnějšímu vyčíslování výše navržených indikátorů jsou navrženy více specifické indikátory založené na dostupných datech:

1) Počet zásahů složek integrovaného záchranného systému při mimořádných událostech způsobených přírodními vlivy

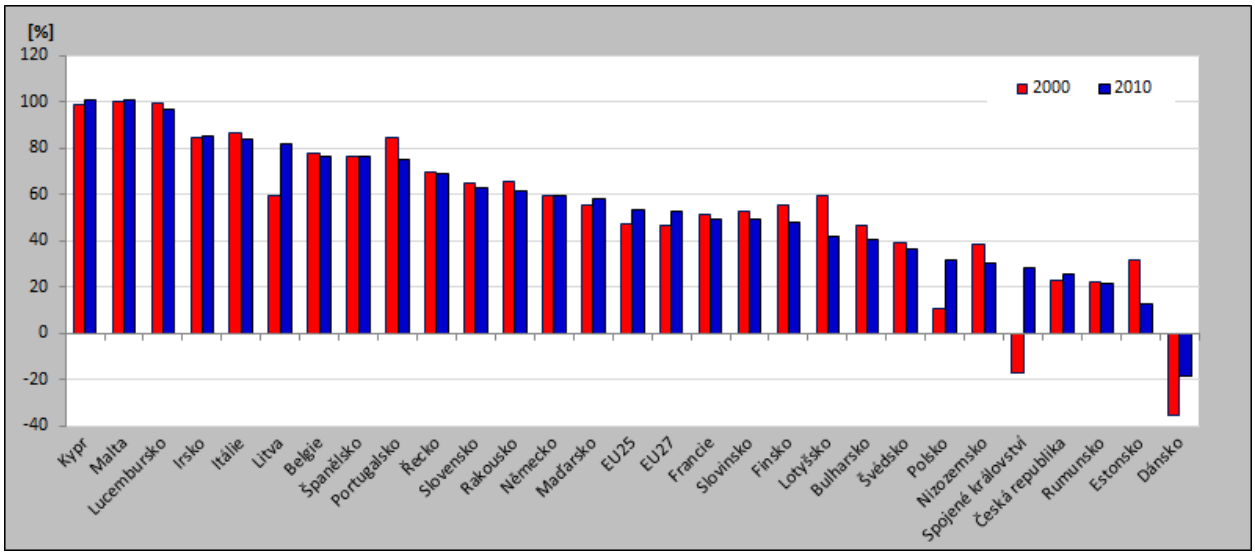
(zdroj: statistická ročenka HZS ČR – definice „Živelní pohroma, vliv počasí – zásah JPO z důvodu mimořádné události následkem škodlivě působících sil a jevů vyvolaných plošně nebo lokálně přírodními vlivy, které ohrožují životy, zdraví, majetek nebo životní prostředí – povodně, záplavy, deště, sníh, námraza, větrné smršťě, sesuvy půdy, zemětřesení apod., při nichž JPO provádějí záchranné a likvidační práce.“).

2) Počet vyhlášených krizových stavů následkem mimořádné události nebo situace spojené s dopady změny klimatu

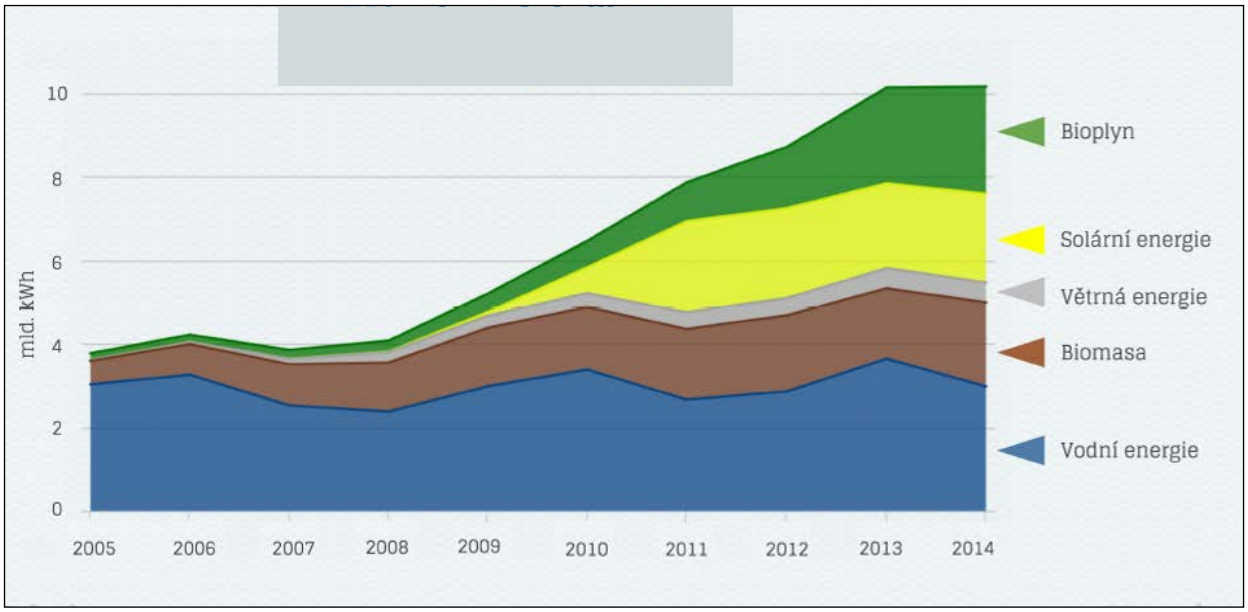
14 případů za posledních cca 10 let (MVČR GŘ HZS, 2015b).

3) Dovozní energetická závislost v porovnání s ostatními státy [%] (indikátor energetické bezpečnosti) (http://issar.cenia.cz/issar/page.php?id=1560)

Tento indikátor je svázán se SEK. Data k němu sleduje a následně vyhodnocuje Eurostat a MPO. Z grafu (obr. 4.8.3) – za období 2005–2014 je vidět jednak výrazná změna v podílu el. energie vyrobené z obnovitelných zdrojů a zároveň postupný trend snižování výroby energie ze spalování fosilních paliv. Podíváme-li se na data od Eurostatu, pak vidíme, že export energie mezi roky 2000 a 2010 narostl v řádu procent (z cca 22 % na 24 %) (obr. 4.8.2). Energetická bezpečnost ČR byla ze 100 % zajištěna, pokud jde o výrobu elektrické energie a v roce 2014 dle dat MPO ČR ještě 20 % vyvezla. S postupnou implementací SEK včetně zvyšování energetické účinnosti při výrobě energie lze předpokládat postupné rozvírání nůžek mezi vlastní výrobou energií na území ČR a importem ze zahraničí. Pokud bychom již letos zcela vyřadili fosilní zdroje energie, pak bychom zřejmě do ČR museli obratem zajistit dovoz více než 50 % energie ze zahraničí, na což v tuto chvíli pravděpodobně není ještě přenosová infrastruktura připravena. Potěšitelné je sledovat postupnou (pomalou) náhradu fosilních paliv za alternativní zdroje (obr. 4.8.3).



Obr. 4.8.2 Energetická závislost, mezinárodní srovnání [%] (Zdroj: Eurostat, http://issar.cenia.cz/issar/page.php?id=1560; MPO 2014c)



Obr. 4.8.3 Výroba elektřiny z obnovitelných zdrojů (Zdroj: MPO 2014c)

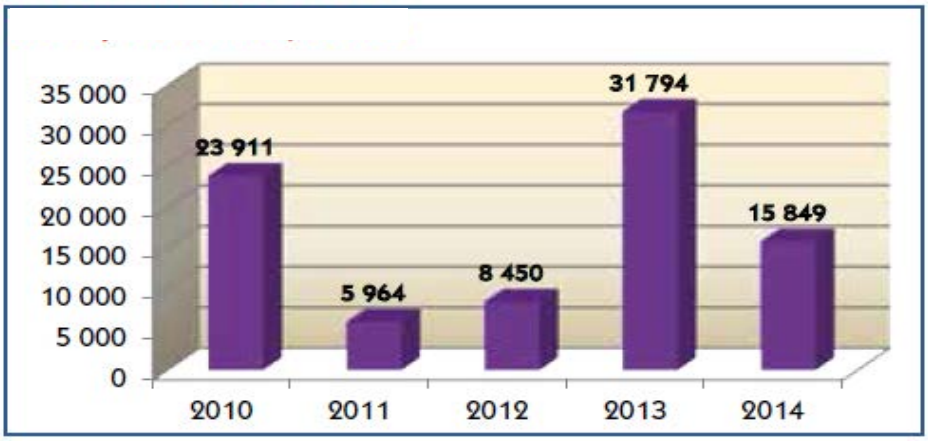
4.8.4 Vyhodnocení zranitelnosti vůči dopadům změny klimatu, identifikace nejzranitelnějších regionů v ČR

4.8.4.1 Vyhodnocení zranitelnosti pomocí indikátorů

Od r. 2010 platí změna v evidenci živelních katastrof s průmětem do pravidelně vydávané Statistické ročenky MVČR GŘ HZS. Mimořádné události vzniklé následkem škodlivě působících přírodních sil a jevů (včetně počasí), které ohrožují životy, zdraví, majetek či životní prostředí a při nichž JPO provádějí záchranné a likvidační práce, jsou evidovány podle převažující činnosti při zásahu a jsou opatřeny specifickým příznakem, který umožňuje sledovat příčinu mimořádné události (viz tab. 4.8.3 a obr. 4.8.4). Bohužel i po zmíněné změně nelze z dostupných dat indikovat, které ze statisticky sledovaných mimořádných událostí byly způsobeny přímo extrémními meteorologickými jevy, navíc s vyšší četností a intenzitou v důsledku změny klimatu. Určitým řešením této neurčitosti by mohlo být přidání příznaků ke sledované a vyhodnocované databázi živelných pohrom v rámci MV.

Tab. 4.8.3 Zásahy u živelních pohrom (počet/rok) (Zdroj: MVČR GŘ HZS 2015b)

Druh události	2010	2011	2012	2013	2014
Požáry	8	37	125	102	137
Dopravní nehody	404	82	397	641	406
Úniky nebezpečných chemických látek	23	1	5	44	9
Technické havárie a ostatní	23476	5844	7923	31007	15297
Celkem	**23911**	**5964**	**8450**	**31794**	**15849**



Obr. 4.8.4 Graf zásahů u živelních pohrom (Zdroj: MVČR GŘ HZS 2015b)

Přesnějším ukazatelem je stručná databáze skutečně v posledních letech vyhlášených krizových stavů, která je pro vyhodnocení zranitelnosti pomocí indikátorů navržena rovněž v POZ 10 (MVČR GŘ HZS, 2015c), tab. 4.8.4.

Tab. 4.8.4 Vyhlášené krizové stavy od roku 2002 po současnost (Zdroj: MVČR GŘ HZS 2015c)

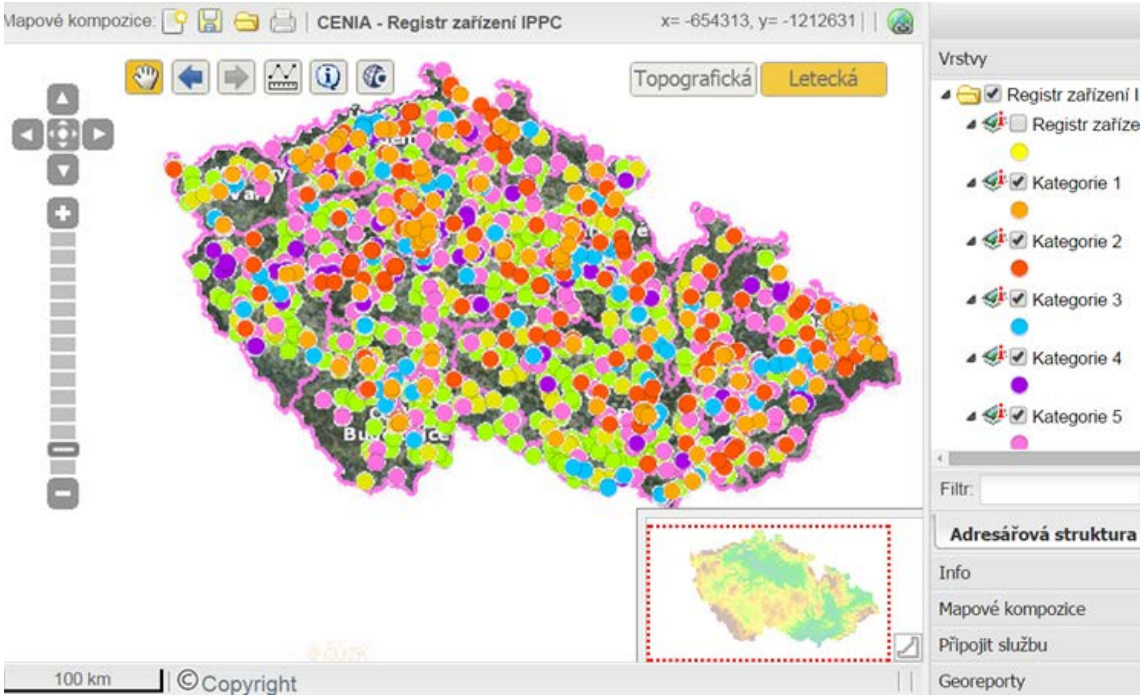
Rok	Krizový stav	Důvod vyhlášení	Kraj, pro jehož území byl vyhlášen KS
2002	Stav nebezpečí	Povodně	JMK, VYS, USK
2002	Nouzový stav	Povodně	HMP, SCK, JCK, PLK, KVK, USK
2004	Stav nebezpečí	Sesuv skalního masivu	JMK
2004	Stav nebezpečí	Odstraňování následků živelní pohromy	OLK
2005	Stav nebezpečí	Porucha vodního díla	VYS
2006	Stav nebezpečí	Povodně	ZLN, JMK, USK, OLK, PCK, JCK, SCK, PLK,
2006	Nouzový stav	Povodně	JCK, SCK, ZLK, JMK, OLK, USK, PCK
2006	Stav nebezpečí	Sesuv skalního masivu	PCK
2006	Stav nebezpečí	Nebezpečné látky	KHK
2007	Nouzový stav	Orkán Kyrill	JCK, PLK, KVK, VYS, LIK, KHK, MSK, SCK
2009	Stav nebezpečí	Povodně	JCK, MSK, OLK, USK
2010	Stav nebezpečí	Povodně	OLK, ZLN, MSK, JMK, USK, LBK
2013	Stav nebezpečí	Povodně	HMP, JCK
2013	Nouzový stav	Povodně	JCK, PLK, SCK, LIK, KHK, USK, HMP

HMP – Hl. m. Praha, JCK – Jihočeský kraj, JMK – Jihomoravský kraj, KHK – Královehradecký kraj. KVK – Karlovarský kraj, LBK – Liberecký kraj, MSK – Moravskoslezský kraj, OLK – Olomoucký kraj, PCK – Pardubický kraj, PLK – Plzeňský kraj, SCK – Středočeský kraj, USK – Ústecký kraj, VYS – kraj Vysočina. ZLN – Zlínský kraj.

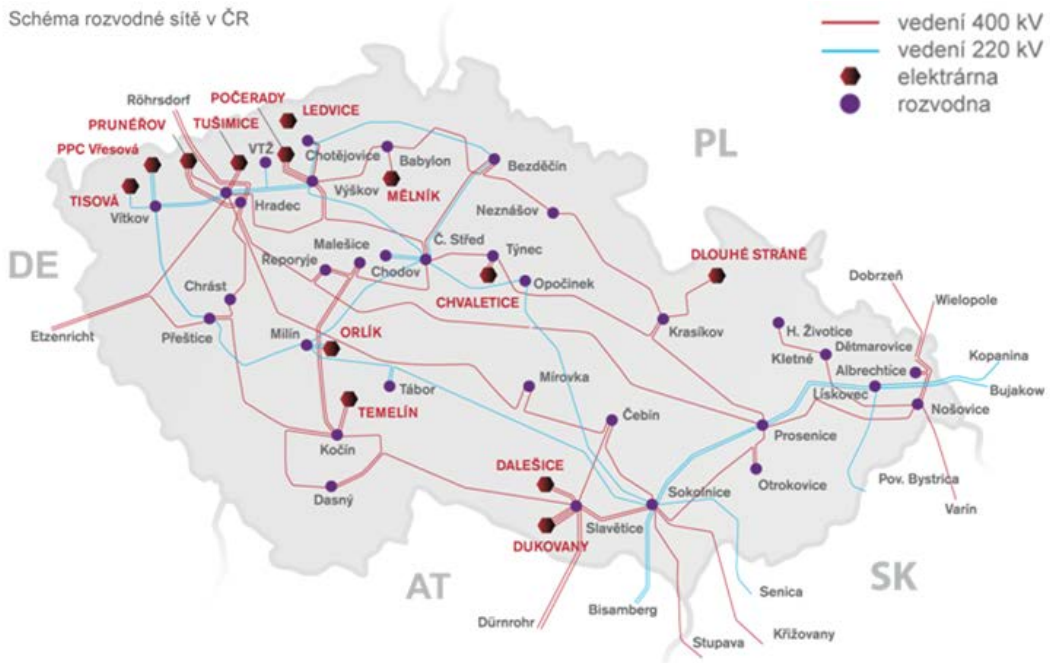
4.8.4.2 Předpokládaný časový trend indikátoru a identifikace nejzranitelnějších regionů a regionálně nejzávažnějších dopadů

Na základě předcházejících podkapitol, s ohledem na geografickou polohu a rozlohu ČR, a také na základě různících se predikcí četností a intenzity extrémních meteorologických jevů (kap. 4.10.2), je předpokládán setrvalý až mírně rostoucí trend navržených indikátorů do roku 2100, tedy jak větší počet zásahů jednotek HZS ČR, tak vyšší počet skutečně vyhlášených krizových stavů hejtmany v jednotlivých krajích republiky, které ohrozí energetiku, průmysl a kritickou infrastrukturu.

Ohrožené (zranitelné prvky) jsou ve všech krajích ČR. Jedná se jak o průmyslové (tzv. SEVESO) zařízení nakládající v nadlimitních množstvích s nebezpečnými chemickými látkami (v počtu cca 230 provozovaných zařízení v ČR; rozložení podniků je v rámci intranetu dostupné například v rámci digitální a tištěné přílohy Krizového plánu MŽP – Databáze zdrojů rizik, v. 2014, vedené v režimu „Zvláštních skutečností dle Krizového zákona“, tak o tzv. IPPC podniky (podniky zařazené do systému Integrované prevence a omezování znečištění, jejichž celkový odhadovaný počet je v ČR 1000 až 2000, obr. 4.8.5obr.). V neposlední řadě je potřeba zdůraznit velmi obávané ohrožení tzv. zranitelné rozvodné sítě pro rozvod elektrické energie, obr. 4.8.6).



Obr. 4.8.5 On-line dostupná mapa rozložení zranitelných IPCC zařízení na území ČR (Zdroj: CENIA Geoportál 2015)



Obr. 4.8.6 Schéma zranitelné rozvodné sítě ČEPS, a.s. (Zdroj: ČEPS 2015)

4.8.5 Souhrn – What if analýza

Tab. 4.8.5 Průmysl a energetika, souhrnná what-if analýza

What if …? Co se stane, v důsledku …?	mechanismus působení	… za uvažovaného stavu/podmínek systému/oblasti	Předpokládané negativní dopady/rizika	Pravděpodobnost scénáře	Závažnost dopadu	Zranitelnost systému	Subjektivní riziko
otázka				**(1–nejnižší, 5–nejvyšší)**			
Zvyšování průměrné teploty vzduchu	Rostoucí teplota vzduchu jako hlavní projev změny klimatu bude vytvářet stále silnější společenský tlak na snižování emisí CO_2 a společenským rozhodnutím budou omezeny vybrané technologie pro produkci energie	Za běžného stavu systému bez kompenzace technologického průlomu produkce energie z dosud neznámých zdrojů a pomocí dosud neznámých technologií.	Náhlý nebo postupně vznikající nedostatek energie, v důsledku uzavření uhelných elektráren.	4	3	3	**36**
			Budou ohroženy energetické distribuční a přenosové soustavy, ve smyslu hrozby porušení integrity, funkčnosti a možných častějších výpadků (jak následkem poškození extrémním jevem, tak zvýšenými požadavky na spotřebu energií) v důsledku zvýšení požadavků v extrémních teplotách.	4	4	3	**48**
Zvýšená pravděpodobnost výskytu dlouhodobého sucha	Zmenšení průtoků při současném zvýšení teploty vzduchu bude v tocích i v nádržích docházet k periodickému vysychání menších vodních toků. V ostatních tocích bude při současně zvýšené teplotě vzduchu docházet ke změnám odbourávání a šíření znečišťujících látek.	Při zachování režimu užívání vod.	Ovlivnění výroby elektrické energie z vodních zdrojů, z tepláren, tepelných elektráren (kde voda slouží jako teplonosné či chladící médium apod.).	4	3	2	**24**
			Budou ohroženy chladící procesy tepelných elektráren (jaderných, uhelných a paroplynových) a spolu s vyšší spotřebou elektřiny na chlazení v kumulaci s plánovanou údržbou zdrojů a sítí.	5	3	2	**30**
	V důsledku zhoršení produkčních podmínek v zemědělství (rostoucí teplota vzduchu a zvyšující se potenciální evapotranspirace, při současném poklesu nebo stagnace srážek zejména v létě)	Při běžném provozním stavu zemědělství a produkce energie.	Následek snížení produkce biomasy využívané pro výrobu elektřiny a tepla, omezení výroby sektorů náročných na vodu (např. papírny, chemické závody).	3	2	2	**12**
Potenciální změny míry nebezpečí povodní	Změny teploty vzduchu (zejména v zimním a jarním období) a změny ve srážkovém režimu povedou k odpovídající změně povodňového		Budou ohroženy energetické distribuční a přenosové soustavy, ve smyslu hrozby porušení integrity, funkčnosti a možných častějších výpadků (jak	2	4	3	**24**

What if …? Co se stane, v důsledku …?	mechanismus působení	… za uvažovaného stavu/podmínek systému/oblasti	Předpokládané negativní dopady/rizika	Pravděpodobnost scénáře	Závažnost dopadu	Zranitelnost systému	Subjektivní riziko
otázka				**(1–nejnižší, 5–nejvyšší)**			
a přívalových povodní	režimu na území ČR. Zatímco u zimních, resp. jarních povodní je pravděpodobný pokles jejich typické velikosti a objemu, v letním období jsou dopady velmi nejisté. Bude totiž proti sobě působit četnější výskyt dnů s vyššími (přívalovými) srážkami a úhrn takových epizod a spíše menší "počáteční" nasycení v důsledku výskytu delších bezesrážkových období a vyššímu výparu. Nejistý je i vliv změn vegetace a vegetačních fází (např. dřívější sklizně a tím obnažení půdního povrchu).		následkem poškození extrémním jevem, tak zvýšenými požadavky na spotřebu energií) v důsledku povodní a přívalových povodní.				
Změna výskytu dalších extrémních jevů (nebezpečný vítr, bouře, ledovka)	Četnější výskyt extrémních hydrometeorologických jevů, zejména konvekčních meteorologických jevů (bouře, větrné smršťě).	Za normálního vývoje civilizace, bez výskytu tzv. existencionálních rizik (typu: globální jaderná válka, globální epidemie nemocí, pandemie apod.).	Budou ohroženy energetické distribuční a přenosové soustavy, ve smyslu hrozby porušení integrity, funkčnosti a možných častějších výpadků (jak následkem poškození extrémním jevem, tak zvýšenými požadavky na spotřebu energií) v důsledku ostatních extrémů.	5	4	3	**60**
			Mohou nastat komplikace v oblasti zásobování energiemi, zvýšená námraza může ohrozit přenosovou i distribuční soustavu, včetně komplikací v dopravě.	1	3	4	**12**
			Zvýšení rizika pro bezpečnost průmyslu a podnikání, ohrožení zaměstnanců, fungování výrobních a provozních zařízení. Četnější výskyt havarijních stavů (až tzv. závažných havárií v chemickém a jiném průmyslu).	5	5	2	**50**

4.8.6 Analýza navržených adaptačních opatření dle Adaptační strategie

Obecně vzato je sektor průmyslu a energetiky provázán se všemi zmiňovanými oblastmi, výrazná je zejména vazba na zdraví, mimořádné události a ochranu obyvatelstva a životního prostředí, hospodaření s vodou, ale i přírodní či urbánní systémy (např. rekultivace území ovlivněných těžbou, využívání brownfields) (MŽP 2015).

Tab. 4.8.6 Průmysl a energetika – analýza navržených adaptačních opatření dle návrhu Adaptační strategie

Hlavní identifikovaná rizika	Porovnání rizik s opatřeními dle Adaptační strategie	Návrh na doplnění dalších opatření
Hrozí rozdílná distribuce srážek v čase i prostoru (v průběhu roku) oproti dosavadním rozdělením srážek, což se promítne do výroby elektrické energie z vodních zdrojů. (Delší období beze srážek má vliv na snížení zásoby akumulačních nádrží vodních elektráren a tím snížení disponibility těchto zdrojů.	Obecná deklarace: „ potřeba zajištění fungování kritické infrastruktury, jejíž výpadek by měl dopad na koncové spotřebitele a na chráněné zájmy státu; významným je zajištění bezpečnosti průmyslových zařízení.“ Konkrétní opatření a doporučení řeší mitigaci této hrozby v budoucnu: např.: zajištění schopnosti všech výrobních zařízení o instalovaném výkonu nad 30 MW poskytovat regulační a rezervní výkony; Podpora rozvoje přenosové soustavy ČR k zajištění dodržování kritéria N-1, tj. zajistit podmínky pro fungování sítě i při výpadku jednoho zásadního prvku; podporovat výstavbu a vysokou disponibilitu obnovitelných zdrojů a jejich účinné krizové řízení za mimořádných událostí – včetně zavedení odtokového a akumulačního režimu na vodních elektrárnách, který bude reflektovat změněné podmínky srážkových vzorců.	V AS řešeno do jisté míry v rámci již navržených opatření. Řešení problému v budoucnu může napomoci větší diverzifikace a decentralizace zdrojů energie (od velkých výrobců směrem k malým až rodinným výrobcům energie zapojených v síti). Je potřeba stanovit limity nezbytně potřebné energie, kterou by tyto malé zdroje v součtu pro ČR a/nebo vybraná menší území měly, resp. mohly poskytnout v rámci mitigace potenciální krize. Do jisté míry řešení nepříznivé situace (krize) mohou napomoci opatření na straně spotřeby (zvyšování energetické účinnosti a energetické úspory, které mají potenciál snížit zatížení sítí v době extrémních teplot, a také potenciál snížit počet postižených nedostatkem energie či výpadky její dodávky nebo snížit závažnost takových dopadů). Podrobněji viz Národní akční plán energetické účinnosti ČR verze 2014 MPO.
Vliv ZK na distribuční soustavy a přenosovou soustavu, které mohou být ovlivněny dopady extrémních jevů typu vichřic, povodní a extrémů teplot.	Opatření uvedená v kapitole AS - 3.9.3.2 Opatření v elektroenergetice, odpovídají charakteru hrozby na území ČR.	Další opatření nejsou navrhována.
Dlouhodobé extrémně vysoké teploty (spolu s nižším objemem srážek v letním období a větší četností extrémně horkých období) mohou ohrozit chladící procesy tepelných elektráren (jaderných, uhelných a paroplynových) a spolu s vyšší spotřebou elektřiny na chlazení v kumulaci s plánovanou údržbou zdrojů a sítí, mohou mít za následek přetížení sítě a v extrémním případě může dojít k rozpadu sítě.	Kap. 3.9.3.1 AS: Zvýšení efektivity využívání vodních zdrojů ve výrobních procesech pomocí úsporného nakládání a recyklace vody, uplatnění vhodných technologií a využití srážkových vod v provozech (tato opatření úzce navazují na adaptační opatření 3.3.3.10) Racionalizace licenčního systému pro odběr vody a vypouštění a 3.3.3.2 Systémy hospodaření se srážkovými vodami a opětovného využití vody kapitoly vodní hospodářství).	Doporučeno upřesnění, jakým způsobem dešťovou či říční vodu lze dostat do chladících obvodů elektráren a dalších průmyslových provozů: k tomuto účelu jsou již dnes ve světě poptávány vysokokapacitní moduly čerpání na bázi dieselagregátů (tzv. opěrné body pro řešení mimořádných událostí), schopné např. po dobu 3 měsíců do technologie dodávat či pomáhat při cirkulaci a ochlazování vody. Doprava vody na 1-2 km, v dostatečném objemu a pod požadovaným tlakem.
Dlouhodobě extrémně nízké teploty mohou způsobit komplikace v oblasti zásobování energiemi, zvýšená námraza	3.9.3.2 Opatření v elektroenergetice (více než 3 zde uvedená opatření reagují i na tuto hrozbu, včetně podpory	Přes již navržená opatření se v posledním desetiletí stávalo, že

Hlavní identifikovaná rizika	Porovnání rizik s opatřeními dle Adaptační strategie	Návrh na doplnění dalších opatření
může ohrozit přenosovou i distribuční soustavu.	ostrovních režimů sítě, zajištění vysoké odolnosti přenosové sítě ČR proti importu a šíření poruch, apod.).	některé obce až mikroregiony v ČR byly bez proudu až několik dnů. Vrstva ledu na vedení přenosové a distribuční soustavy vzniká při náhlých přechodech a výkyvech teplot kolem 0 °C (s podporou větru a vysoké vlhkosti vzduchu). Nejen při dlouhodobě extrémně nízkých teplotách. Také zde k řešení problémů mohou přispět opatření na straně spotřeby energie zejména zvyšování energetické účinnosti a energetické úspory (NAPEÚ 2014; MPO)
Nedostatek srážek může mít za následek snížení produkce biomasy využívané pro výrobu elektřiny a tepla (dřevozpracující průmysl), omezení výroby sektorů náročných na vodu (např. papírny, chemické závody).	Kap. 3.9.3.1. Zvýšení efektivity využívání vodních zdrojů ve výrobních procesech …,; vazba na kap 3.3.3.2 Systémy hospodaření se srážkovými vodami a opětovného využití vody kapitoly vodní hospodářství). Další opatření vhodně popsána v kap. 3.9.3.6.	Jako jedno z doplňujících opatření je možno doporučit rozvoj smart grids, které by v reálném čase reagovaly na poruchy a bránily jejich šíření, případně reagovaly na poruchy změnou topologie sítě. Do jisté míry aplikovatelné i pro další zde uvedené identifikované rizika.
Extrémní srážky/povodně mohou narušit elektrické sítě a produktovody a omezit či znemožnit zásobování po železnici i silnici, vyřadit některé výrobní kapacity, zejména vodní elektrárny, ohrozit průmyslové podniky v zasažených oblastech, a způsobit možný únik nebezpečných látek, stejně jako omezit produkci biomasy pro energetické účely.	V opatřeních uvedených v kap 3.9.3 zaznívá na několika místech apel na budování účinného krizového řízení takto ohrožených technologií za mimořádných, extrémních projevů počasí (četnějších, nebo stejně četných jako dosud, s ohledem na klimatickou změnu). Je zmíněna i podpora tvorby havarijních a krizových plánů pro tyto situace. Základní opatření navržená v AS odpovídají svou kombinací charakteru hrozby.	S ohledem na možný vznik havárií s chemickými látkami podporovat také tvorbu „Bilateral Contingency plans“ pro případ přeshraničního přenosu havárií (přenos nebezpečných látek vzduchem – zóna 10 km okolo hranic, přenos nebezpečných látek tekoucí povrchovou vodou – vzhledem k malé rozloze ČR nestanovena zóna). Bylo by vhodné podpořit budování monitorovací sítě na vodních tocích, zaměřené na detekci úniku chemikálií. Také zde k řešení problémů mohou přispět opatření na straně spotřeby energie zejména zvyšování energetické účinnosti a energetické úspory.
Extrémní meteorologické jevy (vichřice, tornáda) mohou mít za následek narušení přenosových sítí vedoucích až k celkové dezintegraci elektrizační soustavy, vyřazení některých výroben elektřiny, omezit produkce biomasy pro energetické účely, v případě zasažení průmyslových závodů, omezení výroby a distribuce.	Základní opatření navržená v AS (kap. 3.9.3) odpovídají svou kombinací charakteru hrozby.	Také zde k řešení problémů mohou přispět opatření na straně spotřeby energie zejména zvyšování energetické účinnosti a energetické úspory.

4.9 DOPRAVA

Česká republika hraje významnou roli tranzitní země jak v dopravě silniční, tak i železniční. Vzhledem ke své poloze na hlavním evropském rozvodí, disponuje relativně krátkými splavnými úseky řek. Proto má vodní doprava pouze okrajový význam. Z hlediska nižších přepravních výkonů a poměrně malému rozsahu infrastruktury má méně významnou roli též letecká doprava. Z těchto důvodů se dopady klimatické změny projeví nejvíce na prvních dvou zmíněných modech dopravy.

Nejcitlivěji reaguje na změnu klimatu doprava silniční. Vysoká hustota dopravní sítě společně s materiály povrchů dopravní infrastruktury jsou poměrně citlivé na poškození obzvláště vlivem extrémních teplot a povodní. Na silnicích se rovněž pohybuje velké množství osob, které je negativně ovlivněno extrémními hydrometeorologickými jevy.

Železniční doprava je ovlivněna stejným způsobem jako doprava silniční, ale vzhledem k odlišné organizaci přepravy, významně méně husté dopravní infrastruktuře i odlišné technologii její konstrukce nemají dopady klimatických změn tak intenzivní průběh. Pro všechny druhy přepravy představují nejvyšší subjektivní riziko extrémy týkající se srážek. Extrémní teploty mají spíše vliv na komfort cestujících a řidičů a způsobují méně závažná, i když často rozsáhlejší, poškození dopravní infrastruktury.

Výraznější nárůst teploty vzduchu se předpokládá v období 2021–2040. V dalším období je předpokládaný růst teploty vzduchu již nižší a od roku 2061 se předpokládá již prakticky stabilní klima s teplotou vyšší o přibližně 2 °C oproti současnosti. V oblasti dopravy je významnější předpokládaný nárůst počtu tropických dní až na dvojnásobek oproti období 1981–2010. Nejohroženějšími oblastmi jsou Žatecko-Lounsko, Berounsko, Plzeňská pánev, Dolnomoravský a Dyjsko-svratecký úval i intravilány velkých měst.

Obdobná situace týkající se relativních změn a trendů je i v případě vývoje srážek. Největším rizikem je v tomto ohledu rostoucí četnost hydrometeorologických extrémů, jako jsou přívalové srážky, dlouho trvající intenzivní deště, bouřky, vichřice a sněhové vánice. Nejzranitelnější území vůči extrémním srážkám jsou geologicky nestabilní oblasti Západních Karpat, váté písky na Bzenecku a urbanizovaná údolí velkých řek a horské oblasti.

4.9.1 Úvod a kontext

Doprava byla vždy neoddělitelnou součástí života společnosti. Zároveň se stala významným faktorem ovlivňujícím nepříznivě životní prostředí a zdraví člověka. Největší podíl v tomto směru přináleží dopravě silniční, jejíž negativní vliv se projevuje především v produkci emisí rizikových látek a skleníkových plynů. Příčinou emisí škodlivin z motorů vozidel jsou především výfukové plyny vznikající při spalování pohonných hmot, ale také obrus pneumatik, brzdového obložení, spojky či degradace samotné karoserie.

Z hlediska změny klimatu zůstává největším problémem stálý růst produkce skleníkových plynů, tj. oxidu uhličitého (CO_2), metanu (CH_4) a oxidu dusného (N_2O). Doprava je tedy jedním z činitelů, který se podílí na změně klimatu a část mitigačních opatření by proto měla být zaměřena přímo na snižování negativního působení dopravy na klima.

V souvislosti se změnou klimatu může docházet k extrémním výkyvům počasí (přívalové deště či sněhové bouře, záplavy, vichřice, bouřky, vlny veder atd.), které mohou mít negativní vliv jednak na samotný provoz silniční, železniční, letecké i vodní dopravy, tak na dopravní infrastrukturu. Dalším, dlouhodobým jevem, může být negativní působení zvýšených teplot na dopravní konstrukce, což může způsobit jejich poškození.

Vzhledem ke geografické poloze České republiky v centrální části Evropy a její poloze vůči významným logistickým centrům a přístavům nacházejících se právě na jejím území, dochází ke střetu několika transkontinentních dopravních cest významnějšího charakteru:

- centrální středoevropský severo-jižní směr spojující přístavy na severním pobřeží Jadranského moře a přístavy v Pobaltí,
- západo-východní směr spojující významná logistická centra v západní Evropě s centry v Rusku a na Ukrajině,

- směr spojující přístavy v Severním moři s přístavy na Balkánském poloostrově.

Tato fakta řadí území České republiky k důležitým tranzitním územím v rámci rozšiřující se Evropské unie. Předpokládané dopady změny klimatu na fungování dopravní sítě lze hodnotit ve dvou základních měřítcích. Zaprvé z hlediska evropského kontextu a zadruhé v kontextu samotných dopadů, jež se projevují především na území České republiky. V prvním případě jde zejména o narušení nebo zkomplikování tranzitní přepravy nákladu i osob. Transevropská dopravní síť (TEN-T) má za cíl zajišťovat infrastrukturu nezbytnou pro hladké fungování vnitřního trhu a dosažení cílů lisabonské agendy pro růst a zaměstnanost. Má rovněž pomoci zabezpečit dostupnost a posílit hospodářskou, sociální a územní soudržnost. Podporuje volný pohyb občanů EU v rámci území členských států. Navíc zahrnuje požadavky na ochranu životního prostředí a podporuje tak udržitelný rozvoj. TEN-T v Evropě zahrnuje 95 700 km silničního spojení, 106 000 km železničního spojení (včetně 32 000 km vysokorychlostního spojení), 13 000 km vnitrozemských vodních cest, 411 letišť a 404 námořních přístavů. Narušení přepravy v síti TEN-T tak může způsobit komplikace přesahující hranice jednotlivých států, a proto je předcházení problémům spojených s klimatickou změnou velmi důležité. Specifickou roli hraje v tomto případě mezinárodní letecká doprava, která tvoří majoritní podíl, více než 99 % všech cestujících, na celkové letecké dopravě v ČR (MD 2018).

V případě vnitrostátní dopravy se jedná o více regionálně lokalizované dopady změny klimatu, které mohou mít intenzivnější vliv v rámci dané lokality. Jedná se o komplikace s dojížďkou do zaměstnání nebo zásobování významných podniků. Významnou roli hraje i narušení meziregionálních dálkových přepravních tras v rámci ČR. Dopady ve vnitrostátním i mezinárodním měřítku se však do značné míry překrývají. Místa, kde dochází k dopravním komplikacím, jsou shodná, ovšem dopad narušení přepravy na různých typech komunikací a letišť může mít rozdílný význam jak z hlediska jeho umístění, tak i z hlediska rozsahu.

4.9.2 Dopady predikovaných scénářů změny klimatu v ČR

Extrémní projevy počasí jakými jsou náhlé intenzivní sněhové či dešťové srážky, ledovka, krupobití, mlha, vlny veder, bouřky, záplavy nebo nízké hladiny řek mohou mít negativní dopad na silniční, železniční, leteckou i vodní dopravu. Z hlediska hustoty infrastruktury a nejrozšířenějšího způsobu přepravy připadá v úvahu v České republice nejvíce sledovat zejména silniční dopravu.

Vzhledem k faktu, že na území ČR v posledních dvou desetiletích došlo k nárůstu průměrného počtu tropických dní, a předpokladu jejich dalšího navyšování v jednotlivých výhledových scénářích, se očekávají i narůstající vlny veder, jež mohou mít negativní vliv na téměř všechny druhy dopravy:

- Silniční dopravu mohou opakované vlny veder v nížinatých oblastech ovlivnit jak z hlediska infrastrukturálního (degradace povrchového materiálu vozovky, poškození mostních konstrukcí), tak samotné bezpečnosti provozu spojené s lidským faktorem (snížená koncentrace řidiče). Dalším nežádoucím projevem, a to recipročně směrem ke změnám klimatu, jsou jednoznačně větší nároky na klimatizaci vozidel a tím i zvyšující se spotřeba pohonných hmot, jenž implikuje i nárůst produkce emisí. Tyto dopady se mohou projevit prakticky na území každého kraje v ČR.

- Železniční doprava může být intenzivními vlnami veder ovlivněna obdobně jako doprava silniční. Jejich dopady lze sledovat na měnícím se stavu infrastruktury (kroucení kolejí, poškození kovových spojů mostních konstrukcí, rychlejší degradace materiálů použitých při konstrukci železniční sítě) a na komfortu osob (teplotní nápor v důsledku nevybavenosti vozidla veřejné dopravy klimatizací). Zvýšené využívání klimatizačních jednotek může v případě moderních motorových vlakových souprav vést v konečném důsledku i k dalšímu růstu emisí skleníkových plynů (se spuštěnou klimatizací roste spotřeba pohonných hmot). Dnes se to týká tratí, kde je provozována motorová trakce a především vlakových vozů řady 840/841 a 844. Ovšem do budoucna je předpoklad, že se budou počty moderních motorových vlakových souprav vybavených klimatizací zvyšovat. Tyto dopady se mohou projevit prakticky na území každého kraje v ČR.

- Vodní doprava v důsledku dlouhodobého sucha podporovaného opakováním vln veder může být negativně ovlivněna poklesem hladiny řek, a tedy nesplavnosti některých úseků vodní dopravní cesty. Tyto dopady se týkají zejména Středočeského kraje, ale i kraje Jihočeského, Ústeckého, Pardubického či hlavního města Prahy.

- Leteckou dopravu v důsledku vln veder může potkat obdobný problém jako silniční dopravu, a to degradace povrchového materiálu ranveje. Tímto projevem extrémního počasí mohou být

zasažena všechna letiště se zpevněným povrchem. K letištím s největším počtem pohybů patří Letiště Václava Havla v Praze, a dále letiště v Brně, Ostravě, Karlových Varech či Pardubicích.

V současnosti je chod průměrných ročních úhrnů dešťových nebo sněhových srážek značně variabilní. I proto zde není pozorovatelný statisticky významný trend. Dochází ovšem ke změně charakteru srážek, roste počet dní s vyššími úhrny srážek způsobených především bouřkovou činností v letních měsících a oproti tomu roste počet a délka epizod, kdy prší jen velmi málo či vůbec. V budoucnu je předpokládané mírné zvýšení úhrnů srážek o 7–13 %. Největší rozdíl se předpokládá u zimních srážek a naopak v letních srážkách lze očekávat nejmenší změnu. Velká meziroční a regionální proměnlivost srážek se projeví prakticky ve všech druzích dopravy:

- Silniční doprava může být negativně ovlivněna náhlými projevy bouřkových situací (překážky na komunikaci, výpadek elektrického proudu), intenzivními dešťovými (záplavy) či sněhovými (neprůjezdnost, poškození infrastruktury) srážkami trvajícími kontinuálně i několik dní. Několikadenní intenzivní dešťové srážky se mohou vyvinout v záplavy, které mohou v dané oblasti způsobit kolaps silniční dopravy. Ve snaze vyhnout se zaplaveným úsekům komunikací může dále docházet k naplnění kapacity objízdných tras, což může v extrémním případě vést i ke vzniku dopravních komplikací na těchto objízdných trasách. Z hlediska bezpečnosti dopravy mohou extrémní projevy počasí (intenzivní srážky, mlha, ledovka) vést ke snížené viditelnosti a vzniku nebezpečných situací (ztráta přilnavosti pneumatiky k vozovce). Tyto dopady se mohou projevit na území každého kraje v ČR.
- Železniční doprava může být extrémními projevy počasí ovlivněna zejména z hlediska infrastruktury, kdy může dojít k poškození kolejí, výhybek, trakčního vedení či zatarasení cesty a v důsledku toho může dojít k přerušení dopravy, výlukám apod. Tyto dopady se mohou projevit na území každého kraje v ČR.
- Vodní doprava může být poznamenána nejen extrémními srážkovými projevy, ale také poklesem srážek. Přívalové deště způsobují zvýšení vodních stavů a průtoků, které omezují možnosti plavby (problémy s průjezdy pod mosty, nestabilita kanálů a průplavů). Naopak v důsledku nedostatku srážek klesne i hladina splavných řek. Tyto projevy se týkají zejména Středočeského kraje, ale i Jihočeského, Ústeckého, Pardubického či hlavního města Prahy.
- Leteckou dopravu mohou ovlivnit extrémní srážkové projevy obdobně jako silniční dopravu, a to zejména v blízkém okolí letiště při vzletu a přistání letadel, kdy je pro pilota důležitá podmínka viditelnosti. Extrémy počasí, jakými jsou bouřky, záplavy či intenzivní sněhové a dešťové srážky mohou v tomto případě způsobit zpoždění jednotlivých letů, poškození naváděcího systému pro letadla či dokonce úplné přerušení provozu letiště. V ČR se tato situace nejvíce dotýká Letiště Václava Havla v Praze, a dále letišť v Brně, Ostravě, Karových Varech či Pardubicích.

Dalším negativním projevem počasí na území ČR může být kolísající rychlost větru, přičemž tento jev není nijak důležitý z hlediska průměrných hodnot, nýbrž z pohledu nárazových hodnot.

- V silniční dopravě se extrémní nárazový vítr může projevit jednak s ohledem na bezpečnost dopravy, kdy může být jedním z hlavních důvodů vzniku dopravní nehody. Dále může způsobit zatarasení cesty překážkou, jakou je např. spadlý strom. V zimním období také tvorbou sněhových jazyků a závějí. Dopad se může projevit na území každého kraje v ČR.
- Železniční doprava může být ovlivněna především překážkou v kolejišti, jenž spadne v důsledku silného nárazového větru. V zimním období také tvorbou sněhových jazyků a závějí. Dopad se může projevit na území každého kraje v ČR.
- Ve vodní dopravě může dojít v důsledku extrémní povětrnostní situace k přerušení provozu (v důsledku škod na infrastruktuře v přístavech, vlivem překážek popadaných do plavební cesty). Pravidelných vodních cest se tento jev týká zejména ve Středočeském kraji, ale i v kraji Jihočeském, Ústeckém, Pardubickém či hlavním městě Praze.
- Letecká doprava je nárazovým větrem ovlivněna a zároveň nejvíce náchylná v okolí letišť při přistáních a vzletech letadel (ztěžuje ovladatelnost a má vliv na jejich výkon). Tento nenadálý projev extrémního počasí může mít za důsledek zpoždění letů či dokonce úplné přerušení provozu letiště.

4.9.3 Stanovení indikátorů

V této kapitole jsou stanoveny tři typy indikátorů:

- Indikátory hodnotící vliv klimatické změny (dále jako indikátory klimatické) poskytují možnosti evaluace změn klimatu v návaznosti na dopravní infrastrukturu. Data je možné vyhodnocovat na vybraných meteorologických stanicích ČHMÚ a nebo sítě silničních meteorologických stanic, jak z hlediska měření v minulosti, tak i v návaznosti na predikce klimatu.
- Indikátory dopadové ukazují konkrétní dopady změny klimatu na provoz na pozemních komunikacích nebo na údržbu a opravy infrastruktury. A to ve formě počtu událostí nebo finančních nákladů.
- Indikátory, které hodnotí zranitelnost dopravní infrastruktury vůči klimatické změně, by měly reflektovat jak hydrometeorologické jevy a další fyzicko-geografické faktory, které dopravní infrastrukturu ovlivňují, tak i charakter a důležitost jednotlivých komponent dopravní sítě.

Většina níže stanovených indikátorů vychází ze studie Environmentální a ekonomické hodnocení adaptačních opatření ve vztahu ke změně klimatu v sektoru dopravy (Ličbinský et al. 2018), která je výstupem stejnojmenného projektu Ministerstva dopravy ČR. V této studii jsou podrobně popsány jednotlivé indikátory a je provedeno jejich vyhodnocení. Pro úplnost je u každého z indikátorů uveden konkrétní zdroj.

4.9.3.1 Indikátory klimatické

V návaznosti změny klimatu na dopravní infrastrukturu lze identifikovat přímou závislost vlivu pouze ve vztahu k teplotě vzduchu. U dalších meteorologických charakteristik (srážky, extrémní hydrometeorologické jevy atd.) závisí dopady i na dalších faktorech, jako je například landuse v okolí komunikací. Proto doporučujeme pro sledování dopadů změny klimatu definovat následující indikátory:

- **Průměrná roční/měsíční teplota vozovky** (Ličbinský et al. 2018)
  - průměrná teplota povrchu vozovky (roční, měsíční) stanovená z dat Silničních meteorologických stanic ŘSD ČR
- **Počet dní s přechodem teploty přes 0 °C** (Ličbinský et al. 2018)
  - plošný průměr ročního počtu dní s přechodem teploty přes 0 °C
- **Indikátor vysokých teplot vozovky** (Ličbinský et al. 2018)
  - počet dnů za měsíc/rok, kdy teplota povrchu vozovky stoupne nad stanovenou rizikovou hodnotu (tři uvažované hraniční teploty: > 30 °C, > 40 °C, > 50 °C)
- **Index klimatické náročnosti zimní údržby komunikací** (Květoň, Žák 2018)
  - klasifikace zimní sezóny v kategoriích od mimořádně mírné až k mimořádně tuhé
  - Ministerstvo dopravy disponuje časovou řadou tohoto indikátoru od roku 1961
- **Délka a četnost vln veder**
  - indikátor zpracovaný v samostatné kapitole 4.11
- **Extrémní vítr, bouře**
  - indikátor zpracovaný v samostatné kapitole 4.11

4.9.3.2 Indikátory dopadu

Dopady klimatické změny na dopravní infrastrukturu lze vyhodnocovat pomocí meziročního srovnání údajů o počtu mimořádných událostí, dopravních nehod a nákladů správců dopravní infrastruktury na její údržbu a opravy spojených s projevy změny klimatu. Proto navrhujeme následující indikátory dopadu:

- **Počet nehod/mimořádných událostí v důsledku projevů změny klimatu** (Ličbinský et al. 2018)

- počet nehod/mimořádných událostí, ke kterým došlo spolupůsobením jednoho nebo více následujících projevů změny klimatu: extrémně vysoké/nízké teploty, námrazové jevy, povodně, přívalové deště, sněhové kalamity, extrémní vítr, požáry

- **Počet a délka přerušení provozu v důsledku projevů změny klimatu** (Ličbinský et al. 2018)
  - počet a délka trvání přerušení provozu, ke kterému došlo v důsledku jednoho nebo více následujících projevů změny klimatu: extrémně vysoké/nízké teploty, námrazové jevy, povodně, přívalové deště, sněhové kalamity, extrémní vítr, požáry, sucho

- **Náklady na údržbu komunikací související s extrémně vysokými teplotami**
  - indikátor umožní hodnotit dopady extrémně vysokých teplot na dopravní infrastrukturu

- **Náklady na zimní údržbu komunikací v období 1. 11.–31. 3.** (Květoň, Žák 2018)
  - náklady spojené s pluhováním, chemickým ošetřením, posypem apod.
  - indikátor je k dispozici z pravidelného vyhodnocování nákladovosti zimní údržby komunikací na MD

4.9.3.3 Indikátory pro hodnocení zranitelnosti dopravní infrastruktury klimatickou změnou

Indikátory zranitelnosti vypovídají o tom, která část dopravního systému je/může být na projevy změny klimatu citlivá, ale nemají přímou vazbu na návrh opatření. Všechny níže uvedené indikátory zranitelnosti vycházejí ze studie Environmentální a ekonomické hodnocení adaptačních opatření ve vztahu ke změně klimatu v sektoru dopravy (Ličbinský et al. 2018), která je výstupem stejnojmenného projektu Ministerstva dopravy ČR.

- **Komunikace a letiště v záplavovém území**
  - podíl délky dopravních komunikací a počtu letišť, ležících v záplavovém území pro n-letost povodně Q_5, Q_{20}, Q_{100}, na celkové délce komunikací / počtu letišť v členění podle významnosti

- **Komunikace ohrožené svahovými nestabilitami**
  - podíl délky komunikací (pozemní komunikace, železnice, vodní cesty) v členění podle významnosti v oblastech ohrožených svahovými nestabilitami registrovanými v Registru svahových nestabilit na celkové délce komunikací

- **Komunikace v území s nadmořskou výškou ≥ 600 m**
  - podíl délky komunikací v územích s nadmořskou výškou ≥ 600 m na celkové délce komunikací v ČR

- **Komunikace procházející lesem**
  - podíl délky komunikací v územích s nadmořskou výškou ≥ 600 m na celkové délce komunikací v ČR

4.9.4 Vyhodnocení zranitelnosti vůči dopadům změny klimatu, identifikace nejzranitelnějších regionů v ČR

4.9.4.1 Vyhodnocení zranitelnosti pomocí stanovených indikátorů

Klimatické indikátory

Pro vyhodnocení indikátoru *Průměrná roční/měsíční teplota vozovky* byly využity data ze sítě Silničních meteorologických stanic, které disponují teplotními čidly umístěnými na povrchu vozovky. V období 2007–2017 se průměrná roční teplota vozovky u stanic ve vyšší nadmořské výšce (nad 800 m n. m.) pohybuje mezi 2,7–9 °C, u stanic v teplých oblastech mezi 14–19 °C. Vždy je vyšší než průměrná teplota vzduchu v dané lokalitě (Ličbinský, el al. 2018).

Indikátor *Počet dní s přechodem teploty přes 0 °C* byl hodnocen pro období 2000–2018, vždy pro sezónu říjen–duben. Průměrný počet dní za celé sledované období je 76,4 dní. Nejvyšších průměrných počtů dní s přechodem teploty vzduchu přes 0 °C bývá dosahováno na stanicích ve středních (67,9 až 91,7 dní) a vyšších polohách (69 až 98,4 dní). Na stanicích v nižších polohách se hodnoty indikátoru pohybují mezi 58,5 a 86 dny. Nepatrně nižších hodnot dosahuje indikátor v horských polohách – 54 až 87 dní (Ličbinský, el al. 2018).

Indikátor vysokých teplot vozovky byl opět hodnocen pro období 2007–2017 pro vybrané klimatické stanice. Byl vyhodnocen v podobě relativních četností (%). Z výsledků vyplývá, že relativní četnost teplot se v intervalu 30–40 °C pohybovala mezi 2–10 %, pro interval 40–50 °C v rozmezí 0–6 %, a pro teploty vyšší než 50 °C v naprosté většině pod 1 %, výjimečně v oblastech s teplejším klimatem (Jihomoravský, Zlínský kraj) až k 3 % (Ličbinský, el al. 2018).

Index klimatické náročnosti zimní údržby komunikací popisují Květoň a Žák (2018) ve svém článku. Uvádějí základní metodiku určení indexu a též jeho vývoj pro jednotlivé zimy v období 1961/1962 až 2016/2017.

Indikátory dopadu

Pro vyhodnocení indikátoru *Počet nehod/mimořádných událostí v důsledku projevů změny klimatu* za silniční dopravu jsou vhodná data z evidence Policie ČR. Zde jsou evidovány všechny šetřené dopravní nehody za celé území ČR. Součástí jsou též kategorické údaje o povětrnostních podmínkách v době nehody. Současné nastavení těchto kategorií neumožňuje přesnější vyhodnocení, zda se jednalo o projev změny klimatu. Jako příklad lze uvést kategorie podle povětrnostních podmínek. Jsou to: mlha, déšť, sněžení, tvoří se námraza, náledí, nárazový vítr. Z těchto kategorií nelze odvodit, zda se jednalo například o přívalovou srážku, nebo jen o srážky s nízkou intenzitou. Pro přesnější vyhodnocení tohoto dopadového indikátoru, by bylo vhodné upravit kategorie jednotlivých hledisek, tak aby více odpovídala potřebám hodnocení z hlediska projevů změny klimatu. Vhodnými daty pro vyhodnocení tohoto indikátoru za železniční dopravu disponuje Správa železniční dopravní cesty. Z výsledků vyhodnocení alespoň těchto dostupných dat je patrné, že většina dopravních nehod se uskuteční za příznivých povětrnostních podmínek, pouze malá část nehod se stala za zhoršených povětrnostních podmínek. Lze předpokládat, že počet nehod vzniklých za působení projevů změny klimatu bude ještě nižší (Ličbinský, el al. 2018).

Data potřebná pro vyhodnocení indikátoru *Počet a délka přerušení provozu v důsledku projevů změny klimatu* shromažďuje Národní dopravní informační centrum. V dnešní době pracují pouze s aktuálními daty. Pro možnost vyhodnocení tohoto indikátoru za silniční dopravu je nutné tato data archivovat. Evidenci událostí přerušení provozu na železničních tratích vede Správa železniční dopravní cesty (Ličbinský, el al. 2018).

Vyhodnocení indikátoru *Náklady na údržbu komunikací související s extrémně vysokými teplotami* je možné z evidencí Ředitelství silnic a dálnic a organizací Správy a údržby silnic jednotlivých krajů.

Indikátor *Náklady na zimní údržbu komunikací v období 1. 11.–31. 3.* je vyhodnocován společně s klimatickým indikátorem *Index klimatické náročnosti zimní údržby komunikací*. Tato data jsou pravidelně vyhodnocována pro účely Ministerstva dopravy ČR.

Indikátory zranitelnosti

Z vyhodnocení indikátoru *Komunikace a letiště v záplavovém území* pro data za silniční dopravu pro rok 2018 vyplívají následující závěry: v záplavovém území pro pětiletou povodeň (Q_5) se nachází 0,4 % (255,9 km) z celkové délky komunikací III. a vyšší třídy v ČR. Při dvacetileté povodni (Q_{20}) by bylo zaplaveno 1,1 % (674, 4 km) a při stoleté povodni 3,0 % (1 764,5 km) těchto komunikací. Z komunikací ležících v záplavovém území pro pětiletou, dvacetiletou i stoletou povodeň je ohroženo cca 30 % komunikací II. třídy a cca 50 % komunikací III. třídy. V případě železniční dopravní sítě se v záplavovém území pro pětiletou povodeň (Q_5) nachází 27,0 km tratí, což činí 0,3 % celkové délky železničních tratí v ČR. Při dvacetileté povodni (Q_{20}) by tento podíl stoupl na 0,6 % (56,6 km) a při stoleté povodni (Q_{100}) by bylo zaplaveno 1,7 % tratí (159,6 km). V záplavových územích se nachází nejen úseky drah regionálních, ale i úseky celostátních drah evropského významu. V záplavovém území pro pětiletou povodeň je dokonce podíl jejich délky z celkové délky tratí ležících v tomto území nejvyšší – cca 45,8 % (Ličbinský, el al. 2018).

Ve výše uvedené studii (Ličbinský, el al. 2018) byl indikátor *Komunikace ohrožené svahovými nestabilitami* vyhodnocen pouze pro železniční dopravní síť. V oblastech ohrožených plošnými svahovými nestabilitami registrovanými v Registru svahových nestabilit ČGS se v roce 2017 nacházelo jenom 43,8 km železničních tratí, což je 0,5 % celkové délky tratí. Z toho se jednalo o 24,0 % celostátních drah evropského významu (10,5 km), 11,4 % celostátních drah (5,0 km) a 64,6 % tvořili dráhy regionální (28,3 km). Vyhodnocení zranitelnosti silniční sítě z hlediska tohoto indikátoru je také možné.

Indikátor *Komunikace v území s nadmořskou výškou ≥ 600 m* udává procento komunikací s existujícím zvýšeným rizikem výskytu vydatných sněhových srážek a sněhových kalamit než v nižších polohách. Územím s nadmořskou výškou 600 m a více prochází 8,6 % (5 092,2 km) pozemních komunikací III. a vyšší třídy (stav k roku 2018). Z toho nejvyšší podíl tvoří silnice II. a III. třídy. V případě železniční dopravy se v nadmořské výšce 600 a více metrů nachází 5 % všech železničních tratí (469,9 km, stav k roku 2018). V převážné většině (86,4 %, 405,9 km) se jedná o dráhy regionální, jenom 5,9 % tvoří celostátní dráhy evropského významu (27,7 km) a 7,7 % (36,3 km) celostátní dráhy (Ličbinský, el al. 2018).

Zranitelnost dopravní infrastruktury pádem stromu na komunikaci určuje indikátor *Komunikace procházející lesem*. Z hlediska silniční dopravy procházelo v roce 2018 lesem 13,3 % pozemních komunikací III. a vyšší třídy (7 903,2 km). Z toho více jak polovinu (60,1 %) tvořili silnice III. třídy, dále silnice II. třídy (26,7 %), silnice I. třídy (10,1 %) a 3,1 % dálnice. V případě železniční dopravy procházelo zalesněným územím v roce 2018 16,9 % všech železničních tratí (1 570,5 km). Z toho je 21,8 % (342,0 km) celostátních drah evropského významu, 24,2 % (379,7 km) drah celostátních a 54,0 % (848,8 km) drah regionálních.

4.9.4.2 Předpokládaný časový trend indikátorů zranitelnosti

V souvislosti s předpokládaným mírným růstem průměrné a maximální teploty vzduchu (IHP1) a s tím spojeným prodlužováním délky a četnosti vln veder (IHP4) lze předpokládat i rostoucí hodnoty indikátorů *Průměrná roční/měsíční teplota vozovky* a *Indikátor vysokých teplot vozovky*. Vlivem rostoucích teplot lze předpokládat zkracování zimního období a s tím spojené snižování hodnot indikátoru *Dny s přechodem teploty přes 0 °C*.

Budoucí vývoj dopadových indikátorů *Počet nehod/mimořádných událostí v důsledku projevů změny klimatu* a *Počet a délka přerušení provozu v důsledku projevů změny klimatu* bude dán především vývojem IHP3 (Povodně – zejména přívalové povodně), IHP4 (Extrémní teplota), IHP5 (Extrémní srážky) a méně IHP6 (konvekční jevy, znečištění atmosféry). Vzhledem k jejich předpokládané rostoucí tendenci lze též předpokládat růst hodnot těchto dvou indikátorů.

Rostoucí teploty vzduchu a prodlužování délky a četnosti vln veder zapříčiní pravděpodobné zvyšování nákladů na údržbu a opravy komunikací spojených s působením vysokých teplot (dopadový indikátor *Náklady na údržbu komunikací související s extrémně vysokými teplotami*).

Výše uvedený předpoklad zkracování zimního období se projeví pozitivně i na hodnotách indikátoru *Náklady na zimní údržbu komunikací v období 1. 11.–31. 3.* – lze předpokládat jejich snižování.

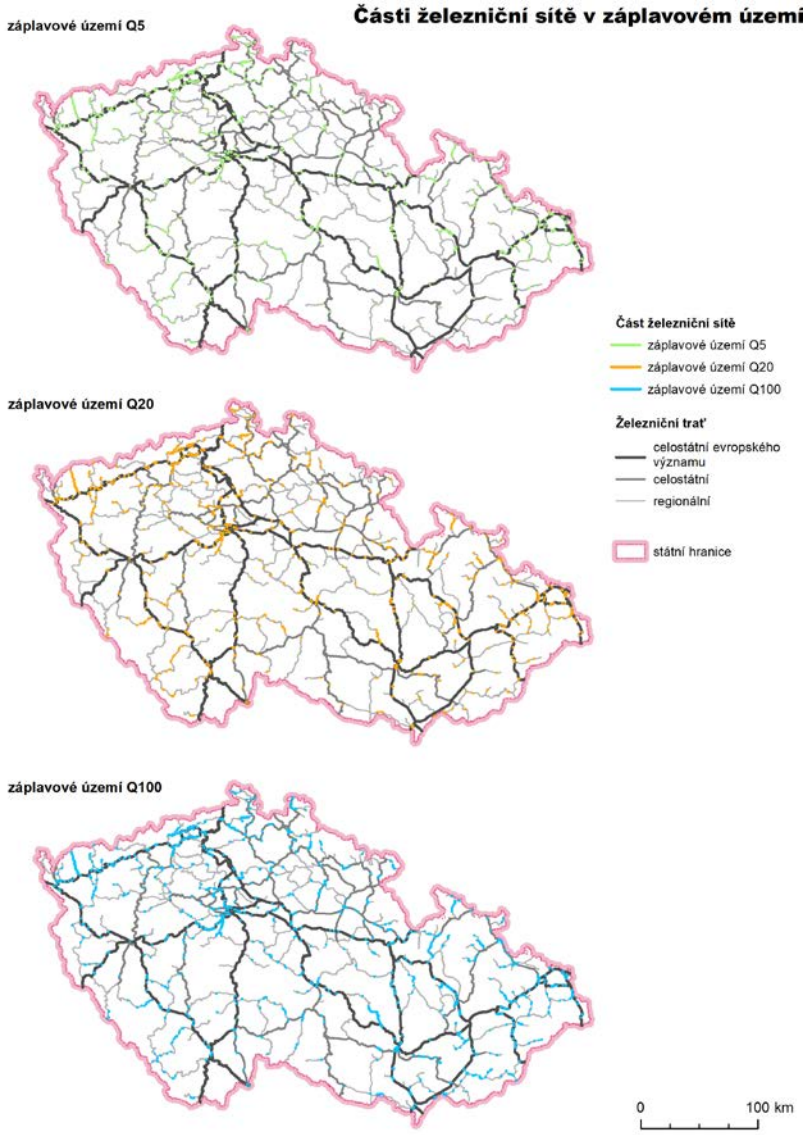
V případě indikátorů zranitelnosti lze předpokládat jen minimální změny dané především výstavbou nové dopravní infrastruktury. Pouze v případě indikátoru *Komunikace ohrožené svahovými nestabilitami* by mohlo dojít vlivem předpokládané rostoucí četnosti extrémních srážkových úhrnů (IHP3) ke vzniku nových lokalit ohrožených svahovými nestabilitami.

4.9.4.3 *Identifikace nejzranitelnějších regionů a regionálně nejzávažnějších dopadů*

Z hlediska předpokládaného růstu průměrných teplot vzduchu se jako nejzranitelnější regiony z pohledu indikátorů *Průměrná roční/měsíční teplota vozovky*, *Indikátor vysokých teplot vozovky* jeví nejteplejší regiony ČR – podhůří Krušných hor (regiony Žatecko a Lounsko), Berounsko, Plzeňská pánev, Polabí, Dolnomoravský a Dyjsko-svratecký úval (Tolasz et al. 2007). Změny indikátoru *Počet dní s přechodem teploty přes 0 °C* se budou pravděpodobně nejvíce projevovat ve středních (400–600 m n. m.) a vyšších (600–800 m n. m.) polohách. Zvyšování četnosti a prodlužování vln veder (indikátor *Délka a četnosti vln veder*) se nejvíce projeví především ve velkých městech (Praha, Brno, Ostrava, Olomouc, Hradec Králové, Plzeň, …), s vlivem na snižování pozornosti řidičů a komfortu cestujících (Ličbinský el al. 2018).

Z dopadových indikátorů lze nejzranitelnější regiony identifikovat pouze pro indikátory *Náklady na údržbu komunikací související s extrémně vysokými teplotami* a *Náklady na zimní údržbu komunikací v období 1. 11.–31. 3.* V případě prvního jmenovaného indikátoru lze předpokládat největší dopady opět ve výše jmenovaných nejteplejších regionech ČR. Z hlediska druhého jmenovaného indikátoru lze předpokládat pokles nákladů na zimní údržbu v nižších polohách. V oblastech okrajových pohoří ČR a na Českomoravské vrchovině se nepředpokládají výrazné změny. Zbývající dva dopadové indikátory (*Počet nehod/mimořádných událostí v důsledku projevů změny klimatu* a *Počet a délka přerušení provozu v důsledku projevů změny klimatu*) nejsou výrazně závislé na regionálních podmínkách.

Z hlediska indikátoru *Komunikace a letiště v záplavovém* území jsou zranitelné všechny komunikace a tratě procházející záplavovým územím některého z našich vodních toků. V případě silniční dopravy by již při pětileté povodni byly do různé míry ohroženy všechny evropské tahy – 8,0 % (20,4 km) z celkové délky komunikací ležících v záplavovém území Q_5. Nejvíce úseků by bylo zaplaveno na následujících mezinárodních komunikacích: E442 (Karlovy Vary – Liberec – Hradec Králové – Olomouc – Žilina), E462 (Brno – Olomouc – Český Těšín – Krakov), E48 (Praha – Karlovy Vary – Bayeruth – Schweinfurth) a E49 (Magdeburg – Karlovy Vary – Plzeň – České Budějovice – Vídeň). V případě železniční dopravy jsou z celostátních drah evropského významu již pětiletou povodní ohroženy úseky následujících tratí: např. Beroun osobní nádraží – Plzeň hlavní nádraží, Bohumín – Prosenice, Česká Třebová – Kolín, České Budějovice – Benešov u Prahy, Brno-Maloměřice – Česká Třebová, Brno-Židenice – Havlíčkův Brod, Chomutov – Cheb, Praha-Radotín – Beroun osobní nádraží, Prosenice – Česká Třebová, Přerov – Břeclav, Ústí nad Labem hlavní nádraží – Most (obr. 4.9.1). Je však nutno zmínit, že i při zaplavení jednoho úseku významné komunikace může dojít k narušení konektivity celé sítě (Ličbinský el al., 2018).



Obr. 4.9.1 Lokalizace úseků železničních tratí nacházejících se v záplavových územích pro n letost povodně Q_5, Q_{20} a Q_{100} na území ČR (Zdroj: Ličbinský, el al. 2018)

K identifikaci nejzranitelnějších regionů z hlediska indikátoru *Komunikace ohrožené svahovými nestabilitami* je podstatné dělení svahových nestabilit podle stupně aktivity. Ty se dělí na svahové nestability aktivní (živé), dočasně uklidněné a uklidněné (zastavené). Převážná většina ohrožených tratí leží v území s uklidněnými (45,3 %) nebo dočasně uklidněnými (46,7 %) plošnými svahovými nestabilitami. Aktivními svahovými nestabilitami je ohroženo 8,1 % těchto tratí (3,5 km), z toho nejvíce jsou ohroženy celostátní dráhy evropského významu (66,3 %). Konkrétně se jedná o čtyři úseky na tratích Nymburk – Ústí nad Labem-Střekov, Horní Lideč státní hranice – Hranice na Moravě a dále o jeden úsek dráhy celostátní (Jaroměř – Liberec). Ostatní ohrožené úseky mají význam regionální a jedná se především o úseky v Zlínském kraji (Ličbinský el al. 2018).

Z hlediska indikátoru *Komunikace v území s nadmořskou výškou ≥ 600 m* jsou nejzranitelnější úseky těchto mezinárodních komunikací: E48, E49, E53, E55, E59, E65, E442 a E551. Z dálnic to jsou úseky D1 procházející přes Křižanovskou a Křemešnickou vrchovinu, úseky D5 přes Český les a úseky D8 přes Krušné hory. V případě železniční sítě se jedná o úseky těchto evropsky významných tratí: Horní Dvořiště státní hranice – České Budějovice, Plzeň hlavní nádraží – Cheb a České Budějovice – Benešov u Prahy. Z celostátních drah to jsou úseky tratí Mikulovice státní hranice – Hanušovice, Veselí nad Lužnicí – Jihlava a Opava východ – Olomouc hlavní nádraží. V případě regionálních tratí se jedná o úseky tratí vedoucích přes Šumavu: Klatovy – Železná Ruda-Alžbětín, Číčenice – Volary, Strakonice – Volary, Černý Kříž – Nové Údolí. Dále přes Krušné hory: Karlovy Vary-Sedlec – Potůčky státní hranice, Chomutov – Vejprty státní hranice. A také Jizerské hory: Tanvald – Harrachov státní hranice (Ličbinský el al. 2018).

4.9.5 Souhrn – What if analýza

Tab. 4.9.1 Doprava, souhrnná what if analýza (upraveno podle Ličbinský et al. 2017; Ličbinský et al. 2018)

What if …? Co se stane, když …?	Mechanismus působení	… za uvažovaného stavu systému/oblasti	Předpokládané negativní dopady/rizika	Pravděpodobnost scénáře	Závažnost	Zranitelnost systému	Subjektivní riziko
otázka		**zpřesnění otázky**	**akutní i chronické**	**(1–nejnižší, 5–nejvyšší)**			
Zvyšování průměrné teploty vzduchu, změna výskytu extrémních jevů	Růst počtu letních a tropických společně s růstem počtu a délky horkých vln bude zvyšovat dobu expozice dopravní infrastruktury vysokým teplotám	v případě silniční dopravy	Degradace povrchového materiálu vozovky a poškození mostních konstrukcí, snížená koncentrace řidičů, případně nárůst produkce emisí v důsledku větší nároků na klimatizaci vozidel.	5	3	3	**45**
		v případě železniční dopravy	Krut kolejí a poškození mostních konstrukcí, vysoké teploty v prostorách vozidel veřejné dopravy nevybavených klimatizací, případně nárůst produkce emisí v důsledku větších nároků na klimatizaci vozidel motorové trakce.	3	3	2	**18**
	Zvyšování teploty vzduchu, společně se zvyšováním výparu/evapotranspirace a prodlužováním délky vln veder bude mít vliv na snižování vodních stavů	v případě vodní dopravy	Nesplavnost některých úseků vodní dopravní cesty.	4	2	4	**32**
	Stejně jako v případě silniční a železniční dopravy	v případě letecké dopravy	Degradace povrchového materiálu ranveje.	2	2	1	**4**
Zvýšená pravděpodobnost výskytu dlouhodobého sucha	Pokles srážek v létě a prodlužování bezsrážkových období bude mít vliv na snížení vodních stavů	v případě vodní dopravy	Nesplavnost některých úseků vodní dopravní cesty.	4	2	4	**32**
Potencionální změny míry nebezpečí povodní a přívalových povodní, změna výskytu extrémních jevů	Zvyšování četnosti dnů s vyššími srážkami (přívalové srážky) a zvyšující se počet epizod mohou především v letním období způsobovat lokální přívalové povodně nebo vyvolat sesuvy půdy	v případě silniční dopravy	Poškození povrchu komunikací, překážky na komunikaci, sesuvy půdy, výpadek elektrického proudu, bleskové záplavy a v důsledku toho k překročení kapacity komunikací na objízdných trasách (kongesce).	5	3	4	**60**
		v případě železniční	Poškození kolejí, výhybek, trakčního vedení či zatarasení cesty a v důsledku tohoto	4	3	2	**24**

What if …? Co se stane, když …?	Mechanismus působení	… za uvažovaného stavu systému/oblasti	Předpokládané negativní dopady/rizika	Pravděpodobnost scénáře	Závažnost	Zranitelnost systému	Subjektivní riziko
otázka		zpřesnění otázky	akutní i chronické	(1–nejnižší, 5–nejvyšší)			
		dopravy	k přerušení dopravy, výlukám apod.				
		v případě vodní dopravy	V případě povodňové situace zhoršené podmínky, případně úplně přerušení plavby (vysoké vodní stavy a průtoky), poškození infrastruktury.	4	3	4	**48**
		v případě letecké dopravy	Zhoršené podmínky pro přistání a vzlet letadla v okolí letiště, poškození naváděcího systému či dokonce úplné přerušení provozu letiště.	2	2	2	**8**
Změna výskytu dalších extrémních jevů (nebezpečný vítr, bouře, ledovka)	Četnější výskyt extrémních konvekčních meteorologických jevů (bouře, větrné smršťě). V zimním období bude častější přechod teploty přes 0 °C a s tím spojená možnost častější tvorby ledovky	v případě silniční dopravy	Souvisí s bezpečností provozu a zatarasením cesty překážkou.	5	2	3	**30**
		v případě železniční dopravy	Zatarasení kolejiště spadlou překážkou, zhoršení adheze vozidel a poškození infrastruktury vlivem ledovky.	3	2	2	**12**
		v případě vodní dopravy	Přerušení provozu, poškození infrastruktury, zvýšené náklady na údržbu vodní cesty (naplavené překážky v říčním korytě)	3	1	2	**6**
		v případě letecké dopravy	Zhoršené podmínky pro přistání a vzlet letadla v okolí letiště, poškození naváděcího systému či dokonce úplné přerušení provozu letiště.	3	3	4	**36**

4.9.6 Analýza navržených adaptačních opatření dle Adaptační strategie

Tab. 4.9.2 Srovnání identifikovaných rizik s návrhy adaptačních opatření

Hlavní identifikovaná rizika	Porovnání rizik s opatřeními dle Adaptační strategie[1]	Návrh na doplnění dalších opatření
Zrychlená degradace materiálů použitých při konstrukci silniční a železniční sítě (letišť) a zhoršení podmínek pro plavbu v důsledku zvyšování extremity hydrometeorologických jevů (převážně vysoké teploty, extremita srážkových úhrnů, povodně, námraza, ledovka, vichřice, bouřky…)	Adaptační strategie na dané riziko reaguje částečně (opatření 3.8.3.2, 3.8.3.4)	• Zvyšování retenční schopnosti krajiny • Kontrola landuse v širším okolí komunikací (protierozní opatření, větrolamy, opatření pro stabilizaci svahů) • U veřejných zakázek zohlednit technologii a kvalitu materiálů, nejen cenu • Časově i finančně zefektivnit opravy poškozených komunikací
Zatarasení nebo poškození komunikace nebo železnice v důsledku extrémních hydrometeorologických jevů (pády stromů, zatopení a poškození komunikace, sesuvy půdy). Přerušení přepravy na letištích	Adaptační strategie na dané riziko reaguje částečně (v rámci opatření 3.8.3.1)	• Zefektivnění využívání informací a předpovědi počasí od ČHMÚ složkami IZS (příprava předem – rychlejší odstranění škod) • Definování a tvorba rizikových úseků komunikací (pro vyhodnocení lze například využít síť silničních meteorologických stanic) • Zvyšování retenční schopnosti krajiny a odolnosti vůči erozi • Pravidelná kontrola zdravotního stavu a druhového složení doprovodné liniové vegetace
Snížení pozornosti řidičů, strojvedoucích a komfortu cestujících v důsledku extrémně vysokých teplot (vlny veder)	Adaptační strategie na dané riziko reaguje dostatečně (opatření 3.8.3.3, 3.8.3.4)	X
Snížení bezpečnosti, přehlednosti a plynulosti provozu v důsledku extrémních meteorologických jevů (bouřky, přívalové deště, mlha, husté sněžení, námraza…)	Adaptační strategie na dané riziko reaguje dostatečně (v rámci opatření 3.8.3.1)	• Zefektivnění využívání informací a předpovědi počasí od ČHMÚ v systému údržby komunikací • Přizpůsobení a zefektivnění údržby komunikací v souvislosti s extrémními meteorologickými jevy
Zvýšení emisí a hluku z dopravy (používaní klimatizace, snížení plynulosti provozu…) v důsledku extrémních meteorologických jevů	Adaptační strategie na dané riziko reaguje dostatečně (v rámci opatření 3.8.3.3, 3.8.3.4)	• Zvyšování podpory alternativních pohonů s nižší produkcí emisí in situ (hybridní a elektromobily, LPG, CNG)

4.9.6.1 Návrhy na doplnění adaptačních opatření

Na základě výše uvedených informací doporučujeme zaměřit se v rámci Adaptační strategie (MŽP 2015) nejen na komunikace samotné, ale také na kontrolu landuse v jejich širším okolí. Definování rizikových faktorů v okolí komunikace a jejich následná eliminace může vyřešit mnohé z problémů, jako jsou sesuvy půdy nebo pády stromů. Využití půdy má významný vliv hlavně v údolí řek a ovlivňuje četnost i intenzitu povodňových situací.

V případě zničení nebo vážného poškození dopravní infrastruktury se doporučuje budovat novou síť již s ohledem na aktuální a budoucí rizika. V opatření 3.8.3.4. „principy opaření zastínění komunikací“ navrhuje Adaptační strategie výsadbu dřevin a vegetace podél komunikací a železnic. Při systémovém řešení této problematiky je žádoucí úzká spolupráce mezi Ministerstvem dopravy a Ministerstvem životního prostředí.

[1] Zdroj: MŽP, 2015

4.10 MIMOŘÁDNÉ UDÁLOSTI A OCHRANA OBYVATELSTVA A ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ

Mezi široké spektrum mimořádných událostí lze zahrnout také častější výskyt extrémních meteorologických jevů a jejich rostoucí intenzita, jakožto možné projevy změny klimatu, jak jsou popisovány v úvodních kapitolách této studie. Prevencí mimořádných událostí a zmírňováním jejich dopadů se na strategické úrovni zabývá v ČR zejména Koncepce ochrany obyvatelstva (MV 2013). V praktické rovině pak služby vyplývající z legislativy o Integrovaném záchranném systému, o Požární ochraně, o Krizovém řízení apod. Koncepci ochrany obyvatelstva doplňuje Koncepce environmentální bezpečnosti 2016–2020 s výhledem do roku 2030, která je zaměřena zejména na prevenci a mitigaci následků katastrof s původem v životním prostředí a to jak přírodního tak technologického původu.

Dle aktuálně uznávané definice je environmentální bezpečnosti stav, kdy pravděpodobnost výskytu krizové situace v životním prostředí je ještě přijatelná, a proto lze do takto řešených krizových situací zahrnout různé mimořádné události, které se mohou obecně vyskytnout na území ČR. V současnosti je tedy terminologicky akceptováno, že katastrofa je krizovou situací podle zákona 240/2000 Sb. Česká republika v rámci strategických koncepcí a z nich plynoucích úkolů respektuje a implementuje doporučení a požadavky OSN a EU na snižování rizik katastrof, ochranu obyvatelstva, včetně činností vedoucích k udržení environmentální bezpečnosti; podporuje adaptaci na klimatickou změnu a uznává s ní související pravděpodobně četnější výskyt krizových situací, podporuje tak nutnost mitigace jejich dopadů. Nově nastupuje potřeba zvyšování odolnosti obyvatel, měst a obcí vůči katastrofám, včetně vyšší potřeby oboustranné komunikace o katastrofách mezi odborníky, státní správou a obyvateli, nejlépe formou governance rizik.

Mezi hlavní očekávané dopady a rizika změny klimatu pro obyvatelstvo patří zejména:

- zvýšená četnost, intenzita a rozkolísanost extrémních meteorologických jevů (zejména dlouhodobého sucha, extrémních teplot, vydatných srážek a jejich důsledků,
- povodní a přívalových povodní.
- Změna klimatu dlouhodobého rázu ve smyslu postupného nárůstu průměrných ročních teplot o 2 °C a více, postupné ubývání s nebo změny rozložení srážek, vedoucí ve svých důsledcích k ohrožení ekosystémových služeb.
- Sekundární dopady jako přírodními jevy vyvolané technologické havárie (tzv. NATECH), následné projevy dopadů změny klimatu i mimo území ČR jako např. migrační vlny nebo ohrožení surovinové a potravinové bezpečnosti.

4.10.1 Úvod a kontext

Varianty mimořádných událostí v podmínkách ČR, zahrnují velmi široké spektrum událostí, z nichž v podstatě všechny mohou být počítány mezi primární, sekundární či terciární projevy a dopady klimatické změny nebo jimi mohou být následně či synergicky vyvolány. Mezi mimořádné události se obecně zahrnují:

- Povodně včetně přívalových povodní
- Zvláštní povodně, vzniklé narušením vodních děl (hrází rybníků, přehrad apod.)
- Požáry, rozsáhlé přírodní požáry a velkoplošné požáry
- Extrémní vítr, sněhové a námrazové kalamity
- Svahové nestability
- Epidemie
- Epizootie
- Nedostatek vody ve zdrojích, dlouhodobé sucho
- Krupobití
- Extrémně vysoké teploty, vlny veder
- Rozsáhlé dopravní havárie a výpadky (hromadné autohavárie, velká železniční a letecká neštěstí)
- Výrony nebo úniky nebezpečných škodlivin (např. únik čpavku z chladícího zařízení, únik chlóru z úpravny vody apod.) a to včetně NATECH
- Smogová situace letního typu. (zdraví ohrožující zhoršení kvality ovzduší) –

- Omezení nebo přerušení dodávek elektrické energie (blackouty)
- Přerušení dodávek základních komodit – potraviny, pitná voda, paliva atd.
- Zneužití krizové situace environmentálního původu k nepřátelskému činu (terorismus, ozbrojený konflikt atd.)

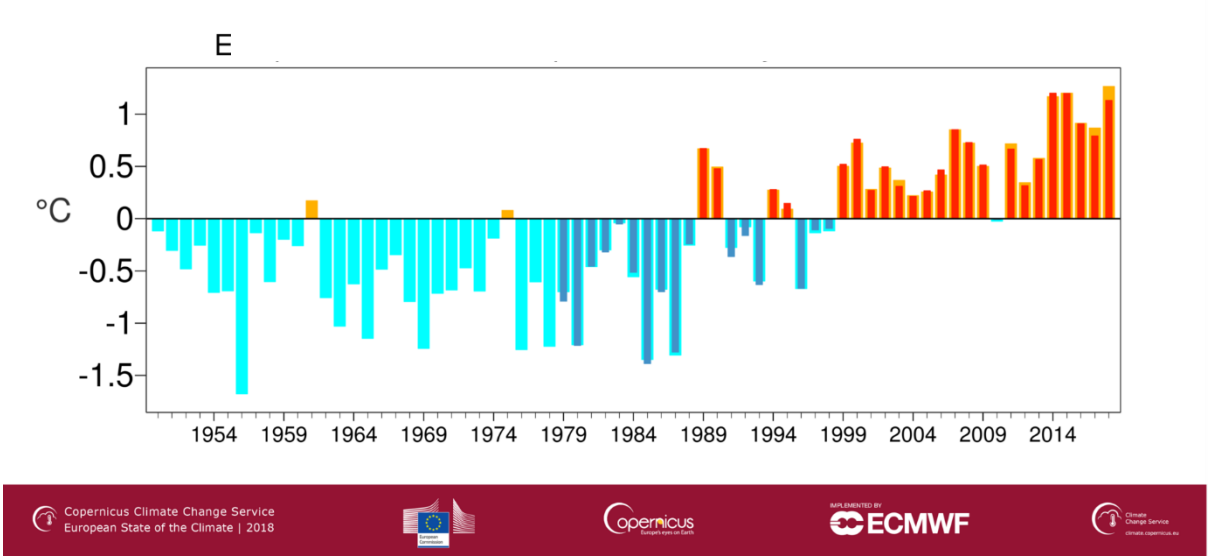
Bezpečnostní strategie ČR (2015) považuje za své strategické zájmy „…prevenci a potlačování bezpečnostních hrozeb ovlivňujících bezpečnost ČR a jejích spojenců“, kdy mezi bezpečnostní hrozby řadí mimo jiné i „…pohromy přírodního a antropogenního původu a jiné mimořádné události“. Extrémní projevy počasí a katastrofy antropogenního původu mohou mít kromě ohrožení bezpečnosti, životů a zdraví obyvatel, jejich majetku a životního prostředí dopad také na ekonomiku země, zásobování surovinami, vodou nebo poškození kritické infrastruktury“.

Z dalších strategických dokumentů ČR lze za klíčové pokládat zejména rámcový strategický dokument Česká republika 2030 a Státní politiku životního prostředí České republiky 2012–2020. Koncepce environmentální bezpečnosti 2016–2020 s výhledem do roku 2030 je horizontálně spojena se Strategií přizpůsobení se změně klimatu a s Koncepcí ochrany obyvatelstva do roku 2020 s výhledem do roku 2030. Strategie přizpůsobení se změně klimatu v podmínkách ČR definuje adaptační strategii vůči klimatickým změnám. Dalším klíčovým dokumentem v oblasti mimořádných událostí je

Aktualizovaná Státní politika životního prostředí 2012–2020 (2016) uvádí tematickou oblast Bezpečné prostředí pro obyvatelstvo jako jednu z priorit. Zahrnuje aktivity směřující k předcházení a zmírnění následků antropogenních a přírodních rizik.

4.10.2 Dopady predikovaných scénářů změny klimatu v EU

Odchylka od průměrné teploty mezi lety 1950 až 2018 a relativní odchylka průměrné roční teploty je znázorněna na obr. 4.10.1.



Obr. 4.10.1 Trend odchylky teploty od celkové průměrné teploty z 1950–2018 od 1981–2010. ERA5 (tmavě modrá a červená od r. 1979) a E-OBS (světle modrá a žlutá) (Zdroj: Copernicus Climate Change Service, C3S/ECMWF/KNMI)

V roce 2019 vydalo sdružení E3G zprávu Řízení klimatických rizik pro bezpečnější budoucnost – Nová agenda odolnosti pro Evropu. Evropská komise provedla řadu výzkumů za účelem lepšího pochopení dopadů budoucího globálního oteplování. Dle výsledků je odhadován nárůst průměrné teploty vzduchu až o 3,7 °C do roku 2100 oproti průměrným teplotám v období 1986–2005.

S ohledem na předpokládaný nárůst teploty jsou očekávány následující dopady:

A) **Říční povodně –** Neodpovídající ekonomický rozvoj a urbanizace poskytuje další expozici rizikům povodní. Bez adaptace na změnu klimatu hrozí nárůst rizika říčních povodní až trojnásobně s odhadem že až 700 000 osob bude ohroženo povodněmi každý rok. Předpokládané ztráty mohou dosáhnout až 17,5 mld. EUR ročně.

B) Sucha a lesní požáry – Předpokládá se, že Evropská půda a počet postižených osob suchem vzroste až 7krát. Lesy pokrývají 33 % povrchu Evropy. Množství lesních požárů se může až zdvojnásobit v rámci EU.

C) Vodní zdroje – Téměř 300 000 milionů osob bude postiženo nedostatečnými zásobami vody.

D) Infrastruktura – Ekonomické ztráty budou nejvyšší v průmyslu, dopravě a energetice. Škody se mohou až 15 násobit. Největší nárůst klimatických škod (8 mld. EUR ročně) je očekáváno v energetice, zahrnující elektrárny a přenosové soustavy, včetně rozvodu plynu. Potřeba chlazení se zdvojnásobí a potřeba ohřívání se sníží o třetinu.

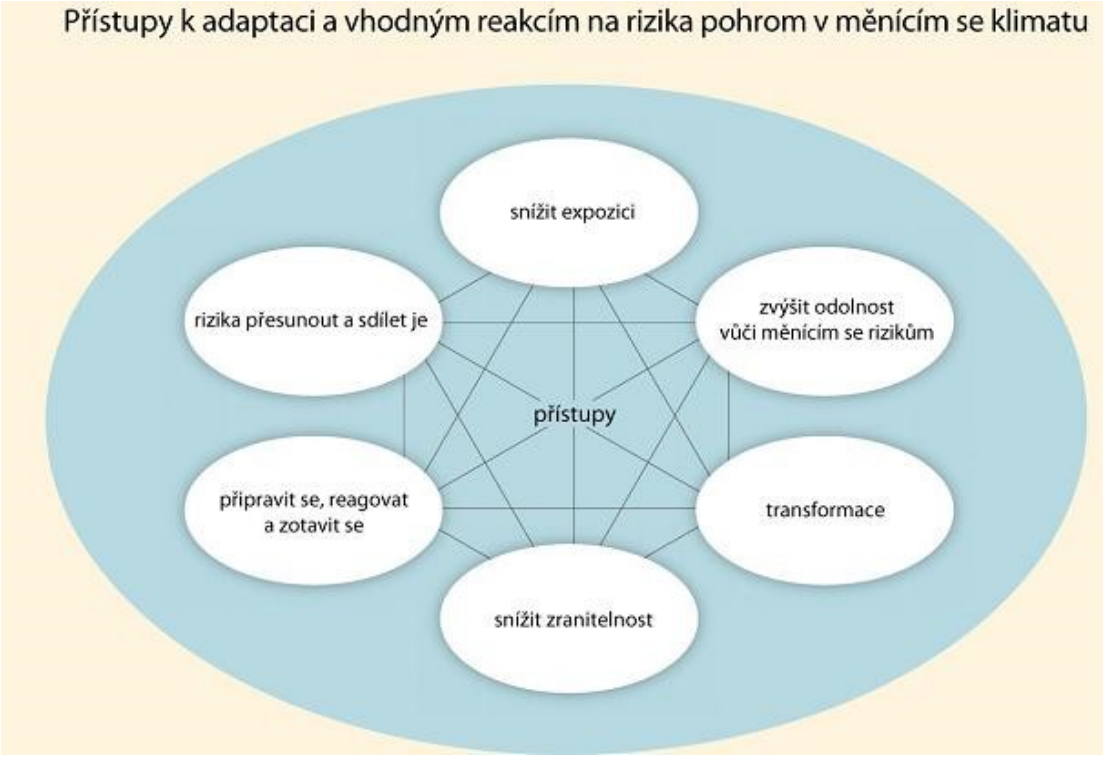
4.10.3 Dopady predikovaných scénářů změny klimatu v ČR

V podmínkách ČR jsou extrémní projevy počasí primární příčinou nebo alespoň zesilujícím faktorem zásadních nebezpečí přírodního původu. Spolu s charakterem krajiny, často antropogenně podmíněným, se navíc podílí na vzniku fenoménů, jako jsou dlouhodobé sucho (meteorologické, agronomické a hydrologické), povodně a přívalové povodně, extrémně vysoké teploty, vlny veder, sesuvy půdy a přírodní požáry, které se pak stávají sekundárními příčinami celé řady krizových situací. Pravděpodobnost vzniku těchto situací se zvyšuje v důsledku změny klimatu. V rámci České republiky byla vydána **Koncepce environmentální bezpečnosti 2015–2020 s výhledem do roku 2030**, kde jsou definovány možné dopady extrémních meteorologických jevů a jejich stanovení.

Je prokázáno (IPCC), že intenzita i četnost extrémních projevů počasí v současné době vzrůstá, a i jejich následky jsou stále závažnější. Lze očekávat, že paralelně poroste četnost a intenzita takto vyvolaných mimořádných událostí a krizových situací. Zvýšení frekvence výskytu extrémních klimatických jevů v budoucím období předpokládá i zvláštní zpráva Mezivládního panelu pro změny klimatu (Field 2012), podle níž je k přípravě a provedení účinných kroků ve vztahu k extrémním jevům třeba využít zkušenosti s managementem rizik katastrof a adaptací na klimatickou změnu.

Připravenost a včasná reakce na předpokládané projevy změny klimatu a předcházení souvisejícím škodám, patří k prioritním tématům environmentální politiky EU. Mezi jednotlivými primárními i sekundárními meteorologicky podmíněnými přírodními zdroji rizik existuje celá řada dílčích interakcí a jejich účinky jsou také velmi úzce provázány a často působí synergicky v podobě vícečetných nebezpečí (multihazard). Je proto nutné tato nebezpečí vnímat ve vzájemných souvislostech a v tomto kontextu hledat také možná řešení pro zmírnění jejich dopadů.

Primární příčiny vzniku nebezpečí meteorologického původu, tj. charakter počasí nelze ovlivnit. Je však možné nebezpečné jevy monitorovat a na základě vhodných indikátorů je s určitým předstihem předpovídat a aktivně jim čelit. Skladba nástrojů pro minimalizaci dopadů nebezpečí přírodního původu zahrnuje kromě preventivních opatření i systém včasného varování a předpovědní a výstražnou službu. Preventivní opatření však mohou být realizována pouze ve smyslu připravenosti na projevy přírodních rizik a zahrnují prostředky jako je management vody v krajině, stavební předpisy, územní plánování, řízené adaptační procesy a dodržování principů udržitelnosti. Prevence ve smyslu normy ISO 31 000 (management rizik) je činnost vedoucí k tomu, aby nežádoucí událost nenastala. I v případě vhodně nastavených preventivních opatření však nelze všechna rizika odvrátit, a proto je nezbytné se více věnovat připravenosti krizové situace. Konkrétní postupy pro řešení krizových situací jsou stanoveny zákonem č. 240/2000 Sb., krizový zákon, ve znění pozdějších předpisů, uvedeny v krizových a v typových plánech, ze kterých jsou dále zpracovávány typové činnosti. Patřičné reakce na rizika vzniku katastrof a adaptace na změnu klimatu se zaměřují na snížení expozice a zranitelnosti a na zvýšení odolnosti vůči možným nepříznivým dopadům klimatických extrémů, i když nemohou tato nebezpečí zcela odstranit (obr. 4.10.2).



Obr. 4.10.2 Přístupy k adaptaci a k managementu rizik pohrom v podmínkách měnícího se klimatu s cílem snížit tato rizika (Upraveno podle Field 2012)

Zpráva (Field 2012) hodnotí celou řadu vzájemně se doplňujících přístupů k adaptaci a managementu rizik, které mohou snížit rizika závažných dopadů klimatických extrémů a katastrof a zvýšit odolnost vůči zbývajícím rizikům tak, jak se v průběhu času mění. Tyto přístupy se mohou překrývat a mohou být užívány současně.

Expozice a zranitelnost jsou klíčové faktory, které ovlivňují rizika vzniku katastrof a dopadů, když se riziko uskuteční. Extrémně vysoké teploty a vlny veder mohou mít velmi rozdílné dopady na různé populace v závislosti na jejich zranitelnosti. Z jednotlivých extrémních povětrnostních a klimatických událostí mohou vyplývat extrémní dopady na lidské, ekologické nebo fyzické systémy. Extrémní dopady mohou přinášet události, které extrémní nejsou, je-li expozice i zranitelnost vysoká nebo jde-li o sérii událostí či jejich důsledků. Například sucho v kombinaci s extrémně vysokými teplotami, větrem a nízkou vlhkostí může zvýšit riziko vzniku požáru (Field 2012).

Extrémní i jiné povětrnostní nebo klimatické události ovlivňují zranitelnost budoucími extrémními událostmi tím, že mění odolnost, schopnost patřičné reakce a schopnost adaptace. Zejména kumulativní účinky katastrof na místní a regionální úrovni mohou výrazně ovlivnit možnosti obživy, zdroje a kapacity společnosti a komunit připravit se a reagovat na budoucí katastrofy. Měnící se klima vede ke změnám ve frekvenci, intenzitě, prostorovém rozsahu, trvání a načasování extrémního počasí a klimatických jevů, a může mít za následek extrémní povětrnostní a klimatické události. Změny v extrémech mohou vyplývat ze změn střední hodnoty, šířky rozdělení pravděpodobnosti nebo jejího tvaru, nebo z kombinace těchto změn (obr. 4.10.3). Některé klimatické extrémy (např. sucha) mohou být důsledkem nahromadění povětrnostních nebo podnebních událostí, které nejsou extrémní, posuzují-li se samostatně. Mnoho extrémů počasí je i nadále výsledkem přírodní klimatické variability. Přirozená proměnlivost bude důležitým faktorem při utváření budoucích extrémů, přidávající se ke vlivu antropogenních změn klimatu. (Field 2012)

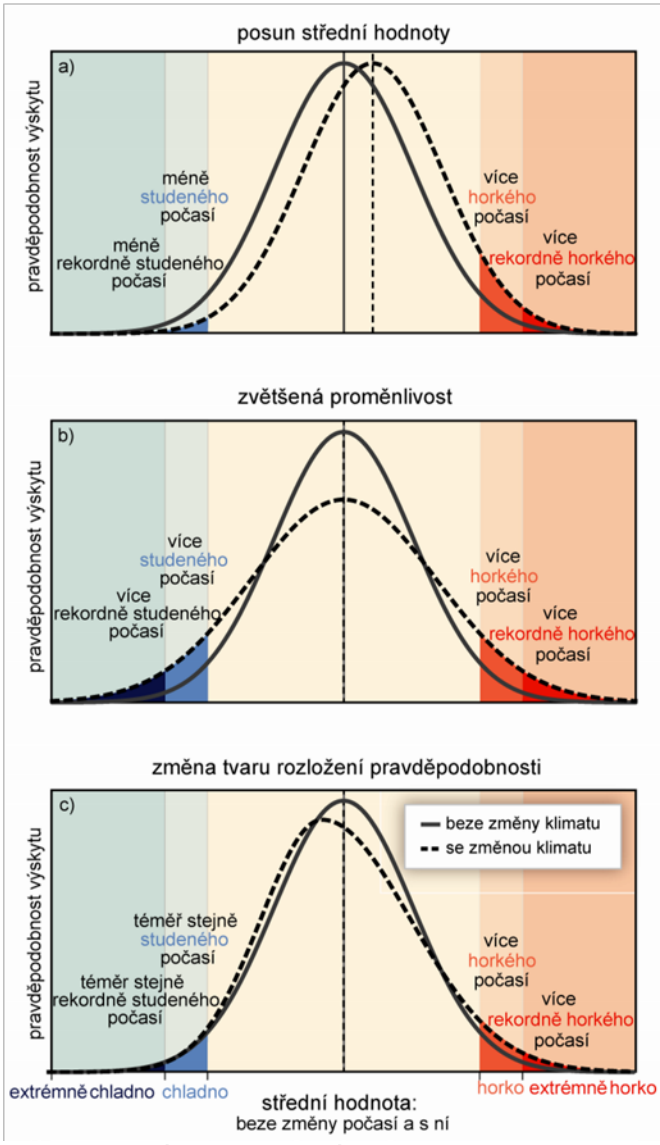
Kriticky mohou mimořádnými událostmi být ohroženy jak jednotlivé složky životního prostředí, tak celé ekosystémy, které v dlouhodobém měřítku nejsou vždy odpovídajícím způsobem nahraditelné technologickým pokrokem. Bezpečnost ekosystémů a jejich základních funkcí (tj. poskytování ekosystémových služeb) je rovněž jednou z hlavních bezpečnostních otázek dlouhodobého udržení kvality lidského života. Závažné poškození životního prostředí může představovat ve svém důsledku ohrožení základních funkcí státu. Možné ohrožení bezpečnosti ekosystémů má dva časové horizonty. Jde o dlouhodobé a krátkodobé aspekty, které představují různé typy krizových situací. Některé živelní katastrofy vyvolané extrémním průběhem počasí probíhají velmi rychle a intenzívně (např. přívalové

srážky), jiné se mohou rozvíjet velmi dlouho a postupně (např. dlouhodobé sucho, dlouhodobé inverzní situace).

Lidská činnost ve stále rostoucí míře ovlivňuje autoregulační kapacitu ekosystémů, a tím snižuje jejich schopnost se vypořádat s dalšími změnami životního prostředí jak přírodního, tak antropogenního původu. Katastrofy přírodního původu vznikají obvykle mimo lidskou kontrolu, přesto v mnoha případech může člověk ovlivnit jejich průběh, ať už pozitivně dlouhodobou systematickou přípravou a plánováním, nebo naopak jejich podcenění může přispívat k negativním důsledkům.

Ukazuje se, že krizové situace a mimořádné události v ŽP člověka nemusejí vznikat pouze v důsledku jednotlivých nepříznivých jevů a událostí, ale také jejich kombinacemi. Kombinace nebezpečí mohou být dvojího typu-při jednom z nich dochází ke zřetězení událostí tak, že jedna (nebo více) počáteční vede k umožnění vzniku další nežádoucí události rozdílné typem od počáteční, ve druhém případě pak kombinace vede k eskalaci již existující mimořádné události. (BRS 2016)

Ze známých událostí je zřejmé, že při krizových situacích může docházet k synergickým jevům a domino efektům. Situace může být i jiného druhu, a to v případě, že průběh kombinované události bude výrazně ovlivněn jinou událostí, která není přímo vyvolávána původním dějem, ale která může jeho účinek zesílit nebo naopak zeslabit. Zvláštním případem kombinovaných krizových rizik jsou hrozby událostí typu „NATECH“ (Natural Hazards Triggering Technological Disasters), kdy katastrofy přírodního původu mohou spouštět havárie technologií, sítí a selhání infrastruktury.



Obr. 4.10.3 Vliv změn v rozložení teplot na extrémy (Zdroj: Hollan 2012)

Různé změny teplotního rozloženi mezi současným a budoucím klimatem a jejich vliv na extrémní hodnoty rozděleni: Účinky jednoduchého posunu celého rozloženi k teplejšímu podnebí, (4.10.3b) vliv zvýšení teplotní variability beze změny střední hodnoty, (4.10.3c) účinky změněného tvaru rozloženi, v tomto případě asymetricky směrem k teplejší části rozložení.

Druhou možností interakce je současný výskyt několika rizik, která vznikla na sobě nezávisle (nejsou vzájemně indukována). Jejich kombinace však vede ke zhoršení účinků nejméně jednoho z nich. Příkladem tohoto typu událostí jsou smogové situace, kdy dochází ke kombinaci kontaminace ovzduší primárně vyvolané lidskými aktivitami s vývojem smogové situace podporovaným meteorologickými podmínkami. Cílem adaptace na změnu klimatu je včasné snížení zranitelnosti systémů (přirozených i socioekonomických) a zvýšení jejich odolnosti vůči přímým i nepřímým dopadům klimatické změny, aniž by byla ohrožena kvalita životního prostředí, bezpečnost obyvatel a ekonomický a společenský potenciál rozvoje společnosti.

Ve vazbě na mezinárodní východiska je zde vhodné také zmínit, že problematikou snižování rizika vzniku katastrof se dlouhodobě zabývá OSN v rámci Mezinárodní strategie pro snižování rizika katastrof. V roce 2015 byly přijaty nové řídící dokumenty na následující patnáctileté období – Politická deklarace a Rámec ze Sendai 2015–2030 (UNISDR 2015). Politická deklarace byla přijata s cílem naplňovat ustanovení rámcového dokumentu. Představitelé států OSN se jí zavázali k uskutečňování Rámec ze Sendai a k vytváření partnerství pro jeho naplnění.

Hlavní priority Rámce ze Sendai:

Priorita 1 – Lepší porozumění rizika katastrof

Priorita 2 – Posílení řízení rizika katastrof s cílem zvládnout rizika katastrof

Priorita 3 – Investice do snižování rizika katastrof za účelem zvýšení odolnosti

Priorita 4 – Posílení připravenosti vůči katastrofám s efektivní reakcí a obnovou, rehabilitací a vrácení do lepšího stavu, než byl původní

Rámec ze Sendai zahrnuje následující globální cíle pro snižování rizika katastrof, mezi které patří (UNISDR 2015):

- výrazné globální snížení úmrtnosti obyvatel v důsledku katastrof do roku 2030 tak, aby průměrná úmrtnost na 100 000 obyvatel byla nižší než v období 2005–2015,
- výrazné globální snížení počtu postižených katastrofami (kategorie postižených osob budou vypracovány následně v rámci OSN),
- snížení ekonomických ztrát ve vztahu ke globálnímu domácímu produktu do roku 2030,
- výrazné snížení škod na kritické infrastruktuře včetně zdravotnických služeb a na vzdělávacích zařízeních zvyšováním jejich odolnosti do roku 2030,
- výrazné zvýšení počtu zemí, které budou mít vypracovány strategie snižování rizik na místní a národní úrovni,
- výrazně zvýšit mezinárodní spolupráci s rozvojovými zeměmi prostřednictvím udržitelné podpory jejich národních aktivit pro implementaci Rámce ze Sendai do roku 2030,
- výrazně zvýšit dostupnost a přístup k systémům včasného varování a informacím o rizicích katastrof občanům do roku 2030.

Sendai – akční plán Evropské Unie

Evropská komise zveřejnila Akční plán v roce 2016, kterým ustanovoval integrování Rámce Sendai do evropských předpisů za účelem podpory snížení rizik katastrof.

Dosažení environmentální bezpečnosti

Hlavním úkolem pro dosažení environmentální bezpečnosti, včetně snižování rizika vzniku katastrof, je dopracování systému konkrétních legislativních, technických, institucionálních a informačních opatření. Důraz je kladen především na vzájemně provázaný systém preventivních, mitigačních a adaptačních opatření, která jsou v synergii nejúčinnější a ekonomicky nejefektivnější (BRS 2012). Tato opatření jsou mimo jiné vymezena v rámci Koncepce environmentální bezpečnosti 2016–2020, s výhledem do roku 2030, zpracovány do formy řady měřitelných cílů, s určením gescí, spoluodpovědností a termínů dokončení.

Všechny extrémní meteorologické jevy ohrožují majetek, zdraví a životy obyvatel, složky životního prostředí i prvky kritické infrastruktury. Projevy, jako extrémně vysoké teploty vzduchu, vydatné srážky (déšť, sněžení, námraza) a extrémní vítr, jsou spolehlivě zmapovány z pohledu doby a místa výskytu a jejich intenzity a dopadů od druhé poloviny 20. století. Na základě emisních scénářů změny klimatu a globálních i regionálních klimatických modelů jsou vytvářeny pravděpodobné datové řady mimo jiné k odhadu vývoje extrémních meteorologických jevů do konce 21. století. S využitím historických i predikovaných údajů je možné specifikovat nejzranitelnější oblasti (BRS 2012).

4.10.4 Analýza hrozeb pro Českou republiku z pohledu environmentální bezpečnosti

V roce 2016 byl zpracován dokument Analýza hrozeb pro Českou republiku, ve kterém je stanoveno celkem 72 typů nebezpečí, z nichž je 22 označeno jako nebezpečí s nepřijatelným rizikem. Pro nebezpečí tohoto typu je možné v odůvodněných případech, vyhlášení některého z krizových stavů. Rizika těchto nebezpečí byla rozdělena do tří kategorií – přijatelná, podmínečně přijatelná a nepřijatelná.

- **Přijatelná rizika** (není předpokládáno přijímání mimořádných opatření a jedná se o situace zvládnutelné v běžném režimu činnosti složek IZS)
- **Rizika podmínečně přijatelná** (vyžaduje přijímání opatření k jejich eliminaci a spadá do oblasti přípravy na řešení mimořádné události)
- **Nepřijatelná rizika** (kategorie, pro kterou je nutné na všech stupních veřejné správy stanovit nejvyšší stupeň priority)

Tab. 4.10.1 Typy mimořádných událostí (v gesci Ministerstva životního prostředí vyznačené oranžově)

KATEGORIE NEBEZPEČÍ		TYPY NEBEZPEČÍ S NEPŘIJATELNÝM RIZIKEM	GESCE
naturogenní	*abiotické*	Dlouhodobé sucho	**MŽP,** MZe, MV
		Extrémně vysoké teploty	**MŽP**
		Přívalová povodeň	**MŽP**, MV, MZe
		Vydatné srážky	**MŽP**, MV
		Extrémní vítr	**MŽP**, MV
		Povodeň	**MŽP**, MV, MZe
	biotické	Epidemie – hromadné nákazy osob	**MZd**
		Epifytie – hromadné nákazy polních kultur	**MZe**
		Epizootie – hromadné nákazy zvířat	**MZe**
antropogenní	*technogenní*	Narušení dodávek potravin velkého rozsahu	**MZe,** MPO
		Narušení funkčnosti významných systémů elektronických komunikací	**ČTÚ**, MPO
		Narušení bezpečnosti informací kritické informační infrastruktury**	**NBÚ**, MV
		Zvláštní povodeň	**MZe**, MV, MŽP
		Únik nebezpečné chemické látky ze stacionárního zařízení	**MŽP**, MV, SÚJB
		Narušení dodávek pitné vody velkého rozsahu	**MZe**
		Narušení dodávek plynu velkého rozsahu	**MPO**, MV
		Narušení dodávek ropy a ropných produktů velkého rozsahu	**SSHR**, MPO
		Radiační havárie	**SÚJB**, MV
		Narušení dodávek elektrické energie velkého rozsahu	**MPO**, MV
	sociogenní	Migrační vlny velkého rozsahu	**MV**, MZV
		Narušování zákonnosti velkého rozsahu (včetně terorismu)	**MV**
	ekonomické	Narušení finančního a devizového hospodářství státu velkého rozsahu**	**MF,** ČNB

Pozn.: Tučně jsou uvedena gesční ministerstva a jiné ústřední správní úřady a ČNB.

Na základě analýzy hrozeb ČR jsou v tab. 4.10.1 uvedeny kategorie nebezpečí s nepřijatelným rizikem. Z kategorie z oblasti naturogenních, abiotické patří mezi nepřijatelná nebezpečí zejména:

- Dlouhodobé sucho
- Extrémně vysoké teploty
- Přívalová povodeň
- Vydatné srážky
- Extrémní vítr
- Povodně

A dále z kategorie antropogenní, technogenní je nepřijatelné nebezpečí

- Únik nebezpečné chemické látky ze stacionárního zařízení s tím související mimořádná událost typu NATECH.

4.10.5 Stanovení indikátorů

Vedení a zpracování statistických podkladů je pro stanovení indikátorů velmi cenný nástroj. Pro určování objektivního stavu je vyžadován další vývoj. Na národní úrovni se řeší indikátory Rámce ze Sendai, v praxi bude využíváno jemnějšího dělení.

4.10.5.1 Indikátory klimatické

Z klimatických indikátorů, jež jsou zpracovány v samostatné kapitole (4.11), mají na danou prioritní oblast významnější vazbu tyto:

- Počet tropických dnů
- Délka a četnost vln veder
- Délka období sucha
- Počet dnů se srážkami nad 20 mm
- Počet lesních požárů

Dle Analýzy hrozeb pro Českou republiku vypracovanou je nutné se zaměřit na klimatické indikátory z hlediska environmentální bezpečnosti, které byly stanoveny dle HZS ČR s nepřijatelným rizikem (kap. 4.10.5), byly určeny také další typy abiotických nebezpečí. Parametry těchto indikátorů jsou stanoveny dle Koncepce environmentální bezpečnosti 2016–2020 s výhledem do roku 2030.

Koncepce environmentální bezpečnosti rozděluje intenzitu nebezpečí do tří úrovní dle Systému integrované výstražné služby (SIVS) Českého hydrometeorologického ústavu. Úroveň intenzity těchto indikátorů je dále rozdělena dle SIVS.

Extrémní (vydatné) srážky

- Dešťové srážky
  - Vydatný déšť (Nízký stupeň nebezpečí) – očekávané srážky nad 30 mm/6 h nebo 35 mm/12 h nebo 40 mm/24 h;
  - Velmi vydatný déšť (Vysoký stupeň nebezpečí) – očekávané srážky nad 50 mm/12 h
  - nebo 60 mm/24 h;
  - Extrémní srážky (Extrémní stupeň nebezpečí) – očekávané srážky nad 70 mm/12 h
  - nebo 90 mm/24 h nebo 120 mm/48 h

Bouřkové jevy a přívalové srážky

- Silné bouřky – výskyt bouřek se srážkami nad 30 mm nebo nárazy větru nad 20 m/s;
- Velmi silné bouřky – výskyt bouřek se srážkami nad 50 mm, nárazy větru nad 25 m/s nebo kroupami o průměru nad cca 2 cm;
- Velmi silné bouřky s přívalovými srážkami – bouřky doprovázeny přívalovými srážkami nad 30 mm/15 min nebo nad 40 mm/30 min nebo nad 50 mm/1 h nebo nad 70 mm/3 h;
- Extrémně silné bouřky – výskyt bouřek se srážkami nad 90 mm, nárazy větru nad 30 m/s nebo kroupami o průměru nad cca 4 cm;
- Extrémně silné bouřky s přívalovými srážkami – bouřky doprovázeny přívalovými srážkami nad 40 mm/15 min nebo nad 50 mm/30 min nebo nad 70 mm/1 h nebo nad 90 mm/3 h

Sněžení

- Sněhové jazyky (nízký stupeň nebezpečí);
- Závěje (vysoký stupeň nebezpečí);
- Silné sněžení (vysoký stupeň nebezpečí) – množství nového sněhu přes 3 cm/1 h nebo
- přes 6 cm/3 h v polohách pod 600 m n. m;
- Sněhová bouře (extrémní stupeň nebezpečí);

Sněhová pokrývka

- Nová sněhová pokrývka (nízký stupeň nebezpečí) – množství nového sněhu v polohách pod 600 m n. m. přes 7 cm/12 h, resp. 15 cm/24 h, v polohách nad 600 m n. m. přes 15 cm/12 h, resp. 30 cm/24 h;
- Vysoká sněhová pokrývka (vysoký stupeň nebezpečí) – množství nového sněhu v polohách pod 600 m n. m. přes 20 cm/24 h, resp. 30 cm/48 h, v polohách nad 600 m n. m. přes 40 cm/24 h, resp. 50 cm/48 h;
- Extrémní sněhová pokrývka (extrémní stupeň nebezpečí) – množství nového sněhu v polohách pod 600 m n. m. přes 30 cm/24 h, v polohách nad 600 m n. m. přes 50 cm/24 h.

Dlouhodobé sucho (ČHMÚ)

- Půdní sucho – sucho definované nedostatkem vody v půdě projevující se nízkou půdní vlhkostí a rozdělena dle místy ohrožení půdním suchem ve vrstvě 0–40 cm a 0–100 cm.
    0 – bez ohrožení,
    1 – malá,
    2 – nízká,
    3 – středně velká,
    4 – vysoká,
    5 – velmi vysoká

Meteorologické sucho – Sucho definované pomocí meteorologických prvků, především srážek, respektive rozdílu srážek a evapotranspirace, vztaženého ke klimatologickému normálu.

- Kategorizace podle indexu SPEI:
    0 – bez výskytu sucha,
    1 – slabé sucho,
    2 – mírné sucho,
    3 – výrazné sucho,
    4 – výjimečné sucho,
    5 – extrémní sucho

Extrémní teploty

- Extrémně vysoké teploty
- Vysoké teploty – vzestup teploty vzduchu nad 31 °C na více než polovině území regionu;
- Velmi vysoké teploty – alespoň v jednom dni vzestup teploty vzduchu nad 34 °C
- Extrémně vysoké teploty – alespoň v jednom dni vzestup teploty vzduchu nad 37 °C
- Extrémně nízké teploty
- Prudký pokles teploty – pokles teploty vzduchu o více než 15 °C za 6 hodin, přičemž teplota po uplynutí těchto 6 hodin bude pod bodem mrazu;
- Silný mráz – pokles teploty vzduchu pod –12 °C;
- Velmi silný mráz, resp. extrémní mráz – pokles teploty vzduchu pod –18 °C, resp. pod –24 °C

Extrémní vítr

- Silný vítr (nízký stupeň nebezpečí) – vítr s nárazy nad 20 m/s, resp. v polohách nad 600 m n. m. nad 30 m/s;
- Velmi silný vítr (vysoký stupeň nebezpečí – vítr s nárazy nad 25 m/s, resp. v polohách nad 600 m n. m. nad 35 m/s;
- Extrémně silný vítr (extrémní stupeň nebezpečí – vítr s nárazy nad 30 m/s, resp. v polohách nad 600 m n. m. nad 40 m/s

Povodně (ČHMÚ)

Jako indikátory intenzity povodní byly zvoleny stupně povodňové aktivity (SPA), dle SIVS. SPA je stanoveno dle dosažení určitého stavu na vybraných hlásných profilech, stanoveného v povodňových plánech:

- Sucho
- Normální stav
- 1. SPA (bdělost) – při nebezpečí přirozené povodně a zaniká, pominou-li příčiny takového nebezpečí. Vyžaduje věnovat zvýšenou pozornost vodnímu toku nebo jinému zdroji povodňového nebezpečí.
- 2. SPA (pohotovost) – se vyhlašuje v případě, že nebezpečí povodně přerůstá v povodeň na základě údajů hlídkové služby a zpráv předpovědní a hlásné služby.
- 3. SPA (ohrožení) – vyhlašuje příslušný povodňový orgán v době povodně při bezprostředním nebezpečí nebo při vzniku větších škod, ohrožení majetku a životů v záplavovém území.

4.10.5.2 Indikátory dopadové

Oblasti dopadů, podle kterých se hodnotí závažnost dopadů klimatické změny, lze z principu rozdělit na:

1) Životy a zdraví lidí – počet mrtvých nebo počet zraněných při mimořádných událostech spojených s extrémními hydro-meteorologickými jevy, nebo jinými jevy spojenými s klimatickou změnou. (Počítat zvýšení oproti současnému stavu).
2) Počet osob ovlivněných negativními dopady mimořádných událostí, spojenými se změnou klimatu. Počítá se především počet evakuovaných lidí, počet lidí s omezenými službami (výpadek energií, zásobování, dopravy) a počet lidí, kteří přišli o svoje obydlí v důsledku mimořádné události.
3) Ekonomické škody – vyjádřené jako kombinace škod na majetku a infrastruktuře a škody vzniklé neschopností vyrábět nebo poskytovat služby v případě vzniku katastrof.

Nezávisle na Rámci ze Sendai pro snižování rizika katastrof (UNISR, 2015) by mohl být navržen následující indikátor:

- Počet pojistných událostí (dle možností včetně vyčíslení škod v Kč), vzniklých a nahlášených obyvateli v důsledku katastrof přírodního původu, indukovaných či vzniklých jako projevy klimatické změny. (Dle dat od pojišťoven a zajišťoven).

Vzhledem k aktuálně obtížnějšímu vyčíslování výše navržených indikátorů jsou navrženy více specifické indikátory, založené na dostupných datech MV (GŘ HZS ČR):

- Počet zásahů složek integrovaného záchranného systému při mimořádných událostech způsobených přírodními vlivy. Počet zásahů pravděpodobně nebude reprezentativním indikátorem u některých typů krizových situací, jako je např. dlouhodobé sucho nebo dlouhodobá inverzní situace.
- Počet vyhlášených krizových stavů vyhlášených následkem mimořádné události nebo situace spojené s dopady klimatické změny

Základní informace související s těmito indikátory jsou uvedeny již v rámci kapitoly 4.8.

4.10.6 Vyhodnocení zranitelnosti vůči dopadům změny klimatu, identifikace nejzranitelnějších regionů v ČR

4.10.6.1 Vyhodnocení zranitelnosti pomocí indikátorů

Pro hodnocení dopadů na zdraví a životy obyvatel (případně na úroveň ochrany obyvatelstva) na území ČR, je možno navrhnout a využít metodiku, založenou na expertním zhodnocení tří faktorů, dopady změny klimatu, připravenost obyvatel a služeb IZS a pravděpodobnost dané hrozby. Hodnocení slouží pouze k prioritizaci hrozeb, tj. výsledky jsou relativní.

Tato analýza se pak provádí následovně:

a) Zhodnocení dopadů – na škále 1–5 – záleží na typu hrozby, ale je kombinací obecné závažnosti přiřazené každé hrozbě a ploše území, které je hrozbou ohroženo. Obecná závažnost byla stanovená expertním odhadem a velikost zasaženého území je zjišťována specificky k hrozbě (povodňové plány, mapy sesuvů).
b) Zhodnocení zranitelnosti – opět stupnice 1–5, podle existence opatření ve třech oblastech:
    - Varování – existence systému včasného varování, existence analýzy hrozby, povědomí lidí
    - Prevence – existence preventivních opatření vztažených přímo k hrozbě
    - Připravenost – havarijní a krizové plány, informovanost obyvatel, záložní zdroje
c) Zhodnocení pravděpodobnosti – na škále 1–3, s ohledem na to, jaká je pravděpodobnost, že se frekvence nebo intenzita dané hrozby bude zvyšovat.

Pro účely této studie, se zobecněním na území celé ČR je možno konstatovat, že zranitelné cíle – tj. v rámci POZ zejména zdraví a životy občanů a obyvatel (a jejich majetek), budou v důsledku předpokládaného nárůstu četnosti výskytu mimořádných událostí v důsledku klimatické změny postupně ohrožovány častěji, s rostoucí intenzitou a rovnoměrně na celém území státu. Více budou zřejmě ohroženy obecně méně odolné komunity ve městech než na venkově. Vzhledem ke globálním rozměrům klimatické změny a relativně malé rozloze ČR není pro potřeby této studie relevantní specifikovat zranitelnost podrobněji.

4.10.6.2 Předpokládaný časový trend indikátoru

Lze předpokládat kolísavý až mírný nárůst počtu mimořádných událostí do roku 2100. Pokud budou postupně uplatňována navrhovaná adaptační opatření, mělo by být možné udržet počet obětí a finanční škody z těchto mimořádných událostí na stejné úrovni, nebo je dokonce snížit. ČR má funkční systém krizového řízení, včetně systémů včasného varování, takže v dalším období se předpokládá jeho další vývoj.

Obecně platí trend, že v rozvojových zemích stoupají následkem zvyšování počtu mimořádných událostí spojených s klimatem počty mrtvých, zatímco v rozvinutých zemích se zvyšují ztráty finanční. Částečně je to způsobené tím, že v rozvinutých zemích se zvyšuje bohatství a majetek, který může být zasažen a v rozvojových zemích stoupá počet lidí.

4.10.6.3 Identifikace nejzranitelnějších regionů a regionálně nejzávažnějších dopadů

Zhodnocení v případech mimořádné události je založeno nejen na základě již proběhlých událostí (počet zásahů ze statistické ročenky MV GŘ HZS 2014 a předchozích), ale také na základě zhodnocení existujících analýz rizika a map nebezpečí, které jsou k dispozici pro jednotlivé hrozby a mimořádné události.

Povodně a přívalové povodně:

Kontinuální monitoring stavu na vodních tocích, včetně výstrah (hydro.chmi.cz/hpps/, Hlásná a předpovědní povodňová služba). Následný systém řízení krizových situací je v legislativě nastaven a funkční. Existují požadavky na zlepšení kvality monitorovací sítě na vodních tocích (nové technologie čidel ČHMÚ umožňující kvalitnější měření).

Dle platného Typového plánu Povodně, jsou hlavními ohroženými regiony dle typu povodní:

Letní povodně způsobené dlouhotrvajícími regionálními dešti, nebo krátkodobými srážkami velké intenzity (často i přes 100 mm za několik málo hodin) zasahující poměrně malá území vyvolávají vznik povodní velkého rozsahu na regionální úrovni. Vyskytují se zpravidla na všech tocích v zasaženém území, obvykle s výraznými důsledky na středních a větších tocích (např. na povodí Berounky, Vltavy a Labe, Odry, Moravy, Dyje).

Přívalové povodně v letním období způsobené krátkodobými srážkami velké intenzity, zasahující poměrně malá území. Mohou se vyskytovat kdekoliv na malých vodních tocích, katastrofální důsledky mají zejména na sklonitých vějířovitých povodích (např. Stěnava, horní Metuje, Jílovský potok, Dřevnice, Vsetínská Bečva, Divoká Orlice, horní Jizera, Malše, Vydra, Bělá).

Zimní a jarní povodně způsobené táním sněhové pokrývky, zejména v kombinaci s vydatnými srážkami se nejvíce vyskytují na podhorských tocích a dále i v nížinných úsecích velkých toků

(např. na horním a středním povodí Labe, povodí Ohře, horním povodí Morava, povodí Jizery a Divoké Orlici). Tání významná pro vznik povodní velkého rozsahu mohou nastat prakticky od prosince až do dubna. Ve sněhově bohatém roce je na celém území ve sněhu akumulováno přibližně 5 mld. m^3 vody. Výška sněhové pokrývky v průměru dosahuje v nížinách 10–20 cm, ve středních polohách 40–60 cm, na horách přes 100 cm. Období tání sněhové pokrývky není pravidelné.

Povodně způsobené ledovými jevy i při relativně menších průtocích se vyskytují v úsecích toku náchylných ke vzniku ledových nápěchů a ledových zácp (např. ledové jevy na vodních tocích Berounka, Cidlina, Ohře, Sázava, Divoká Orlice).

Pro vznik povodní v ČR jsou v naprosté většině případů rozhodující hydrologické příčinné jevy na území republiky. Povodně přicházející ze zahraničí mohou připadat v úvahu pouze na Ohři (přítok

do nádrže Skalka), na Lužnici (přítok do třeboňské rybniční soustavy) a na Dyji (přítok do nádrže Vranov).

Jsou vypracovány funkční Povodňové plány a mapy záplavových území, včetně vyhodnocení historických povodní. Pro potřeby krizového řízení je využívána Databáze zdrojů rizik, která zahrnuje zdroje rizik antropogenního původu a přírodní nebezpečí v GIS.

Dlouhodobé sucho:

Stav sucha na vodních tocích veřejnosti indikován v rámci služby ČHMÚ „Kontinuální monitoring stavu na vodních tocích, včetně výstrah – Hlásná a předpovědní povodňová služba“. Následný systém řízení tohoto typu krizových situací není v české legislativě nastaven. V současné době řešení krizové situace Dlouhodobé sucho napomáhá typový plán, který je zapracován do havarijních plánů zejména krajů. Dále existuje typový plán Narušení dodávek pitné vody. Tyto informace o suchu jsou navíc ČHMÚ doplňovány dle potřeby například mapou míry ohrožení půdním suchem (ve vrstvě 0–100 cm). Z podkladů lze usuzovat, že dlouhodobým suchem jsou a mohou být do budoucna zejména ohrožovány zejména kraje Jihomoravský, Olomoucký a hlavní město Praha. Zčásti pak Zlínský kraj, Moravskoslezský kraj, Vysočina, Pardubický kraj, Královéhradecký kraj, Středočeský kraj, Plzeňský i Ústecký kraj.

Extrémní meteorologické jevy – extrémně vysoké teploty, extrémní vítr, vydatné srážky:

Aktuální data viz http://www.chmi.cz/files/portal/docs/meteo/om/zpravy/index.html, systém je nastaven také na vydávání varování před požáry. Varování vydáváno ČHMÚ dle předpovědi pro všechny kraje a okresy ČR. Těmito hrozbami jsou v důsledku výkyvů počasí ohroženy všechny kraje ČR bez rozdílu.

Extrémní vysoké teploty – po celém území (ve vyšších polohách a v inverzních kotlinách významnější dopad).

Vlny veder – hrozí aktuálně i v budoucnu rovnoměrné pro celé území, větší zranitelnost lze předpokládat ve velkých městech (místa s větším podílem a hustotou populace).

Extrémní vítr – rovnoměrně po celém území, větší nebezpečí ve vyšších polohách.

Přírodní požáry, zdroj: Statistická ročenka 2018 (MV GŘ HZS 2018);

Statistická ročenka rozděluje lesní požáry dle druhu lesa do několika kategorií, přičemž nejvíce zasažená území jsou za posledních min. 10 let jiné lesní pozemky, tj. trávy, hrabanka, listí. V rámci výstražné služby ČHMÚ je možno dohledat aktuální výstrahy na lesní požáry, nicméně tato výstraha nezohledňuje skutečný stav dle vlhkosti, vláhy v lesích na území ČR (informace z ČHMÚ, slovní sdělení). Stále je zde prostor a potřeba pro zlepšení, a to jak v predikci vzniku požárů, tak v prevenci a vzdělávání obyvatelstva. Vzhledem k nárůstu počtu a frekvence přírodních požárů v Evropě, lze očekávat intenzivnější výskyt tohoto typu mimořádné události také v ČR.

Svahové nestability:

Informace o svahových nestabilitách jsou k nahlédnutí veřejně – on-line na internetovém portálu České geologické služby. Na tomto portálu jsou údaje průběžně aktualizovány a doplňovány, také v závislosti na výskytu extrémních meteorologických jevů (extrémních srážkách, povodních velkého rozsahu apod.). Z údajů vyplývá, že nejvíce ohroženy svahovými nestabilitami jsou zejména kraj Ústecký, Zlínský, v menší míře pak kraj Moravskoslezský Středočeský, Liberecký, Olomoucký. Lokální sesuvy lze nalézt také v dalších krajích.

4.10.7 Souhrn – What if analýza

Tab. 4.10.2 Mimořádné události, souhrnná what-if analýza

What if …? Co se stane, v důsledku …?	mechanismus působení	… za uvažovaného stavu/podmínek systému/oblasti	Předpokládané negativní dopady/rizika	Pravděpodobnost scénáře	Závažnost dopadu	Zranitelnost systému	Subjektivní riziko
otázka				(1–nejnižší, 5–nejvyšší)			
Zvyšování průměrné teploty vzduchu a extrémní teploty	V oblastech výrazněji postižených dopady klimatické změny než ČR, dojde následkem změny klimatu k výraznému až kritickému omezení ekosystémových služeb (snížení schopnosti území uživit obyvatelstvo) V důsledku nárůstu teploty vzduchu a četnějšímu výskytu vln veder bude růst zatížení lidského organizmu a to zejména v intravilánu velkých měst.	Za normálního až mimořádného stavu společnosti a ekosystémů.	Dojde k migraci z oblastí, které jsou a budou měnícím se klimatem postiženy daleko závažněji než oblast střední Evropy.	3	2	2	**12**
			Zvýšení zdravotních rizik, zejména ohrožených skupin osob (nemocní, senioři) v období horkých vln a zvýšení zatížení zdravotních služeb.	4	5	5	**100**
Zvýšená pravděpodobnost výskytu dlouhodobého sucha	Pokles srážek v létě a prodlužování bezsrážkových období bude mít vliv na snížení množství vody v krajině a vzniku dlouhodobého sucha.		Četnější výskyt lesních a jiných požárů, které zejména v urbanizované krajině zvyšují rizika škod na majetku a ohrožení lidského zdraví a života, zemědělských plodin i zvířat	5	5	4	**100**
Potenciální změny míry nebezpečí povodní a přívalových povodní	Změny teploty vzduchu (zejména v zimním a jarním období) a změny ve srážkovém režimu povedou k odpovídající změně povodňového režimu na území ČR. Zatímco u zimních, resp. jarních povodní je pravděpodobný pokles jejich typické velikosti a objemu, v letním období jsou dopady velmi nejisté. Bude totiž proti sobě působit četnější výskyt dnů s vyššími (přívalovými) srážkami a úhrn takových epizod a spíše menší "počáteční" nasycení v důsledku výskytu delších		Ohrožení životů a majetku, škody na hospodářství a veřejné infrastruktuře (dopravní a technické sítě)	2	4	3	**24**

What if …? Co se stane, v důsledku …?	mechanismus působení	… za uvažovaného stavu/podmínek systému/oblasti	Předpokládané negativní dopady/rizika	Pravděpodobnost scénáře	Závažnost dopadu	Zranitelnost systému	Subjektivní riziko
otázka				**(1–nejnižší, 5–nejvyšší)**			
	bezesrážkových období a vyššímu výparu. Nejistý je i vliv změn vegetace a vegetačních fází (např. dřívější sklizně a tím obnažení půdního povrchu).						
Změna výskytu dalších extrémních jevů (nebezpečný vítr, bouře, ledovka)	Četnější výskyt extrémních hydrometeorologických jevů, zejména konvekčních meteorologických jevů (bouře, větrné smršťě).	Za normálního vývoje civilizace, bez výskytu tzv. existencionálních rizik (typu: globální jaderná válka, globální epidemie nemocí, pandemie apod.).	Zvýšení výskytu krizových situací ve střední Evropě, včetně území ČR. Oproti současnosti může být více ohroženo zdraví a životy obyvatel, mohou vznikat vyšší škody na majetku, infrastruktuře a do jisté míry mohou být také omezeny ekosystémové služby složek ŽP.	3	4	4	**48**

4.10.8 Analýza navržených adaptačních opatření dle Adaptační strategie

4.10.8.1 Srovnání identifikovaných rizik s návrhy adaptačních opatření

Tab. 4.10.3 Mimořádné události a ochrana obyvatelstva a životního prostředí – analýza navržených adaptačních opatření dle Adaptační strategie na změnu klimatu

Hlavní identifikovaná rizika	Porovnání rizik s opatřeními dle Adaptační strategie	Návrh na doplnění dalších opatření
Riziko zvýšené četnosti výskytu mimořádných událostí v důsledku klimatické změny	Obecná deklarace: „Ve středu zájmu je zmírnit nebo zabránit ohrožení lidského života, zdraví, životního prostředí a velkým škodám na majetku“. Existence systému včasné predikce, varování a vyrozumění ohrožených obyvatel a jeho další rozvoj. Dovybavení složek IZS pro řešení mimořádných událostí, další opatření v oblasti připravenosti orgánů krizového řízení a zvyšování odolnosti kritické infrastruktury.	Tato politická deklarace dává dobrý základ dalším opatřením. Podpora činnosti a vybavení ČHMÚ. Návrh a přijetí zákona o hydrometeorologické službě. Budování odolných měst a obcí vůči jim hrozících hrozbám. Podpora systému oboustranné komunikace: stát (záchranné služby), samospráva VS obyvatelstvo, místní akční skupiny (MAS), apod. „dovybavení složek IZS“ nebude pravděpodobně stačit (přestože je to také důležitou součástí mitigace katastrof a mimořádných událostí). Moderní země od výše popsaného přístupu do jisté míry již ustoupily, respektive jej doplnily o budování odolnosti a adaptace občanů, měst a obcí na hrozící mimořádné události.
Riziko zvýšení intenzity i četnosti extrémních meteorologických jevů (extrémně vysoké teploty, vydatné srážky, extrémní vítr) a dlouhodobého sucha (nedostatek vody, omezení zásob podzemních vod), povodní, sesuvů půdy (v důsledku vydatných srážek) a rozsáhlých lesních požárů.	Ochranou obyvatel je myšlena minimalizace negativních dopadů možných mimořádných událostí a krizových situací na zdraví a životy lidí a jejich majetek. Pokud bude v budoucnu docházet k větší frekvenci katastrof vyvolaných změnou klimatu, bude to představovat zvýšené nároky na civilní ochranu, zejména na zdroje, krizový a záchranný management, v širším kontextu pak na veřejnou správu.	Budování měkké odolnosti obyvatel (schopnost včasné a správné reakce, vize: sebeochrany schopný, připravený a komunikující občan). Je potřeba u obyvatel (s jejich přispěním a pomocí) vybudovat schopnosti adaptace, sebeochrany v případech akutních i delší dobu trvajících mimořádných událostí, než IZS poskytne případně pomoc.
Ohrožení environmentální bezpečnosti v ČR	Aktivity v této oblasti jsou zaměřeny na formulaci mitigačních, adaptačních a opatření ke zmírnění následků katastrof přírodního původu vyvolaných změnami klimatu na zdraví člověka, životní prostředí a majetek.	Zlepšování governance rizik na úrovni státní správy a samosprávy. Zapojení správních orgánů měst a obcí do komunikace jim aktuálně hrozících rizik (potenciálně se zvyšujících postupem času v tomto a dalším století, také v důsledku klimatické změny.
Z mezinárodního hlediska lze předpokládat zvýšený tlak na migraci z oblastí,	To se týká především oblastí postižených nedostatkem vody, dlouhodobým suchem, nižší úrodou,	Adaptace na proces migrace s jeho riziky (hrozba šíření členů extrémistických a teroristických skupin, zbraní apod.), i

Hlavní identifikovaná rizika	Porovnání rizik s opatřeními dle Adaptační strategie	Návrh na doplnění dalších opatření
které budou měnícím se klimatem postiženy daleko závažněji než oblast střední Evropy.	případně dalšími meteorologickými extrémy. Z hlediska zahraniční a bezpečností politiky ČR by i tyto potenciální vlivy měly být zohledněny a dále rozpracovány.	příležitostmi (doplnění nepříznivé populační pyramidy ČR zespoda, příliv nové inteligence, kultury, …). Naučit se migraci vnímat jako proces prostupující dějinami, napomáhající pokroku a rozvoji.
Dlouhodobé zvýšení teplot může podporovat vznik rozsáhlých lesních požárů, které zejména v urbanizované krajině zvyšují rizika škod na majetku a ohrožení lidského zdraví a života.	Na šíření lesních požárů mají značný vliv klimatické podmínky – při dlouhodobém suchu se požár šíří rychleji, to platí i pro jeho šíření podporované větrem. Hašení lesních požárů je náročné především na velký objem spotřebované požární vody, techniku schopnou zdolat terén, překonávání výškového rozdílu čerpadly a množství lidských zdrojů. Existence systému včasné predikce, varování a vyrozumění ohrožených obyvatel a jeho další rozvoj.	Dovybavení složek IZS pro řešení mimořádných událostí, další opatření v oblasti připravenosti orgánů krizového řízení a zvyšování odolnosti kritické infrastruktury. Vzdělávání a osvěta obyvatelstva v oblasti předcházení vzniků přírodních požárů. K adaptaci a mitigaci tohoto rizika lze podporovat i opatření, navrhovaná u výše v tabulce popsaných rizik.

4.10.8.2 Adaptační opatření v oblasti mimořádných událostí

V následujících letech lze očekávat větší četnost extrémních projevů počasí. Pro minimalizaci rizik a snížení potencionální ztrát je nutná adaptace na tyto změny a posílení opatření v oblasti mimořádných událostí. Tato Adaptační opatření v rámci Adaptační strategie jsou rozdělena do čtyř oblastí:

- ochrana obyvatelstva,
- rozvoj a posílení integrovaného záchranného systému,
- opatření k ochraně kritické infrastruktury,
- environmentální bezpečnost,
- rozvoj bezpečnostního výzkumu.

V rámci Adaptační strategie jsou doporučena následující opatření, která jsou v přímé vazbě na klimatickou změnu:

- aktualizovat stávající typové plány a doplnit je o nová adaptační opatření,
- analyzovat a navrhnout odpovídající úpravy legislativy v oblasti dlouhodobého sucha a nedostatku vody,
- zdokonalovat předpovědní, výstražnou a hlásnou službu a monitorovací systémy a harmonizovat je s obdobnými systémy EU a globálními systémy,
- monitorovat stav a režim hydrosféry, atmosféry a litosféry (zejména rizikové svahy), dokumentovat a analyzovat data za účelem efektivního navrhování preventivních opatření,
- budovat prvky stabilizující lokality v havarijním stavu, ale i ty, kde lze vznik havarijního stavu v blízké době důvodně předpokládat.

4.10.8.3 Návrhy na doplnění adaptačních opatření – odolnost

Na základě Rámce ze Sendai pro snižování rizika katastrof (UNISDR, 2015), navrhujeme v rámci dalších investic do adaptace a ochrany obyvatelstva a životního prostředí před mimořádnými událostmi a krizovými situacemi (katastrofami), podpořit prostřednictvím projektů či veřejných zakázek, zejména:

- Budování (měkké) odolnosti obyvatel (včasné a správné reakce schopný, připravený a komunikující občan). Zaměřit na adaptaci a na schopnost sebeochrany v případě mimořádné události v prvních cca 10 až 20 minutách, než IZS poskytne pomoc.
- Budování odolných měst a obcí vůči jim hrozícím hrozbám, plynoucích ze změny klimatu v kombinaci s geografickou a geomorfologickou polohou atd.

- Zapojení správních orgánů měst a obcí do komunikace jim aktuálně hrozících rizik (potenciálně se zvyšujících postupem času v tomto a dalším století, také v důsledku změny klimatu). Tvorba nových nástrojů pro komunikaci rizik.
- Konkrétní měřitelné cíle v duchu výše uvedeného přinese rovněž aktualizace Koncepce environmentální bezpečnosti, a to pro období 2021–2025, s výhledem do 2035.

Do budoucna bude zřejmě také potřeba implementovat v ČR více teorii a termín vícečetná rizika a jejich možný dopad na zdraví a životy obyvatel a poškození životního prostředí (tzv. „ekosystémových služeb“ životního prostředí ve vztahu k člověku, včetně jejich monitoringu a hlášení v území; přestože text Adaptační strategie již v současnosti některé z těchto hrozících multi-hazardů popisuje.

4.11 NÁVRH INDIKÁTORŮ – SOUHRN

Pro jednotlivé prioritní oblasti byly stanoveny indikátory, které mají vazbu na změnu klimatu a zároveň na konkrétní prioritní oblast (PO) zájmu. Indikátory lze rozdělit do dvou hlavních skupin. První skupinu tvoří tzv. **klimatické indikátory**, pomocí nichž lze indikovat vývoj dílčích charakteristik změn klimatu, je u nich patrný trend změny v minulém referenčním období a pro většinu z nich existují predikce vývoje v následujících letech. Tyto indikátory jsou jednoznačně spojeny se změnou klimatu, jejich spojitost s danou prioritní oblastí je uvedena vždy v textu příslušné kapitoly. Jeden indikátor může být řazen současně k více PO.

Druhou skupinu tvoří indikátory, které indikují **dopady** změny klimatu na danou prioritní oblast. Snahou bylo zvolit takové indikátory, které mají pokud možno dostatečnou vazbu na změnu klimatu a jsou specifické pro danou PO. V některých případech byly stanoveny i indikátory rizikové – takové, které již v sobě zahrnují i vliv prováděných adaptačních opatření, takovéto indikátory tedy dávají informaci o tom, jak se daří dopady na danou PO pomoci adaptačních opatření minimalizovat.

Cílem bylo stanovení indikátorů s dostatečnou vazbou na změnu klimatu, dobrou výpovědní hodnotou a zpracování (tam, kde existují dostupná data) časového trendu indikátorů za referenční období 1981–2010 a pro scénáře na období 2021–2040 a 2081–2100 (tab. 2.5.5). Toto bylo možno naplnit pouze u části indikátorů, tj. především u indikátorů klimatických, zejména s využitím dostupných modelů a dat, jak je popsáno v kap. 2.

Indikátory první skupiny jsou uvedeny v této souhrnné kapitole, protože se pro jednotlivé PO mnohdy prolínají. Indikátory druhé skupiny jsou podrobněji popsány v kapitolách, které se věnují jednotlivým prioritním oblastem (kap. 4.1 až 4.10).

4.11.1 Indikátory změny klimatu

Bylo aktualizováno maticové hodnocení prioritních oblastí a hlavních projevů změny klimatu identifikovaných v

tab. . Jako projevy změny klimatu zde figurují agregované hlavní identifikované projevy klimatické změny, které byly použity také pro jednotlivé What if analýzy a ke kterým byl navržen relevantní indikátor.

Tab. 4.11.1 Matice vazeb projevů změny klimatu a prioritních oblastí

Identifikovaný hlavní dopad	Charakteristika	Projev	Významnější vazba na prioritní oblast										Indikátory
			Lesnictví	Zemědělství	Vodní hospodářství	Biodiverzita a ES služby	Zdraví a hygiena	Urbanizovaná krajina	Cestovní ruch	Průmysl a energetika	Doprava	Mimořádné události	
IHP1	**Teplota**	Růst průměrné teploty	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	Průměrná roční teplota Průměrná letní teplota Průměrná zimní teplota Trvání sněhové pokrývky
IHP2	**Sucho**	Růst průměrné teploty, epizod sucha a délky bezsrážkových období	X	X	X	X	X	X	X	X		X	Počet tropických dnů Délka a četnost vln veder
IHP3	**Povodně**	Růst extrémních srážkových úhrnů a změna rozložení srážek v průběhu roku	X	X	X	X	X	X	X	X		X	Úhrn srážek roční, sezónní Délka období sucha Počet dnů se srážkou >20 mm
IHP4	**Extrémní teplota**	Růst počtu tropických dnů a délky a počtu horkých vln	X	X	X	X	X	X	X	X	X		Průměrná letní teplota Počet tropických dnů Délka a četnost vln veder Počet lesních požárů
IHP5	**Extrémní srážky**	Růst extrémních srážkových úhrnů a změna rozložení srážek v průběhu roku		X	X	X		X	X		X	X	Úhrn srážek roční, sezónní Délka období sucha Počet dnů se srážkou >20 mm
IHP6	**Další jevy**	Častější výskyt konvekčních jevů, znečištění atmosféry a trvání inverzí			X		X	X	X			X	Délka inverzních situací

Na základě výše uvedené tabulky byla vytvořena také přehledová tab. 4.11.2, která pomáhá identifikovat významnější vazbu indikátorů k jednotlivým prioritním oblastem. Vhledem k tomu, že jednotlivé klimatické charakteristiky spolu vzájemně souvisí, není možné brát tuto tabulku jako exaktní, nýbrž jako orientační.

Tab. 4.11.2 Indikátory změny klimatu, jejich vazba k prioritním oblastem

Indikátor	Významnější vazba na prioritní oblasti									
	L	Z	V	B	Z	U	C	P	D	M
Průměrná roční a sezónní teplota	X	X	X	X	X	X	X		X	
Počet tropických dnů		X	X		X	X	X	X		X
Přechod teploty přes 0 °C									X	
Zimní index									X	
Délka a četnost vln veder		X	X			X	X	X	X	X
Délka a četnost vln mrazů								X		
Počet ledových a mrazových dnů		X		X			X	X		
Trvání sněhové pokrývky		X					X			
Délka období sucha	X	X		X	X	X	X	X		X
Úhrn srážek roční, sezónní	X	X	X		X	X	X			
Počet dnů se srážkou >20 mm		X	X	X		X		X		X
Extrémní vítr, bouře								X	X	
Počet lesních požárů	X									X
Délka inverzních situací					X					X

Hlavní dosavadní trendy vývoje vztahující se k jednotlivým indikátorům změny klimatu jsou analyzovány v kap. 2. Je převážně (s ohledem na dostupnost dat) uváděn trend dosavadního vývoje za celou ČR a současně také predikce vývoje podle použitých klimatických scénářů. U některých indikátorů je taktéž uveden jejich předpokládaný vývoj pro jednotlivá období a jejich regionální rozložení.

4.11.2 Indikátory dopadové

V analýzách pro jednotlivé prioritní oblasti byly řešeny také indikátory, které pomáhají charakterizovat dopady změn klimatu na jednotlivá odvětví a s nimi spojená rizika. Tyto indikátory byly pro lepší orientaci řešeny jako součást jednotlivých kapitol. Pro lepší celkovou orientaci je zde uváděn souhrnný přehled o všech navržených indikátorech.

Hodnocení indikátorů bylo (s dílčími obměnami) řešeno v následující struktuře:

- Návrh indikátoru a jeho zdůvodnění
- Způsob výpočtu/zjištění indikátoru
- Vyhodnocení zranitelnosti, tj.:
    - Predikce budoucího vývoje na základě dostupných údajů
    - Identifikace nejzranitelnějších regionů a regionálně nejzávažnějších dopadů

Cílem bylo stanovení indikátorů s dostatečnou vazbou na změnu klimatu, dobrou výpovědní hodnotou a zpracování časového trendu indikátorů. Toto bylo možno naplnit pouze u části indikátorů.

Přehled všech řešených dopadových indikátorů pro jednotlivé prioritní oblasti je uveden v následující tabulce. Zde jsou doplněny i další charakteristiky těchto indikátorů. Všechny indikátory mají vazbu na

změnu klimatu, respektive její projevy, avšak současně je nutno upozornit na skutečnost, že změna klimatu je pouze jedním z faktorů, které vývoj těchto indikátorů ovlivňují. Vždy je nutno zohlednit i ostatní faktory, jako je zejména vliv lidské činnosti.

Tab. 4.11.3 Indikátory dopadové a jejich příslušnost k prioritním oblastem

Prioritní oblast	Návrh indikátoru
Lesní hospodářství	Poměr celkového běžného přírůstu a celkové těžby Poměr nahodilé a celkové těžby Plošný rozsah holin Průměrná rozloha holiny Dřevinná skladba porostů v gradientu lesních vegetačních stupňů Dřevinná skladba obnovovaných porostů v gradientu lesních vegetačních stupňů Objemový podíl stojících souší v porostech Množství ležícího odumřelého dříví Podíl porostů pěstovaných výběrným způsobem Podíl přirozené a umělé obnovy lesa
Zemědělství	Efektivní délka vegetačního období (EDVO) Stres nedostatkem vláhy v povrchové vrstvě půdy (0–40 cm)
Vodní režim a vodní hospodářství	Míra délky trvání hydrologického sucha Odběry vody jednotlivými sektory Obyvatelé nenapojení na veřejné vodovody Spotřeba vody Ztráty ve vodovodní síti Vydatnost vodních zdrojů Počet významných povodní Oblasti s významným povodňovým rizikem Počet digitálních zveřejněných povodňových plánů Kritické body rizika přívalových povodní Obyvatelstvo v plochách s významným povodňovým rizikem Výše povodňových škod Průměrná měsíční teplota vody Spotřeba vody na zasněžování Objem zpoplatněných srážkových vod Maximální sněhová pokrývka v průběhu zimy Kvalita vody v tocích Kvalita koupacích vod Výpadky elektrické energie v souvislosti se suchem a povodněmi Výroba elektřiny (z vodních elektráren) Průměrná zabezpečenost zajištění funkcí vodních nádrží a vodohospodářských soustav Limitní hodnoty jakosti vody v nádržích Množství podzemních vod (ve vztahu k normálovému období) Jakost podzemních vod (počet útvarů PzV dosahujících dobrý stav dle Směrnice 2000/60/ES) Vnos znečišťujících látek z ČOV jako ukazatel účinnosti čistíren odpadních vod, zejména se zaměřením na mikropolutanty, pesticidní látky, léčiva a jejich metabolity, aj. Počet přerušení dodávek pitné vody ve veřejných vodovodech Počet projektů/objektů hospodaření se srážkovou a šedou vodou apod.
Biodiverzita	Fenologické sledování vybraných taxonů rostlin a živočichů. Monitoring změn geografických areálů rozšíření vybraných taxonů rostlin a živočichů. Monitoring invazního chování vybraných geograficky nepůvodních druhů rostlin a živočichů. Monitoring trendů změn početnosti vybraných taxonomických skupin rostlin a živočichů.
Zdraví	Úmrtnost v sociálně vyloučených oblastech a v krajích Kojenecká úmrtnost v sociálně vyloučených oblastech a v krajích Počet lékařů v sociálně vyloučených oblastech a v krajích
Urbanizovaná krajina	Intenzita městského tepelného ostrova Prostorové rozložení intenzity městského tepelného ostrova
Cestovní ruch	Návštěvnost podle krajů a oblastí Ubytovací kapacity Délka pobytu přijíždějících

Prioritní oblast	Návrh indikátoru
Průmysl a energetika	Počet zásahů složek integrovaného záchranného systému při mimořádných událostech způsobených přírodními vlivy Počet vyhlášených krizových stavů následkem mimořádné události nebo situace spojené s dopady klimatické změny Dovozní energetická závislost v porovnání s ostatními státy Počet pojistných událostí způsobených přírodní katastrofou
Doprava	Počet nehod/mimořádných událostí v důsledku projevů změny klimatu Počet a délka přerušení provozu v důsledku projevů změny klimatu Náklady na údržbu komunikací související s extrémně vysokými teplotami Náklady na zimní údržbu komunikací v období 1. 11.–31. 3. Komunikace a letiště v záplavovém území Komunikace ohrožené svahovými nestabilitami Komunikace v území s nadmořskou výškou ≥ 600 m Komunikace procházející lesem
Mimořádné události	Počet zásahů složek integrovaného záchranného systému při mimořádných událostech způsobených přírodními vlivy Počet vyhlášených krizových stavů vyhlášených následkem mimořádné události nebo situace spojené s dopady klimatické změny Počet mrtvých nebo počet zraněných při mimořádných událostech spojených s extrémními hydro-meteorologickými jevy Počet osob ovlivněných negativními dopady následkem mimořádné události nebo situace spojené s dopady klimatické změny Ekonomické škody následkem mimořádné události nebo situace spojené s dopady klimatické změny Počet pojistných událostí způsobených přírodní katastrofou

Národní akční plán adaptace na změnu klimatu (NAP AZK), který byl vládou přijat v roce 2017, obsahuje systém vyhodnocení zranitelnosti, který je reprezentován souborem 98 indikátorů zranitelnosti (CENIA, 2019). Koncept indikátorů zranitelnosti přitom pracuje s ideou kombinace expozice, citlivosti a adaptační kapacity vůči projevu změny klimatu. K termínu roku 2017 proběhlo vyhodnocení uvedených indikátorů (CENIA, 2019), které mimo jiné ukázalo, že 15 indikátorů nebylo z důvodu nedostupnosti dat možné vyhodnotit. To ukazuje na nutnost vhodné volby indikátorů tak, aby nezatěžovaly v podobě nutnosti speciálních postupů získávání dat pro jejich vyhodnocení.

V rámci vyhodnocení možných dopadů a rizik byly v této studii identifikovány následující doplňkové indikátory, které by mohly sloužit k monitorování dopadů změny klimatu na území ČR:

- Průměrná zabezpečenost zajištění funkcí vodních nádrží a vodohospodářských soustav
- Limitní hodnoty jakosti vody v nádržích
- Množství podzemních vod (ve vztahu k normálovému období)
- Jakost podzemních vod (počet útvarů PzV dosahujících dobrý stav dle Směrnice 2000/60/ES)
- Vnos znečišťujících látek z ČOV jako ukazatel účinnosti čistíren odpadních vod, zejména se zaměřením na mikro polutanty, pesticidní látky, léčiva a jejich metabolity, aj.
- Počet/rozsah přerušení dodávek pitné vody ve veřejných vodovodech
- Počet projektů/objektů hospodaření se srážkovou a šedou vodou apod.

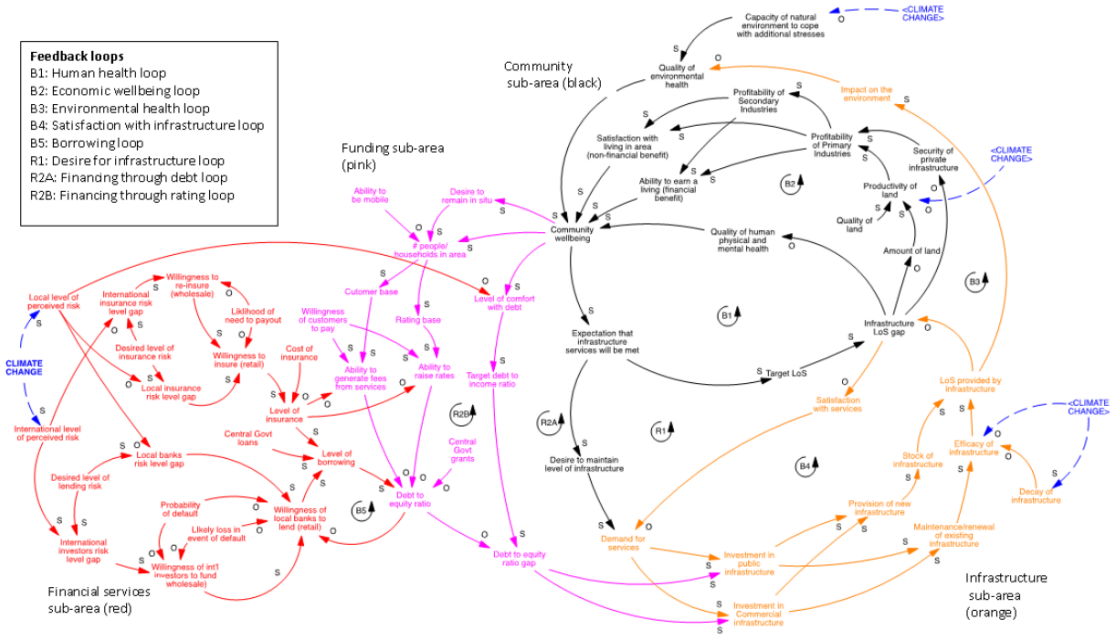
Většina uvedených indikátorů je v nějaké podobě již dnes sledována a nabízí se konkrétní definici indikátoru přizpůsobit právě již existujícím produktům, jejichž výhodou je jednak existence zpět do minulosti, a jednak relativní nenáročnost monitoringu.

4.12 KASKÁDOVÉ JEVY

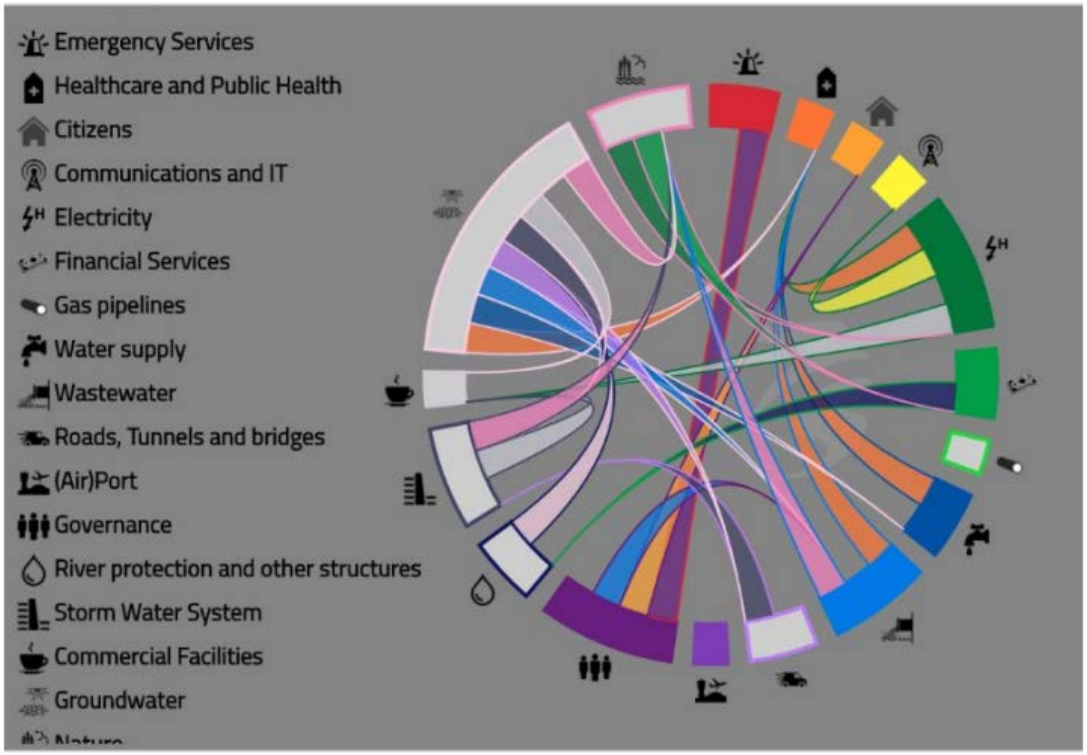
Soustava klimatického systému zahrnující krajinu, ekosystémy i lidskou společnost je extrémně komplikovaným nelineárním systémem s množstvím vazeb mezi jednotlivými složkami a probíhajícími procesy. Proto změny parametrů v jednotlivých částech mohou vyvolat **kaskádově se šířící dopady napříč systémem**. Podobně i adaptační opatření v jednom sektoru mohou předem obtížně odhadnutelným způsobem ovlivňovat jiné složky a procesy a iniciovat změny a zpětné vazby napříč celým systémem.

Vědecké práce zabývající se kaskádové jevy zahrnují zejména domény ekosystémových interakcí s lidskou společností a kumulaci výskytu hazardů (multi-hazard), s níž máme zkušenosti i v ČR. Například v průběhu povodní 2013, kdy extrémní srážky vyvolaly, nejen povodně, ale i sesuvy půdy (v Třebechovicích dokonce v důsledku sesuvu zahynuly dvě osoby) nebo podmáčení terénu a pády stromů (opět s následky na životech i majetku). V roce 2002 pak byla zjevná kombinace srážek, povodní a jimi vyvolaných technologických událostí. Například v zaplaveném areálu chemických závodů Spolana Neratovice.

Ukázku zohlednění kaskádových jevů v otázce změny klimatu zpracovali pro vybrané lokality na Novém Zélandu v podrobném měřítku Lawrence et al. (2018), obr. 4.12.1 a 4.12.2.



Obr. 4.12.1 Systémová mapa kaskádových závislostí mezi různými sektory/oblastmi (Zdroj: Lawrence, et al. 2018)



Obr. 4.12.2 Kruhový diagram sektorových závislostí (Zdroj: Lawrence, et al. 2018)

Zmapování možných vazeb a dopadů jednotlivých opatření a reakcí na změnu klimatu není jednoduché a nikdy nebude „jisté“, nicméně je vhodné pokusit se identifikovat hlavní rizika a možné odezvy ostatních složek tohoto komplexního systému.

Příklad kaskádových jevů a zpětných vazeb, jež je možné v teoretické rovině očekávat je dokumentován níže v podobě myšlenkového scénáře možných interakcí mezi zemědělstvím a vodním hospodářstvím.

Změna teploty vzduchu a změna srážkového režimu zejména v létě, kdy lze očekávat delší suchá období následovaná přívalovými srážkami, pravděpodobně vyvolá nutné změny plodin v zemědělství. Současně bude docházet k šíření nepůvodních druhů škůdců. Proto lze očekávat i změny v užívání pesticidů. Pravděpodobně poklesne potřeba aplikací fungicidů (celkově sušší podmínky), ale v případě insekticidů a herbicidů (které představují nejvýznamnější složku v rámci pesticidů) nelze vývoj odhadnout. Na druhé straně účinná změna krajinné struktury, aplikace efektivních metod biologické ochrany zemědělských plodin, využití lepších agrometeorologických předpovědí a aplikace metod precizního zemědělství, by mohli celkově snížit nejen dávky pesticidů ale i hnojiv a zejména omezit riziko jejich smyvu mimo zemědělské pozemky. V rámci kaskádových efektů v krajině by z těchto opatření profitovala i biodiverzita zemědělské krajiny a cestovní ruch.

Změna klimatických poměrů však bude měnit i způsob mobilizace pesticidů a jejich uvolňování do hydrologického cyklu. Původní pesticidy budou uvolňovány při přívalových srážkách, kdy při odtokové reakci jejich koncentrace výrazně stoupají (Liška, et al. 2018). Naopak metabolity pesticidních látek mají větší koncentrace v době bazálního odtoku, což jasně dosvědčuje jejich koncentrace v podzemních vodách dotujících odtok v bezsrážkových obdobích.

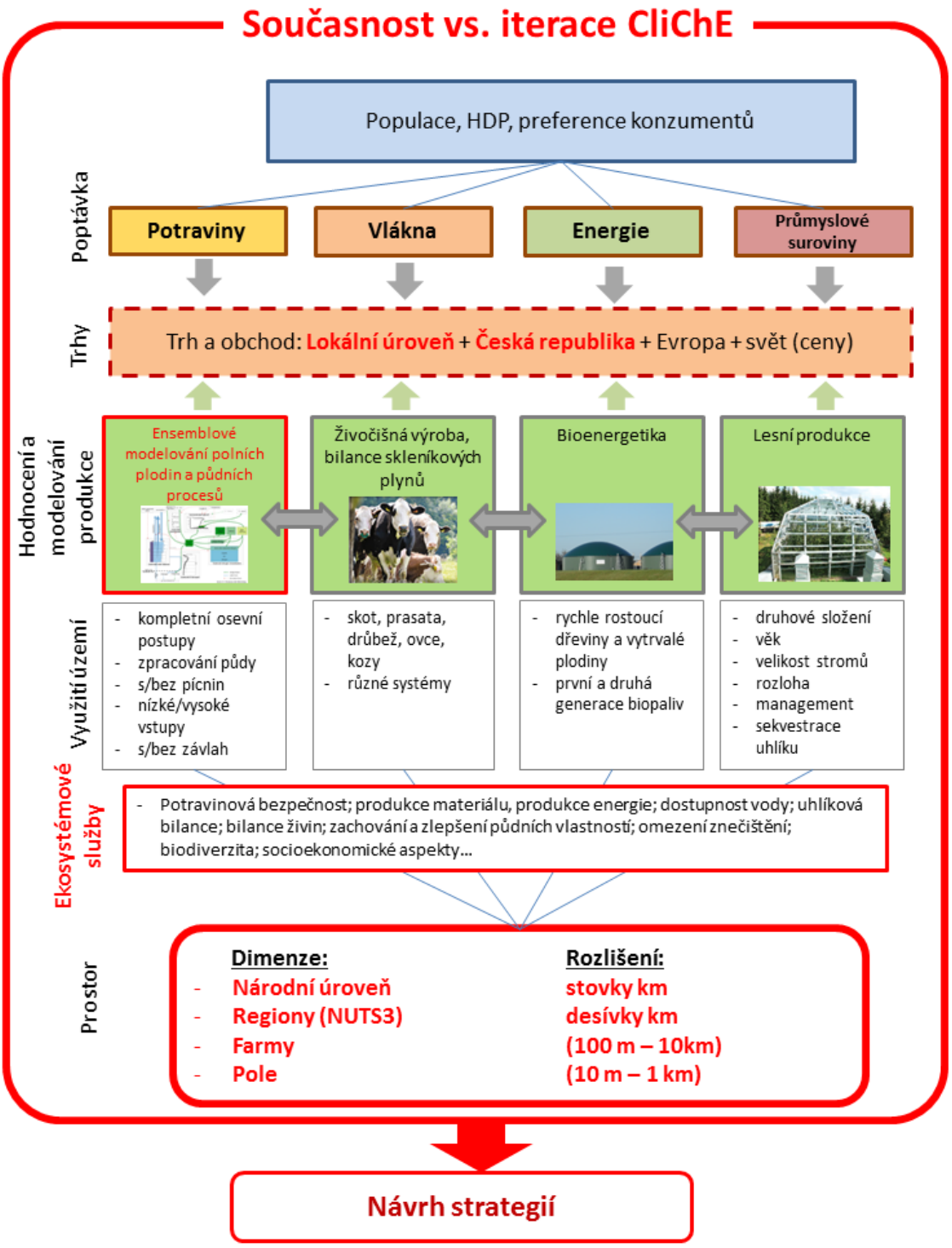
V důsledku poklesu průtoků je pravděpodobné, že budou stoupat koncentrace pesticidů ve vodních tocích a podzemních vodách, což bude pravděpodobně znamenat vyšší koncentrace pesticidů ve zdrojích používaných jako vodárenské zdroje. Bude tedy nutné zavádět nové metody (stupně čištění), bez jejich zavedení by potenciálně hrozilo ohrožením lidského zdraví s dosud neznámými důsledky. Očekávaný častější výskyt sucha povede k častějšímu selhání místních zdrojů (často podzemních vod) v malých systémech. Ty v takovém případě budou zastoupeny většími systémy (již v roce 2015 a 2018 docházelo k dovážení vody do lokálních vodojemů). To by mohlo znamenat menší vytížení malých zdrojů a tedy nejspíše snížení efektivity jejich provozu, což nebude podporovat zavádění

nákladných systémů čištění pesticidních látek a tudíž při využívání těchto zdrojů nebude docházet k čištění látek kumulovaných a setrvávajících v podzemních vodách, zdravotní rizika tedy mohou růst.

Současně sucho a nedostatek vody bude směřovat k tlaku na zvyšování efektivity v oblasti šetření vody, což v zemědělství může vést k využití vyčištěných odpadních vod. V současnosti však čištění neodstraňuje mikro polutanty v podobě právě pesticidů, léčiv apod. Jejich použitím tak může docházet k postupné kontaminaci půdy a zásob podzemních vod. To by zpětně zvyšovalo tlak na nutnost čištění vod pro zásobování obyvatelstva v oblastech zavlažování a využívání podzemních vod.

Současně ale riziko sucha zásadně zvyšuje riziko výskytu požárů a s následným dramatickým nárůstem eroze a hrozící znečištění vodních zdrojů. Opět jde o typický příklad jevu, který může jen zvýraznit negativní projevy sucha zmiňované výše.

Současně nelze opominout fakt, že změna klimatu neprobíhá izolovaně a pouze ve střední Evropě. Zásadní vliv na finální dopady a efektivitu adaptačních opatření bude mít i vývoj v dalších oblastech světa. Ačkoliv očekáváme výraznou změnu klimatických podmínek např. opět pro zemědělskou produkci, ta nebude tak negativní jako je očekávána v jiných, hlavně rozvojových, zemích (zejména na jih a východ od nás). Nejistota na trzích ohledně budoucího vývoje cen může zpočátku vést k poklesu poptávky po domácí produkci a ztrátě konkurenceschopnosti na evropských trzích, což by se na druhou stranu projevilo poklesem intenzity hospodaření s pozitivními i negativními dopady na většinu z ekosystémových služeb. Nicméně s ohledem na relativně malý pokrok v realizaci mitigačních opatření a faktu, že oteplení o 2 ale spíše o 3 °C se jeví jako nevyhnutelné, dojde k relativnímu nárůstu komparativní výhody českého zemědělství oproti jiným oblastem (bude negativně ovlivněno méně než konkurenční země). Proto je namístě spíše předpoklad zvýšené poptávky a tedy tlak na vyšší intenzitu produkce. Té lze dosáhnout i ve změněných klimatických podmínkách za předpokladu správného nastavení agrotechnických opatření. Komplexnímu posouzení komplexu jevů a následnému ekonomickému posouzení dostupných adaptačních strategií se věnuje v případě zemědělství projekt SustES, který v rámci zemědělského sektoru (a s přesahem do oblasti lesního a vodního hospodářství i biodiverzity) zahrnuje i integraci pozitivních/negativních zpětných vazeb včetně extrémních jevů a jejich kaskádového působení (obr. 4.12.3).



Obr. 4.12.3 Základní schéma tvorby adaptačních strategií v hierarchii vztahů v zemědělství s pomocí modelu GLOBIOM a GLOBIOM-Czech

Předložený text je příkladem možného zpracování kaskádových efektů, které v ekosystémech a tedy i v klimatickém systému existují. V této chvíli však je tato analýza nad rámec aktualizace této Studie. Autorský tým je připraven takovou analýzu na základě požadavků zadavatele nebo formou projektového řešení zpracovat.

5. EKONOMICKÉ ASPEKTY ZMĚNY KLIMATU

5.1 EKONOMICKÉ METODY ANALÝZY ZMĚNY KLIMATU A ADAPTAČNÍCH OPATŘENÍ

Změna klimatu ovlivňuje podmínky ekonomických aktivit v České republice. Od fyzických škod, k vyšší náročnosti ve výrobě, dopravě a stavebnictví, péči o zdraví a životní prostředí k volnočasovým aktivitám. Adaptační opatření mohou nicméně náklady spojené s dopady změny klimatu snížit, výjimečně může dojít i k přínosům. Plánování adaptačních opatření, jejich komplexu (portfolia) a načasování vychází z analýzy jejich účinnosti, v níž hraje zásadní roli odhad nákladů spojených se změnami klimatu a nákladů a přínosů adaptace. Náklady přitom závisí na formách, úrovni, rozsahu a struktuře ekonomických činností na straně nabídky i poptávky. Přínosy adaptace se váží na dosažené změny chování dotčených subjektů. Náklady a přínosy se projeví jak ve veřejných rozpočtech, tak i v soukromé sféře. Každé opatření nebo jejich portfolio má pak přiřazen nástrojový mix.

Ze stejného rámce vychází i tato studie. Náklady spojené se změnou klimatu jsou počítány pro různé scénáře změny klimatu, nejčastěji pro ty, které jsou využívány rovněž pro studie IPCC, přičemž obvykle nejvyšší částky vycházejí pro scénáře „business as usual“ (BAU) nebo scénáře politické nečinnosti, a proto představují základní úroveň pro porovnání s možností přizpůsobení. Náklady na adaptaci jsou přítomny v každé fázi adaptačního procesu, od plánování až po realizaci. Výhody adaptace jsou definovány v Páté hodnotící zprávě IPCC (2013) jako ušetřené náklady na odstranění škod v důsledku změny klimatu nebo nárůstu zisku po přijetí a realizaci adaptačních opatření. Adaptační proces se liší v závislosti na měřítku a úrovni rozhodování. Na celosvětové úrovni poskytuje informace s cílem zvýšit povědomí a podpořit diskuzi o nutnosti adaptací. Na národní úrovni ekonomická analýza podporuje národní strategie přizpůsobení, plánování a finanční programy, s cílem formulovat účinné strategie, akční plány a reakce. Na lokální úrovni má smysl provádět analýzu nákladů a přínosů konkrétních a specifických adaptačních opatření.

Ve světovém měřítku existuje několik zásadních mezinárodních studií zaměřujících se na náklady na přizpůsobení změně klimatu (tab.). Studie Světové banky (2006, 2010), Sternova zpráva (Stern 2006) a UNDP (2018) se zabývají výpočtem možných nákladů na zvyšování odolnosti budoucích investic nebo finančních toků. Pomocí analýzy citlivosti hodnotí podíl investic ohrožených jevy souvisejícími se změnou klimatu a stanovují potřebné navýšení investic jako takových, díky nimž se posílí celková stabilita státu a odolnost vůči změnám klimatu. Z tohoto důvodu však tyto odhady silně závisí na procentu investic, které se předpokládají jako citlivé na změny klimatu (Watkiss 2009). Studie UNDP (2018) brala v úvahu, že adaptační opatření bude třeba posuzovat napříč hodnotovými řetězci a reagovat na potřeby rozvoje trhu. UNFCCC (2007) přijal jiný přístup a odhadl nárůst globálních investičních toků. Studie předpokládá rozsah celkových globálních nákladů ve výši 50 až 170 mld. USD dolarů za rok (65,6–223 mld. EUR) do roku 2030 rozčleněných podle odvětví a oblastí, z toho 30 až 70 mld. USD za rok (cca 39,6–92 mld. EUR) se očekává v rozvojových zemích. Podle těchto výsledků odpovídá celková globální hodnota 0,2–0,8 % globálních investičních toků nebo 0,06–0,21 procent předpokládaného HDP v roce 2030. Významnou součástí hodnocenní je i odhad škod, spojených s dopady změny klimatu, proti kterým nejsou aplikována nebo známa opatření. Vyžadují plnou adaptaci na rozdíl od opatření, které mají povahu kompenzace

Kompenzace, na kterou je dosud kladen důraz, vychází z malé ochoty zříkat se nejen některých užitků, ale zejména forem a prostředků jejich dosažení (např. individuální automobilová doprava) na které jsou navázány konzervativní globální ekonomické výrobní, obchodní a finanční systémy. Kompenzace identifikuje příležitosti klimatické změny, jako možnost pro jiné využití tradičních výrobků a služeb (např. materiál pro infrastrukturu, energie pro klimatizaci aj.). Zmírněním dílčích a okamžitých dopadů změny klimatu se zesilují nebo vytváření problémy v jiných oblastech a systém sklouzává do polohy „maladaptace“ World Bank (2010).

Podle údajů Českého statistického úřadu byla hodnota hrubého domácího produktu v České republice 5,0 bilionů Kč v roce 2018, což představuje zhruba 0,29 procent světové ekonomiky. Aplikujeme-li čísla studie UNFCCC pro predikci HDP pro Českou republiku podle OECD v roce 2030, můžeme odhadnout, že celkové náklady na přizpůsobení by se pravděpodobně pohybovaly minimálně v rozmezí od 4 až 14,3 mld. Kč. Hodnoty UNFCCC 2007 jsou mnohem nižší, než odhady IPCC z roku 2007 ve výši 3 % HDP a Sternovy zprávy z roku 2006 ve výši 5 % HDP, pro které prezentuje příslušné

odhady podílu nákladů na HDP (tab. 5.1.1). Poslední dvě studie byly porovnány s výsledky (600 milionů liber, což odpovídá 791 milionům EUR) oceňování ekonomických dopadů změny klimatu Severovýchodní Anglie (2011), a ukazuje se, že tyto odhady celkových nákladů spojených s dopady změny klimatu mohou být nadhodnocené. Poměr přínosů a nákladů adaptace vyplývající z výše uvedené studie je 7:1, a pokud budeme přenášet stejný poměr pro Českou republiku, celkové přínosy adaptace by se pohybovaly v rozmezí od 28 do 100 mld. Kč do roku 2030.

Převod globálních dat vlivu na HDP pro podmínky ČR je velmi hrubý. Záleží na struktuře tvorby tohoto indikátoru a obsahu, včetně příp. začlěnění netržních hodnot a externalit. V případě významných sociálních, zdravotních, environmentálních vlivů klimatické změny indikuje dopad neúplně.

Tab. 5.1.1 Náklady spojené s adaptací jako podíl HDP pro ČR na základě projekcí do roku 2030

Podíl nákladů spojených se změnou klimatu na HDP	Ekvivalentní HDP ČR do roku 2030 (milióny Kč)	Referenční studie
5 %	339 901	Stern 2006
3 %	203 940	IPCC 2007
0.21 %	14 275	UNFCCC 2007
0,06 %	4 078	UNFCCC 2007
0,17 %	11 556	World Bank (2010)

Studie Světové banky (World Bank 2010) je jednou z nejrozsáhlejších globálních studií (5.1.2). Skládá se ze dvou částí: globálního přehledu o nákladech na přizpůsobení se změně klimatu v rozvojových zemích do roku 2050 a sedmi případových studií. Tato studie zavádí některé základní přístupy, které lze využít pro ekonomické hodnocení adaptací. V první řadě pracuje s výchozím předpokladem, že nedochází ke změně klimatu a uvažuje tedy pouze základní linii socio-ekonomického rozvoje jednotlivých odvětví. Následně definuje výkonnostní indikátory pro základní sektory (pobřežní oblasti, zásobování vodou a ochranu před povodněmi, zemědělství, rybolov, lidské zdraví, infrastrukturu a lesnictví). Nakonec porovnává dva „scénáře“ změny klimatu, její přítomnost a nepřítomnost. Výsledkem je porovnání plánovaných ročních nákladů na přizpůsobení ve dvou klimatických scénářích: nejdeštivější a nejsušší.

Tab. 5.1.2 Mezinárodní odhady ročních nákladů pro adaptace (Zdroj: Watkiss 2009; World Bank 2010)

Pozn: I&FF = investice a finanční toky

Zdroj	EUR (mld. za rok)	Přístup/metoda	Zaměření
Světová banka (2006)	11,8–53,8	I&FF	Odhady nákladů zesílení rezilience budoucích investic nebo finančních toků
Stern (2006)	5,2–48,5	I&FF	Odhady nákladů zesílení rezilience budoucích investic nebo finančních toků
Oxfam (2007)	>65,6	I&FF	Přenesené odhady programů NAPA and NGO
UNDP (2007)	113–143	I&FF	Odhadované náklady posílení programů sociálního zajištění a přenesení hodnot pro ostatní oblasti
UNFCCC (2007)	36,7–88	I&FF	Odhady dodatečných investic a finančních toků pro adaptace v globálním měřítku do roku 2030
Světová banka (2010)	62–89	Dopad/ I&FF	Odhady ročních nákladů spojených s adaptacemi od roku 2010 do roku 2050

K dispozici jsou také studie realizované na národní úrovni a na úrovni Evropské unie (tab. 5.1.3). Česká republika by mohla být porovnána s ostatními členskými státy, nicméně díky národním specifikům a charakteristikám jsou tyto odhady velmi konkrétně zaměřené na jednotlivé země, především co do typu a rozpětí adaptačních opatření. Studie z Velké Británie posuzuje ekonomické náklady dopadů a adaptací na změny klimatu (Metroeconomica et al., 2006). Švédská studie se zaměřila více na analýzu hrozeb a příležitostí (SCCV 2007). Kvantifikovala ekonomické náklady spojené se změnou klimatu a potenciální náklady na přizpůsobení. Nizozemská studie pracovala více kvalitativním využitím multikriteriální analýzy pro posouzení možnosti přizpůsobení (Van Ierland et al. 2006).

Tab. 5.1.3 Přehled evropských hodnocení ekonomických dopadů změny klimatu na národní úrovni

Zdroj	Použitý přístup/metoda	Zaměření
Metroeconomica et al (2006) Climate change impacts and adaptation: Crossregional research programme to quantify the cost of future impacts.	Hodnocení dopadů podle sektorů	Ekonomické náklady změny klimatu, náklady a přínosy adaptace ve Velké Británii
Swedish Commission on Climate and Vulnerability (2007) Facing climate change – threats and opportunities	Hodnocení dopadů podle sektorů, CGE, analýza typu I&FF	Dopady a příležitosti pro Švédsko, posuzování ekonomických nákladů změny klimatu a potenciálních nákladů na přizpůsobení
Van Ierland et al (2006) Qualitative assessment of climate change adaptation options and some estimates of adaptation costs. Netherlands: ARK/Routeplanner project.	Multikriteriální analýza a analýza nákladů a přínosů	Posouzení možností přizpůsobení na změnu klimatu v Nizozemsku v souvislosti s územním plánováním

Ekonomické analýza dopadů změny klimatu v České republice by měla rovněž odkazovat na kontext přizpůsobení se změně klimatu v EU. Adaptační opatření v ČR pro jednotlivé sektory musí být v souladu s regulacemi a politikami EU. Některá adaptační opatření, jako například přizpůsobení dopadům zvýšeného rizika záplav v českých městech, jsou zahrnuty v českých strategických dokumentech, jako je Strategie pro ochranu před povodněmi (2000, aktualizováno 2006), Plán protipovodňové ochrany za použití technických a přírodních opatření (2010) nebo Strategie přizpůsobení změně klimatu v podmínkách ČR (MŽP 2015). To je důvod, proč jsou současné přístupy pro stanovení ekonomických dopadů změny klimatu založeny na scénářích různých politik a adaptačních drah.

Obecně existuje několik přístupů pro hodnocení ekonomických dopadů změny klimatu a nákladů a přínosů možností pro přizpůsobení na národní úrovni. Tyto přístupy lze rozdělit do tří kategorií (1) analýza investic a finančních toků (I&FF), (2) modely integrovaného hodnocení (IAM) a (3) modely obecné rovnováhy (CGE) (Watkiss 2009). Investiční a finanční analýza a integrované modely sdílejí některé podobnosti. Často vyjadřují celkové celosvětové náklady na přizpůsobení do určitého bodu (roku) v budoucnosti z hlediska nákladů v peněžních jednotkách, ale také odpovídající procento globálního HDP. Stanovují současnou hodnotu s použitím vhodné diskontní sazby, jako vstup do analýzy nákladů a přínosů. Nicméně IAM mohou modelovat ekonomický systém v širším rozsahu (včetně celkových nákladů a přínosů). Nejčastěji používaným modelem IAM je PAGE, který slouží pro výpočet přínosů pomocí globálních adaptačních nákladů. Hope (2009) odhaduje globální přínosy a náklady v poměru 10:1. Třetí přístup je vypočitatelný model obecné rovnováhy, který umožňuje tvorbu a analýzu vazby mezi různými hospodářskými odvětvími. Pomocí těchto modelů lze zachytit přímé a nepřímé (efekty vyšších řádů) důsledky dopadů změny klimatu ve vztahu jednoho odvětví ke všem ostatním.

Problematika dopadů a adaptačních opatření se po metodické a analytické stránce podobá řešení environmentální problematiky, kterou lze chápat jako hierarchicky nadřazenou a upomíná na použití leontieffských I/O modelů (Čamrová et al. 2006) ve kterých by faktory klimatické změny (jako input) a adaptačních opatření (jako output) měly roli samostatného odvětví nebo kombinovaného vlivu na I/O mechanismus.

Adaptační opatření mohou být také hodnocena na základě ekonomické efektivnosti pomocí analýzy nákladů a přínosů (CBA), nicméně tento postup je vhodný především pro sektorové studie zahrnující strukturální opatření. Cílem CBA je ukázat, zda výhody (v peněžním vyjádření) možností přizpůsobení převažují nad nevýhodami (náklady). Přestože je CBA důležitá pro podporu rozhodování a navrhování politik týkající se změny klimatu, tento relativně jednoduchý nástroj neodráží rozdělení nákladů a přínosů a snižuje nepeněžní dopady, jako jsou ekologické nebo sociální aspekty. To je důvod, proč jsou potřeba doplňkové typy analýz (nákladové efektivnosti, multikriteriální) používané pro podporu rozhodování. Oba přístupy multikriteriální analýzy a efektivnosti nákladů umožňují nepeněžní nebo kombinované posuzování jednotlivých dopadů.

5.2 LIMITACE EKONOMICKÉHO HODNOCENÍ

Problematika změny klimatu a jejího vlivu na jednotlivé sektory je značně komplikovaná a variabilní, a to nejen v rámci České republiky, ale i na úrovni regionů. Pro vyhodnocení ekonomických dopadů existuje několik naprosto zásadních překážek a komplikací, konkrétně se jedná o následující:

- Ne zcela jasný výsledek klimatických scénářů, a to zejména ohledně změny četnosti a intenzity extrémních událostí, které mohou mít z ekonomického hlediska nejzávažnější dopady;
- Problematika nejasného socio-ekonomického vývoje společnosti a území, který je obecně považován za významnější faktor než samotná změna klimatu;
- Velmi široká škála dopadů a efektů v jednotlivých sektorech, a stejně tak i odpovídajících adaptačních opatření;
- Regionální rozdílnosti a vysoký stupeň heterogenity;
- Nedostatek dat a podkladů ke kalkulacím pro jednotlivé sektory;
- Nedostatek dat a informací pro jednotlivé sektory ze zahraničí;
- Nejistota na straně „ex post“ (limity oceňovacích metod) a „ex ante“ (dynamika a interakce faktorů v systému změn a dopadů);
- Maladaptation (World Bank 2010) – kontraproduktivní adaptace, která může mít příčiny v přecenění nebo jednostranném hodnocení dopadu.

V současné době neexistuje žádná studie, která by na národní úrovni nebo v evropském měřítku přesněji vyhodnotila celkové náklady spojené s dopady změny klimatu a náklady na adaptační opatření. Samozřejmě je tu poměrně velký rozdíl mezi jednotlivými sektory, kdy jsou některé ve větším centru zájmu, a tudíž pro ně existují jak vstupní data, tak i kalkulace ze zahraničí (např. zemědělství). Nicméně pro jiné zase platí přesný opak (např. průmysl a energetika). Na evropské úrovni se zpracovávají tři hlavní projekty zaměřené na ekonomické hodnocení dopadů změny klimatu a/nebo adaptačních opatření s nimi související, jmenovitě Econadapt (2016), ClimateCost (2011) a PESETA (2018). Kromě těchto projektů existují i projekty analyzující ekonomické dopady v rámci případových studií či přinášející nástroje pro usnadnění adaptačního procesu, např. platforma Climate-ADAPT (2018), projekt ToPDad (2016) a RAMSES (2018). Všechny tyto projekty lze samozřejmě brát do jisté míry jako inspiraci, ale tyto projekty nepokrývají všechny sektory zahrnuté v této studii. Často se zaměřují jen na jeden nebo dva efekty změny klimatu na konkrétní sektor a poskytují poměrně široká rozpětí odhadovaných dopadů, která jsou ve velké části případů založena na přenosu hodnot z případových studií provedených v USA. Právě díky kombinaci všech těchto faktorů může dojít k velkému zkreslení, a to zejména v sektorech, které jsou úzce vázané na specifika (např. lesnictví, zemědělství). V otázce adaptačních opatření se tento problém opakuje, protože není zcela jasné, jaké povahy a rozsahu by měla vhodná opatření dosahovat.

Ideálním způsobem, jak relativně přesně stanovit ekonomické dopady změny klimatu na sektory v ČR a náklady na adaptační opatření, by bylo vypracování detailních případových studií pro každý sektor a region. Vzhledem k rozsahu a náplni této studie však nebylo možné takto detailní analýzu provést. V následujících podkapitolách jsou shrnuty základní poznatky a odhady pro jednotlivé sektory, které jsou založené zejména na přenosu hodnot ze zahraničních studií (zejména tři zmiňované projekty) a měly by sloužit jakožto orientační indikátory.

Ekonomické metody obecně převádějí některé typy hodnocení na jednotný základ. V některých případech nelze určit jejich poměrnou nebo nominální (finanční) hodnotu. Další stránkou je možnost porovnání nákladů a přínosů opatření, tj. jejich efektivnosti. Přehled přístupů ohodnocení škod a přínosů adaptačních opatření ve vztahu ke klimatické změně. Platí zde obecné zásady oceňování:

především stanovení základního stavu, ke kterému je vztahována jednak změna klimatu a jednak náklady. Z pohledu opatření je tato úroveň často nahrazena tzv. „nulovou“ variantou, čili negativním dopadem, který by nastal při nečinnosti.

PŘEHLED EKONOMICKÝCH METOD HODNOCENÍ ZMĚN KLIMATU A ADAPTAČNÍCH OPATŘENÍ

Tab. 5.2.1 Srovnání analytických nástrojů hodnocení (Zdroj: World Bank 2010; USAID 2013; COACCH 2018; Bank of Greece 2018)

Nástroj	Typ analýzy	Použitelné podle druhupřípadu/činnosti	Kriteria výběru	Úroveň spolehlivosti	Požadavky na zdroje dat
Analýza Nákladů a přínosů (Cost-Benefit - *CBA)*	Ekonomická se sociálními i environmentálními parametry	Doplnění- a scelení dílčích analýz. Vhodné pro systémy s peněžními výnosy nebo vlivem na trh. Použitelná i pro ohodnocení ne-tržních přínosů (environmentální dopady).	Když výhody převyšují náklady (prostý rozdíl, nejnižší náklady na srovnatelný přínos, návratnost investic)	Vysoká, pokud jsou údaje a čas pro zpracování. Spolehlivost se snižuje s časem a dostupností dat. Složitějších modely nemusí dát lepší výsledky i když vyžadují více dovedností a času.	Závisí na stávající evidenci (př. hydrologická data) identifikaci škod a přiřazení peněžních hodnot. K hlubší empirické analýze nebo komplexnímu modelu velmi vysoké.
Analýza nákladové efektivnosti (CEA)	Ekonomické a další případy, které lze snadno *kvantifikovat*	Lze použít k posouzení případů, pro které lze přínosy kvantifikovat, ale jejich vyjádření v peněžní podobě není vhodné nebo možné.	Výběr akce, která dosáhne maxima požadovaného výsledku za peněžní jednotku nákladů. Může jít i o nákladové porovnání variant	Relativně spolehlivá; potenciálně více než Náklady- Výnosy, protože není třeba na peněžní hodnoty převést výsledky.	Podobný jako Náklady-Přínosy , ale poněkud méně složitý; není nutné klást peněžní hodnoty na výsledky.
Analýza s více kritérii (nebo „kvalitativní analýza nákladů a přínosů“*)*	Zahrnuje ekonomické a ne-ekonomické prvky	Lze použit pro všechny případy, kde zúčastnění identifikují problémy a kvalitativně hodnotí navrhovaná opatření pro daný případ.	Součet nebo průměr skóre každého opatření podle každého kritéria; vybere opatření s nejvyšším skóre.	Ménší než kvantitativní analýza. Úroveň spolehlivosti závisí jak konzistentní jsou analytici v hodnocení; při více oborech riziko subjektivního nad-podhodnocení.	Skromný; méně potřebných dat, modelování a technických dovedností.

Tab. 5.2.2 Přístupy k hodnocení dopadů (škod) klimatické změny a přínosu adaptací (Zdroj: World Bank 2010; USAID 2013; COACCH 2018; Bank of Greece 2018)

Přístupy k hodnocení založené *na*	**Kdy se uplatní**	**Výhody**	**Nevýhody**
Toku zboží a služeb uváděných na trh	Když jsou dopady změny klimatu na obchodovatelné zboží; a ceny těchto výrobků lze modelovat.	Ekonomické dopady lze pozorovat poměrně jasně.	Může vést analytiky k přehlédnutí dopadů na neobchodované zboží a služby.
Měření vlivu na toky výrobků, které jsou uváděny na trh	Když jsou chápány nepřímé dopady a lze je popsat pomocí kauzálních modelů	Zachovává mechanistické chápání dopadů a souvisí se známými *cenami.*	Jak se přisuzování stává obtížnější, nejistota nad hodnotami stoupá.
Metody cestovních nákladů	Když lidé cestují do míst, kde se mohou podílet na rekreaci / biologické rozmanitosti / zkušenostech a ochotu platit za tyto služby lze odhadnout z cestovních výdajů	Opírá se o tržní mechanismy	Limited to a small set of conditions where travel represents a sound estimation tool. Omezeno na malý soubor podmínek, kde cestování představuje spolehlivý nástroj odhadu.
Kontingenční metody	Pokud zboží a služby nejsou uváděny na trh.	Představuje rámec pro oceňování služeb a zboží, které nemají *trh.*	Velmi obtížné kalibrovat a je založeno na předpojatosti otázek.
Metoda hedonické ceny	Pokud změna klimatu ovlivní hodnotu pozemků, struktur nebo jiných aktiv, jejichž hodnotu lze modelovat regresní analýzou.	Data mohou být k dispozici u katastrů	Omezeno na místa, kde se pozemky nakupují a prodávají.
Metody transferu hodnot	Pokud neexistují žádné dostupné místní informace (a žádné finanční prostředky na shromažďování informací), jiné lokality poskytují srovnatelné výsledky.	Opírá se o stávající data a srovnává další studie.	Obtížné dokázat, že podmínky na jiném místě jsou pro srovnání srovnatelné.
Makro ekonomické modely	Modelování makroekonomických dopadů napříč sektory a regiony.	Začlenění klimatické změny v širších nástrojích ekonomického modelování.	Náročné na data intenzivní a obtížné uspořádání / pochopení, jak jsou výsledky vypočteny.

Tab. 5.2.3 Přehled metod ekonomického hodnocení adaptačních opatření ke změně klimatu (Upraveno podle World Bank 2010; USAID 2013; COACCH 2018; Bank of Greece 2018)

Metoda/ Nástroj	**Udržitelnost metody s ohledem na**					
	Ekonomické hodnocení a úroveňi projektu	**Hodnocení samosprávné (autonomní) a plánovité adaptace**	**Hodnocení "měkkých" a "tvrdých" adaptací**	**Růst variability/extrémů klimatu a změn klimatu**	**Modelování nejistoty**	**Přesnost výsledků**
Modely výnosové (skližňové)	Vysoká – pokud je ekonomický modul integrován v modelu.	Střední – jak pro autonomní, tak pro plánovitou adaptaci	Vysoká jak pro tvrdou adaptaci (př. nová nádrž), tak pro měkkou adaptaci (příúadně osvěta).	Vysoká pro oba faktory: klimatickou změnu jako trend i variabilitu / extrémy klimatu	Náročné na data a zpracování není jisté nebo uváděno, jak jsou výsledky vypočteny.	Střední: na dílčí úrovni vysoká přesnost. Agregací klesá (tendence zobecňovat maxima, podcenit vliv adaptace)
Ricardianske modely*): vliv daného zdroje – půdy, vody,	Střední: vhodnější regionální /národní úroveň. Parametry Ricardianské funkce na úrovni země si mohou být rovny.	Vysoká pro autonomní; střední až vysoká pro plánované. Vhodné při zavedení lokální adaptace plošně (v plánu)	Střední až vysoká pro oba typy, v závislosti o tom, jaké vysvětlující proměnné jsou v modelu	Vysoká pro klimatickou změnu a variabilitu; nižší až střední pro extrémy (ochranu proti extrémům jako běžná praxe)	Nízká pouze prostřednictvím různých budoucích klimatických scénářů.	Přesnost výsledků závisí na metodě a dále charakteristice země. Blíží se dolnímu odhadu dopadů výnosových modelu.
Multikriteriální analýzy rozhodování (MCDA)	Při běžné aplikaci nízká, potenciál vysoké, jsou-li ekonomická kritéria zahrnuta mezi rozhodovací.	Vysoká pro oba typy, ale smysluplnější pro plánované.	Vysoká pro oba typy	Vysoká pro oba typy	Střední, podle pravděpodobnosti váhy scénářů.	Záleží provedení projektu a zahrnutí každého kritéria: přesnost roste od odhadu expertů k modelu.
Pravděpodobnostní metody	Nízká: tato metoda je vhodnější pro hodnocení specifických adaptačních opatření než komplexní projekt	Vysoká pro některá plánované adaptační opatření (zejména „tvrdá“). Nízká pro „měkké“ adaptace.	Vysoká pro "tvrdá", (jsou data k srovnání) nízká pro "měkká" adaptační opatření	Potenciálně vysoká pro variabilitu klimatu a extrémy. Nízká pro trend změn klimatu.	Běžně nízká. Zvýší zpřesnění pravděpodobnosti klimatických proměnných ve scénářích.	Nízká kvůli nedostatku empirických údajů o extrémech a pravděpodobnosti vývoje změn klimatu.
Metoda reálných opcí	Vysoká, zvláště pokud je metoda správně uplatňována brzy v projektové přípravě.	Vysoká pro plánované adaptace, včetně podpor zvýšujích autonomní adaptační kapacitu.	Vysoká pro „tvrdé“ zásahy s nevratnými investicemi. Potenciálně vysoká pro měkké zásahy	Vysoká pro oba typy	Střední: mohou být uvažovány různé budoucí stavy světa s příslušnou (subjektivní) pravděpodobností.	Nízká vzhledem k mnoha předpokladům nezbytným pro výpočet rozšířené čisté současné hodnoty.

Metoda/ Nástroj	Udržitelnost metody s ohledem na					
	Ekonomické hodnocení a úroveňi projektu	**Hodnocení samosprávné (autonomní) a plánovité adaptace**	**Hodnocení "měkkých" a "tvrdých" adaptací**	**Růst variability/extrémů klimatu a změn klimatu**	**Modelování nejistoty**	**Přesnost výsledků**
Robustní rozhodovací analýza	Vysoká: může být odstupňována na projekty různé velikosti.	Střední až nízká pro autonomní, střední pro plánované úpravy	Střední až vysoká pro tvrdé investice a střední pro měkkou adaptaci.	Vysoká pro oba typy	Vysoká: nejistota je kritický prvek přístupu	Střední: zdůrazní slabá místa, ale ne přesný rozsah přínosu

6. EKONOMICKÁ ANALÝZA OČEKÁVANÝCH DOPADŮ ZMĚNY KLIMATU NA JEDNOTLIVÉ SEKTORY A NÁKLADŮ NA ADAPTAČNÍ OPATŘENÍ

Ekonomické dopady změny klimatu na jednotlivá odvětví jsou dvojího charakteru, a to dopady přímé a nepřímé. Do skupiny dopadů přímých řadíme takové, které přímo souvisí s ekonomickým výsledkem daného sektoru, tedy vyúsťují v přímé výnosy či náklady. Příkladem může být třeba změna objemu produkce v zemědělství či nákladů na údržbu zimních rekreačních středisek. Analogicky, dopady nepřímé souvisí s výnosy a náklady nepřímými. Ty nejčastěji souvisí s vedlejšími aktivitami plynoucími z dané změny, jako např. změna managementu, likvidace následků živelných pohrom apod.

V rámci studií zabývajících se změnou klimatu se předpokládá, že jedním z nejvýznamnějších projevů z hlediska potenciálních ekonomických dopadů budou klimatické výkyvy a narůstající frekvence i síla extrémních událostí. V současné době však neexistují přesnější informace o tom, jak by se měl tento nárůst vyvíjet do budoucna a jakých rozměrů bude dosahovat. Z toho důvodu lze z ekonomického hlediska jen velmi těžko vyčíslit, jak velké dopady bude změna klimatu na jednotlivé sektory mít.

Pro každý sektor byly analyzovány dopady změny klimatu z hlediska příležitostí a rizik, rozsahu a pravděpodobnosti výskytu. Rozsah dopadů je popsán na sedmistupňové škále:

- velmi negativní (---),
- středně negativní (--),
- mírně negativní (-),
- neutrální (-/+),
- mírně kladné (+),
- středně kladné (++),
- velmi kladné dopady (+++).

Pravděpodobnost nastalé situace a s ní souvisejícího dopadu je prezentována na stupnici od 1 do 5, kde 1 je velmi nízká pravděpodobnost a 5 velmi vysoká pravděpodobnost. Pomocí tohoto přístupu je možné vyhodnotit dopady změny klimatu na jednotlivé sektory nejen z hlediska jejich síly a vlivu, ale i směru jejich působení.

Vedle trendů budoucího vývoje ekonomických dopadů změny klimatu na jednotlivé sektory byl dále stanoven rozsah dopadů v případě nečinnosti. Podle OECD (2008) existují dva základní přístupy k tomu, jak tyto dopady odhadnout. V prvním případě je to kalkulace na základě tzv. „společenské ceny uhlíku“ (z anglického „social cost of carbon“), tedy odhadu škod spojených s vypuštěním dodatečné tuny uhlíku. Druhou možností je odhad celkových ekonomických škod, založený na kalkulaci škod spojených se změnami klimatu. Vzhledem ke členění této studie podle odvětví a zaměření na adaptace spíše než na mitigace je dále řešena varianta druhá, tedy odhadem škod spojených s klimatickou změnou za předpokladu, že se nebudou nijak vyvíjet adaptační opatření.

Dále byla popsána nejobvyklejší adaptační opatření a jejich předpokládaný efekt na zmírnění dopadů změny klimatu. Součástí každé sekce je i tabulka shrnující hlavní dopady ZK a vhodná opatření. Pro každé opatření je zde zároveň stanoven rozsah nákladů a efektivity. V obou případech se jedná o škálu 1–5, kde:

- 1 = velmi nízké náklady / velmi malá efektivita,
- 2 = spíše nízké náklady / spíše malá efektivita,
- 3 = středně vysoké náklady / střední efektivita,
- 4 = spíše vysoké náklady / spíše velká efektivita,
- 5 = velmi vysoké náklady / velmi velká efektivita.

Kromě toho je v posledním sloupci znázorněno, kdo ponese největší část adaptačních nákladů. U většiny položek je pravděpodobné, že se náklady rozloží mezi více zainteresovaných hráčů, nicméně pro jednodušší orientaci jsou zde popsáni pouze ti nejvýznamnější pro každé opatření. Pro účely studie je původ investic do adaptací rozdělen do čtyř skupin:

- S = Státní rozpočet,
- M = Místní samosprávy (regionální, lokální),
- F = Firmy, podniky, soukromý sektor,
- O = Osoby (obyvatelé)

U některých opatření je složité identifikovat hlavního investora do adaptačních opatření, protože tato role vychází z velké části z přístupu státu a zohlednění rizik a adaptací ve státních politikách, dotačních programech apod. Jedná se např. o opatření v zemědělství, kde mohou farmáři buď opatření implementovat v rámci kupříkladu agroenvironmentálních schémat (v takovém případě pochází většina finančních prostředků z fondů EU a potažmo ze státní pokladny), nebo je přijmout spontánně a bez impulsu shora (tehdy je hlavním investorem daný farmář).

Pro zachování kontinuity vycházejí tabulky z předchozí části a jsou založeny na stejných kategoriích ohrožení a dopadů, k nimž jsou přiřazena odpovídající adaptační opatření. V případě, že se na danou hrozbu nelze dost dobře adaptovat, jsou poslední tři sloupce pro odpovídající řádek ponechány prázdné.

Značná nejistota plynoucí nejen z klimatického vývoje, ale i dopadů v jednotlivých regionech, které se vzájemně liší, panuje nejen v otázce dopadů změny klimatu, ale i adaptací. Právě z toho důvodu nelze detailněji vyhodnotit dopady měnícího se klimatu, a díky tomu i potřeby a rozsahu implementace adaptačních opatření. Potřeba a následná distribuce opatření se může v rámci jednotlivých oblastí výrazně lišit. Velmi důležitý je fakt, že adaptační opatření nemohou vždy zcela eliminovat očekávané negativní dopady klimatické změny, nicméně mohou je v různém rozsahu zmírnit. Proto je nezbytné si uvědomit, že navzdory přijetí vhodných opatření může být dopad na ekonomiku negativní, nicméně v mnohem menší míře, než by tomu bylo v případě nečinnosti.

Obecně platí, že náklady na realizaci adaptačních opatření bývají výrazně nižší než náklady v případě nečinnosti (a to i o několik řádů). Přínosy implementace adaptačních opatření tedy převažují nad náklady na realizaci. Adaptační strategie předpokládá, že případná nečinnost v souvislosti se změnou klimatu by znamenala podstatné socio-ekonomické dopady a hospodářské ztráty. Např. v oblasti zemědělských adaptačních opatření platí, že střednědobé a dlouhodobé finanční přínosy většiny adaptačních opatření přesahují investice na jejich zavedení (MŽP 2015).

Optimálním způsobem, jak relativně přesně stanovit ekonomické dopady změny klimatu na sektory v ČR a náklady na adaptační opatření, by bylo vypracování detailních případových studií pro každý sektor a region. Vzhledem k rozsahu a náplni této studie však nebylo možné takto detailní analýzu provést. Požadavky na zpracování konkrétních ekonomických analýz vybraných adaptačních opatření v podmínkách ČR je vhodné zahrnout do připravovaného Národního akčního plánu adaptace na změnu klimatu.

V případě, že původní studie neudávala jiné informace, hodnoty stanovené do budoucnosti až do roku 2100 nebyly diskontovány a nebyly převedeny na cenovou hladinu pro rok 2014, protože se předpokládá, že takové hodnoty jsou spíše orientačního charakteru a mají za úkol demonstrovat úroveň možných nákladů a přínosů spíše než konkrétní hodnotu. Hodnoty, pro které nebyl konkrétní rok specifikován přímo ve studii, byly vypočítané na základě roku publikace dané studie. Hodnoty investic delších než jeden rok byly stanoveny pro prostřední rok investičního období.

6.1 LESNÍ HOSPODÁŘSTVÍ

6.1.1 Ekonomická analýza dopadů změn klimatu

Ekonomické dopady změny klimatu na lesní hospodářství závisejí především na výnosech a ztrátách dřeva a druhotně i poklesu poskytování ostatních ekosystémových služeb. Změna klimatu se nemusí ve všech případech projevovat pouze negativně, naopak některé s ní související jevy mohou vyústit v ekonomický zisk, jako je např. nárůst produkce dřeva díky vyšším teplotám a prodloužení vegetačního období. Podle autorů Reyer at al. (2017) se však jako pravděpodobnější jeví, že ekonomické přínosy plynoucí z příznivých podmínek budou ve většině případů anulovány dopady nepředvídatelných událostí. Trendy v ekonomickém vývoji sektoru v souvislosti s měnícím se klimatem jsou popsány v tab. 6.1.1. Jako nejproblematičtější se jeví stávající druhové složení českých lesů s převládajícím zastoupením smrku ztepilého. Vzhledem k tomu, že již současné klimatické podmínky pro jeho růst a pěstování nejsou v nižších vegetačních stupních (3.–4. LVS) vhodné, předpokládá se, že tato negativní situace bude přetrvávat a podmínky se budou zhoršovat i ve výše položených lokalitách, a to zejména kvůli rostoucímu stresu spojenému se stálé méně vyhovujícími podmínkami (kombinace vyšších teplot, sucha, lepších podmínek pro šíření škůdců a výskyt extrémních klimatických jevů). Neuner et al. (2015) předvídají až 24% nárůst pravděpodobnosti odumření smrku pěstovaného v monokultuře při nepříznivé změně klimatu. Mezi další předpokládané riziko patří narůst četnosti a intenzity požárů, které mohou způsobovat další ekonomické škody (tab. 6.1.1).

Tab. 6.1.1 Ekonomické dopady ZK na lesní hospodářství (Zdroj: Broadmeadow 2002; Forestry Commission 2010; Ray et al. 2010; Reyer et al. 2017)

Klimatický jev	Efekt na sektor	Ekonomický dopad	Rozsah dopadu (+++ až ---)
Vyšší průměrná teplota	Delší vegetační období	Vyšší výnosy	+
	Vhodnější podmínky pro šíření chorob a škůdců	Nižší výnosy, poškození porostů	--
	Posun vegetačních pásem a chřadnutí porostů	Nižší výnosy, poškození porostů	--
Snížení objemu srážek v kombinaci s vyššími teplotami	Vhodnější podmínky pro šíření chorob a škůdců	Nižší výnosy, poškození porostů	--
	Změny v přirozených cyklech a růstových vzorcích	Snížená kvalita dřeva	-
	Vyšší riziko požárů	Ztráty porostů, náklady na likvidaci	-
	Nevhodnost stávajících druhů	Vyšší úmrtnost a ztráty, náklady na ochranu	-
	Možnost pěstovat nové odrůdy stromů	Vyšší a stabilnější výnosy	+
Extrémní výkyvy teplot	Vyšší úhyn porostů	Ztráty výnosů	--
Zvýšená frekvence extrémních meteorologických jevů	Vyšší úhyn porostů	Ztráty výnosů, náklady na likvidaci	-

6.1.1.1 Hodnocení dopadů v případě nečinnosti

Dopady změny klimatu na lesy a lesní hospodářství jsou významně odvislé od specifických podmínek konkrétního stanoviště. Zcela zásadními faktory jsou v tomto případě nejen půdně-klimatické podmínky, ale i druhové složení lesa. Právě kvůli tomu je extrémně složité odhadovat vliv měnícího se klimatu ve větším měřítku než na lokální úrovni, protože rozdíly mezi stanovišti mohou často vyústit v dopady naprosto odlišné povahy (Reyer et al. 2014). Tento fakt je ještě umocněn spíše indikativním charakterem klimatických scénářů budoucího vývoje a jistou schopností lesních porostů se postupně do jisté míry adaptovat na nové klimatické podmínky.

Dopady změny klimatu na lesy nebudou s nejvyšší pravděpodobností pouze negativního charakteru. Naopak delší vegetační období způsobené mírnějšími zimami a vyšší průměrnou teplotou stimulují růst a vyšší čistou primární produkci, což může na celoevropské úrovni vyrovnat ostatní negativní dopady změny klimatu na lesy (Reyer et al. 2014, 2017). Tyto zmiňované přínosy by se ale ve větší míře promítly do ostatních sektorů, nikoliv do lesnictví jako takového. Na druhé straně, situace v lesnictví v České republice v posledních letech ukazuje, že negativní vliv především vlivem sucha může velmi výrazný (kap. 4.1).

Jak uvádí Hanewinkel et al. (2013), dopady na lesy v Evropě (vyjma Ruské federace) plynoucí z nárůstu průměrné roční teploty a změny distribuce srážek mohou vyústit ve snížení hodnoty lesních porostů, především kvůli upuštění od dnes ekonomicky atraktivních druhů, především smrku, což potvrzuje současná situace v České republice. Oproti jiným dřevinám používaným ve dřevozpracovatelském průmyslu má smrk rychlý produkční cyklus, který jej činí velmi lukrativní dřevinou. Jejich pěstování se již ukazuje jako natolik nákladné, že již není v řadě případů výdělečné. Je to zejména kvůli vyšším ztrátám a plošnému odumírání smrkových porostů, které vedle ztrát na výnosech, vyžaduje vysoké náklady na obnovu, která musí počítat se změnou dřevinné skladby. V závislosti na konkrétním klimatickém scénáři a úrokové sazbě se může ekonomická hodnota evropských lesů snížit o 14–50 % (střední hodnota 28 % při úrokové sazbě 2 %) současné hodnoty, což by na evropské úrovni znamenalo ztráty v řádu stovek miliard euro. Tato částka zohledňuje pouze tržní produkci pocházející z lesů, nikoliv hodnotu ostatních ekosystémových služeb. Podle údajů z roku 2016 byly v České republice vyprodukovány lesnické výrobky v celkové hodnotě 52 mld. Kč (ČSÚ, 2017). Budeme-li uvažovat střední hodnotu, kterou uvádí Hanewinkel et al. (2013), roční ztráty na lesnické produkci by dosahovaly hodnoty téměř 15 mld. Kč.

Vzhledem k vysoké heterogenitě porostů a stanovišť v současné době neexistuje společná metodika výpočtu ekonomické hodnoty potenciálních dopadů na národní ani evropské úrovni. Proto je zřejmě nejuniverzálnějším a také nejrozšířenějším indikátorem vlivu změny klimatu na lesy a ekonomického hodnocení dopadů evaluace ztrát způsobených požáry a živelnými katastrofami (PESETA 2014). Drtivá většina lesních požárů na území EU se však odehrává především ve středomořských státech, takže je otázkou, nakolik je tato problematika relevantní i v podmínkách ČR. Vývoj počtu lesních požárů v posledních letech v ČR nevykazuje žádný jasný trend (ČSÚ 2015a), aktuální připravované studie ukazují výrazné zvětšování zasažerných oblastí na celém území ČR, zvláště od dubna do září. V každém případě lze očekávat, že při nárůstu průměrné roční teploty o 2 °C dojde k navýšení území zasaženého požárem až o 50 % (PESETA 2014). Současná kalamitní situace v lesích (kap. 4.1) ukazuje, že náklady budou daleko vyšší, než se předpokládalo, ale přesné odhady škod dosud nejsou k dispozici.

6.1.2 Ekonomické aspekty adaptačních opatření

Základní podmínkou účinné adaptace lesního hospodářství na jevy spojené se změnou klimatu bude zejména důraz na druhovou skladbu porostů a přirozenou obnovu lesa. Mezi inovativní přístupy snižování úmrtnosti stromů patří prosazování smíšeného typu porostu oproti monokulturnímu a zavádění přístupů na bázi budování odolnosti (resilience; Mori et al. 2017). Z hlediska Adaptační strategie ČR (MŽP 2015) se jako klíčová opatření jeví v první řadě využití přírodních procesů a pěstování prostorově a druhově pestrých porostů, dále změna preference druhů a ekotypů lesních dřevin, a stabilizace množství uhlíku vázaného v lesních ekosystémech skrze podporu lesního hospodaření s trvalým půdním krytem. Mimo to také strategie zmiňuje význam prioritizace oblastí pro realizaci adaptačních opatření a ochranu genetických zdrojů lesních dřevin. Z pohledu státu se jedná především o měkká opatření, která spočívají v úpravě lesnických politik a legislativy. Zároveň nabízejí možnost podpory dotačními mechanismy. Velmi důležitou roli bude hrát dostatečná úroveň vzdělávání a šíření informací týkající se této problematiky. Vzhledem k dlouhým realizačním a implementačním horizontům v tomto sektoru je nezbytné adaptační opatření plánovat s dostatečným předstihem. Opatření ve vztahu k jednotlivým rizikům spojených se změnou klimatu jsou znázorněna v tabulce (tab. 6.1.2).

Tab. 6.1.2 Přehled adaptačních opatření v lesnictví, jejich nákladnost a efektivita

Klimatický jev	Efekt na sektor	Adaptační opatření	Nákladnost (1–3)	Efektivita (1–3)	Zdroj financí
Vyšší průměrná teplota	Delší vegetační období	Odpovídající načasování aktivit	1	3	F
	Vhodnější podmínky pro šíření chorob a škůdců	Vhodná druhová skladba a diverzifikovaná věková struktura porostů. Smíšené porosty. Zdravotní probírky a změna mechanizace. Ostranění zbytků dřevní hmoty po těžbě	2	3	S, F
	Posun vegetačních pásem a chřadnutí porostů				
Snížení objemu srážek v kombinaci s vyššími teplotami	Vhodnější podmínky pro šíření chorob a škůdců	Vhodná druhová skladba a diverzifikovaná věková struktura porostů. Smíšené porosty. Zdravotní probírky a změna mechanizace. Ostranění zbytků dřevní hmoty po těžbě	2	3	S, F
	Změny v přirozených cyklech a růstových vzorcích				
	Vyšší riziko požárů	Zvyšování povědomí o možných rizicích a následcích	1	2	S, M
		Kvalitní systém řízení rizika a monitoringu	1	3	S, M
		Krajinné prvky a plánování	1	3	S, M, F
	Nevhodnost stávajících druhů	Vhodná druhová skladba a diverzifikovaná věková struktura porostů. Prostorově explicitní mapy vhodnosti stanoviště pro nové druhy	2	3	S, F
	Možnost pěstovat nové odrůdy stromů				
Extrémní výkyvy teplot	Vyšší úhyn porostů	Vhodná druhová skladba a diverzifikovaná věková struktura porostů. Smíšené porosty. Zdravotní probírky a změna mechanizace. Ostranění zbytků dřevní hmoty po těžbě	2	3	S, F
Zvýšená frekvence extrémních meteorologických jevů	Vyšší úhyn porostů	V případě extrémních událostí je adaptace problematická. Stejně jako v předchozích případech lze do jisté míry podpořit adaptační proces výběrem vhodných druhů dřevin a jejich prostorovou a věkovou strukturou. Efekt však závisí na rozsahu a povaze dané události.			

Vzhledem ke specifikům problematiky lesního hospodářství v ČR v kontextu změny klimatu a povaze adekvátních adaptačních opatření spočívajících především ve změně managementu, nelze dost dobře stanovit náklady na adaptaci tohoto sektoru. Ty budou totiž ve velké míře spíše záviset na jednotlivých lesích/správních jednotkách a jejich konkrétních podmínkách. V oblasti lesního hospodaření bude potřeba brát v úvahu již zmiňovaný dlouhodobý horizont a budoucí profitabilitu. Přestože za stávajících podmínek může být stále výhodné pěstovat smrky v nižších polohách, do budoucna tomu tak ve většině níže položených oblastech (zejména 3.–5. LVS) nebude. Odpovídající změny je proto nezbytné implementovat co nejdříve a postupně obměňovat stávající porosty (Easterling et al. 2007).

Kromě adaptací spojených s dlouhodobým plánováním a změnami v hospodaření lesa také někteří autoři zmiňují přístupy reagující na akutní hrozby, tedy v krátkodobém horizontu. Je otázkou, zda takové přístupy vůbec označovat jako adaptace, nicméně se jedná zejména o řešení problematiky přemnožení škůdců. V takových případech lze aplikovat přednostní kácení rizikových porostů (Easterling et al. 2007). V případě běžného ohrožení škůdci lze aplikovat méně invazivní postupy jako

je biologická kontrola, selektivní probírka starých stromů a odstranění pařezů po těžbě s cílem snížit substrát pro množení. Dále lze aplikovat pěstování smíšených porostů a místně odolných či adaptovaných varietCelkově se více vyplatí prevence než následné řešení vzniklých problémů. Přístup k snižování škod způsobených škůdci by měl být oběcně směřován k budování odolnosti a životaschopnosti porostu (resistence a resilience; Ramsfield et al. 2016)

6.1.3 Efektivita nákladů na adaptační opatření

V současné době je nezbytné přeorientovat lesnickou produkci v ČR na jiné, stanovištně vhodnější a odolnější druhy. Posun směrem k pěstování smrku v druhově smíšených porostech by měl výraně snížit riziko jeho odumření (Neuner et al. 2015). Vzhledem k potenciálním rostoucím ztrátám a úmrtnosti stávajících porostů je tento postup nevyhnutelný a podle kalkulací na základě údajů, které uvádí Hanewinkel et al. (2013), je i navzdory adaptaci lesních společenstev potřeba počítat s ročními ztrátami na produkci okolo 12,7 mld. Kč. Otázkou je, zda je vůbec možné tyto negativní dopady zmírnit výběrem dostatečně vhodných a ekonomicky atraktivních druhů, které by mohly smrk v našich klimatických podmínkách postupně nahradit.

Problematika adaptací na změnu klimatu v lesnictví z ekonomického pohledu zatím nebyla na úrovni ČR ani Evropy dostatečně do hloubky řešena. Na světové úrovni se očekává, že budoucí investice spojené s tímto sektorem plynoucí ze změny klimatu se v rozvinutých zemích do roku 2030 navýší zhruba o 1,5 % oproti úrovni z roku 2000, přičemž většina těchto prostředků bude směřována do podpory výzkumu (McCarl 2007). V roce 2000 se finanční podpora lesnictví v ČR vyšplhala na 1,142 mld. Kč za rok (MZe 2001a). Celkové náklady na adaptace v lesích pro ČR zatím odhadnuty nebyly, je však zřejmé, že půjde o nezanedbatelné částky v poměru k podpoře lesnictví.

6.2 ZEMĚDĚLSTVÍ

6.2.1 Ekonomická analýza dopadů změn klimatu

Nejzásadnějším faktorem zachycujícím primární ekonomické dopady změny klimatu na zemědělství jsou ztráty na úrodě způsobené jak živelnými pohromami, tak i dlouhodobějším vývojem klimatu. Zemědělství jakožto sektor je základním elementem bezpečnosti státu a zejména v souvislosti s tímto sektorem je třeba mít na vědomí, že jeho stabilita do velké míry podmiňuje fungování společnosti jako celku. Přestože se analýza zaměřuje zejména na dopady přímé, v případě zemědělství mohou nepřímé dopady dosahovat závratných rozměrů.

Jako hlavní faktory v otázkách ekonomických dopadů na zemědělství lze vnímat zejména změnu distribuce srážek a rostoucí průměrnou teplotu. Jejich kombinace může vyústit ve dva, z ekonomického hlediska pravděpodobně největší problémy, jimž bude muset zemědělství čelit, a to sucho a riziko výskytu vysokých teplot, které samy o sobě, nebo v kombinaci se suchem, mohou vést k dramatické redukci výnosů, zejména pokud se vyskytnou v kritických fenofázích (např. kvetení u většiny obilnin). V zimním období pak dlouhodobě snižující se rozsah a trvání sněhové pokrývky mohou potenciálně vést k vyšší expozici ozimých plodin nízkým teplotám. Na druhou stranu vede zvyšování teplot k nárůstu produkčního potenciálu v některých oblastech (zejména v polohách nad 400 m n. m.) a u některých plodin a typů kultur (u vinné révy, kukuřice, slunečnice či sóji) a poskytne tak i nové příležitosti. V důsledku teplejších podmínek a tedy časnějších počátků vegetačních sezón je v rámci některých scénářů paradoxně očekáván nárůst rizika poškození mrazem a nízkými teplotami, kdy se podle některých scénářů pro ČR zvýší pravděpodobnost vpádu chladného vzduchu v době probíhající vegetace či kvetení (ww.klimatickazmena.cz). To se týká zejména ovocných druhů. Posun agroklimatických podmínek přinese i změnu v působení chorob a škůdců. Nicméně je třeba vnímat, že zemědělské systémy jako takové nemohou reagovat na změnu klimatu např. operativní změnou portfolia pěstovaných plodin jednak v důsledku dlouhodobě fixované poptávky po tradičních produktech a také potřebami návazné výroby (např. živočišné). Klíčovým faktorem je zastavení degradačních procesů snižujících úrodnost půdy, kdy některé přímo souvisí s klimatickými a meteorologickými podmínkami (vodní, větrná eroze, podíl na ztrátě organické hmoty) a některé se způsobem hospodaření např. s úzkým portfoliem plodin, v řadě případů bez živočišné výroby (utužení, podíl na ztrátě organické hmoty, …), v některých případech s intenzivní polní produkcí na nevhodných pozemcích.

Z hlediska ekonomické udržitelnosti logicky sehrává klíčovou roli úroveň nákladovosti a dosahovaných příjmů. Výkupní cena produkce je však často navázána na světový trh, globální zásoby a poptávku. Z tohoto pohledu nabízí pro hodnocení budoucích scénářů vývoje sektoru v ČR, Evropě či globálně velký potenciál integrace klimatických, biofyzikálních a ekonomických modelů jako je tomu např. v případě nástroje GLOBIOM, který je pro potřeby ČR modifikován v rámci projektu SustES[1]. Tento postup může přinést pro sektor zemědělství a konkrétní komodity výstupy komparativního charakteru, jak si v budoucích časových horizontech budou stát vzhledem k předpokládané situaci v rámci okolních zemí, Evropy či světa. Zemědělství v ČR totiž nebude ovlivněno jen dopady na našem území, ale i dopady v rámci dalších regionů, přičemž i z hlediska mezinárodního lze předpokládat asymetrii dopadů s oblastmi či komoditami, které budou z nových podmínek profitovat, či budou ohrožovány.

Trendy v ekonomickém vývoji sektoru v souvislosti s měnícím se klimatem, povaha dopadů, jejich síla a pravděpodobnost jsou popsány, viz tab. 6.2.1.

[1] Projekt „SustES – Adaptační strategie pro udržitelnost ekosystémových služeb a potravinové bezpečnosti v nepříznivých přírodních podmínkách“ (CZ.02.1.01/0.0/0.0/16_019/0000797) financovaný z OP VVV a realizovaný Ústavem pro výzkum globální změny.

Tab. 6.2.1 Ekonomické dopady změny klimatu na zemědělství ČR (Zdroj: Stuczynski et al. 2000; Tan a Shibasaki 2003; OECD 2008a, 2010)

Klimatický jev	Efekt na sektor	Ekonomický dopad	Rozsah dopadu (+++ až ---)
Vyšší průměrná teplota	Delší vegetační období, ale zkrácení doby růstu	Vyšší výnosy pokud existují odrůdy schopné tohoto faktu využít/jinak pokles výnosu	++
	Možnost pěstovat nové odrůdy	Vyšší výnos/nižší ztráty/vyšší kvalita produkce	+/-
Snížení objemu srážek, prohloubení vodního deficitu při spolupůsobení vyšších teplot na podmínky výparu a transpirace	Vhodnější podmínky pro Šíření některých chorob a zejména termofilních škůdců[2]	Nižší výnosy/nižší kvalita a vyšší náklady na prevenci	--
	Změny v agronomických postupech	Náklady na technologie	-
	Vyšší nároky na vodu (rostlinná i živočišná výroba)	Vyšší náklady na vodu (vyšší spotřeba)	--
	Omezení v rybářství a rybníkářství[3]	Vyšší ztráty a náklady na produkci	-
	Tlak na mineralizaci organické hmoty, nižší stabilita agregátu a riziko větší eroze a snižování schopnosti půdy vázat vodu a živiny	Pokles půdní úrodnosti a nižší výnosy	-
Zvýšená frekvence extrémních událostí	Zničení úrody	Nižší výnosy	--
	Ztráty na hospodářských zvířatech	Nižší výnosy	-
	Zničení techniky a infrastruktury	Ztráty majetku	-
Meziroční výkyvy	Výkyvy produkce a výkyvy cen	Destabilizace, Vyšší náklady na kompenzaci výkyvů	+-

6.2.1.1 Hodnocení dopadů v případě nečinnosti

Problematika výnosů ve spojení s projevy změny klimatu je velmi komplexní záležitostí a bude docházet k větším výkyvům nejen mezi jednotlivými lety, ale i v rámci regionů ČR. Kromě toho, konkrétní hydrometeorologická situace může mít odlišný dopad i na různé druhy plodin v závislosti na oblasti a období pěstování. Dále lze očekávat posun výrobních oblastí, který se bezesporu na výnosech jednotlivých plodin také podepíše a pravděpodobně vyústí ve změnu skladby rostlinné produkce v regionech, což může v extrémnějším případě znamenat i poměrně zásadní změny na trhu se zemědělskými komoditami. Zároveň je potřeba brát v potaz vývoj politik a legislativy, především Společné zemědělské politiky EU a agroenvironmentálních opatření.

V otázce obilovin se pro region střední Evropy jako hranice pro udržení průměrných výnosů na srovnatelné úrovni nejčastěji uvádí nárůst průměrné roční teploty o více než 2 °C (OECD 2008 a 2010), klíčovou úlohu však sehraje kombinace se srážkovými úhrny včetně jejich ročního rozložení. Podle zmíněných studií můžeme ve výrobě obilovin předpokládat nárůst až o 10–15 %, ale pouze za

[2] Tyto změny souvisí i se změnou teploty vzduchu.

[3] Tyto změny souvisí i se změnou teploty vzduchu.

předpokladu, že se průměrná roční teplota zvýší o 1 až 2 °C. Naopak při zvýšení o více než 2 °C bude možno zachovat stávající produktivitu jedině za předpokladu přijetí adaptačních opatření. Zvýší-li se průměrná roční teplota o 3 °C a více, pak pravděpodobně nebude možno v našich podmínkách udržet stávající výnosy pšenice a kukuřice ani za asistence vhodných adaptačních opatření. Ta budou v této situaci sloužit ke zmírnění dopadů zvyšujících se teplot, které by mohly mít jinak devastační účinek. Podle výstupů projektu PESETA může v EU dojít k propadu v zemědělské produkce o 10 % při referenční simulaci (nárůst teploty o 3,5 °C proti předindustriální době) tento pokles je však způsoben zejména 20 % poklesem produkce v jižní Evropě. Pokud se teplota změní pouze do 2 °C, dopady na zemědělské výnosy budou v Evropě málo ovlivněny. Konkrétně se v oblasti severní střední Evropy počítá s poklesem produkce o 9 % (scénář 3,5 °C) či o 3 % (scénář 2 %) a v oblasti jižní střední Evropy s nárůstem produkce o 2 % při obou scénářích. V podmínkách ČR musíme počítat s možností projevů modelovaných scénářů jak pro jih, tak pro sever střední Evropy a toto ovlivnění se může projevovat různě v nížinách a v pahorkatinách, stejně jako meziročně. V roce 2017 se v ČR vypěstovalo celkem 7 456 779 tun obilí na ploše 1 352 450 ha s průměrným výnosem 5,50 t/ha (ČSÚ 2018). Ceny pšenice, u nás nejrozšířenější obiloviny, byla 3 917 Kč/t (SZIF 2018). Pokud bychom tedy uvažovali, že dopady klimatu u nás budou probíhat podle 3,5% scénáře pro severní střední Evropu, došlo by ke ztrátám 2,6 mld. Kč, na druhou stranu stejný scénář pro jižní střední Evropu by znamenal nárůst výnosů o 0,58 mld. Kč.

Druhým fenoménem, který velmi pravděpodobně negativně ovlivní výši zemědělských výnosů, jsou sucha a také výskyt extrémně vysokých teplot.

Zkušenosti z kvantifikace dopadů epizod sucha na území ČR z posledních let (2015, 2017 a 2018) lze pojmout i jako případové studie možných dimenzí dopadů extrémních situací v budoucnu. Jen škody suchem na polních plodinách v roce 2015 byly Agrární komorou odhadnuty na cca 3,0 mld. Kč. V roce 2018 dokonce na 11 mld.[4] V roce 2015 pak byly řešeny dotace na zmírnění škod suchem na úrovni 1,2 mld. směřujících zejména za vybrané krmné plodiny a peníze dostalo 3 580 (MZe 2016). Tato výrazná suchá epizoda odstartovala problémy živočišné výroby v oblasti krmiv. Tento problém prohloubila i situace v roce 2017 a 2018. Na odškodnění za škody způsobené suchem napříč zemědělskými plodinami v roce 2017 vláda vyčlenila 2,0 mld. Kč, přičemž dle odhadu se škoda pohybovala mezi 7,7–12,0 mld. Kč. Nakonec za proběhlou epizodu sucha o kompenzace požádalo 3232 zemědělců v celkové výši 1,16 mld. Kč (SZIF 2018). V roce 2018 byly odhadovány škody suchem na úrovni 11 mld. Ke kompenzacím by mělo být připraveno cca 2 mld. Kč. Nárok na odškodnění mají pěstitelé definovaných tržních a krmných plodin, kteří se o dotaci přihlásili, a kterým se v důsledku sucha snížila produkce plodin o více než 30 procent v porovnání s jejich průměrnými výnosy. Významné ekonomické dopady však měla epizoda sucha 2018 i v dalších státech Evropy včetně Polska, Belgie, Rakouska či Německa. Rakouská zemědělská pojišťovna Österreichische Hagelversicherung odhaduje škody způsobené suchem a vedry na 210 miliónů EUR (5,4 miliardy Kč). Z toho 80 miliónů (dvě miliardy Kč) tvoří škody na obilninách a 130 miliónů (3,4 miliardy Kč) na pastvinách[5]. V případě Německa se odhadují škody na úrovni 17 mld. Kč a odškodnění ve výši cca 8,5 mld. Kč. Na uvedených příkladech lze dobře demonstrovat dimenzi poškození extrémními epizodami. Současně je však otázkou, do jaké míry např. zafungovala některá adaptační opatření (změna termínu setí, volba plodin a odrůd v suchem zasahovaných regionech) a jakou účinnost budou mít adaptační opatření přijatá v budoucnu (pokračující změny v technologiích, šlechtění, využití závlah...).

Kromě ztrát na výnosech zemědělských plodin lze očekávat ekonomické dopady i v jiných oblastech zemědělské výroby. V oblasti živočišné výroby bude při nárůstu teplot docházet zejména ke stresu hospodářských zvířat, přičemž zvýšení průměrných ročních teplot o více jak 2 °C již pravděpodobně vyústí v mírné produkční ztráty (OECD 2010). Vysoké teploty, dostupnost a kvalita vody pak může ohrozit také chov ryb. Další zásadní položkou je otázka škůdců a chorob jak v rostlinné, tak v živočišné výrobě. Přestože tato problematika je významná a může mít devastační následky, obecné odhady předpokládaného rozsahu dopadů zatím nejsou známy. Dle zprávy z projektu PESETA II se plochy, kde se pěstuje obilí ohrožené suchem v jižní střední Evropě, rozšíří při zvýšení teploty o 3,5 °C z 31 000 km^2/rok na 242 000 km^2/rok, v severní střední Evropě má naopak dojít k redukci

[4] https://www.ceskenoviny.cz/zpravy/zisk-zemedelstvi-klesl-o-petinu-na-16-5-mld-kc-podpory-vzrostly/1730020

[5] https://www.novinky.cz/ekonomika/480497-rekordni-sucha-dopadaji-na-sklizen-i-v-nemecku-a-rakousku.html

ploch ohrožených suchem. I zde platí, že v České republice se mohou objevovat oba modely, přičemž v posledních letech jsme svědky spíše scénáře pro jižní střední Evropu.

6.2.2 Ekonomické aspekty adaptačních opatření

V případě zemědělství bude základní podmínkou pro efektivní adaptace zaměření se na udržitelné nakládání s přírodními zdroji, především s půdou a vodou. Právě s důrazem na tento fakt je potřeba volit vhodné agronomické postupy, zemědělské technologie i pěstované plodiny.

Z ekonomického hlediska byly mezi největší rizika pro tento sektor zařazeny především nižší výnosy v důsledku sucha, vysokých teplot, mrazů a ohrožení škůdci a nemocemi. Vedle těchto dopadů, které jsou spojeny spíše s postupným vývojem klimatu, je třeba zmínit problematiku extrémních událostí, jako např. bouře, vichřice, krupobití či povodně. Tyto jevy mohou mít na zemědělství (stejně jako na ostatní sektory) účinky zcela devastující. Na druhou stranu může mít změna klimatu na zemědělský sektor i pozitivní dopady. Hlavním přínosem může být delší vegetační období a kratší doba růstu pro dosažení zralosti. Ovšem i v tomto případě jsou vyšší výnosy podmíněny přijetím a implementací vhodných adaptačních opatření, v opačném případě by mohly být dopady velmi negativní.

Adaptační opatření v zemědělství obsahují celou řadu zásahů, které mohou zmírnit či eliminovat negativní dopady měnícího se klimatu. Jednotlivé adaptace je možno sledovat od změněných půdních vlastností, přičemž nejodolnější půdy vůči klimatické změně jsou půdy s černickým horizontem (černozemě a černice) přes úpravu technologií zpracování půd. Dalším podstatným bodem je úprava ve struktuře plodin a osevních postupů a dále využívání šlechtitelských odrůd odolných vůči nepříznivým klimatickým podmínkám. Důležitá je v podmínkách ČR podpora infrastruktury pro zavlažování. Nesmíme zapomínat na ekonomická adaptační opatření (kam patří např. dotace z EU) a dále tzv. informativní adaptační opatření (tedy zvyšování informovanosti zájmových skupin).[6] Část těchto opatření je flexibilní a lze jí do jisté míry aplikovat v krátkodobém horizontu, protože je spojena s rozhodováním a adaptací na úrovni každé farmy v rámci sezón (např. druhová skladba a rotace plodin, objem používaných hnojiv a pesticidů, způsob pěstování plodin, využívání meziplodin). Obecně se ale má za to, že plánování adaptací v zemědělském sektoru je záležitostí spíše dlouhodobější, tzn. v horizontu 10–20 let (Iglesias et al. 2009). V případě možnosti závlah je třeba mít k dispozici potřebnou infrastrukturu (tzn. udržovat, obnovovat či budovat novou) a potřebné vodní zdroje. Z dlouhodobého hlediska budou pravděpodobně udržitelné pouze vysoce efektivní způsoby závlahy v rámci vhodných lokalit a u plodin s vysokou přidanou hodnotou. Úlohou státu je v těchto případech především použitím vhodných nástrojů farmáře motivovat k tomu, aby adaptační opatření aplikovali v praxi. K tomu je potřeba vytvořit podmínky. Vhodným nástrojem může být zejména přijetí odpovídajících legislativních aktů, šíření informací a vzdělávání jak farmářů, tak spotřebitelů, investice do výzkumu a vývoje, či různé dotace a finanční pobídky (OECD, 2008b). Jako velmi vhodná se jeví zejména agroenvrionmentální schémata či koncept plateb za ekosystémové služby. Přehled vybraných adaptačních opatření a jejich nákladnosti je znázorněn v tabulce (tab. 6.2.2).

Tab. 6.2.2 Přehled adaptačních opatření v zemědělství, jejich nákladnost a efektivita

Klimatický jev	Efekt na sektor	Adaptační opatření	Nákladnost (1–3)	Efektivita (1–3)	Zdroj financí
Vyšší průměrná teplota	Delší vegetační období a zkrácení doby růstu	Změny v načasování aktivit	1	2	F
	Možnost pěstovat nové odrůdy	Pěstování nových odrůd	2	2	F, S
Snížení objemu srážek	Vhodnější podmínky pro šíření některých chorob a zejména termofilních škůdců	Změna pěstebních postupů a odrůd	2	2	F, S
	Změny v agronomických postupech	Implementace nových technologií	2	3	F, S

[6] https://www.klimatickazmena.cz/cs/adaptace/zemedelstvi/

Klimatický jev	Efekt na sektor	Adaptační opatření	Nákladnost (1–3)	Efektivita (1–3)	Zdroj financí
	Vyšší nároky na vodu (rostlinná i živočišná výroba)	Zefektivnění nakládání s vodou	3	2	F, S
		Pěstování suchomilných odrůd (rostlinná výroba)	2	3	F, S
	Omezení v rybářství a rybníkářství	Implementace technologií pro šetrnější nakládání s vodou	2	3	F, S
	Tlak na mineralizaci organické hmoty, nižší stabilita agregátu a riziko větší eroze a snižování schopnosti půdy vázat vodu a živiny	Změna technologie pěstování (např. způsob orby)	3	3	F, S
		Implementace agroenvironmentálních opatření	2	3	F, S
		Správný výběr plodin a jejich rotací	2	3	F, S
Zvýšená frekvence extrémních událostí	Zničení úrody	V případě extrémních událostí je adaptace problematická. Stejně jako v předchozích případech lze do jisté míry podpořit adaptační proces výběrem vhodných plodin, technologií a agroenvironmentálních opatření. Jejich efekt však závisí na rozsahu a povaze dané události. Otázkou je implementace nástrojů pro eliminaci rizik (např. systém včasného varování, poradenská činnost, pojištění, kompenzací, daňová zvýhodnění v případě extrémních událostí). Diverzifikace činností, tvorba rezerv apod. Oblast rizik spojených s extrémními událostmi vyžaduje další výzkum (Ciscar, 2018).			
	Ztráty na domácích zvířatech				
	Zničení techniky a infrastruktury				

Vzhledem ke komplexnosti a provázanosti celého sektoru a nerovnoměrnému rozložení jednotlivých dopadů je složité vyčíslit na národní úrovni jak vliv dopadů změny klimatu, tak i náklady na adaptační opatření, o to spíš jsou-li implementována na úrovni jednotlivých farem a financována formou dotací či jiných plateb. Náklady na taková opatření jsou pak odvislé od počtu zapojených farem, jejich velikosti a rozsahu opatření. Zároveň mnohá opatření vznikají na úrovni jednotlivých farem zcela nezávisle na politice státu, pouze z vůle zemědělců (Brooks et al. 2005) a i studie PESETA II předpokládá, že rozumní farmáři budou tato tzv. autonomní opatření zavádět. Z pohledu nákladů na přijetí související legislativy a řízení procesu na národní úrovni by pravděpodobně nedošlo k žádným větším nákladům, zejména v případě agroenvironmentálních schémat, která na území ČR již existují. Účinná adaptační opatření související se změnou délky vegetačního období a termínem osetí jsou beznákladová a dle studie PESETA II mohou dokonce zvýšit úrodu u plodin jako je kukuřice, slunečnice, řepka olejná a pšenice. V tomto případě mohou jako inspirace sloužit schémata z jiných zemí EU, např. státy Velké Británie či Francie, kde se v jejich rámci více propagují zmiňovaná opatření na ochranu a zlepšování vlastností půdy, a podporu biodiverzity.

Díky výše zmíněným důvodům je pro hodnocení opatření v zemědělství vhodnější použít odhad celkové efektivity adaptačních opatření, tedy jaký je jejich celkový dopad na zemědělskou produkci/výnosy (OECD 2008b). V rámci Evropy se uvádí, že adaptační opatření ve formě změny načasování osevních procesů zvýší výnosy kukuřice, slunečnice, řepky a pšenice (PESETA II.) Jak již ale bylo zmíněno výše, počítá se s velkými regionálními rozdíly. Největší zvýšení blahobytu by díky aplikaci adaptačních opatření měly dle studie PESETA II dosáhnout země střední Evropy a to v podobě 12 až 50% nárůstu. V budoucích analýzách je ale potřeba vzít v úvahu změny ve výnosech mimo EU, které mohou příjmy ze zemědělství naprosto změnit i při aplikaci těch nejvhodnějších adaptačních opatření.

6.2.3 Efektivita nákladů na adaptační opatření

Zemědělství se bude v České republice potýkat zejména s rostoucími teplotami, které mohou jednak vyústit ve ztráty, ale i příležitosti k vyšším výnosům. To, zda se tuto příležitost podaří zužitkovat a vyhnout se ztrátám na úrodě, je především otázkou včasných a vhodně zvolených adaptačních opatření (ale i četnosti extrémních situací). Podle odhadů lze v našich podmínkách při dobře

nastaveném adaptačním procesu a rostoucí teplotě o maximálně 2 °C vyprodukovat obiloviny v hodnotě o 3,7 mld. Kč ročně víc než je tomu nyní. Pokud se ale budou teploty zvyšovat i nad hranici dvou stupňů, může dojít k ročním ztrátám na produkci obilovin, které byly v roce 2018 vyčísleny na 4,8 mld. Kč.[7]

Jako vhodná opatření se v tomto případě nabízí zejména načasování agronomických aktivit a zvolení odpovídajících odrůd (dostupnost a využití nových odrůd však musí být dostatečně rychlé), které vytěží maximum z nových klimatických podmínek. Zároveň je více než žádoucí se zaměřit na co nejšetrnější způsob hospodaření, který podpoří přírodní procesy v agroekosystémech a zároveň pomůže zlepšovat kvalitu půdy, chránit proti erozi a podporovat zadržování vody v půdě. Vzhledem k tomu, že zemědělství je specifický sektor a většina adaptací probíhá na úrovni jednotlivých farem, je potřeba, aby byla možná rizika a vhodná adaptační opatření zahrnuta v legislativě a politikách. V tomto sektoru se přímo nabízí zapracování těchto aspektů do systému agroenvrionmentálních opatření (např. redukovaná orba, pásové zpracování půdy, půdoochranné postupy, využití meziplodinových směsek, přímé setí do mulče, snížení intenzity aplikace chemických hnojiv a pesticidů, diverzifikované kultury a rotační zemědělství, zakládání krajinných prvků, aj.), což by mohlo být účinným způsobem rozvoje adaptačních opatření a s přijatelně vysokými náklady. Důraz na měkká opatření v zemědělství prosazuje i UNFCCC, podle nějž je potřeba investovat zejména do výzkumu (McCarl 2007). V roce 2030 by měla finanční podpora do adaptací v zemědělství vzrůst o 2 % oproti úrovni z roku 2000. Na základě metodiky, kterou uvádí McCarl lze pro rok 2030 v podmínkách ČR počítat s ročními náklady na adaptace zemědělství v hodnotě 217 milionů Kč, což je jen zlomek v porovnání s očekávaným rozsahem dopadů uvedeným výše (je potřeba zdůraznit, že kalkulace škod je pouze modelová pro obilniny a ostatní plodiny nejsou zahrnuty).

[7] https://www.ceskenoviny.cz/zpravy/zisk-zemedelstvi-klesl-o-petinu-na-16-5-mld-kc-podpory-vzrostly/1730020

6.3 VODNÍ REŽIM A VODNÍ HOSPODÁŘSTVÍ

6.3.1 Ekonomická analýza dopadů změn klimatu

Změna klimatu se do sektoru vodního režimu a vodního hospodářství v ČR ekonomicky promítne přímými i nepřímými ekonomickými dopady. Štěpánek et al. (2016) předpokládají mírný nárůst celkových úhrnů srážek (6–16 %). Nejvýraznější nárůst by měl nastat v zimních a jarních měsících, letní úhrny srážek by se příliš měnit neměly. Dále očekávají nárůst počtu dnů s vyššími srážkami v důsledku zvýšených teplot. Závažné ekonomické následky mohou vyvstat při výskytu extrémních situací, především povodní a sucha, tab. 6.3.1 a tab. 6.3.2.

Tab. 6.3.1 Ekonomické dopady změny klimatu na vodní režim a hospodářství (Zdroj: Peseta 2014; Econadapt 2015)

Klimatický jev	Efekt na sektor	Ekonomický dopad	Rozsah dopadu (+++ až ---)	Pravděpodobnost (1 nejnižší – 5 nejvyšší)
Změna distribuce srážek v čase a prostoru	Sucha	Nedostatek vody, omezení odběrů	--	4
Vyšší průměrná teplota	Rostoucí evapotranspirace a ztráta vody v půdě	Ztráty vody, omezení odběrů	--	4
	Snížení kvalita vody	Rostoucí náklady na udržování kvality vody	--	3
Povodně, přívalové povodně, vydatné srážky	Znečištění vodních zdrojů	Náklady na úpravu vody	--	2
	Škody na korytech a okolí vodních toků	Náklady na opravy	--	2

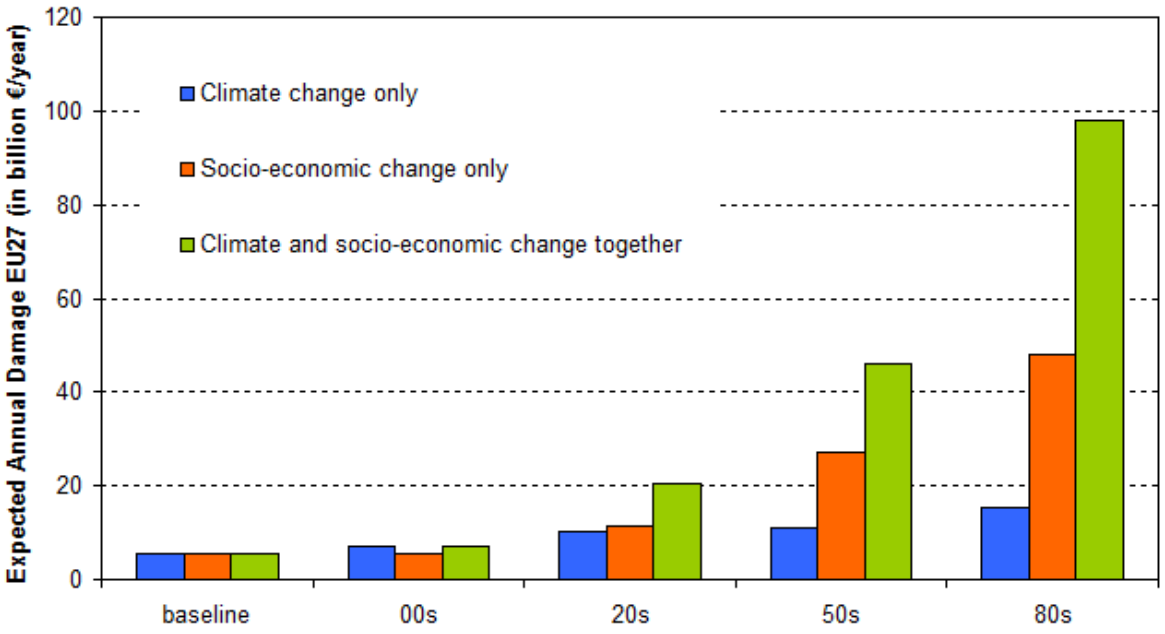
Tab. 6.3.2 Ekonomické dopady změny klimatu na vodní režim a vodní hospodářství

Projev	Forma přímých dopadů	Forma nepřímých dopadů	Pravděpodobnost dopadů (1 nejnižší – 5 nejvyšší)
Dlouhodobé sucho	omezení odběrů (poplatků)	Dopady v ostatních sektorech prostřednictvím poklesu produkce	3
	Investice do vodohospodářské a vodárenské infrastruktury	-	4
	Zvýšené provozní náklady na úpravy a čištění vod	-	3
Povodně	Přímé povodňové škody	-	3
Vydatné srážky	Přímé škody v intravilánu	Snížení úrodnosti v důsledku eroze půdy	4
Zvyšování teploty vzduchu		Dopady v ostatních sektorech prostřednictvím poklesu produkce (energetika)	2

V případě povodní jsou škody často multisektorové (kap. 6.10), přičemž sektorem s tradičně nejvyššími škodami je průmysl a energetika (kap. 6.8). Škody ale vznikají i přímo v sektoru vodního režimu a vodního hospodářství. Např. v roce 2002 dosáhly škody v tomto sektoru 1,7 mld. Kč, tj. 2,3 % celkových škod. Jedná se zejména o škody na vodohospodářských objektech a stavbách (např. podemleté břehy, poškozené jezy). Z pohledu celkových škod se však jedná spíše o marginální hodnotu (Aus der Beek et al. 2011; Flörke et al. 2013; Rojas et al. 2013). Obecně platí, že v případě povodní ve vyspělých zemích roste absolutní výše škod a to zejména v důsledku zvyšování velikosti majetku exponovaného povodním. Většina studií zabývajících se normalizací výše škod např. ve

srovnání s výší HDP a počtem obyvatel (Shalani a Pielke Jr. 2014, Weinkle et al. 2018), V podmínkách ČR analyzoval změny expozice a celkového rizika Daňhelka (2017).

Problematika ekonomického vyhodnocení opatření ve vztahu k budoucí funkcionalitě je velmi problematická. Kromě značné nejistoty vlastních scénářů změny povodňového nebezpečí (frekvence výskytu a velikost povodní, viz kap. 4.3), přistupují velké nejistoty v možných změnách expozice (počet obyvatel a majetku v záplavovém území). V rámci projektu PESETA (2014) je ilustrován vliv samotné změny klimatu ve srovnání se socioekonomickými změnami (obr. 6.3.1). Při odhadech dopadů je však problematický především odhad ekonomického růstu (WGF 2010), který je dnešními metodami de facto nepredikovatelný. Přitom velikost uvažované diskontní sazby je zásadní pro výsledky ekonomických modelů (např. Carraro a Sgobbi 2008 na příkladu Itálie), Přes velké nejistoty Jones et al. (2012) odhadli náklady na povodňovou ochranu v západní Evropě mezi 137 až 4 000 mil. EUR, odhad CEPS (2010) se pohybuje mezi 250 až 3 950 mil. EUR, shodu uvedených odhadů však podporuje skutečnost, že vycházejí z obdobných podkladových zdrojů. WGF (2010) upozorňuje, že zatímco scénáře klimatické změny jsou většinou uvažovány v horizontu 100 let, což však překračuje dobu životnosti mnohých protipovodňových opatření, pro něž by bylo vhodnější pracovat spíše s 50letým výhledem.



Obr. 6.3.1 Změny očekávaných ročních povodňových škod na území EU a skladba jejich nárůst (Zdroj. PESETA 2014)

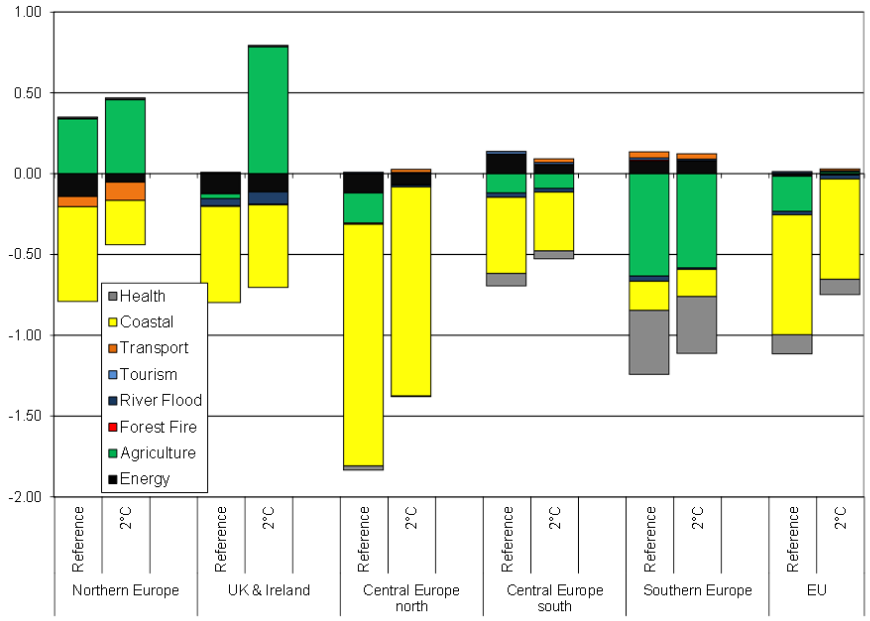
Na evropské úrovni se potenciální změny povodňového rizika v důsledku vysokoemisních scénářů CO2 pokusili namodelovat v rámci široké dopadové studie projekt PESETA (2014). Výsledek napříč sektory ukazoval na modelované negativní vlivy klimatické změny zejména v případě mořských (pobřežních) povodní v důsledku vzestupu hladiny moře (obr. 6.3.2). Později dopad povodní modeloval Alfieri et al. (2015) výsledkem je simulovaný nárůst povodňových dopadů o 220 % pouze v důsledku změny klimatu v průměru Evropy, tyto výsledky nejsou konsistentní s předchozí studií a neodpovídají ani pesimistickým scénářům z podrobnějších studií, např. pro Velkou Británii EA (2019). Metodický postup byl přizpůsoben celoevropskému měřítku a vycházejí z nevhodných vstupních dat a využívají velmi pochybné extrapolace výsledků z hlediska hodnocených dob opakování (kap. 4.3). I proto výsledky skokově mění odhad velikosti povodní i škod pro období 2020 ve srovnání s obdobím 1990 prakticky v celé Evropě, což neodpovídá pozorované realitě.

Strategie přizpůsobení se změně klimatu uvádí očekávané náklady na protipovodňová opatření ve výši 4,2 mld. Kč, což přesahuje výši povodňových škod, která za období 1990–2013 dosáhla v průměru 8,5 mld. Kč za rok.

Budeme-li uvažovat možné dopady na dostupnost vodních zdrojů z pohledu celkové poptávky a nabídky, pak odhadované dopady pro Evropskou část OECD jsou stanoveny na zhruba 1,52 miliard EUR při oteplení o 1 °C (Tol 2002). Kirshen (2007) dále uvádí, že na globální úrovni bude v roce 2030

potřeba vynaložit ročně dodatečných 11,8 až 14,4 mld. EUR na zajištění dodávek vody. Jiné odhady nákladů na adaptaci v sektoru zásobování vodou v evropských zemích OECD k roku 2030 dosáhnou 251 až 875 mil. EUR (UNFCCC, 2007), resp. až 2 655 mil. EUR v zemích západní Evropy k roku 2060 (Bosello et al. 2009).

Na úrovni České republiky se sucho v letech 2015 až 2019 neprojevilo zásadním způsobem z hlediska změn celkových dodávek pitné vody, ale ukázala se zranitelnost malých vodních zdrojů (obecních vodovodů) do nichž musela být voda dovážena, což vedlo k nárůstu provozních nákladů, které však nebyly přesně vyčíslitelné (Vlasák 2018). Nicméně v rámci aktualizace plánů rozvoje vodovodů a kanalizací území krajů ČR (PRVKÚK) jsou momentálně zpracovávány jednotlivé návrhy na propojování vodovodů, které se soustředí na oblasti aktuálně s nedostatečnými zdroji (Rakovnicko, přivaděč D3, aj.) náklady na projekty se pohybují v řádech stovek mil. Kč a řeší zásobování většinou v řádech 10 000 obyvatel na projekt.



Obr. 6.3.2 Očekávané dopady v různých částech Evropy (Zdroj: PESETA 2014)

6.3.2 Ekonomické aspekty adaptačních opatření

Adaptační strategie ČR definuje širokou paletu adaptačních opatření, která lze dle prostorového uplatnění rozdělit na:

- adaptační opatření v povodí (opatření pro zajištění stability vodního režimu v krajině, systémy hospodaření se srážkovými vodami a její opětovné využití, plány povodí a plány pro zvládání povodňových rizik, plány rozvoje vodovodů a kanalizací, opatření na vodárenských systémech, opatření na ČOV a kanalizacích);
- adaptační opatření na vodních tocích a v nivách (optimalizace funkce stávajících nádrží a vodohospodářských soustav, obnova malých vodních nádrží a zvyšování jejich spolehlivosti, úprava vodních koryt a niv, racionalizace licenčního systému pro odběr vody a vypouštění, ochrana stávajících a výhledových vodních zdrojů, opatření k infiltraci povrchových vod do vod podzemních, převody vody, realizace vodních nádrží v lokalitách chráněných pro akumulaci povrchových vod).

Uvedená uvažovaná adaptační opatření jsou z ekonomického hlediska velmi různorodá (tab. 6.3.3). Zatímco realizace méně nákladných opatření se pohybuje v řádech mil. Kč (např. optimalizace funkce stávajících vodohospodářských soustav či aktualizace plánů zvládání povodňových rizik), zatímco realizace mimořádně nákladných opatření v řádech mld. Kč (např. realizace nových vodních nádrží, úprava vodních koryt a niv velkých toků, propojování vodárenských soustav).

Mezi nejdůležitější adaptační opatření z hlediska ČR patří snížení/zpomalení povrchového odtoku

a podpora retence v ploše povodí. Toho lze docílit například vhodným uspořádáním krajiny a zaváděním systémů malých vodních nádrží a mokřadů (realizace v řádech jednotek až desítek mil. Kč / projekt; např. Naumann et al., 2011). Dalším významnou skupinou opatření jsou ta, která podporují sběr a využívání srážkové vody (např. systémy sběru srážkové vody v cenách od desítek do stovek tis. Kč / individuální projekt; Doménech a Saurí 2011) a opětovné využití vody obecně. Taková opatření spočívají zejména v budování decentralizovaných systémů na hospodaření se srážkovou vodou, oblastech využívajících podzemní vody pak rovněž ve zlepšování možností infiltrace v urbanizovaných oblastech v podobě snižování podílu nepropustných ploch a budování odvodňovacích systémů se vsakováním dešťové vody. S problematikou povodní souvisí také protipovodňové systémy sestávající nejen z technické infrastruktury, ale i z přírodě blízkých opatření, a zahrnují i tzv. „měkká opatření“, která spočívají např. ve zvyšování povědomí obyvatel či rozvoji krizového managementu. V oblasti zvládání dlouhodobého sucha a nedostatku vody přicházejí v úvahu především zmiňovaná opatření na podporu zadržování vody v krajině, optimalizace funkce stávajících nádrží a vodohospodářských soustav, převody vody, realizace vodních nádrží v lokalitách chráněných pro akumulaci povrchových voda poté zejména legislativní a finanční nástroje motivující spotřebitele k šetrnějšímu nakládání s vodními zdroji.

Významné ekonomické dopady má rovněž načasování realizací adaptačních opatření. Náklady na adaptační opatření se skládají z investičních nákladů, nákladů na údržbu a naopak ochraňují před ekonomickými ztrátami, které náklady vyvažují (CEPS 2010). Všechny tyto parametry se však v čase mohou měnit. Například náklady investice mohou poklesnout v důsledku technologického rozvoje, naopak parametr ztráty vyjadřuje okamžitý zisk z provedené adaptace (ochráněný majetek). Autoři CEPS (2010) shrnuli výhody rychlé realizace adaptací za podmínek:

- náklady na adaptaci v čase nebudou klesat,
- existují velké okamžité benefit provedené adaptace (win-win a no-regret řešení),
- opatření zabrání dlouhodobým a nevratným škodám,
- náklady na údržbu v čase nebudou klesat.

Uvedená logika byla použita pro navržení tabulky 6.3.4 pro vyhodnocení naplnění definovaných kritérií, jedná se však jen o zjednodušené kvalitativní vyhodnocení, které by před konkrétní aplikací muselo být zpracováno s využitím nominálních hodnot jednotlivých parametrů. Současně je vhodné uvést, že konkrétní návrh každého opatření může být uzpůsoben tak, aby v daných parametrech poskytoval výhodu. Příkladem může být flexibilní řešení konstrukce umožňující snadné následné navýšení protipovodňových hrází, úpravy pro snížení provozních nákladů apod.

Tab. 6.3.3 Přehled adaptačních opatření ve vodním hospodářství, jejich nákladnost a efektivita

Klimatický jev	Efekt na sektor	Adaptační opatření	Nákladnost (1–5)	Efektivita (1–5)	Zdroj financí
Změna distribuce srážek v čase a prostoru	Sucha	Adaptační opatření v povodí			
		• Opatření pro zajištění stability vodního režimu v krajině.	3	3	S, M, F
		• Systémy hospodaření se srážkovými vodami a její opětovné využití.	4	2	M, F, O
		Adaptační opatření na vodních tocích a v nivách			
		• Optimalizace funkce stávajících nádrží a vodohospodářských soustav.	2	3	S, F
		• Obnova malých vodních nádrží a zvyšování jejich spolehlivosti.	4	3	S, M, F
		• Racionalizace licenčního systému pro odběr vody.	14-5	3	S, F
		• Převody vody.	4-5		S
		• Realizace vodních nádrží			

Klimatický jev	Efekt na sektor	Adaptační opatření	Nákladnost (1–5)	Efektivita (1–5)	Zdroj financí
		v lokalitách chráněných pro akumulaci povrchových vod. • Opatření k infiltraci povrchových vod do vod podzemních.	4-5	4-5 3	S S, M, F
Vyšší průměrná teplota	Rostoucí evapotranspirace a ztráta zásoby vody v půdě	Adaptační opatření v povodí • Opatření pro zajištění stability vodního režimu v krajině. • Systémy hospodaření se srážkovými vodami a její opětovné využití.	3 4	43	S, M, F M, F, O
	Snížená kvalita vody	Adaptační opatření v povodí • Plány rozvoje vodovodů a kanalizací. • Opatření na ČOV a kanalizacích. Adaptační opatření na vodních tocích a v nivách • Úprava vodních koryt a niv.	2 3-4	3 4 3	M, F M, F S, M
Povodně, přívalové povodně, vydatné srážky	Znečištění vodních zdrojů, poničení koryt a okolí vodních toků	Adaptační opatření v povodí • Plány povodí (dle 2000/60/ES) Adaptační opatření na vodních tocích a v nivách • Úprava vodních koryt a niv. • Optimalizace funkce stávajících nádrží a vodohospodářských soustav.	2 3-4 2	3 2-3 3	S, M, F S, M S, F
	Škody na korytech vodních toků a vodohospodářských stavbách	Adaptační opatření v povodí • Plány pro zvládání povodňových rizik. Adaptační opatření na vodních tocích a v nivách • Úprava vodních koryt a niv. • Optimalizace funkce stávajících nádrží a vodohospodářských soustav.	3 3-4 2	3 4 3	S, M, F S, M S, F

Tab. 6.3.4 Vyhodnocení parametrů pro rozhodování o rychlosti adaptačních opatření

	typ opatření	stabilita nákladů na investice	okamžité benefity	dlouhodobé, nezvratné škody	stabilní náklady na údržbu	suma
povodně	zvýšení retence v krajině (krajině blízká opatření)	4	3	3	4	14
	technická protipovodňová ochrana (ochranné hráze)	4	5	5	4	18
	nestrukturální opatření (povodňové plány, předpovědní služba)	3	5	3	4	15
	posilování schopnosti odezvy (IZS)	3	5	3	3	14
sucho	propojování vodárenských systémů	5	3	4	3	15
	výstavba vodních nádrží	5	2	4	3	14
	malé vodní nádrže	5	2	3	3	13
	změna hospodaření na zemědělské půdě	4	5	5	4	18
	změna hospodaření na lesní půdě	4	3	5	3	15
	úpravy kanalizací a ČOV	2	5	5	3	15
	zdokonalení postupů úpravy vod	2	5	4	3	14
	systémy hospodaření se srážkovou vodou v intravilánu	2	4	2	2	10
	využívání šedých vod	2	2	2	2	8
	zavádění technologií efektivních závlah	3	2	2	3	10
	zavádění technologií recyklace vody v průmyslu	3	3	2	2	10
srážky	rekonstrukce kanalizačních sítí	4	3	4	2	13
	zabezpečení podzemních prostor	4	4	4	3	15

6.3.3 Efektivita nákladů na adaptační opatření

Efektivita nákladů na adaptační opatření pro zabezpečení zdrojů vody ve světle měnícího se klimatu je nezbytná pro fungování lidské společnosti, protože s vodním hospodářstvím je provázána většina ostatních sektorů (např. zemědělství, energetika a průmysl, zdraví a hygiena). Adaptace sektoru vodního režimu a vodního hospodářství lze tedy jednoznačně vyhodnotit jako prioritní, a to navzdory nákladům, které bude nutné vynaložit. Náklady na jednotlivá adaptační opatření jsou však značně variabilní (viz výše) a odvíjí se zejména od typu realizovaných opatření a jejich prostorového rozsahu. Efektivitu nákladů na adaptační opatření lze vyhodnotit na úrovni jednotlivých opatření či povodí. De Bruin et al. (2009) uvádějí, že při správné aplikaci lze pomocí vhodných adaptačních opatření snížit předpokládané škody způsobené změnou klimatu až o 33 %.

Podrobné vyhodnocení dlouhodobých investičních priorit provádí pro oblast povodní Environment Agency ve Spojeném Království (EA 2014, 2019). Vyhodnocení prokazuje možnost zamezit nárůstu rizika, a to prostřednictvím konvenčních opatření v místech s pozitivním výsledkem benefit-cost analýzy a při uplatnění územního plánování. Výsledkem studie přitom bylo zjištění o velkém potenciálu individuální povodňové ochrany objektů. Naopak vliv přírodě blízkých opatření byl vyhodnocen jako pozitivní, avšak velmi nízký. Celkové investiční potřeby byly vyhodnoceny na cca 1 mld. £ ročně. Uvedená suma tedy odpovídá cca 29,5 mld. Kč ročně, což by při redukci dle poměru počtu obyvatel znamenalo v podmínkách ČR 4,7 mld. Kč – tedy částku odpovídající hodnotě uváděné strategií pro přizpůsobení se změně klimatu.

Efektivita nákladů jednotlivých opatření je v případě vodního hospodářství před realizací vyhodnocována a současně je posuzována v rámci rozsahu povodí při zpracování plánů povodí

a plánů pro zvládání povodňového rizika, které jsou zpracovávány a aktualizovány v šestiletých cyklech.

Právě využití plánovacích mechanismů v oblasti vodního hospodářství nabízí možnost nalézt optimální kombinaci různých typů řešení v měřítku celého povodí. Alfieri a kol. (2016) simulovali dopad možných adaptačních opatření (scénářů) na možnost přizpůsobení se jejich dřívějším scénářům nárůstu povodňového rizika (Alfieri a kol. 2015). Výsledky naznačují, že nárůst škod a ohrožených obyvatel lze opatřeními kompenzovat, přičemž v kombinaci opatření by měly být uvažovány spíše opatření ke snížení dopadů povodní než snaha povodním zabránit. Avšak při realizaci pouze navyšování úrovně ochrany dochází k omezení dopadů malých povodní, ale roste zranitelnost vůči extrémům přesahujícím tuto úroveň. Současně platí, že přírodě blízká opatření poskytují jiné formy benefitů (např. Vermaat 2016).

6.4 BIODIVERZITA A EKOSYSTÉMOVÉ SLUŽBY

6.4.1 Ekonomická analýza dopadů změn klimatu

Díky očekávaným důsledkům změny klimatu lze s vysokou pravděpodobností předpovídat posun areálů se zvýšeným rizikem vymizení ochranářsky nebo ekonomicky významných druhů. Někdy však může posun areálů naopak hodnotu ekosystémových služeb zvýšit. Některé změny v oblasti biodiverzity mohou ovlivnit ekosystémové služby přímo. Například rozšíření výskytu druhů do nových oblastí může vést k vyšším ekonomickým škodám spojeným se škůdci, nebo naopak může dojít k vymizení druhů nezbytných pro zajištění klíčových služeb, jako je například opylování v zemědělství. Výskyt extrémních projevů počasí může vést ke zvýšené frekvenci lesních požárů, s dopady na ekosystémové služby lesů jako je ukládání uhlíku.

V evropském měřítku nejsou údaje o nákladech spojených s dopady změny klimatu na ekosystémy příliš dostupné, čerpáme proto z jedné z mála studií provedené v Kalifornii (citace). Mezi dopady změny klimatu patří dopady na přímé trhy zajišťování ekosystémových služeb. Jako příklad lze uvést posouzení dopadů klimatických změn na zisky chovu dobytka. Podle různých scénářů by změna klimatu mohla mít za následek ekonomické ztráty na dobytku mezi 14 a 191 miliony USD (18–250 mil. EUR) od roku 2035 a v rozmezí 22–312 milionů USD (29–409 mil. EUR) pro období 2070–2099. Mezi další příklady přímých dopadů v souvislosti s ekosystémy patří například rekreační a komerční lov ryb citlivých na změnu klimatu.

Pokud jde o sociální náklady celosvětové regulace klimatu a ukládání uhlíku jako ekosystémové služby, modely předpovídají, že suchozemské ekosystémy v Kalifornii by mohly zvýšit jejich schopnosti ukládání uhlíku a mohly by vytvářet dodatečnou hodnotu pro světové hospodářství více než 300 milionů USD (293 mil. EUR) ročně v blízké budoucnosti, a v hodnotě až 18 mld. USD (23,6 mld. EUR) ročně do roku 2070. Studie Grêt-Regamey et al. (2008) ze švýcarských Alp využila GIS založený přístup k modelování s cílem posoudit přidanou hodnotu ekosystémových služeb (biotopových služeb, ochrana před lavinami) poskytovanou podle scénáře změny klimatu počítajícím s nárůstem teploty o 2,4 °C do roku 2050. Vzhledem k tomu, že rostoucí teplota vyústila ve zhuštění a rozšíření lesního porostu ve vyšších nadmořských výškách, hodnoty všech ekosystémových služeb vzrostly o 45,3–111,7 tisíc švýcarských franků (54,7–135 tisíc EUR) pro biotopové služby a 8–16,2 milionů franků (9,7–19,5 milionů EUR) v případě ochrany před lavinami, a ve srovnání s rokem 2000 byla tato aktiva stále značně vyšší než odhadované náklady údržby lesů (140 tisíc franků, tzn. 169 tisíc EUR).

De Groot et al. (2012) posoudili celkovou ekonomickou hodnotu evropských mokřadů ztracených v důsledku změny klimatu na více než 1 mld. USD ročně (1,3 mld. EUR) mezi 2000–2050. Hodnoty ekosystémových služeb poskytovaných mokřady byly odvozeny z pozorování provedených v USA a Evropě. Studie zahrnula několik ekosystémových služeb, např. protipovodňovou ochranu, zásoby podzemní vody, zlepšení kvality vody, myslivost a rybářství, rekreaci nebo biotopové služby. Dopady změny klimatu na sektor a jejich ekonomický rozsah jsou popsány v tab. 6.4.1.

Tab. 6.4.1 Ekonomické dopady změny klimatu na biodiverzitu a ekosystémové služby (Zdroj: Parry et al. 2009; Doswald and Osti 2011)

Klimatický jev	Efekt na sektor	Ekonomický dopad	Rozsah dopadu (+++ až ---)	Pravděpodobnost (1 nejnižší – 5 nejvyšší)
Vyšší průměrná teplota	Posuny areálu rozšíření druhů	Výdaje na management ZCHÚ	-	4
	Změny fungování ekosystémů	Náhrada ekosystémových služeb	--	4
	Vymírání nebo vymizení biologických druhů a populací	Náklady na udržení populací druhů a jejich obnovu	-	3
	Šíření nepůvodních invazních druhů	Náklady spojené s managementem nepůvodních invazních druhů	-	4
Vyšší průměrné teploty a změny rozložení srážek	Změny využití území	Dopady na hodnotu ekosystémových služeb	--	4

6.4.1.1 Hodnocení dopadů v případě nečinnosti

V oblasti biodiverzity a služeb ekosystémů se usiluje o vyčíslení nákladů spojených se ztrátou služeb ekosystémů či naopak vyčíslení celkových přínosů plynoucích z ekosystémů lidské společnosti. Vůdčím mezinárodním procesem je v této oblasti Ekonomika ekosystémů a biodiverzity (The Economics of Ecosystems and Biodiversity, TEEB). TEEB vychází ve svých hodnoceních z ocenění ekosystémových služeb v globálním měřítku (De Groot et al. 2012). Na dříve provedené ekonomické hodnocení v rámci iniciativy COPI (Brink et al. 2008) a studie TEEB navazuje práce De Groota et al. (2012) rozšířenou Databází hodnot ekosystémových služeb (Ecosystem Service Value Database, ESVD) s více než 1350 údaji o hodnotách ekosystémových služeb poskytovaných deseti hlavními biotopy Země. ESVD je považována za jednu z největších databází tohoto druhu. Kromě hodnot ekosystémových služeb obsahuje databáze i další důležité parametry, jako např. geografickou specifikaci ekosystému/služby, metodologický postup hodnocení, detailní informace o zdrojových studiích apod.

Problematika ekosystémových služeb a biodiverzity má do značné míry průřezový charakter, protože dopady změny klimatu a náklady spojené s nečinností mohou ovlivnit náklady v dalších sektorech, jako je zemědělství, lesnictví, rekreace nebo vodní hospodářství. Náklady v případě nečinnosti zahrnují dopady spojené s nedostatečným managementem chráněných území, stejně jako pokles ekosystémových služeb, jako je ukládání uhlíku v lesních ekosystémech nebo pokles zemědělské produkce spojené s vlivem změny klimatu na ekosystémové služby, jako opylování či přirozená protierozní ochrana.

6.4.2 Ekonomické aspekty adaptačních opatření

Souhrnnější zhodnocení nákladů spojených a adaptacemi pro biodiverzitu a ekosystémové služby zatím chybí. Většina odhadů se zaměřuje na zvýšení odolnost ekosystémů v podobě správy a udržování soustavy zvláště chráněných území (Watson et al. 2012). Další adaptační opatření mohou vyžadovat akce typu relokace či reintrodukce ohrožených druhů nebo obnovu celých biotopů a ekosystémů. Odhady nákladů adaptací v oblasti ekosystémů a biodiverzity vycházejí z předpokladu, že autonomní adaptace bude nedostatečná a bude tedy potřeba plánovaná adaptace, zároveň však existují silné synergie s existujícími politikami ochrany biodiverzity a obnovy ekosystémů. Udržitelné řízení ekosystémů a zachování odolnosti ekosystémů mají poskytovat nákladově efektivní alternativy k technologicky založeným opatřením. Zejména regulační ekosystémové služby byly uznány jako kriticky důležitá komponenta pro zmírňování změny klimatu a snižování rizika katastrof (Munang et al. 2013). Jak se naše schopnosti kvantifikovat, hodnotit, mapovat a modelovat ekosystémové služby

relativně rychle zlepšují, přináší to nové příležitosti pro předvídání budoucích ekosystémových služeb a kompromisů v souvislosti se změnou klimatu a přizpůsobení se změně klimatu.

Ekosystémově založené přístupy k adaptacím byly v poslední době navrženy jako užitečný přístup k tlumení dopadů změny klimatu a zároveň zachování ekosystémů a biodiverzity (Jones et al. 2012). Biologická rozmanitost byla uznána jako nepostradatelná součást podpory poskytování ekosystémových služeb, které poskytují rovněž koncept pro zhodnocení přínosů plynoucích z biodiverzity (Mooney et al. 2009). Biologická rozmanitost poskytuje základ pro stabilitu dodávek služeb ekosystémů a vede k tzv. ekologickému pojištění[1], včetně pojištění proti nepříznivým dopadům změny klimatu.

Globální celkové náklady adaptace (celosvětově) byly odhadnuty v rozmezí 49–171 mld. USD (64,3–224,3 mld. EUR) ročně (Jones et al. 2012.). Jak uvádí Parry et al. (2009), investice do přizpůsobení přírodních ekosystémů se odhadují na 12–22 mld. dolarů (15,7–28,9 mld. EUR), což tvoří 12–25 % z celkových globálně odhadovaných nákladů na přizpůsobení. Tyto odhady však neodrážejí plné náklady EBA a jsou pravděpodobně podhodnocené. I když porovnání nákladů a přínosů EBA a inženýrských přístupů k přizpůsobení (např. výstavba tradičních protipovodňových systémů) je obtížné, důkazy na základě několika evropských případových studií ukazují, že náklady na EBA nemusí být nutně vyšší než v případě tradičních přístupů. Kromě toho další ekologické a sociálně-ekonomické přínosy pravděpodobně převáží výhody šedých adaptačních opatření (Naumann et al. 2011). Pro odhady nákladů spojených a adaptačními opatřeními v oblasti ochrany ekosystémů a biodiverzity existuje několik studií, souhrnnější vyhodnocení jejich nákladové efektivity však chybí nebo není dostatek dat (Doswald a Osti 2011, Naumann et al. 2011).

Většina odhadů nákladů spojených s realizací adaptačních opatření je založena na nákladových přístupech, tj. vyčíslení nákladů na management a administraci adaptačních opatření, jejich realizaci či vyčíslení nákladů pro ušlé příležitosti. Studie Doswald a Osti (2011) uvádí pět případových studií z různých částí Evropy:

- Náklady spojené s managementem ekosystému a/nebo **obnovení pobřeží ostrova Wallasea** dosahují více než 5 milionů liber (6,6 mil. EUR) na nákup pozemků a fyzickou realizaci díla zhruba ve výši 17,5 milionu liber (23 mil. EUR). Projekt zahrnuje také náklady ušlé příležitosti, jako je ztráta zemědělské půdy v této oblasti, a potenciální negativní dopady na rekreačním jachtingu a ústřice rybolov. Vedlejšími benefity projektu jsou sekvestrace uhlíku v hodnotě 2 mil. EUR v horizontu následujících 50 let (Eftec 2008), náklady ušetřené údržbou stavebně-technických protipovodňových opatření (5,8–11,7 mil. EUR). Výrazná dimenze projektu je také v rovině zaměstnanosti – autoři argumentují, že díky projektu vznikne až 16 nových pracovních míst, a to jednak ve vlastní rezervaci, ale také například v sektoru lovu ústřic.
- V případě projektu **udržitelných odvodňovacích systémů Augustenborg** (Švédsko) dosáhla celková investovaná suma asi 200 milionů švédských korun (23 mil. EUR). Naumann et al. (2011) uvádějí, že vedle regulace vodního režimu a protipovodňové funkce dosáhl projekt implementací přírodě blízkých opatření řady vedlejších benefitů, např. redukci emisí CO_2, zvýšení biodiverzity, obohacení urbánního prostředí. Významnou položkou v analýze nákladů a přínosů pak hraje rovněž zvýšení turistického ruchu. Autoři, nicméně, neuvádějí finanční vyjádření těchto vedlejších přínosů.
- Finanční náklady na **projekt De Doorbraak** v Holandsku dosahují výše přibližně 60,6 milionů EUR. Projekt ochraňuje před povodněmi majetek v hodnotě 30 mil. EUR, v případě opakovaných povodní se tedy jedná z pohledu vynaložených nákladů a přínosů o efektivní projekt. Van der Veen and Kalfagianni (2006) navíc uvádějí, že součet pouze vedlejších benefitů (zvýšení biodiverzity, zvýšení odolnosti ekosystémů a zvýšení rekreační hodnoty) zhodnotí investovanou sumu o 1,7 %.
- V případě **obnovy rašeliniště v Bělorusku** byly náklady na obnovu a údržbu ekosystému odhadnuty na 36,4 tisíc EUR a pravidelnou údržbu 38,18 eur/rok, kromě ostatních investičních a administrativních nákladů. Hlavním přínosem tohoto projektu je sekvestrace a uložení emisí CO_2, a to ve výši 2,9 t CO_2/ha/rok. Vedlejšími benefity projektu jsou regulace mikroklimatu (přínosy pro sousedící zemědělské plochy), ochrana půdy před degradací, regulace vodního

[1] Ekologické pojištění („ecological insurance“) je formulace popisující vztah mezi biologickou rozmanitostí a odolností daného ekosystému vůči externím vzruchům. Čím vyšší je rozmanitost druhů, tím silnější je pomyslná „nárazníková zóna“, která ekosystém brání a zajišťuje jeho stabilitu v případě negativních vnějších vlivů.

režimu, prevence požárů. Dalším přínosem je produkční potenciál ekosystému – každým rokem rašeliniště poskytne maliny, borůvky, houby a ryby v hodnotě 2 300 EUR.

- Náklady ušlé příležitosti z těžby dřeva při **obnově lesa v Krkonoších** byly vyčísleny na 56 EUR/m^3. Benefity projektu nebyly finančně vyjádřeny, jedná se zejména o mitigaci změny klimatu, a to sekvestrací až 9,8 Mt CO_2, zlepšování kvality vzduchu, zlepšování vlastností půdy (deacidifikace) a protierozní funkce. Dále jsou poskytovány kulturní ekosystémové služby. Důležitou roli také hraje zvýšení atraktivnosti z hlediska turistického ruchu – bylo stanoveno, že v souvislosti se sektorem turistického ruchu bude každý rok zaměstnáno na období 7–8 měsíců až 140 zaměstnanců (Naumann et al. 2011).

Příkladem ekosystémových služeb, nebo hodnoty, která se zatím příliš v adaptačních studiích neúčtuje, je pojistná hodnota ekosystémů. Tento rámec navazuje na experimentální výzkum vztahu mezi biologickou rozmanitostí a fungováním ekosystémů, který přináší důkazy, že rozmanitější společenstva mohou mít kapacitu lépe vyrovnávat výkyvy prostředí a proto zajistit stabilnější dodávku ekosystémových služeb v delších časových obdobích. Výběrový experiment byl proveden v **národním parku Hainich v Německu** (Rajmis et al. 2009) s cílem odhadnout ochotu platit pro přizpůsobení se změně klimatu. Adaptační opatření v oblasti změny klimatu se skládala ze zvýšení odolnosti lesů a odolnost vůči škůdcům a bouří. Hodnoty získané pro adaptační opatření byly v průměru na osobu 27,54 EUR za rok pro hmyzí škůdce a bouře a 16,83 EUR/rok pro zvýšení celkové lesní odolnosti vůči zátěžovým faktorům životního prostředí. Přehled vybraných adaptačních opatření, jejich nákladnosti a efektivity je znázorněn v tab. 6.4.1.

Tab. 6.4.2 Přehled adaptačních opatření pro biodiverzitu, jejich nákladnost a efektivita

Klimatický jev	Efekt na sektor	Adaptační opatření	Nákladnost (1–5)	Efektivita (1–5)	Zdroj financí
Vyšší průměrná teplota	Posuny areálu rozšíření druhů a biotopů	Výdaje na management a administraci ZCHÚ	3	5	S
	Změny fungování ekosystémů	Obnova ekosystémů	4	5	S, M
Vyšší průměrná teplota, změna rozložení srážek	Vymírání nebo vymizení biologických druhů a populací	Náklady na udržení populací druhů a jejich obnovu	5	3	S
	Šíření nepůvodních invazních druhů	Náklady na kontrolu nepůvodních invazních druhů	3	4	S, O

6.4.3 Efektivita nákladů na adaptační opatření

V současnosti nejsou dostupné agregované odhady nákladů a přínosů adaptačních opatření pro ekosystémové služby. Případové studie nicméně naznačují, že investice do ochrany ekosystémů a biodiverzity a ekosystémově založená adaptační opatření jsou nákladově efektivní. Například pro studii na území národního parku a biosférické rezervace Šumava byly zjištěny významné přínosy řádově přesahující náklady spojené s ekosystémově založenými adaptačními opatřeními (Harmáčková et al. 2015). Jakékoliv údaje spojené s adaptacemi pro ekosystémové služby a biodiverzitu však nelze v současnosti odhadovat, protože chybí potřebné údaje a analýzy, které by zobecňovaly jednotlivé případové studie a vztahovaly je území celé republiky. Hodnota ekosystémových služeb je v současných účetních systémech zanedbávána, jak ukazuje například studie hodnoty ekosystémových služeb v ČR, kdy roční přínosy z ekosystémových služeb tvoří 1,5násobek HDP ČR (Frélichová et al. 2013).

Odhady z případových studií ukazují, že náklady spojené s adaptačními opatřeními se pohybují obvykle v rozsahu několika jednotek až desítek milionů EUR pro oblasti typu chráněných území či národních parků či srovnatelně velkého území volné krajiny. Studie zaměřené na obnovu ekosystémů obvykle zahrnují celou řadu nákladů, včetně investičních nákladů na obnovu ekosystému, náklady na management a provozní náklady. Zmíněná studie pro Šumavu například odhaduje náklady okolo 22,2 mil. EUR pro období 2006–2050 (Harmáčková et al. 2015), podobně v případě projektu udržitelných

odvodňovacích systémů Augustenborg (Švédsko) dosáhla celková investovaná suma asi 200 milionů švédských korun (23 mil. EUR). Finanční náklady na projekt De Doorbraak v Holandsku dosahují výše přibližně 60,6 milionů EUR. V případě obnovy rašeliniště v Bělorusku byly náklady na obnovu a údržbu ekosystému odhadnuty na 36,4 tisíc EUR (Doswald a Osti 2011). Problémem těchto studií je často nedostatek údajů k celkovým přínosům provedených opatření vzhledem k ekosystémovým službám a biodiverzitě.

6.4.4 Ekonomické hodnocení biodiverzity a ekosystémových služeb v ČR

Koncept ekosystémových služeb (MAE 2005) integruje ekonomický a ekologický přístup k hodnocení biodiverzity (Farber et al. 2002; Schröter et al. 2014). Existuje již velké množství důkazů o klíčovém významu biodiverzity pro zajišťování ekosystémových služeb (Cardinale et al. 2012; Hooper et al. 2012). Vztahy biodiverzity a ekosystémových služeb jsou proto velmi těsné, jak ukázali Harrison et al. (2014) v review jedenácti vybraných ekosystémových služeb. Avšak pro některé ekosystémové služby – například zásobovací služby řízených agroekosystémů – není biodiverzita rozhodujícím klíčovým komponentem (Raymond et al. 2013). Nicméně i v případě zemědělské produkce hraje biodiverzita významnou roli, zejména na úrovni genetické diverzity, protože může mít podpůrný a stabilizační efekt na ekonomickou hodnotu zemědělské produkce (Hajjar et al. 2008). U ekosystémových služeb podmíněných biodiverzitou je obecně uvažováno o pozitivních benefitech pro lidskou společnost (Turner, Daily 2008). Avšak vztah biodiversity a ekosystémových služeb může zahrnovat i negativní dopady na člověka, jak upozornili Sandbrook & Burgess (2015) na příkladech tzv. ecosystem disservices.

Bez ohledu na řadu přetrvávajících znalostních mezer (Laurans et al. 2013) se ekosystémové služby stávají významným politickým nástrojem k ochraně biodiverzity – např. v rámci realizace globálního strategického plánu Konvence o biodiverzitě (Maes et al. 2016). Klíčovým nástrojem pro tvorbu strategií udržitelného rozvoje se nyní stává mapování ekosystémových služeb (Kareiva et al. 2011), protože umožňuje aplikaci ekonometrických metod (Malinga et al. 2015). Ekonomické hodnocení významně zlepšuje celkové povědomí o významu biodiverzity pro člověka (Maes et al. 2012a), přestože zatím ještě nedokážeme ekonomicky ocenit všechny její složky (Reyers et al. 2012).

Zvyšující se frekvence povodní na velkých evropských řekách v kontextu změn klimatu bude zvyšovat zájem o ekosystémové funkce lužních lesů v krajině (Pehlivanov et al. 2014). Tento zájem se již nyní projevuje v realizaci rozsáhlých revitalizačních projektů, týkajících se říčních systémů v údolních nivách (Lechowska 2017). Progresívní rozvoj ekonomických evaluací biodiversity v rámci monetárního oceňování ekosystémových služeb (Vyskot et al. 2016) umožňuje aplikování konceptu plateb za ekosystémové služby (PES[2]) pro ekonomické (monetární) hodnocení biodiverzity v ČR. Seják a kol. (2012) uvádí, že celková peněžní hodnota přírodního kapitálu v České republice odhadovaná metodou oceňování biotopů vzrostla na 740 mld. EUR v roce 2006. V porovnání s HDP České republiky byla hodnota zásob národního přírodního kapitálu biotopů přibližně 5krát vyšší než HDP v roce 2006.

Obdobné přístupy a srovnatelné výsledky přinášejí komparativní studie restauračních projektů cílených na ekosystémy v říčních nivách na základě kontingenční metody (zkoumání teoretické ochoty platit za ekosystémové služby): Např. Kenyon, Nevin (2001) ocenili minimální monetární přínos projektu k obnově lužních lesů v údolí Ettrick (Skotsko) na 450 tisíc liber. Vermaat et al. (2016) zjistili u osmi evropských projektů obnovy lužních lesů monetární hodnotu získaných ekosystémových služeb průměrně 1400 EUR/ha/rok. Monetární ocenění konkrétních typů habitatů na bázi PES tak nemůže přímo naznačovat priority ochrany biodiverzity. Monetarizace hodnoty přírodních biotopů může být spíše užitečným indikátorem konkrétní hodnoty konkrétních ekosystémů, protože monetární hodnota vypočítaná metodou na bázi PES dobře indikuje potenciální ekonomické náklady na obnovu ekosystému v případě jeho ohrožení degradací v kontextu změny klimatu. V roce 2018 byla Ministerstvem životního prostředí certifikována "Metodika tvorby ekosystémových účtů na národní úrovni", která zahrnuje doporučené metody oceňování ekosystémových služeb, které je možno využít při realizací opatření souvisejících se změnou klimatu.

[2] Payment for Ecosystem Services

6.5 ZDRAVÍ A HYGIENA

6.5.1 Ekonomická analýza dopadů změn klimatu

Ekonomická analýza dopadů změny klimatu na zdraví a hygienu v rámci této studie je zaměřena na hodnocení zdravotních efektů. Pro stanovení totální hodnoty těchto dopadů je třeba zohlednit především náklady na zdravotní péči, náklady ušlé příležitosti a náklady záporného užitku (PESETA 2014). Změna klimatu může mít na lidské zdraví nejen negativní, ale i pozitivní vliv. Například mírnější či teplejší zimy mohou přispět k poklesu úmrtí souvisejících s nízkými teplotami. Dále pak i ke snížení počtu onemocněních vyvolaných klasickými znečišťujícími látkami v ovzduší, díky jejich nižším koncentracím v ovzduší způsobeným nižší spotřebou fosilních paliv na vytápění. Oproti tomu zvýšená četnost a intenzita letních tropických dní a vln veder může mít za následek zvýšenou nemocnost. Nejvíce náchylní k tepelným extrémům jsou malé děti, nemocní a starší obyvatelé, kteří v současnosti tvoří velkou část české populace.

Spíše umírají lidé ve velkých městech a také mimo zdravotnická zařízení. To znamená, že umírají senioři, kterým nebyla poskytnuta stejná péče, jako by měli v nemocnici, nebo jim nikdo nepomohl vůbec. Jak tedy vyčíslíme náklady na zdravotní péči, když poskytována není a proto lidé za horkých vln umírají? Možná by stačil i sociální dohled. Pokud by šlo o cenu prevence dopadů, znamenalo by to zabránit onemocnění, které vedlo k úmrtí, to jsou prokazatelně kardiovaskulární a cerebrovaskulární nemocnost a nemoci dýchacích cest.

Chronickou obstrukční chorobou plic trpí skoro 60 milionů lidí a celosvětově její výskyt stoupá. V České republice trpí touto chorobou asi 8 % dospělých. Léčba je nákladná, neboť musí být trvalá a náklady stoupají s pokročilostí chorob.

Náklady související s léčbou dýchacích obtíží dosahují v Evropě více než 100 mld. EUR ročně. Evropská organizace odborníků pro dýchací choroby varuje, že pokud nebudou přijata potřebná opatření, dojde v důsledku změny klimatu k nárůstu nemocnosti, a s tím spojených výdajů. V roce 2006 stály jen léky podávané při pobytu v nemocnici 500 Kč denně, v případě umístění na jednotce intenzivní péče více než tisíc korun za den terapie. Toto onemocnění však není způsobeno změnou klimatu, je však zhoršováno a může být příčinou úmrtí. Lze působit na faktory ostatní, aby se nezhoršovalo tolik (kouření, prašné prostředí, špatné větrání v místnostech apod.)

Budoucí zdravotní dopady změn klimatu lze těžko kvantifikovat a ocenit. Jedná se o průnik klimatických a neklimatických příčin a zároveň působících adaptačních mechanizmů v oblasti zdraví. Na konci 21. století budou dvě třetiny Evropanů vystaveny každý rok nebezpečným situacím spojeným s počasím ve srovnání s 5 % v období 1981–2010. Změna klimatu je dominantní mechanizmus předpokládaných rizikových trendů odpovídajících za 90 % nárůstu rizika pro obyvatele (Forzieri et al. 2017).

Infekční choroby. Dodržováním hygienických zásad při výrobě, transportu a přípravě potravy by nemělo docházet ke zvyšování výskytu alimentárních nákaz. Podobná pravidla platí i pro výrobu pitné vody. Bude přibývat nemocí přenášených členovci, větší šanci budou mít i choroby přenášené tropickými komáry. Poučení obyvatelé používající repelenty a chránící si volnou kůži oděvem, nemusí přinést z lesa klíště a ani je komáři nepoštípají. Avšak monitoring komárů i klíšťat je vhodný, stejně jako očkování proti klíšťové encefalitidě. Osvěta je však stále nezbytná, očkovaný proti klíšťové encefalitidě může onemocnět boreliózou.

Tab. 6.5.1 obsahuje přehled hlavních ekonomických rizik a příležitostí, jejich sílu a pravděpodobnost dopadu.

Tab. 6.5.1 Ekonomické dopady ZK na zdraví a hygienu (Zdroj: Kyselý, 2004; Watkiss et al. 2009; ClimateCost, 2011; Hutton, 2011; Watkiss 2011; UNFCCC, 2018)

Klimatický jev	Efekt na sektor	Ekonomický dopad	Rozsah dopadu (+++ až ---)	Pravděpodobnost (1 nejnižší – 5 nejvyšší)
Vyšší průměrná teplota a	Zhoršování chronických onemocnění u	Vyšší náklady na hospitalizaci a nemocniční léčbu (umocněno stárnoucí	--	5

Klimatický jev	Efekt na sektor	Ekonomický dopad	Rozsah dopadu (+++ až ---)	Pravděpodobnost (1 nejnižší – 5 nejvyšší)
výskyt vln veder	starších populačních skupin a zvýšená hospitalizace	populací a přibývajícím počtem sociálně vyloučených osob).		
	Nárůst nemocnosti a úmrtnosti v souvislosti s vlnami veder u osamělých seniorů ve velkých městech	Vyšší náklady na léčbu, ztráty na životech. Rozšíření sociálních služeb u vulnerabilní skupiny.	--	5
	Vliv na bezpečnost potravin, rychlejší změna kvality potravin díky vyšším teplotám	Vyšší výdaje na kontrolu kvality potravin a na potraviny díky jejich rychlejší ztrátě kvality.	-	4
Mírnější zimy	Pokles nemocnosti a úmrtnosti	Zvýšená nemocnost. Zvýšené náklady na léčbu. Snížení produktivity práce.	+	5
	Snížení nemocnosti a úmrtnosti kvůli sníženým koncentracím znečišťujících látek v ovzduší díky nižší spotřebě fosilních paliv na vytápění	Snížení nákladů na hospitalizaci a nemocniční léčbu. Snížení potenciálních ztrát na životech a produktivitě	+	
Extrémní meteorologické události	Zvýšené riziko nehod a úmrtí způsobených živelnými událostmi	Ztráty na životech. Náklady na léčbu. Snížená produktivita.	-	4/5
	Dopad extrémních událostí na mentální zdraví.	Zvýšené náklady na léčbu. Pracovní neschopnost. Snížená produktivita.	-	3
Celoroční změna klimatických podmínek	Změny v šíření nemocí, zejména nemocí pocházejících z patogenů, vody či potravin	Zvýšení nákladů na zlepšení systému hygienického dohledu. Rostoucí náklady na monitoring perzistentních znečišťujících látek. Rostoucí náklady na monitoring vektorů nemocí včetně tropických a jejich hostitelů. Udržení surveillance včetně laboratorní infrastruktury.	-	3
	Šíření chorob způsobených změnou koncentrací a šíření znečišťujících látek v ovzduší	Zvýšení nemocnosti a úmrtnosti kvůli změněným/zvýšeným koncentracím znečišťujících látek. Zvýšené náklady na léčbu.	-	3
	Zvýšený výskyt nemocí způsobených změnou dostupnosti a kvality pitné vody	Zvýšené náklady na úpravu pitné vody a zásobování pitnou vodou.	-	3
	Zvýšená expozice UV záření díky změně množství	Zvýšená nemocnost a úmrtnost. Zvýšené náklady	-	3

Klimatický jev	Efekt na sektor	Ekonomický dopad	Rozsah dopadu (+++ až ---)	Pravděpodobnost (1 nejnižší – 5 nejvyšší)
	dopadajícího UV záření k zemskému povrchu – vyšší výskyt rakoviny kůže a podobných onemocnění.	na léčbu.		
	Vyšší a změněný výskyt alergických onemocnění díky změně v rozšíření alergenů např. pylů.	Zvýšená nemocnost. Zvýšené náklady na léčbu. Snížení produktivity práce.	-	3
Pesticidy a THM v pitných vodách	Zvýšení incidence nádorů, vrozených vad, chronických nervových onemocnění.	Zlepšení úpravy pitných vod. Vysoké náklady na léčbu a trvalé sociální služby u osob s trvalým postižením.	+	3
Nedostatek pitné vody	Zhoršení hygienických podmínek	Změna využití území, ztráta zaměstnání, migrace.		3

Očekává se, že změna klimatu přinese mnoho potenciálních zdravotních dopadů, jako jsou choroby související se zvýšeným znečištěním ovzduší, zranění či úmrtí způsobených záplavami, úmrtnost související se změnami teplot. Dopady zohledněné v projektu ClimateCost (2011) kupříkladu zahrnovaly úmrtnost související s vysokými teplotami a onemocněním ze stravy. Studie z roku 2017 (Kendrovski et al. 2017) odhaduje, že během 21. století dojde vlivem zvýšených teplot k nárůstu počtu úmrtí ve všech státech Evropy kromě Islandu. Úmrtnost související s teplem byla pro úroveň EU odhadnuta na hodnotu 31 mld. EUR ročně pro horizont 2011–2040, 103 mld. EUR ročně pro období 2041–2070, a 147 mld. EUR ročně pro období 2071–2100. Metoda použitá pro tuto studii byla tzv. Statistická hodnota života (VSL, Value of a Statistical Life), která se v evropském průměru pohybuje okolo 63 tisíc EUR. Druhou metodou, kterou je možno pro tyto účely aplikovat, je tzv. Hodnota ztraceného roku života (VOLY – Value of a Life Year Lost), která v rámci Evropy činí 1,16 milionů EUR.

V rámci projektu PESETA (Watkiss et al. 2009) se očekává, že ekonomické přínosy sníženého počtu úmrtí plynoucích ze zimy budou pravděpodobně vyšší než potenciální dopady spojené s nárůstem úmrtí v důsledku vln veder. Pomocí metody VSL byly náklady na úmrtí spojená s vlnami veder ohodnoceny na 64,9 mld. EUR (2071–2100), kdežto přínosy plynoucí ze sníženého počtu úmrtí spojených se zimou na 112 mld. EUR (2071–2100).

V kontextu chorob plynoucích z potravy (alimentární nákazy) je dnes zřejmě nejvýznamnějším onemocněním salmonela, která je přímo ovlivněná teplotou. Podle projektu ClimateCost (2011) jsou ekonomické náklady na dodatečný výskyt onemocnění z potravy přibližně 36 mld. EUR za rok a postupně budou růst na 68 a 89 milionů EUR ročně pro roky 2050 a 2080. Tyto částky mohou být pomocí efektivní regulace sníženy na 30, 46 a 49 mil. EUR.

Posledním zmiňovaným aspektem je produktivita práce vypočítaná jako pracovní dny ztracené díky vysokým teplotám. V současné době se s tímto problémem potýkají pouze státy v jižní části Evropy. V rámci scénáře RCP4.5 lze však očekávat, že se začnou projevovat i na východě Evropy, kde se očekává nárůst o 0,5 %. Konkrétně v tomto případě lze dopady velmi dobře zmírnit pomocí vhodných adaptačních opatření (ClimateCost 2011).

6.5.2 Ekonomické aspekty adaptačních opatření

Problematika ohrožení obyvatel je velmi široká a především individuální, takže také zahrnuje velkou škálu rozličných adaptačních opatření. Právě díky vysoké diverzitě je nejvhodnější zvolit systematická řešení, jako je např. zvyšování povědomí a informovanosti obyvatel nebo různé programy zdravotní péče, které mohou pomoci předcházet úmrtím a napomoci lidem připravit se na jevy spojené se změnou klimatu. K tomu je však potřeba, aby zdravotnický sektor změnil stávající přístup reakce na dopady změny klimatu na lidské zdraví a začal se chovat proaktivně, zapracoval problematiku spojenou s měnícím se klimatem do svých aktivit a plošně informoval obyvatele o možných rizicích a především způsobech ochrany (Costello et al. 2009).

Adaptační strategie ČR (MŽP 2015) vymezuje v oblasti zdraví a hygieny dvě skupiny opatření s vazbou na nová onemocnění v souvislosti se změnou klimatu:

- opatření ke snížení výskytu až eliminaci infekčních a neinfekčních nemocí (definovat a upřesnit rizikové oblasti, zajistit kvalitní diagnostiku a léčbu),
- opatření týkající se informovanosti (preventivní informovanost a efektivní systém včasného varování).

Jak uvádí Kovats (2009), náklady spojené s adaptací zdravotnického sektoru souvisejí především s budováním nové infrastruktury, vzděláváním nových zdravotnických pracovníků, nárůstem laboratorních a jiných kapacit, s výzkumem ve zdravotnictví, a dodatečnými výdaji na splnění zdravotních a environmentálních standardů. Právě z hlediska nákladnosti se doporučuje orientace především na včasné přijetí vybraných opatření, jelikož jsou většinou levnější, nebo mají lepší poměr nákladů a přínosů (ClimateCost 2011). Mezi tato opatření se nejčastěji řadí tzv. měkká opatření jako např. zvyšování povědomí a informovanosti. Na druhou stranu opatření strukturální, např. investice do vybavení a infrastruktury, mohou výrazně zvýšit náklady.

Podle Světové zdravotnické organizace (WHO Regional Office for Europe 2008) se náklady na realizaci systému včasného varování na vlny veder a spojená opatření pro Evropské země pohybují v rozmezí 200 tisíc až 6 miliónů EUR (234 tisíc až 7 miliónů EUR v cenách roku 2014). Světová zdravotnická organizace (WHO Regional Office for Europe 2013) připravila podrobnou metodiku a manuál k vyhodnocování efektivity jednotlivých adaptačních opatření vzhledem k jejich očekávanému dopadu na zdraví. Tato metodika může být použita v jednotlivých státech a přizpůsobena k vyhodnocení efektivity jednotlivých adaptačních opatření v místních podmínkách. Avšak vzhledem k vývoji dopadů a efektu adaptačních opatření i na ostatní sektory je složité vyčíslit přesné náklady právě a pouze na zdravotnictví (ClimateCost 2011).

Strategie přizpůsobení se změně klimatu v podmínkách ČR stanovuje dvě hlavní skupiny adaptačních opatření, konkrétně opatření ke snížení výskytu až eliminaci infekčních a neinfekčních chorob s důrazem na informovanost a zdravotní péči. Tyto skupiny opatření by měly být doplněny opatřeními spojenými se zlepšováním a modifikováním zdravotního systému a infrastruktury, podporou výzkumu a implementací nových zdravotních intervencí (Kovats 2009). Vhodná adaptační opatření jsou znázorněna v tab. 6.5.2.

Tab. 6.5.2 Přehled adaptačních opatření v oblasti zdraví, jejich nákladnost a efektivita

Klimatický jev	Efekt na sektor	Adaptační opatření	Nákladnost (1–5)	Efektivita (1–5)	Zdroj financí
Vyšší průměrná teplota a výskyt extrémně vysokých teplot (vln veder)	Zhoršování chronických onemocnění u všech populačních skupin a zvýšená hospitalizace.	Založení systému preventivní zdravotní péče a managementu chronických onemocnění. Zintenzivnění sociální péče.	2	3	S
	Nárůst v nemocnosti a úmrtnosti v souvislosti s letními vedry.	Rozvoj systému včasného varování a pohotovostních plánů, sociální péče.	1	3	S, M
	Vliv na bezpečnost potravin – rychlejší změna kvality	Rozvoj zvýšené informovanosti obyvatelstva.	1	2	S, M

Klimatický jev	Efekt na sektor	Adaptační opatření	Nákladnost (1–5)	Efektivita (1–5)	Zdroj financí
	potravin díky vyšším teplotám.				
Mírnější zimy	Pokles nemocnosti a úmrtnosti díky mírnějším zimám.	-	-	-	-
	Snížení nemocnosti a úmrtnosti kvůli sníženým koncentracím znečišťujících látek v ovzduší díky nižší spotřebě na vytápění.	-	-	-	-
Extrémní meteorologické jevy	Zvýšené riziko nehod a úmrtí způsobených extrémními meteorologickými jevy.	Vývoj vědeckých a technických návodů a nástrojů pro podporu rozhodování pro systém včasného varování a krizová dokumentace zahrnující vhodný individuální přístup.	1	4	S
		Výzkum a rozvoj rychlých diagnostických nástrojů pro nemoci pocházející z vody a potravin.	1	3	S
		Vakcinace proti chorobám, jimž může být obyvatelstvo vystaveno.	2	3	S
	Dopad extrémních událostí na mentální zdraví obyvatelstva.	Založení a rozvoj systému následné péče o postižené skupiny obyvatelstva.	1	2	S
Celoroční změna klimatických podmínek	Změny v šíření nemocí, zejména nemocí pocházejících z patogenů, vody či potravin.	Zajistit informovanost klinických a laboratorních odborníků o rizicích vyplývajících ze změn epidemiologické situace v souvislosti s ovlivněním výskytu infekcí změnou klimatu.	2	3	S
		Výzkum a rozvoj rychlých diagnostických nástrojů pro nemoci pocházející z vody a potravin.	2	4	S
		Vakcinace proti chorobám, jimž může být obyvatelstvo vystaveno.	3	4	S
	Změna v šíření chorob způsobených změnou koncentrací a šíření znečišťujících látek v ovzduší.	Rozvoj monitoringu šíření dotčených chorob a následné péče.	1	2	S
	Zvýšený výskyt nemocí způsobených změnou dostupnosti a kvality pitné vody.		1	2	S
	Zvýšená expozice UV záření díky		1	2	S

Klimatický jev	Efekt na sektor	Adaptační opatření	Nákladnost (1–5)	Efektivita (1–5)	Zdroj financí
	změně množství dopadajícího UV záření k zemskému povrchu – vyšší výskyt rakoviny kůže a podobných onemocnění.				
	Vyšší a změněný výskyt alergických onemocnění díky změně v rozšíření alergenů např. pylů.		1	2	S

6.5.3 Efektivita nákladů na adaptační opatření

Většina studií zaměřená na ekonomické hodnocení dopadů změny klimatu na tento sektor se zaměřuje pouze na nemocnost a úmrtnost způsobenou vlnami veder, případně na související chronické choroby a nemoci pocházející z potravin a vody. U druhé zmíněné skupiny je však po metodologické a statistické stránce složité rozlišit, zda je na vině skutečně změna klimatu či jiné vlivy a podmínky.

Z ekonomického hlediska se odhaduje, že náklady spojené s mortalitou plynoucí z vln veder v EU dosáhnou hodnoty 31 mld. EUR za rok pro roky 2011–2040, 103 mld. EUR za období 2041–2070 a 147 mld. EUR pro obrobí 2071–2100 (ClimateCost 2011). Oproti tomu náklady na přijetí relevantních adaptačních opatření, především systému včasného varování, se pohybují v rozmezí 200 000 až 6 000 000 EUR (WHO Regional Office for Europe 2008). Podle studií publikovaných v reakci na vlnu veder, která zasáhla Evropu v roce 2003, jsou přínosy systému včasného varování evidentní. Jak uvádí Carraro a Sgobbi (2008), přínosy tohoto systému v Římě dosahují hodnoty okolo 134 milionů eur za jedno léto. Ve Francii v roce 2006 zase tento systém zachránil přibližně 4400 lidských životů (Fouillet et al. 2008). V souvislosti s těmito publikacemi je potřeba zmínit, že obě byly na základě výsledků z případových studií aplikovány na větší region, což mohlo výsledky do jisté míry zkreslit.

Náklady na realizaci opatření, především systému včasného varování, jsou výrazně nižší než náklady v případě nečinnosti (a to i o několik řádů). Přínosy implementace velmi pravděpodobně převáží náklady na realizaci, což mimo jiné dokazuje i vysokou efektivitu adaptačních opatření v tomto sektoru. Ve studii Hunt et al. (2016) hodnotí ekonomickou efektivnost systémů včasného varování na vlny veder ve vybraných Evropských městech a dochází k závěru, že tyto systémy mají vysoký poměr benefitů k nákladům. K podobnému závěru dochází i Sanderson et al. (2018).

6.6 URBANIZOVANÁ KRAJINA

6.6.1 Ekonomická analýza dopadů změn klimatu

Vlny veder a záplavy tvoří dohromady hlavní rizika plynoucí ze změny klimatu pro urbanizované oblasti v České republice. V některých oblastech se k nim připojují sucha a nedostatek vody.

Díky měnícímu se klimatu lze očekávat nárůst průměrných teplot, což je významný jev především v souvislosti s fenoménem městského tepelného ostrova (Runhaar 2012). Efekt městského tepelného ostrova s sebou přináší rostoucí počet horkých dnů a nocí, umocňuje vlny veder a přímo ovlivňuje dopady na zdraví obyvatelstva a s tím související počet úmrtí (Salcedo et al. 2009). Lze očekávat, že efekt dopadů změny klimatu se bude do budoucna násobit (IPCC 2014), vyústí v rostoucí náklady na topení, ventilaci a klimatizaci a zároveň na technickou infrastrukturu (Rossi et al. 2015) a budovy (Penga a Jim 2015). Podle některých autorů (Kabat et al. 2005) jsou to právě města, která budou díky vysoké koncentraci obyvatel a ekonomických činností pravděpodobně čelit největším ekonomickým dopadům změny klimatu.

Vedle veder a městského tepelného ostrova jsou dalším rizikem plynoucím pro česká města ze změny klimatu **povodně**. Předpokládá se, že extrémní události se budou pravděpodobně opakovat s narůstající frekvencí. Díky tomu budou města, která leží na řekách více náchylná k záplavám.

Stejně tak se očekává, že se budou města do budoucna více potýkat s **nedostatkem vody a suchem**. Analýza hlavních ekonomických rizik a příležitostí, jejich síly a pravděpodobnosti je zobrazena v tabulce (tab. 6.6.1).

Tab. 6.6.1 Ekonomické dopady změny klimatu na urbanizovanou krajinu (Zdroj: Hallegatte et al. 2008; Hutton 2011; EEA 2012a)

Klimatický jev	Efekt na sektor	Ekonomický dopad	Rozsah dopadu (+++ až ---)	Pravděpodobnost (1 nejnižší – 5 nejvyšší)
Vyšší průměrná teplota a vyšší výskyt vln veder	Vznik městského tepelného ostrova	Rostoucí náklady na topení, ventilaci a chlazení. Zvýšené náklady na zajištění technické infrastruktury a budov.	--	5
Extrémní události (povodně, bouře)	Zvýšené frekvence povodní	Náklady související se škodami v rezidenčních a průmyslových oblastech.	---	4
	Zvýšené riziko přívalových povodní	Náklady související se škodami v rezidenčních a průmyslových oblastech.	--	4
Nedostatek vody a sucho	Vyšší risk nedostatku vody	Zvýšení cen vody	--	4

6.6.1.1 Hodnocení dopadů v případě nečinnosti

Rostoucí průměrná roční teplota a efekt **městského tepelného ostrova** budou mít do budoucna pravděpodobně výrazné dopady na životní podmínky ve městech a urbanizovaných oblastech. Vlny veder obecně umocňují nárůst mortality a morbidity spojené s vysokou teplotou. Rostoucí teploty zároveň vyvolávají větší poptávku po větrání a chlazení, které jsou popsány v kapitole o energetice.

V roce 2002 způsobily **povodně** na evropské úrovni škody za 15 mld. EUR (Risk Management Solutions 2003; Genovese 2006). Ne všechny škody jsou snadno vyčíslitelné (Petry 2002), protože vedle věcných škod (přímých i nepřímých), jsou tu škody nehmatatelné, jako např. ztráty na životech (škody přímé nehmatatelné) či ztráty kupní síly (nepřímé nehmatatelné). Během záplav v roce 2002 byly celkové škody v rámci ČR vyčísleny na téměř 4 mld. EUR, z toho 1 mld. v Praze. V návaznosti na

tyto události bylo přijato či upraveno značné množství adaptačních opatření, nicméně v rámci této problematiky existují v ČR ještě významné rezervy.

Nedostatek vody a sucho může mít neblahé dopady nejen na obyvatelstvo, ale také na soukromý sektor (především průmysl, zemědělství) kvůli omezením spotřeby vody.

6.6.2 Ekonomické aspekty adaptačních opatření

Urbanizované oblasti již pociťují potřebu se adaptovat (Carter 2015), především díky faktu, že jsou to centra lidského osídlení a zároveň i citelných dopadů změny klimatu. Města jsou vystavena především vysokým teplotám, které jsou ještě umocněny fenoménem městského tepelného ostrova. Z tohoto důvodu je důležité, aby místní samosprávy začaly konat a přijaly různá adaptační opatření, která mohou zmírnit dopad vln veder na kvalitu života obyvatel a jejich zdraví.

Odolnost měst vůči změně klimatu lze posilovat skrze implementaci vhodných ekosystémově založených opatření do městského plánování a struktur (McPhearson et al. 2014). Ekosystémové služby mohou, skrze zelenou a modrou infrastrukturu, generovat služby na lokální úrovni, jako např. regulace mikroklimatu, zasakování dešťové vody a redukce rizika povodní, čištění vzduchu a odpadních vod, rekreace (Bolund a Hunhammar 1999; Yuminoa 2015). Ekosystémově založená řešení mohou být nejen velmi efektivní, ale zároveň i šetrná k rozpočtu. Jako příklady lze uvést třeba potoky, jezera, nádrže, umělé mokřiny či nádrže na zadržování dešťové vody (Elmqvist at al. 2015).

Ekosystémově založená opatření mohou hrát zásadní roli v adaptaci společnosti na změnu klimatu a podpoře odolnosti (TNC 2009; McPhearson et al. 2014). Mezi zelená opatření adaptace na městský tepelný ostrov patří zelené střechy (Van Mechelena et al. 2015), zelené fasády, městské parky, obnova vodních toků a další. Zelená infrastruktura ve městě podporuje územní plánování (Lafortezza et al. 2013; Wamslera et al. 2014) a může zároveň sloužit k adaptaci na vícero rizik spojených se změnou klimatu. Kromě toho mohou tato prostranství sloužit pro rekreaci, obohacení biodiverzity, čištění vzduchu a zadržování a akumulaci vody (EEA 2012).

Podle Plánu zelené infrastruktury (City of New York 2010), který byl přijat v New Yorku, každý akr plně zarostlý vegetací může poskytnout následující roční přínosy: 8 522 USD (11 180 EUR) díky snížené spotřebě elektřiny, 166 USD (218 EUR) díky snížení emisí CO_2, 1 044 USD (1 370 EUR) v podobě zvýšené kvality ovzduší a 4 725 USD (6 200 EUR) díky zvýšené hodnotě okolních nemovitostí. Podle stejného dokumentu může zelená infrastruktura pomoci odlehčit kanalizaci o zhruba 7,6 milionů m^3 vody do roku 2030, což se také promítne v nákladech na její úpravu.

Zelená infrastruktura může oproti tradičnímu způsobu úpravy vody ušetřit zhruba 1,5 mld. USD, tzn. 2 mld. EUR (Foster et al. 2011). Město Portland investovalo 8 milionů USD (8,14 mil. EUR) do zelené infrastruktury za účelem ušetření 250 milionů USD (225 milionů EUR) na odpovídajících šedých opatřeních. Portland implementoval projekt zelených ulic (Green Street Project), jehož retenční a infiltrační kapacita je zhruba 163 tisíc m^3 ročně. Kromě zasakování a odvodu dešťové vody a zvyšování kvality ovzduší může zelená infrastruktura posloužit i k redukci efektu městského tepelného ostrova. Ostatní studie zaměřené na snižování spotřeby energie dokazují, že zastínění domů stromy z 20 % může ročně ušetřit 8–18 % elektřiny na chlazení a 2–8 % energií na vytápění (Foster et al. 2011). Je potřeba vzít v úvahu, že tyto hodnoty jsou specifické pro každou lokalitu, nicméně dokazují, že zelená a modrá infrastruktura může být velmi účinným způsobem adaptace na změnu klimatu v městském prostředí.

Přestože ekosystémově založené adaptační přístupy se prokázaly jakožto ekonomicky efektivní (Munang 2013), přínosy je potřeba zohlednit z dlouhodobé perspektivy. Například potenciální hodnota zelených střech v Torontu v celoměstském kontextu ušetří jakožto nástroj pro adaptaci na městský tepelný ostrov více než 12,3 milionů USD ročně, tj. 10,4 milionů EUR (Banting et al. 2005). Přírodě blízká opatření mají potenciál pomoci úspěšně adaptovat česká města, nicméně díky jejich rozmanitým charakteristikám je velmi obtížné stanovit celkové ekonomické náklady a přínosy.

Vedle zelené a modré infrastruktury jsou tu ještě opatření šedá a měkká. Šedá opatření jsou taková, která (na rozdíl od zelených) nevyužívají přírodní funkce a vlastnosti ekosystémů, ale jsou především založena na člověkem vynalezených strukturách a konstrukčních řešeních adaptace. Mezi šedou infrastrukturu patří např. konstrukce chladicích systémů, inteligentní design poskytující stín a ventilaci. Mezi měkká opatření patří především zvyšování povědomí obyvatel a jejich podněcování k adaptacím na úrovni domácností či komunit. Jako příklady mohou sloužit např. mapování městského tepelného

ostrova, tvorba akčních plánů, poskytování informací o vhodném chování v průběhu vln veder, především v rámci ohrožených skupin jako jsou starší občané a děti.

Celkové náklady na realizaci adaptačních opatření pro Paříž a region Île-de-France zaměřené především na problematiku vln veder, tepelného ostrova a vodního hospodářství, sestávající z kombinace šedé infrastruktury, měkkých opatření a ekosystémově blízkých řešení, byly vyčísleny ročně na 0,2 % HDP regionu (Hallegatte et al. 2007). Jak však autoři sami uvádí, taková investice by byla potřeba pouze v případě „přestavby" města a úprav drtivé většiny budov, jejich rozložení a infrastruktury, což by bylo relevantní pouze v případě extrémního oteplení. Takový scénář je ovšem v současné době nepravděpodobný, autoři jej uvádějí v horizontu 150 let. V současné době by měla postačit jen opatření o několik řádů levnější.

Adaptační opatření, jejich nákladnost a efektivita jsou popsána v tab. 6.2.2.

Tab. 6.6.2 Přehled adaptačních opatření v oblasti urbanismu, jejich nákladnost a efektivita

Klimatický jev	Efekt na sektor	Adaptační opatření	Nákladnost (1–5)	Efektivita (1–5)	Zdroj financí
Vyšší průměrná teplota a vyšší výskyt vln veder	Vznik městského tepelného ostrova	Opatření k zajištění funkčního a ekologicky stabilního systému sídelní zeleně	2	3	M
		Zelená a modrá infrastruktura	2	4	M
		Vytvoření akčních plánů	1	3	M, S
Extrémní události (povodně, bouře)	Zvýšené frekvence povodní	Modrá infrastruktura	3	3	M
		Management povodňových rizik, plánování	1	3	M, S
	Zvýšené riziko bleskových záplav	Opatření k minimalizaci povrchového odtoku	2	2	M
		Zvyšování podílu ploch s propustným povrchem v sídlech	2	2	M
Nedostatek vody a sucho	Vyšší riziko nedostatku vody	Zvyšování vodní efektivity budov a produktů nakládajících s vodou v domácnostech, komerčních budovách, průmyslu a zemědělství	3	4	M, F, O

6.6.3 Efektivita nákladů na adaptační opatření

Zelená infrastruktura nabízí obecně velmi dobrý poměr přínosů a nákladů. Mimo benefity spojené s adaptací na změnu klimatu také zelená infrastruktura poskytuje mnohé ekosystémové služby (od regulačních po kulturní), díky čemuž je potenciál a celková výše přínosů stále výrazně podhodnocena, a to především z dlouhodobější perspektivy. Tato opatření mohou být samozřejmě kombinována s tradiční šedou infrastrukturou, díky čemuž lze dosáhnout vysoký stupeň ochrany i udržitelnosti, především v případě protipovodňové ochrany.

Na základě výše zmíněných studií lze vypočítat efektivitu daných opatření. Studie z Portlandu dokládá, že náklady na zelená opatření se rovnaly pouhým 3 % hodnoty získaných benefitů. Podle studie z Washingtonu (GSA 2011) se návratnost investice do zelených střech pohybuje kolem 200 % v horizontu 6,5 roku v závislosti na velikosti a typu střechy, a to pouze díky snížení nákladů na zpracování dešťové vody a úsporám energie na chlazení a vytápění. Další přínosy spočívající zejména v ukládání uhlíku, přínosu pro společnost či zvýšení tržní hodnoty nemovitosti, nejsou v analýze přímo zahrnuty, nicméně jsou vyčísleny ročně na zhruba desetinásobek nákladů na údržbu. Pokud bychom uvažovali kalkulace, které uvádí Hallegatte et al. (2007), roční náklady na adaptaci Prahy a Středních Čech na fenomén tepelného ostrova a vln veder by se mohly v případě extrémního nárůstu teplot do budoucna vyšplhat až k hranici tří mld. Kč (ČSÚ 2014). Včasným zapracováním hrozeb plynoucích ze změny klimatu je však možné tyto náklady snížit o několik řádů. Pokud by

adaptace směřovala především cestou zelených střech, náklady na jejich vybudování jsou v porovnání se střechami běžnými vyšší o zhruba 20–25 % (Foster et al. 2011).

Je naprosto nezbytné, aby města zahrnula adaptaci na změnu klimatu do svých strategických dokumentů, ať už do adaptační strategie nebo do územního plánu. Implementace adaptačních opatření posílá odolnost a připravenost měst na změnu klimatu a s ní spojené jevy. Náklady na tato opatření jsou však velmi individuální a specifická pro dané socio-ekonomické, demografické a ekologické podmínky. Obecně lze však s jistotou říci, že zelená infrastruktura je výrazně méně nákladná než šedá a nabízí se jako velmi atraktivní a efektivní alternativa.

6.7 CESTOVNÍ RUCH

6.7.1 Ekonomická analýza dopadů změn klimatu

Změna klimatu ovlivňuje turistický ruch a s ním spojené aktivity. V zimním období se na něm negativně podepisují rostoucí teploty. Jak uvádí Hantel et al. (2000) ve studii zaměřené na alpský region, při nárůstu průměrné teploty o 1 °C se v níže položených oblastech Alp může lyžařská sezóna zkrátit až o 6 týdnů. To se může, spolu s redukcí sněhové pokrývky během zimních měsíců, podepsat velmi negativním způsobem na odvětví zimního turismu a rekreace. Délka a proměnlivost zimní sezóny se může lišit v různých oblastech. Předpokládá se však, že níže položené oblasti jsou více ovlivněny než vysoko ležící střediska (Steiger et al. 2017). Rozsah těchto dopadů bude záviset především na schopnosti turistů se adaptovat a jejich přeorientování na jiné aktivity během zimních měsíců.

Během letních měsíců lze očekávat jak negativní, tak pozitivní dopady. Jak uvádí Hamilton a Tol (2004), turistický ruch v ČR (podle odhadů pro východní Evropu) může být velmi pozitivně ovlivněn teplejším klimatem a vyústit v nárůst v hodnotě až 0,5 % HDP v roce 2050. Prodlužující se turistická sezóna může převážit negativní dopady teplejších zim. Zároveň je pravděpodobné, že samotné prodloužení sezóny by přineslo více ekonomických benefitů než rozšiřování turistické infrastruktury v místech, která mohou být zasažena vlnami veder.

Analýza hlavních ekonomických rizik a příležitostí, jejich síly a pravděpodobnosti je zobrazena v následující tab. 6.7.1.

Tab. 6.7.1 Ekonomické dopady ZK na cestovní ruch (Zdroj: UNWTO/UNEP 2008; Greiving et al. 2011; Füssel et al. 2012; Davoudi et al. 2012; Kovats et al, 2014)

Klimatický jev	Efekt na sektor	Ekonomický dopad	Rozsah dopadu (+++ až ---)	Pravděpodobnost (1 nejnižší – 5 nejvyšší)
Vyšší průměrná teplota	Delší turistická sezóna ve městech (nyní v Praze květen–srpen) i mimo města	Vyšší příjmy plynoucí z delší turistické sezóny a většího počtu přijíždějících turistů.	+	4
Mírnější zimy	Pokles turistického ruchu na horách	Ztráty na zisku díky kratší/mírnější sezóně a menšímu zájmu turistů v lyžařských střediscích.	-	3
		Vyšší náklady na údržbu lyžařské infrastruktury.	-	3
Extrémní meteorologické události	Škody na turistické infrastruktuře ve městech	Rostoucí náklady na údržbu/opravy turistické infrastruktury ve městech.	-	4
	Škody na turistické infrastruktuře mimo města	Rostoucí náklady na údržbu/opravy turistické infrastruktury mimo města.	-	2
	Pokles turistického ruchu	Nižší tržby způsobené menším počtem turistů.	--	3

6.7.1.1 Hodnocení dopadů v případě nečinnosti

Cestovní ruch hraje významnou roli v české ekonomice. V roce 2017 tvořil sektor cestovního ruchu 2,9 % hrubého domácího produktu. Zaměstnával 238,8 tisíce osob, zaměstnanci tvořili 82 % a osoby podnikající v oboru 18 %. Objem výdajů za cestovní ruch dosáhl v roce 2017 celkem 292 mld. Kč. Jedná se o souhrnný ukazatel poptávky všech návštěvníků, kteří trávili svou dovolenou v Česku. Dosáhl takto nejvyšší hodnoty od začátku sledování v roce 2003.

Turistický ruch v České republice je koncentrován především v oblasti hlavního města Prahy. Počet domácích a zahraničních návštěvníků v Praze se neustále zvyšuje. Do Prahy přijelo v roce 2018 téměř 7,9 milionů turistů, tedy o 3 % více než v roce 2017 a o 2,4 mil. Turistů více než v roce 2013. Hosté zde strávili celkem 18,5 milionu nocí. Zahraničních návštěvníků bylo 6 670 000 (Prague City Tourism 2019). Právě z tohoto důvodu mohou mít městský tepelný ostrov a povodně, jak bylo diskutováno v kapitole 4.7, velmi zásadní vliv na vývoj turistického ruchu v Praze. Dle ČSÚ došlo ve třetím kvartálu roku 2002 v důsledku povodní v Praze k poklesu turistického ruchu o 17,5 %, což vyústilo v milionové ztráty. Vzhledem k tomu, že změna klimatu má, podle očekávaného vývoje, přispět k nárůstu četnosti extrémních událostí, lze ji spojit i s negativním vlivem na příjmy z turistického ruchu nejen ve městech, ale i mimo ně. Na druhou stranu lze předpokládat prodloužení turistické sezóny, což naopak povede k navýšení počtu návštěvníků a příjmů.

Takřka ve všech krajích republiky se v roce 2018 meziročně zvýšila návštěvnost z hlediska počtu příjezdů i přenocování. Pouze na Pardubicku došlo k poklesu počtu ubytovaných hostů i nocí o 1, resp. 0,6 % (ČSÚ 2019a).

Návštěvnost se zvyšuje ve všech krajích. Nejvíce se v loňském roce dařilo provozovatelům na jižní Moravě, kde se meziročně zvýšil počet příjezdů o 14,5 %. Jihomoravský kraj se tak stal po Praze druhým nejnavštěvovanějším regionem Česka. Dominance Prahy pokračovala i loni, kdy si hlavní město vybralo pro svůj pobyt 38,3 % ze všech ubytovaných hostů. Domácí hosté více preferovali jižní Moravu (12,7% podíl na příjezdech), poté následovala Praha a na třetím místě se umístily jižní Čechy s podílem 10,4 % (ČSÚ 2018). V případě Libereckého kraje může mít změna klimatu negativní dopad na zimní turistiku a sporty. Teplejší zimy se logicky pojí s nedostatkem sněhu a kvůli tomu i se zvýšenými náklady na provoz a údržbu lyžařských středisek. Kupříkladu na vytvoření 1 m^3 umělého sněhu je třeba 250–500 l vody, což při jeho vrstvě 20–35 cm představuje spotřebu 70–120 l/m^2, tedy 700 000–1 200 000 l na hektar sjezdovky. Útlum zimního turistického ruchu také souvisí s potenciálním růstem nezaměstnanosti v této části sezóny a ekonomickými dopady.

6.7.2 Ekonomické aspekty adaptačních opatření

Změna klimatu bude mít jak negativní, tak pozitivní vliv na cestovní ruch v České republice. Na jednu stranu zvyšující se průměrná teplota prodlouží turistickou sezónu a tím (po odpovídajících investicích do infrastruktury) zvýší i příjmy tohoto odvětví. Na druhou stranu dojde ke zkrácení zimní turistické sezóny a negativnímu dopadu na zimní cestovní ruch v horských oblastech. Je očekávána snižující se průměrná mocnost sněhové pokrývky a úměrně se zvyšující náklady na umělé zasněžování. Je pravděpodobné, že některé tradiční oblasti zimní turistiky (a zejména ty situované pod 1400 m n. m. – pozn. zmiňováno pro oblast Švýcarska) budou trpět nedostatkem přírodního sněhu a poklesem počtu dní se sněhovou pokrývkou, což v důsledku povede ke zvýšení tlaku na výše položené resorty, které budou zároveň v relativní výhodě oproti níže položeným resortům (Whetton et al. 1996; Thrum et al. 2017). Většina sjezdovek v ČR leží ve výšce pod 1400 m n. m. V ČR se očekává posun výšky s trvalou přítomností sněhové pokrývky z cca 600 m n. m v současnosti do 630 m pro období 2021–2050 a až na 845 m pro období 2081–2100. V příštích desetiletích budou ohroženy zejména lyžařská střediska v níže položených horských a podhorských oblastech.

Adaptační strategie ČR (MŽP 2015) poukazuje na nedostatečnou znalostní základnu pro definici specifických adaptačních opatření, navrhuje však široké spektrum obecně definovaných adaptačních opatření, které lze v budoucnu implementovat pro udržitelný rozvoj cestovního ruchu v zemi. Jedná se o:

- opatření v oblasti státní správy (např. vzdělávací a osvětové programy pro zainteresované strany v sektoru cestovního ruchu),
- opatření spotřebitelská (např. stimulace k upřednostňování turistických aktivit a destinací šetrných k životnímu prostředí),
- výzkum a komunikaci (podpora výzkumu dopadů změny klimatu na sektor cestovního ruchu).

Implementace těchto opatření by měla být součástí udržitelných strategií cestovního ruchu (Waligoa et al. 2015), žádoucí je také zahrnutí všech zainteresovaných stran rozvoje cestovního ruchu (Lee 2013). Podpora udržitelných forem cestovního ruchu, jenž bere v potaz klimatické, environmentální, ekonomické a sociální aspekty je důležitá. Udržitelné formy turistického ruchu zvyšují poptávku po „místních“ destinacích dostupných na kole či veřejnou dopravou, aktivních formách cestování, kognitivní poznávání kulturních a přírodních památek atd. Další adaptační opatření se vztahují

k výzkumu dopadů klimatických změn na sektor cestovního ruchu a jeho zpětných dopadů na změnu klimatu.

Sektor cestovního ruchu je náchylný k dopadům extrémních hydrometeorologických jevů. Adaptační opatření vztahující se k těmto rizikům jsou popsána výše, systémy včasného varování mohou významně přispět ke komfortnímu pocitu turistů a měly by být rovněž zohledněny ve strategiích cestovního ruchu. Všechna výše uvedená měkká adaptační opatření jsou považována za nízkonákladová, jejich pozitivní ekonomické důsledky pro sektor cestovního ruchu však mohou být vysoké. Cestovní ruch je charakteristický vysokou adaptivní kapacitou a flexibilitou vůči změnám, což může pozitivně ovlivnit adaptaci na očekávané dopady změny klimatu na tento sektor. V současné době neexistují žádné relevantní studie hodnotící benefity adaptačních opatření v turistickém ruchu, které by byly aplikovatelné na české podmínky. Adaptační opatření, jejich nákladnost a efektivita jsou popsána v následující tab. 6.7.2.

Tab. 6.7.2 Přehled adaptačních opatření v oblasti cestovního ruchu, jejich nákladnost a efektivita

Klimatický jev	Efekt na sektor	Adaptační opatření	Nákladnost (1–5)	Efektivita (1–5)	Zdroj financí
Vyšší průměrná teplota	Delší turistická sezóna ve městech (nyní v Praze květen–srpen) i mimo města	Rozvoj a implementace udržitelných strategií cestovního ruchu, reakce na dlouhodobé sucho	1	2	M
Mírnější zimy	Pokles turistického ruchu na horách v zimní sezóně	Rozvoj a implementace udržitelných strategií cestovního ruchu	1	2	M
		Vzdělávací programy pro zainteresované strany v oblasti cestovního ruchu	1	3	M
Extrémní meteorologické události	Škody na turistické infrastruktuře ve městech	Implementace sektorových adaptačních opatření	3	4	M
		Rozvoj předpovědi extrémních meteorologických jevů a systému včasného varování	1	2	M
	Pokles turistického ruchu	-	-	-	-

6.7.3 Efektivita nákladů na adaptační opatření

Česká republika patří do skupiny zemí, jejichž turistický ruch může být změnou klimatu ovlivněn pozitivně (Ciscar et al. 2010). Lze očekávat, že při zvýšení průměrné roční teploty o 2,5 °C dojde k nárůstu příjmů z turistického ruchu o 2 % a při oteplení o 5,4 °C až o 17 % (Ciscar et al. 2010). Nicméně, změna klimatu bude mít negativní dopad na zimní sporty a resorty. V Evropských horských regionech by se při zvýšení teploty o 2 °C počet přenocování během zimní sezóny mohl snížit o 10,1 miliónu (4 %), což by snížilo zisk zhruba o 780 miliónu eur (Damm et al. 2017). Např. ve Švédsku se odhaduje, že se lyžařská sezóna zkrátí o 64 dní (tj. o 40 %), což vyústí ve škody v hodnotě 946,5 milionů švédských korun, tzn. 118,5 milionů eur (Moen a Fredman 2007). Vzhledem k tomu, že lyžování není klíčovou složkou českého turistického ruchu, lze očekávat spíše lokální dopady, které však budou vyváženy delší letní sezónou.

Hlavním problémem pro cost-benefit analýzu je nedostupnost dat a nedostatek studií zabývajících se adaptačními opatřeními inicializovanými na národní úrovni (MŽP, 2015). Specifická adaptační opatření na lokální úrovni jsou totiž ve většině případů implementována jednotlivými středisky/podnikateli (tzn. soukromými subjekty), přičemž na národní úrovni se jedná spíše o měkká opatření či investiční pobídky. Počasí, respektive klima, je zcela zásadním faktorem určujícím poptávku po turismu a rekreaci. Vzhledem k flexibilitě sektoru (Ciscar et al. 2010), zřejmě není v současné době státem finančně stimulovaná adaptace tohoto sektoru prioritní. Je však potřeba se připravit na případné lokální problémy, které mohou nastat právě v souvislosti s kratší zimní sezónou a nižší profitabilitou lyžařských středisek. Také je vhodné vzít v úvahu měnící se turistické vzorce v Evropě (destinace

a sezónnost), které je možné do jisté míry ovlivnit institucionálními faktory jako jsou např. školní prázdniny (UNWTO/UNEP 2008).

6.8 PRŮMYSL A ENERGETIKA

6.8.1 Ekonomická analýza dopadů změn klimatu

Analýza ekonomických dopadů změn klimatu je komplexní záležitost, do které se promítá vzájemné ovlivňování průmyslu, hlavně energetiky, a měnícího se klimatu. Průmysl je významným antropogenním zdrojem skleníkových plynů přispívajícím ke změně klimatu, ale je také touto změnou ovlivňován, a to jak ve své běžném provozu, tak mimořádnými událostmi. To zahrnuje dvě vzájemně provázané ekonomické roviny, ekonomické dopady již proběhlých nebo očekávaných změn klimatu a ekonomiku prevence prohlubování změny klimatu, tedy ekonomiku přechodu na nízkouhlíkové hospodářství. Vysoká neurčitost analýzy vyplývá z toho, že od míry nákladů na investice vedoucích ke snižování emisí skleníkových plynů a k zavedení cirkulární ekonomiky se odvíjí velikost změny klimatu, a tudíž i jejích dopadů. Tyto dopady však jsou nejen na průmysl a energetiku samotné, ale i na celou společnost a životní prostředí. Investice vložené do transformace průmyslu a energetiky tak přinášejí snížení budoucích nákladů v mnoha segmentech a také finančně obtížně vyčíslitelné přínosy související s ekosystémy a společenskými hodnotami, tedy socioekonomické přínosy. Z tohoto důvodu jsou rozebrány ekonomické aspekty obou základních problémů, tedy ekonomika transformace průmyslu a z něj hlavně energetiky s ohledem na nízkouhlíkové strategické cíle a ekonomika dopadů změny klimatu s ohledem na provoz a mimořádné události. Je však třeba mít stále na paměti, že transformace energetiky a průmyslu celkově a velikost dopadů změny klimatu na jejich chod jsou provázané, investice do průmyslové transformace jsou zároveň investice do prevence katastrof.

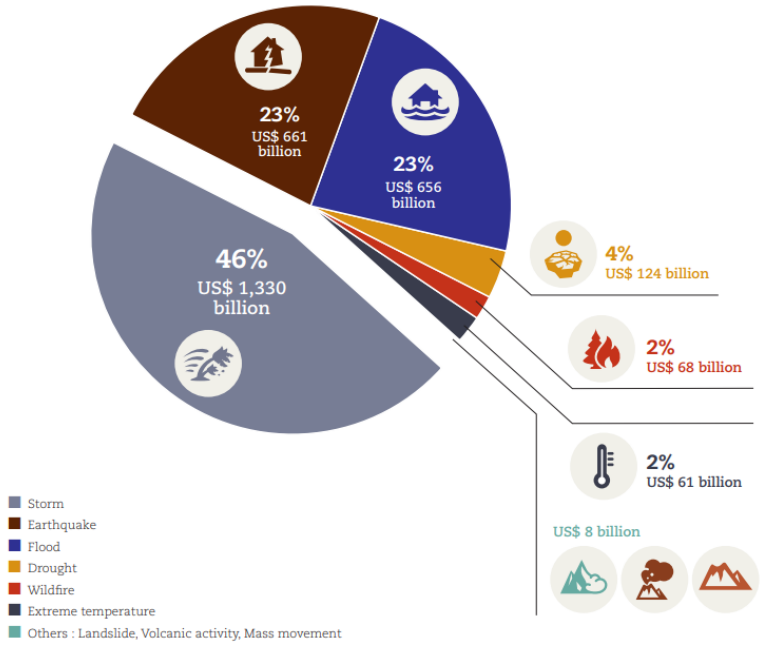
6.8.1.1 Hodnocení ekonomických aspektů transformace průmyslu na nízkouhlíkový

Pro splnění cíle, podle kterého by podíl obnovitelných zdrojů energie (OZE) na hrubé spotřebě energie v Evropské unii měl v roce 2030 činit 32 %, musí Česko zvýšit podíl takzvané zelené energie v tuzemské spotřebě minimálně na 22,5 %. Jde o jeden z nejnižších plánovaných podílů ze všech členských států EU. V roce 2016, za který jsou data k dispozici, činil podíl obnovitelné energie na konečné spotřebě energie v Česku 14,89 %. Do takto vnímané energie z OZE patří kromě elektřiny také teplo, chlad a obnovitelné zdroje v dopravě. Podle zástupců Sdružení pro obnovitelnou energii je reálné podíl OZE v Česku do roku 2030 na vypočtenou výši podílu ve výši minimálně 22,5 % navýšit. To bude vyžadovat velké investiční náklady.

Náročným problémem pro všechny země je, že náklady rostou nelineárně s tím, jak vysokých cílů se má dosáhnout. Abychom se přiblížili cíli vzrůstu teploty jen o 2 °C, sedm zemí G7 by společně potřebovalo zvýšit investice o dalších 60 % (na 45 bilionů USD celkem do roku 2050). Celosvětově se to promítá do výzvy v hodnotě 75 bilionů USD, tedy 2 až 6 % ročních HDP všech zemí na celou transformaci. Pro transformaci německého průmyslu činí odhad 1,1 % ročního HDP.

6.8.1.2 Hodnocení ekonomických dopadů v případě nečinnosti

Hospodářské ztráty způsobené klimatickými katastrofami se za posledních 20 let zvýšily přibližně dvaapůlkrát, jak uvádí Organizace spojených národů. Od roku 1998 do roku 2017 činily přímé ztráty ze všech katastrof celkem 2,9 bilionu USD, z čehož 77 % bylo způsobeno extrémním počasím, které je spojeno i se změnou klimatu. Značná část ztrát je v průmyslu.



Obr. 6.8.1 Ekonomické ztráty podle vybraných příčin v období 1998–2017 (Zdroj: https://www.weforum.org/agenda/2018/10/climate-disasters-cause-global-economic-losses-un/)

V teplejším klimatu budou obyvatelé používat více elektřiny pro klimatizaci a méně zemního plynu, uhlí a dřeva pro vytápění. US EPA uvádí, že pokud se průměrná teplota v USA zvýší o 1 °C, poptávka po energii použité k chlazení vzroste asi o 5–20 %, zatímco poptávka po energii používané k vytápění se má snížit asi o 3–15 %. Čisté výdaje na roční vytápění a chlazení by se mohly zvýšit o 10 %. Vzhledem k tomu, že se očekává zvýšení poptávky po elektřině pro chlazení v důsledku zvýšení teploty a extrémních teplotních událostí, je pravděpodobné, že se rovnováha v dodávkách energie přesune od zemního plynu a teplárenství používaných pro vytápění, k elektřině používané pro klimatizaci.

Poptávka po energiích do budoucna poroste, a to především v letních měsících, kdy bude narůstat chlazení, ale zároveň se bude snižovat v zimě díky mírnějším zimám (Mima et al. 2011). V případě nečinnosti a klimatického scénáře A1B (střední emise) se očekává, že dodatečná spotřeba elektřiny v zemích EU27 vzroste do roku 2050 o přibližně 22 mld. EUR za rok, přičemž celková spotřeba se bude pohybovat okolo 89 mld. EUR za rok (Mima et al. 2011). Nárůst chlazení bude vyžadovat zvýšení investic do nových klimatizačních zařízení, přičemž roční hodnota této investice je v rámci EU27 odhadována na 8 mld. EUR do roku 2050 a na 20 mld. EUR do roku 2100 (Mima et al. 2011). Úspory způsobené sníženou poptávkou po topení lehce převyšují náklady na chlazení (34 a 121 mld. EUR pro roky 2050 a 2100).

Nedostatek vody a zvýšený výskyt sucha může mít neblahý vliv na produkci elektrické energie z vodních elektráren. Podle projektu ClimateCost (2011) lze v Evropě očekávat pokles o 3 % do roku 2050 a o 8 % do roku 2100. Podle ČSÚ (2015b) byla v roce 2013 produkce z obnovitelných zdrojů z největší části reprezentována právě vodními elektrárnami, ale poměrné zastoupení vodních elektráren v mixu obnovitelných zdrojů stále klesá. Vedle negativního vlivu na produkci vodních elektráren díky sníženému průtoku může mít však změna klimatu pozitivní vliv na produkci z fotovoltaických elektráren, které zažily v posledních letech velký rozmach, nicméně pouze za předpokladu většího počtu slunečných ale ne extrémně horkých dnů. Podle US EPA (2015) jsou dopady změny klimatu na větrnou a solární energii stále rozvojovou oblastí výzkumu a tvoří tak výzvu pro modelování změn v oblasti větrného a oblačného pokrytí a jejich vlivu na produkci energie z obnovitelných zdrojů.

Pěstování plodin pro energii z biomasy a biopaliv by mohlo příliš vyčerpávat vodní zdroje v určitých regionech v závislosti na typu plodiny, kde se pěstuje, zemědělské produkci v regionu a současných

postupech nakládání s vodou a živinami. Vzhledem k mnoha faktorům, které se na tom podílejí, je zapotřebí více výzkumu, aby bylo možné pochopit, jak může změna klimatu tyto zdroje ovlivnit. Změna klimatu, především pak vyšší teploty a vlny veder, nárůst četnosti extrémních událostí a pokles srážek v průběhu zimy, mohou vyústit v zásadní problémy pro výrobu a distribuci energií a následně i pro průmyslovou výrobu. Vyšší průměrná teplota a vyšší výskyt vln veder vedou ke zvýšeným nákladům na chlazení v komerčním sektoru, zejména díky prodloužené letní sezoně. Například Rosenthal et al. (1995) uvádí, že při zvýšení teploty o 1 °C dochází k nárůstu chlazení o 20 % u rezidenčních budov a o 15 % u budov komerčních.

Vyšší průměrná teplota může také zvýšit náklady spojené se ztrátami v elektrické síti. Sathaye et al. (2013) uvádí, že vyšší teplota vzduchu může snižovat přenosovou kapacitu o 7–8 %. Zhoršená dostupnost vody má zase negativní vliv na produkci elektřiny jak z fosilních paliv a z jádra (díky nedostatku vody pro chlazení), tak i z obnovitelných zdrojů, především pak z hydroelektráren. Hlavní ekonomické dopady jsou popsány v tab. 6.8.1.

Změna klimatu se může promítnout do možností produkce energie jak negativně, tak i pozitivně. Analýza dopadů klimatické změny na produkci energie pro jednotlivé státy EU je shrnuta v obr. 6.8.2.

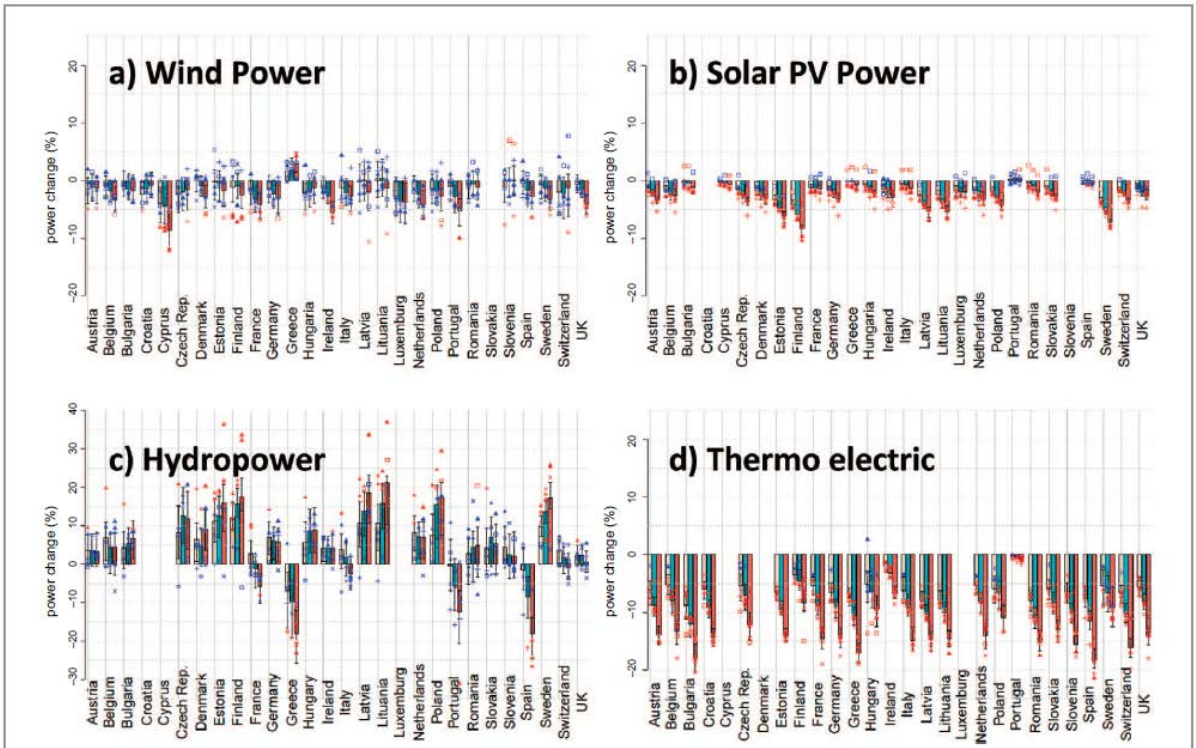


Figure 1. Future changes in national wind power (*a*), solar PV power (*b*), hydropower (*c*) and thermoelectric power (*d*) productions under +1.5 C global warming (grey bars), 2 °C (cyan bars) and 3 °C (salmon bars). Changes are relative to the reference period 1971–2000. Colored bars correspond to the ensemble mean. The black thin error bars represent ensemble-mean confidence intervals (95% level based on the Wilcoxon-Mann-Whitney test). Symbols indicate individual model changes and are red if individually significantly different from 0 at the 95% level (based on the Wilcoxon-Mann-Whitney test) and blue otherwise. The filled triangle symbol is repeated twice as it corresponds to both simulations produced from the same GCM-RCM chain but under different scenarios.

Obr. 6.8.2 Budoucí změny produkce energie podle zdrojů při změně globální teploty +1,5 °C (šedé sloupce), +2 °C (modrozelené sloupce) a +3 °C (oranžové sloupce)

Změna klimatu může znamenat zvýšené riziko pro přenosovou infrastrukturu. Případný výpadek dodávek elektřiny může způsobit velké ztráty průmyslové výrobě. Jediná dostupná studie zaměřená na problematiku vlivů počasí na rozvodnou síť byla provedena v USA a prokázala, že mezi lety 2000 a 2012 došlo k nárůstu četnosti takovýchto událostí, a tedy i ekonomických dopadů s nimi spojených (Zamuda et al. 2013).

Tab. 6.8.1 Ekonomické dopady změny klimatu na průmysl a energetiku (Zdroj: Mima et al. 2011)

Klimatický jev	Efekt na sektor	Ekonomický dopad	Rozsah dopadu (+++ až ---)	Pravděpodobnost (1 nejnižší – 5 nejvyšší)
Vyšší průměrná teplota a vyšší výskyt vln veder	Nárůst teplot a zvýšení poptávky po chlazení	Vyšší náklady na chlazení/klimatizaci v komerčních budovách.	--	4
		Vyšší náklady spojené s kompenzací častějších výpadků dodávek elektřiny.	--	4
		Nižší příjmy z produkce fotovoltaických elektráren.	-	3
		Vyšší spotřeba elektřiny a vyšší tržby za produkci elektřiny.	+	4
	Větší počet bezoblačných dní	Vyšší příjmy z produkce fotovoltaických elektráren.	+	3
Extrémní události (povodně, bouře)	Požáry, vichřice, námraza, sněhové kalamity	Vyšší náklady na opravu rozvodné sítě v důsledku škod způsobených extrémním počasím či požáry.	-	3
	Záplavy	Rostoucí náklady spojené s opravami infrastruktury.	--	4
Nedostatek vody a sucho	Snížený výkon vodních elektráren	Nižší příjmy z produkce hydroelektráren.	-	3
	Snížená dostupnost vody pro chlazení	Rostoucí náklady na produkci elektřiny.	-	4

6.8.2 Ekonomické aspekty adaptačních opatření

Průmysl a energetika jsou jedny z nejpomaleji se adaptujících odvětví, a to kvůli mimořádně vysokým nákladům, časově náročné výstavbě zdrojů a liniových staveb, a tedy i dlouhému implementačnímu období adaptačních opatření. Energetika však představuje důležitý sektor, na jehož fungování je přímo vázána funkčnost dalších sektorů. V této kapitole jsou detailněji popsána opatření zvyšující odolnost zejména v oblasti energetiky.

V Adaptační strategii ČR (MŽP 2015) se adaptační opatření pro energetiku a průmysl zaměřují především na zkvalitňování systémů managementu rizika a rozvoj existujících bezpečnostních opatření. V případě extrémních hydrometeorologických událostí (např. povodně, bouře, vichřice) je zachování základní funkčnosti energetiky (klíčová infrastruktura) prioritní. Další adaptační opatření kladou důraz na zvyšování efektivity využívání vodních zdrojů ve výrobním procesu, efektivní nakládání s odpady a recyklaci.

Adaptační opatření v oblasti výroby elektrické energie cílí na zajištění dostatečného výrobního potenciálu zdrojů elektrické energie a jejich diverzifikaci. Dále jsou zaměřena na diverzifikaci importérů klíčových energetických surovin, které nepokrývají domácí zdroje (ropa a zemní plyn), a vytváření jejich dostatečných rezerv pro případ kolapsu jejich dodávek. Implementace těchto adaptačních opatření je mimořádně náročná z hlediska finančních nároků na realizaci, dalším problémem je dlouhý časový rámec vlastní implementace.

V případě očekávaného nárůstu průměrné teploty vzduchu budou zvýšené nároky kladeny také na přenosovou soustavu (např. zvýšené spotřeba při vlnách horka v důsledku plošného rozmachu klimatizace). Uplatnění tzv. zelených adaptačních opatření (např. zelených střech a zdí) v designu průmyslových budov může efektivně snížit energetické nároky na jejich chlazení a tím i nároky kladené na přenosovou síť (Susorova 2015). Příklad z Los Angeles dokazuje, že zvyšování reflexivity zpevněných povrchů o 10–35 % může snížit teplotu ve městě až o 0,8 °C a tudíž ušetřit zhruba 90 mil.

USD (75,7 mil. EUR) ročně díky nižší spotřebě elektřiny (Foster et al. 2011). Ostatní studie zaměřené na snižování spotřeby energie dokazují, že zastínění domů stromy z 20 % může ročně ušetřit 8–18 % elektřiny na chlazení a 2–8 % energií na vytápění, především díky izolační schopnosti a ochraně proti větru (Foster et al. 2011). V rámci adaptačních opatření však bude třeba nadále systematicky zvyšovat odolnost přenosové sítě a vyvíjet tzv. inteligentní sítě („smart-grids“, Niestena a Alkemadeb 2015), decentralizovat a diverzifikovat produkci elektrické energie. Adaptační opatření, jejich nákladnost a efektivita jsou popsána v tab. 6.8.2.

Tab. 6.8.2 Přehled adaptačních opatření v oblasti průmyslu a energetiky, jejich nákladnost a efektivita

Klimatický jev	Efekt na sektor	Adaptační opatření	Nákladnost (1–5)	Efektivita (1–5)	Zdroj financí
Vyšší průměrná teplota a vyšší výskyt vln veder	Zvýšená poptávka po chlazení	Podpora rozvoje tzv. inteligentních sítí a podpora decentralizace a diverzifikace produkce elektrické energie	3	4	S
		Zajištění dostatečného výrobního potenciálu	4	4	S
		Podpora zelených opatření pro chlazení průmyslových budov	2	2	S, M
Extrémní události (povodně, bouře, vichřice)	Narušení standardního provozu	Adaptace a rozvoj existujících bezpečnostních opatření	1	3	S, M, F
		Rozvoj systémů managementu rizika	1	3	S, M, F
Nedostatek vody a sucho	Snížený výkon vodních elektráren	Systém managementu vod	2	2	S
		Diverzifikace obnovitelných zdrojů energie	3	4	S
	Snížená dostupnost vody pro chlazení	Systém využití dešťové vody a opakovaného využití vody	3	3	S, F

6.8.3 Efektivita nákladů na adaptační opatření

Vyhodnocení nákladů a přínosů změny klimatu a možných adaptačních opatření v průmyslu je nesmírně složité, především vzhledem zásadním mezerám ve výzkumu spojeným s tímto odvětvím (Econadapt 2015). Pro solidní evaluaci očekávaných dopadů změny klimatu a s nimi spojených adaptačních opatření je nezbytné více výzkumných výstupů a případových studií, než je v současné době k dispozici. V rámci Evropy je zatím v centru pozornosti dopad změny klimatu na spotřebu energií než na jejich výrobu (PESETA 2014). Proto také v současnosti chybí detailnější informace nejen o vhodných adaptačních opatřeních, ale také nákladech na jejich realizaci. Průmysl jako takový je velmi pestrým odvětvím, kde hrají zcela zásadní roli soukromé společnosti, což samozřejmě významně snižuje dostupnost dat, a tedy i znemožňuje jejich kvantifikaci. V každém případě, průmysl je velmi silně závislý na dodávkách energií, které jsou poněkud více zkoumány ve vztahu k měnícímu se klimatu. To se na energetice podepisuje negativně především skrze vysoké teploty a vlny veder, a také častějšími extrémními událostmi.

Adaptační opatření, jako např. vývoj chytrých sítí („smart grids“), důraz na decentralizaci produkce elektřiny a podpora zelených opatření pro chlazení rezidenčních a průmyslových prostor, mohou přinést značné benefity, nicméně jejich rozsah zatím nebyl monetárně kvantifikován. Vzhledem k tomu, že energetika je zcela zásadní složkou dobře fungující národní ekonomiky a je nezbytně nutná pro všechny ostatní sektory zmíněné v této studii, investování do vhodných adaptačních opatření bude nevyhnutelnou součástí zajištění bezpečnosti a prosperity státu do budoucna (Lise a van der Laan 2015).

Jedním z důležitých nástrojů zvyšování odolnosti průmyslu (a celé společnosti) je rozvoj pojišťovnictví. G7 přijímá klimatické pojištění jako nástroj adaptace. Uvědomění, že pojištění může klíčovým způsobem přispět k posílení odolnosti, se odrazilo v jednáních o dosažení globální dohody o ochraně klimatu.

Pařížská dohoda z roku 2015 uznává pojistná řešení jako způsob, jak usnadnit přizpůsobení se změně klimatu. Na summitu G7 v Elmau v červnu 2015 se členské státy dohodly na zahájení iniciativy v oblasti klimatického pojištění (InsuResilience), která zdůrazňuje význam koncepcí přenosu finančních rizik.

6.9 DOPRAVA

6.9.1 Ekonomická analýza dopadů změn klimatu

V oblasti dopravy lze očekávat hlavní ekonomické dopady klimatické změny ve formě změny nákladů na údržbu, opravy a zajištění funkčnosti infrastruktury. Konkrétně v tomto sektoru je pravděpodobné, že některé z dopadů budou pozitivního charakteru. Příkladem může být snížení nákladů potřebných k zajišťování sjízdnosti silnic během zimního období. Z nepřímých dopadů budou významné především vlivy na veřejnou dopravu a spolehlivost spojů. Dopady, jejich rozsah a pravděpodobnost jsou popsány, tab. 6.9.1.

Tab. 6.9.1 Ekonomické dopady změny klimatu na dopravu (Zdroj: Koetse & Rietveld, 2009; Schwartz, 2010; PESETA, 2014)

Klimatický jev	Efekt na sektor	Ekonomický dopad	Rozsah dopadu (+++ až ---)	Pravděpodobnost (1 nejnižší – 5 nejvyšší)
Živelné pohromy (zejména povodně)	Poničení infrastruktury	Náklady na opravu	--	5
	Výpadky v dopravě	Náklady na náhradní dopravu, kompenzace, ušlý zisk	--	5
Vysoké letní teploty	Deformace infrastruktury (koleje, silnice)	Náklady na opravy, ušlý zisk díky výpadkům	--	4
	Problémy s fungováním dopravních prostředků	Náklady na opravy, ušlý zisk díky výpadkům	-	4
Nižší srážky, dlouhodobé sucho	Omezení vodní dopravy	Ušlý zisk, náklady na alternativní dopravu	-	4
Mírnější zimy	Snížení potřeby solení	Nižší náklady na údržbu silnic	+	4
	Nižší nároky na odmrazování	Nižší náklady na dopravu.	+	4

6.9.1.1 Hodnocení dopadů v případě nečinnosti

Dopady na dopravní sektor mohou být rozděleny do dvou základních skupin:

- dopady na dopravní infrastrukturu
- dopady na provoz jako takové.

Podle výstupů z projektu Econadapt (2015) lze za největší hrozby pro dopravní infrastrukturu považovat především extrémní srážky a povodně. Kromě těchto jevů mohou být škody způsobené i vysokými teplotami, bouřemi, vichřicemi, a nestálým zimním počasím, kdy se střídá mráz a tání. Tuto skutečnost potvrzuje též Bachner (2016), který uvádí, že v Rakousku v období 2000–2010 měli největší podíl na škodách na silniční dopravní infrastruktuře extrémní srážky a povodně (67 %), ledové jevy a sníh (19 %), bouře (8 %) a vysoké teploty (6 %). V případě železniční dopravní infrastruktury mají povodně a extrémní srážky 95% podíl na škodách.

Stejně jako ve většině předchozích sektorů se i v dopravě dopady odvíjejí od lokálních specifik, která zahrnují geograficko-klimatické faktory a dopravní charakteristiky (např. délka silnic, železnic, jejich vytíženost, počet mostů a jejich délka, charakter veřejné dopravy). Z těchto důvodů je nesmírně obtížné specifikovat dopady na národní úrovni, protože ty budou heterogenní povahy v každém regionu (SCCV 2007). Například náklady na opravy dopravní infrastruktury poškozené působením vysokých teplot jsou v Austrálii vyčísleny na více než 47 milionů euro ročně. Oproti tomu v USA jsou tyto náklady vyčísleny na téměř 15 miliard dolarů ročně. Evropská unie vynakládá na tyto činnosti přibližně 1,8 mld. EUR ročně (Gelete a Gokcekus 2018).

S poničenou infrastrukturou se však pojí náklady na objížďky a náhradní dopravu. Podle Švédské komise pro klima a zranitelnost dosahují tyto náklady zhruba 50 % celkových přímých nákladů spojených s dopady klimatických jevů na silniční dopravu. Nepřímé náklady potom tvoří 5–25 % nákladů, v závislosti na druhu klimatického jevu, který danou situaci způsobil (SCCV, 2007). Stejná studie uvádí, že ve Švédsku se pravděpodobně zvýší v dlouhodobém výhledu náklady na škody způsobené záplavami a erozí o 77–230 % oproti stavu v letech 1994 až 2006. Larsen et al. (2008) předpokládají, že změna klimatu na Aljašce si vyžádá zvýšení nákladů na dopravu o 10–20 % oproti stávajícímu stavu. Podle projektu PESETA (2014) lze v rámci scénáře A1B v EU očekávat zvýšení nákladů na údržbu a opravu silnic o 50–192 milionů EUR ročně. Jako další příklad nepřímých nákladů vzniklých vlivem projevů klimatické změny uvadějí Gelete a Gokcekus (2018) ve své studii náklady spojené se spožděními. Vlivem vysokých teplot v průběhu léta v roce 2003 docházelo ve Spojeném Království k častým spožděním veřejné dopravy. Za celé období tvořila spoždění celkem 130 000 minut a škoda byla vyčíslena na 2,2 milionů liber.

Mírnější zimy pravděpodobně zlevní zimní údržbu silnic a nároky na jejich solení. Při oteplení o 2 °C lze ve střední Evropě očekávat pokles nákladů spojených s údržbou a opravami silnic v zimním období o přibližně 77 milionů EUR za sezónu. Již zmiňované změny v zimních teplotách mohou mít však zároveň špatný vliv na asfaltové povrchy vozovek a je tedy třeba počítat s nárůstem výdajů na jejich opravu v hodnotě zhruba 64 milionů EUR ročně (PESETA, 2014). Zároveň budou mít pozitivní vliv na náklady v letecké dopravě, protože se sníží potřeba odmrazování. Např. v jižním Švédsku poklesne do roku 2050 potřeba odmrazování v letectví o 50–75 % (SCCV, 2007). Teplejší a sušší léta zase ve Spojeném Království pravděpodobně způsobí dodatečné náklady na údržbu silniční sítě ve výši 9–76 milionů liber (7,3–61,7 mil. EUR) v závislosti na scénáři, k čemuž se ještě připojují roční náklady v rozmezí 4,3–33,3 milionů liber (3,5–27 mil. EUR) spojené se zpožděním plynoucím z dodatečné údržby silnic (Atkins, 2013).

V současné době neexistují odhady toho, jakého rozměru dosáhnou dopady změny klimatu na dopravu v České republice bez přijetí vhodných adaptačních opatření. Vzhledem ke specifikům v každé zemi i regionu nelze dost dobře použít data ze zahraničních studií. Přestože dojde pravděpodobně ke snížení nákladů na zimní údržbu silnic, v létě lze očekávat narůst výdajů. Zároveň je potřeba brát v úvahu náklady nepřímo spojené s opravami a údržbou. Právě ty lze výrazně snížit pomocí přijetí vhodných adaptačních opatření.

6.9.2 Ekonomické aspekty adaptačních opatření

Naprosto zásadním bodem adaptace sektoru dopravy je implementace efektivních dopravních řešení, která zajišťují plynulý provoz a flexibilitu dopravy. Tato opatření mohou zároveň přispívat i k adaptaci v jiných sektorech, zejména pokud se jedná o plynulou dopravu ve městech, která může při vlnách veder či městském tepelném ostrově do jisté míry pomoci daný problém zmírnit. Naopak strukturální opatření se nejlépe uplatní při výstavbě dopravní infrastruktury jako takové. Patří mezi ně například použití vhodných materiálů a technologií při výstavbě, zohlednění rizika spojená s měnícím se klimatem v designu infrastruktury a jejím bezprostředním okolí.

Podle Adaptační strategie ČR jsou v rámci dopravního sektoru nejdůležitějšími adaptačními opatřeními dobré plánování a zajištění spolehlivosti a flexibility dopravního sektoru, což souvisí i se schopností zajistit provoz a funkčnost po extrémních projevech počasí. Kromě toho je s měnícím se klimatem potřeba počítat i při budování dopravní infrastruktury, zejména pak v souvislosti s výběrem vhodných řešení pro odvod přívalových vod, odolávání výkyvům teplot aj. S tím také souvisí problematika vhodného zastiňování komunikací vegetací, které může výrazně ulevit extrémně namáhaným materiálům. S extrémními teplotami se také pojí otázka pohodlí pasažérů. Především během vln veder a extrémních mrazů je nezbytné zajistit odpovídající úroveň chlazení či vytápění. Adaptační opatření, jejich nákladnost a efektivita jsou popsána v následující tab. 6.9.2.

Tab. 6.9.2 Přehled adaptačních opatření v dopravě, jejich nákladnost a efektivita

Klimatický jev	Efekt na sektor	Adaptační opatření	Nákladnost (1–5)	Efektivita (1–5)	Zdroj financí
Živelné pohromy (zejména povodně)	Poničení infrastruktury	Zohlednění rizika při výstavbě	3	5	S, M
	Výpadky v dopravě (povrchové i vodní)	Plánování, zajištění plynulé a flexibilní dopravy	2	4	S, M, F
Vysoké letní teploty	Deformace infrastruktury (koleje, silnice)	Zastínění vegetací	2	4	S, M
		Zohlednění při výstavbě (poloha, materiály)	3	4	S, M
	Problémy s fungováním dopravních prostředků	Výběr vhodných dopravních prostředků	4	4	M
Nižší srážky, dlouhodobé sucho	Omezení vodní dopravy	Plánování, rizikový management	2	3	S, F
Mírnější zimy	Snížení potřeby solení	-	-	-	-
	Nižší nároky na odmrazování	-	-	-	-

Vzhledem k tomu, že hlavní přístup k adaptacím v dopravním sektoru bude spočívat v lepším managementu dopravy, především na ohrožených a/nebo vytížených úsecích, otázka ekonomické nákladnosti není v tomto případě úplně na místě. V první řadě je nezbytné celou problematiku náležitě ošetřit formou politik a legislativy. Stejně tak je tomu v případě plánování nové infrastruktury, kde je nezbytné brát v potaz vývoj klimatu a počítat s adaptacemi hned od první fáze projektu. Co se týká opatření strukturálních, ta bude potřeba implementovat nejen v případě nové infrastruktury, ale především v rámci rekonstrukcí a oprav té stávající.

Podle reportu projektu PESETA lze v rámci Evropy počítat s velkým nárůstem nákladů na údržbu mostů, které budou čelit podemílání způsobeným zvýšeným rizikem povodní a vysokých průtoků. Roční náklady jsou odhadovány na 541 mil. EUR pro období 2040–70 a 383 mil. EUR pro období 2070–2100. Celkové adaptační náklady pro silniční síť v Evropě se v rámci scénáře A1B se pohybují v rozmezí 314–560 mil. EUR za rok, což odpovídá 1,2–2,2 % ročních nákladů na údržbu silnic, přičemž je potřeba zdůraznit, že škody, kterým lze pomocí adaptačních opatření předejít, mohou být několikanásobně vyšší. Ještě výraznějších rozdílů pak dosahují potenciální škody na mostech, v případě kolapsu mostní konstrukce mohou škody překročit dvou až deseti násobek hodnoty daného mostu (PESETA 2014).

Výše uvedené též potvrzuje výsledky své studie Bachner (2016). Uvádí, že v případě silniční dopravy jsou odhadovány přímé náklady bez adaptačních opatřní na 47 milionů EUR. Oproti tomu jsou odhadované náklady s provedenými adaptačními opatřeními 46 milionů EUR (poměr přínosů a nákladů je 1,03). Pozitivnější výsledky se očekávají v případě železniční dopravy. Přímé náklady jsou odhadovány na 18 milionů EUR a náklady s provedenými adaptačními opatřeními na 7,5 milonů EUR (poměr přínosů a nákladů je 9,57).

V případě tzv. zelených opatření, která v rámci dopravy spočívají především ve vysazování vegetace za účelem přirozeného zastínění, budou náklady záviset na počtu kilometrů silnic a kolejí identifikovaných jako vhodných k tomuto způsobu adaptace. Při zvažování tohoto konkrétního adaptačního opatření je vhodné vzít v úvahu i fakt, že ochrana infrastruktury nebude jediným benefitem, který může toto opatření poskytnout. Je tedy vhodné do případné kalkulace započítat i ostatní benefity, které však závisejí na konkrétních podmínkách.

6.9.3 Efektivita nákladů na adaptační opatření

V sektoru dopravy se setkáváme jak s negativními, tak i pozitivními dopady změny klimatu na očekávanou budoucí ekonomickou bilanci. Vedle potenciálního nárůstu škod na infrastruktuře způsobené jak živelnými pohromami, tak i vysokými letními teplotami či zimními teplotami kolem nuly (opakované tání a mrznutí), lze očekávat i snížení nákladů na zimní údržbu infrastruktury a cestovních prostředků. Kromě těchto položek je ovšem nezbytné připočítat i náklady na zpožděné spoje,

náhradní dopravu a objížďky, které dohromady tvoří významnou položkou. Vzhledem k tomu, že v rámci České republiky neexistuje dostatek dat a studií k tomu, aby byly přesněji vyhodnoceny náklady a přínosy měnícího se klimatu a adaptačních opatření, je potřeba použít příklady ze zahraničí.

V roce 2017 dosahovaly náklady na údržbu a opravy pozemních komunikací hodnoty 18,99 mld. Kč (MD 2018). Podle metodiky ze studie PESETA (2014) by se tedy roční adaptační náklady v rámci ČR mohly pohybovat v intervalu 228–418 milionů Kč, pravděpodobně však u spodní hranice tohoto rozmezí. Adaptační opatření tvoří 1,2–2,2 % ročních nákladů na údržbu komunikací a spočívají především ve zkvalitňování dopravních systémů a jejich řízení. Preventivní charakter těchto opatření může významně přispět k řešení krizových situací a ušetřit pozdější výdaje.

6.10 MIMOŘÁDNÉ UDÁLOSTI A OCHRANA OBYVATELSTVA A ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ

6.10.1 Ekonomická analýza dopadů změn klimatu

Změna klimatu úzce souvisí se změnou výskytu extrémních hydrometeorologických jevů, jejichž důsledkem může být vznik mimořádné události (krizové situace, katastrofy; např. povodně, bouře, sucha) v čase a prostoru (IPCC 2012; Sauerborn a Ebi 2012). Tyto události mohou zasáhnout rozličné sektory (viz výše) a jsou často spojeny se značnými ekonomickými dopady (např. MunichRE 2015a,b). Ty jsou sektorově zohledněny v předešlých kapitolách. Kromě nich je však potřeba analyzovat také ekonomický tlak změny klimatu na sektor ochrany životů a zdraví obyvatelstva (tab. 6.10.1), tzn. vlastní náklady implementace komplexního rámce managementu rizika (např. rámce Sendai; UNISDR 2015), respektive náklady spojené s aktualizací a rozvojem stávajících rámců, a v konečném důsledku také investice vyplývající z implementace nezbytných adaptačních opatření.

Tab. 6.10.1 Změna klimatu a ekonomický tlak na sektor ochrany životů a zdraví obyvatelstva (Zdroj: What-if analýzy v kapitole 4; UNISDR, 2015)

Klimatický jev	Ovlivněný sektor	Ekonomický tlak na sektor ochrany životů a zdraví obyvatelstva	Rozsah dopadu (+++ až ---)	Pravděpodobnost (1 nejnižší – 5 nejvyšší)
Četnější výskyt dlouhodobě extrémních (zejména vysokých) teplot	1, 2, 4, 5, 6, 8, 9	– zvýšené investice vyplývající z budování a rozvoje institucí zaměřených na management rizika – investice vyplývající z rozvoje PPRR[1] konceptu managementu rizika ochrany životů a zdraví obyvatel – náklady vyplývající z implementace (případně i provozu a údržby) adaptačních opatření	---	5
Změna distribuce srážek v čase a prostoru; sucha a povodně	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9	– zvýšené investice vyplývající z budování a rozvoje institucí zaměřených na management rizika – investice vyplývající z rozvoje PPRR konceptu managementu rizika ochrany životů a zdraví obyvatel – náklady vyplývající z implementace (případně i provozu a údržby) adaptačních opatření	---	4
Četnější ostatní extrémní projevy (bouřky, vichřice ...)	1, 2, 4, 5, 6, 8, 9	– zvýšené investice vyplývající z budování a rozvoje institucí zaměřených na management rizika – investice vyplývající z rozvoje PPRR konceptu managementu rizika ochrany životů a zdraví obyvatel – náklady vyplývající z implementace (případně i provozu a údržby) adaptačních opatření	---	5

Ovlivněné sektory: 1 – Lesní hospodářství; 2 – zemědělství; 3 – vodní režim a vodní hospodářství; 4 – biodiverzita a ekosystémové služby; 5 – zdraví a hygiena; 6 – urbanizovaná krajina; 7 – cestovní ruch; 8 – průmysl a energetika; 9 – doprava.

6.10.1.1 Hodnocení dopadů v případě nečinnosti

Dle celosvětové databáze přírodních katastrof zajišťovny MunichRE (2015a) bylo 92 % významných přírodních katastrof v roce 2014 (n=980) právě hydrometeorologického původu, z hlediska škod byly

[1] Koncept PPRR z anglického „Prevention – Preparedness – Response – Recovery“ (např. CPR, 1979; UNISDR, 2015).

tyto události zodpovědné za 93 % způsobených škod (102 mld. USD, tedy 134 mld. EUR) a 89 % obětí na životech (6 853 obětí). Důkazem vlivu změny klimatu na vývoj počtu hydrometeorologicky podmíněných katastrof za sledované období 1980-2014 je dlouhodobý nárůst jejich počtu, zatímco trend geologickogeomorfologických katastrof (zemětřesení, vulkanická činnost, tsunami) zůstává v celém analyzovaném období víceméně konstantní (MunichRE 2015b). Obdobný trend je pozorován i na evropské úrovni (EEA 2010). Z hlediska škod způsobených hydrometeorologicky podmíněnými katastrofami není tento trend tak zřejmý a celkové škody více kolísají mezi jednotlivými lety v návaznosti na jednotlivé katastrofy, k dlouhodobému nárůstu těchto škod však dochází.

Evropa se do statistiky hydrometeorologických katastrof za období 1980-2014 promítá s 20% zastoupením na celkovém počtu zaznamenaných katastrof, 17% zastoupením obětí (144 500 obětí) a 19% zastoupením škod (561 mld. USD, tzn. 736 mld. EUR), z toho 150 mld. EUR mezi lety 1998 a 2009 (EEA 2010). Nejvyšší škody v období 1998–2009 pak způsobily povodně (52 mld. EUR) a bouře (44 mld. EUR), je také zřejmý rostoucí trend vzniklých škod (např. Barredo 2009) a rovněž poměrně ojedinělé budoucí prognózy předpovídají jejich nárůst, a to až v řádech desítek procent (např. Leckebusch et al. 2007). Podíl pojištěných škod pak v Evropě dosahuje 31,8 %, což je lehce nad světovým průměrem (MunichRE 2015b).

V ČR si povodně od roku 1997 vyžádaly 115 obětí na životech. Povodňové škody v roce 1997 dosáhly 62,2 mld. Kč (3,5 % ročního HDP), v roce 2002 to bylo 75,1 mld. Kč (3,2 % ročního HDP), v roce 2010 dosáhly škody hodnoty 16 mld. Kč (0,4 % ročního HDP) a v roce 2013 činily škody 16,5 mld. Kč (tj. 0,4 % ročního HDP). Co se týká dopadů povodní na jednotlivé sektory, v roce 1997 způsobily povodně následující škody: 20 mld. Kč v průmyslu a obchodu (52,9 % celkových škod), 10 mld. Kč v zemědělství (28,9 %), 5 mld. Kč v dopravě (13,4 %). Povodně z roku 2002 zasáhly z největší části opět průmysl a obchod (oddělená statistika dle typu budov). V ostatních sektorech byly škody rozděleny takto: 2,4 mld. Kč v zemědělství (3,2 % celkových škod), 1,7 mld. Kč na vodních tocích (2,3 %). Dále bylo při těchto povodních složkami integrovaného záchranného systému (IZS) evakuováno 123 200 osob a přímo zachráněno 3 374 osob (Čamrová et al. 2006). Při povodni v červnu 2013 bylo evakuováno 26 000 osob. Celkové náklady na řešení povodňové situace přesáhly 130 mil. Kč (ČHMÚ 2013).

Předpovědět a úspěšně modelovat průběh a výskyt hydrometeorologicky podmíněných mimořádných událostí (krizových situací a katastrof) v čase a prostoru je stále jednou z klíčových vědeckých výzev současnosti. Současný stav poznání neumožňuje katastrofy přesně předpovídat ani zcela eliminovat jejich negativní dopady. Na základě projekce trendů výše uvedených statistických dat a modelových prognóz lze však do budoucna předpokládat zvýšení počtu přírodních katastrof a v případě nečinnosti také nárůst škod způsobený jednak měnící se (zvyšující se) extremitou a časoprostorovou distribucí vlastních rizikových procesů, a také měnícím se socioekonomickým prostředím (tj. zranitelností; např. Cutter a Finch 2008), a to v globálním, regionálním i národním měřítku (podrobněji viz EEA 2010). Zranitelnost v čase a prostoru je považována za dynamičtěji se měnící parametr, než vlastní změna klimatu (Bouwer 2011).

6.10.2 Ekonomické aspekty adaptačních opatření

Cílem adaptace na mimořádné události související s klimatickou změnou je v první řadě ochrana životů a zdraví obyvatel, dále pak ochrana kritické infrastruktury (např. elektrárny, produktovody, komunikační sítě, doprava), ochrana životního prostředí a majetku. Protože ochrana kritické infrastruktury a ochrana majetku je v této studii rozpracována sektorově (viz výše), akcent této kapitoly je kladen zejména na ochranu životů a zdraví obyvatel. Dále není rozlišeno mezi adaptacemi na jednotlivé typy klimaticky podmíněných hrozeb, jelikož existují značné překryvy (např. krizové plány).

Základní kostra rámce managementu rizika má z pohledu nástupu a průběhu mimořádné události v konceptu PPRR (např. CPR 1979; UNISDR 2015) čtyři navazující fáze:

- **prevence** (předcházení mimořádným událostem),
- **připravenost** (znalost průběhu možných katastrof a chování během nich),
- **reakce** (aplikace krizových plánů během vlastní mimořádné události),
- **obnova** (uvedení fungování systému do stavu před mimořádnou událostí / lepšího).

Z pohledu ochrany života a zdraví obyvatel jsou zásadní zejména dvě fáze – připravenost (plošná individuální odpovědnost každého jednotlivého obyvatele) a reakce (předem určený postup v případě mimořádné události, a to podle krizových plánů; nasazení IZS). Z hlediska připravenosti, kromě přijetí

technických opatření, je důležitým krokem informovanost obyvatelstva, uvědomění si potenciálních hrozeb a znalost základních vzorců chování v případě mimořádné události. Připravenost obyvatelstva lze výrazně zvýšit pomocí cílených informačních kampaní a implementací, respektive aktualizací a případným rozšířením existujících vzdělávacích rámců chování při mimořádných událostech (zejména se jedná o vzdělávací rámce základních škol) a pravidelnými preventivními cvičeními (např. nácvik evakuace). Vedle připravenosti, která v první řadě cílí na individuální zodpovědnost každého jednotlivého obyvatele, je pro eliminaci negativních následků probíhající mimořádné události důležitá také řízená cílená a včasná reakce. Mezi adaptační nástroje této kategorie patří zvyšování efektivity fungování krizového řízení na národní a lokální úrovni (investice do infrastruktury a lidských zdrojů), aktualizace stávajících krizových plánů reflektující změny přinášené měnícím se klimatem (v souladu s platnou legislativou, zejména zákonem č. 240/2000 Sb., krizový zákon, a dále systematický rozvoj složek (IZS).

Klíčovým aspektem zhodnocení efektivity finančních prostředků vynaložených na adaptační opatření vůči mimořádným událostem, respektive adaptačních opatření sloužících k ochraně životů a zdraví obyvatel, je, z bioetického hlediska choulostivé stanovení hodnoty lidského života („value of life“; „cost of life“; Horrobin 2006). Existuje řada přístupů, které stanovují hodnotu lidského života pro různé účely (např. pojišťovnictví, zdravotnictví, soudnictví). Výsledná hodnota se značně liší dle přístupu, účelu a zejména pak dle socio-ekonomických poměrů cílové skupiny (Costa a Kahn 2004). Dle review americké agentury pro ochranu životního prostředí (US EPA) byla hodnota lidského života stanovena v rozmezí 0.85–19.8 milionů USD, tedy 720 tisíc – 16,7 milionu EUR (EPA 2010). Jelikož plošná adaptačních opatření, která eliminují ztráty na životech při mimořádných klimaticky podmíněných událostech, jsou cílena na velký počet obyvatel (připravenost), lze tato opatření a jejich efekt, byť obtížně kvantifikovatelný, z ekonomického pohledu (poměru vynaložených nákladů a benefitů) hodnotit jako mimořádně efektivní (tab. 6.10.2) a to zejména pro regionálně „nové“ hrozby související se změnou klimatu (např. vlny veder). Tato opatření se při velkých katastrofách v zahraničí ukázala jako extrémně efektivní s eliminací přímých ztrát na životech, z hlediska vynaložených nákladů (např. Muttarak a Lutz 2014).

Tab. 6.10.2 Přehled adaptačních opatření k ochraně životů a zdraví obyvatel při mimořádných událostech souvisejících se změnou klimatu, jejich relativní nákladnost a efektivita

Fáze rámce managementu rizika	Adaptační opatření	Nákladnost (1–5)	Efektivita (1–5)	Zdroj financí
Připravenost	Informační kampaně	3	4	S, M
	Aktualizace vzdělávacích rámců	2	5	S, M
	Pravidelná preventivní cvičení	2	5	S, M
Reakce	Zvyšování efektivity krizového řízení	4	4	S, M
	Aktualizace krizových plánů	2	4	S, M
	Rozvoj IZS	4	4	S, M

6.10.3 Efektivita nákladů na adaptační opatření

Vzhledem k očekávané zvýšené frekvenci a intenzitě mimořádných událostí souvisejících se změnou klimatu je nezbytné odpovídajícím způsobem navyšovat investice do relevantních adaptačních opatření. Jelikož přesné předpovězení frekvence a intenzity budoucích mimořádných událostí a chování jednotlivých obyvatel ve specifických krizových situacích je problematické, nelze ani přesně odhadnout počet životů, které mohou být zachráněny implementací vhodných adaptačních opatření (zejména tzv. měkkých opatření typu informačních kampaní), ani přesně stanovit nepřímé zisky adaptačních opatření v podobě neinvestovaných financí (např. prostředky ušetřené za nevynaloženou zdravotní péči). Adaptační opatření zacílená na ochranu životů a zdraví obyvatel v případě očekávaných mimořádných událostí však lze jednoznačně považovat za zcela prioritní a jejich implementaci za neodkladnou.

Ekonomické dopady katastrof souvisejících s hydrometeorologickou situací a klimatem (jeho změnou) přesáhly v některých letech 3 % ročního HDP (např. povodňové škody v letech 1997 a 2002, viz výše), tzn. řádově stovky mld. Kč. Pokud by obdobný objem financí vynaložených na nápravu vzniklých škod byl předem vynaložen na podporu a implementaci vhodných adaptačních a mitigačních opatření, škody jednotlivých událostí by byly pravděpodobně podstatně nižší a tím i nákladnost následné obnovy.

Z dlouhodobého hlediska tedy finanční efektivita adaptačních opatření roste v závislosti na počtu a extremitě proběhlých katastrof a krizových situací. S probíhající změnou klimatu je očekávaný nárůst jak počtu, tak extremity mimořádných události (viz výše). Implementace jednotlivých dílčích opatření (zejména strukturálních) vůči konkrétním hrozbám však vyžaduje podrobnou analýzu nákladů a přínosů (cost-benefit analysis-CBA) vzhledem k očekávaným charakteristikám (frekvence, extremita) budoucích hrozeb a zranitelnosti potenciálně zasažených elementů.

Je potřeba zohlednit také vedlejší multisektorové benefity (tzv. co-benefits) implementovaných opatření (např. investice do rozvoje IZS či krizového řízení se dlouhodobě pozitivně promítá do řady dalších sektorů a kvalitativních stránek lidského bytí). Jednotlivě nebo nahodile implementovaná adaptační opatření nemohou mít takový efekt, jako implementace komplexního rámce managementu rizika, např. Rámce ze Sendai pro snižování rizika katastrof (UNISDR 2015), který nahradil rámec Hyogo pro období 2005-2015 (UNISDR 2005). Multisektorový Rámec Sendai pro snižování rizika katastrof stanovuje pro období 2015-2030 čtyři dílčí priority:

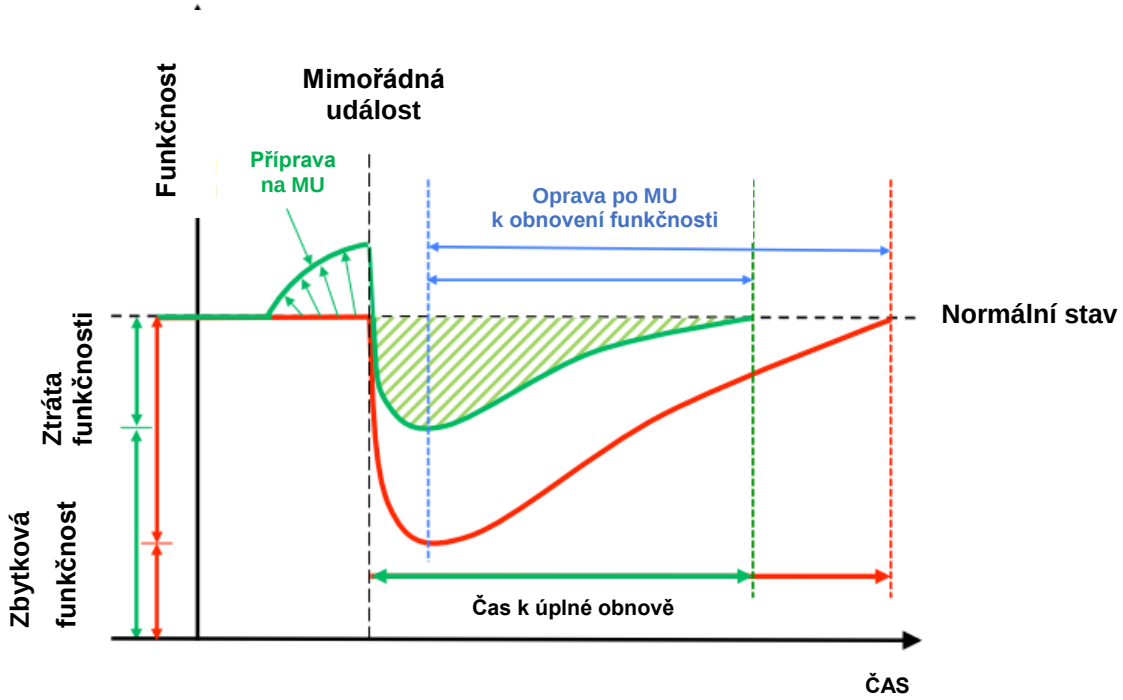
- porozumění riziku katastrof,
- posílení managementu rizika a jeho vedení (governance),
- investování do opatření snižujících riziko (risk reduction) a zvyšujících odolnost,
- posílení konceptu připravenosti, reakce a obnovy (preparedness, response, recovery),

a to jak na národní, tak na lokální úrovni (UNISDR 2015). Implementace a rozvoj komplexního rámce managementu rizika na národní úrovni se všemi dostupnými nástroji (strukturální x nestrukturální opatření) je účinnou metodou ochrany životů a zdraví obyvatel a předcházení (respektive snižování) škod v případě výskytu předpokládaných mimořádných událostí přírodního původu (krizových situací, katastrof) (např. Thieken et al. 2007; Keim 2008; Kelman 2015).

Investice do preventivních opatření jsou mnohem nižší než náklady na řešení mimořádných událostí. Ob. 6.10.1 popisuje poměr nákladů na přípravu na mimořádnou událost versus náklady na obnovu systému poškozeného mimořádnou událostí. Investicemi do preventivních opatření se snižují nejen dopad mimořádné události, ale taky zkracují dobu potřebnou na obnovu systému. Mezi preventivní opatření vůči mimořádným událostem lze zahrnout:

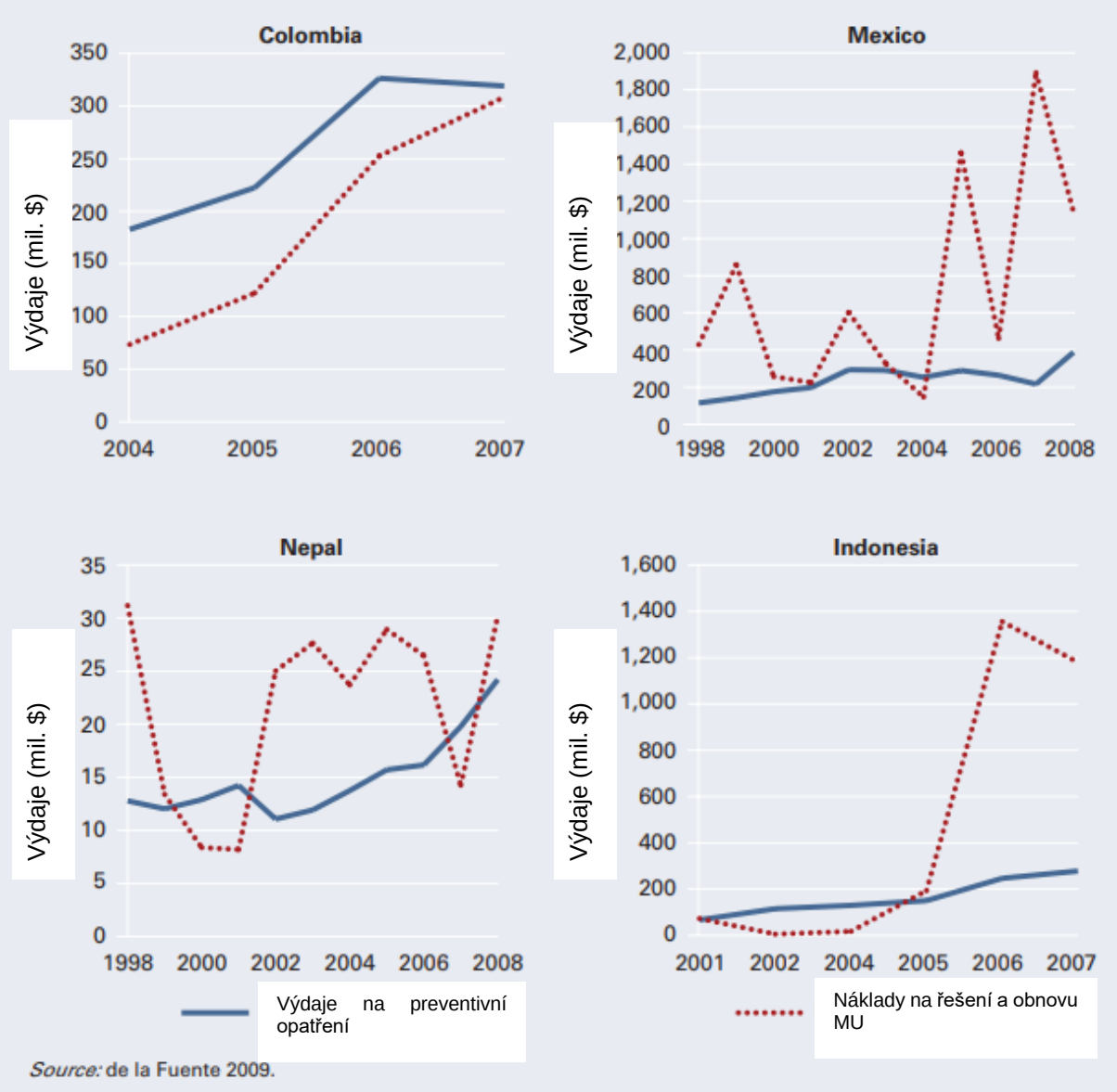
- identifikaci rizik (mapování a analýza rizik),
- snižování rizik (zvyšování odolnosti vůči mimořádným událostem),
- transfer rizik (pojištění),
- přípravu na mimořádné události v podobě systémů včasného varování,
- přípravu veřejnosti na mimořádné události, preventivné vzdělávací činnost a prevenci.

Náklady po mimořádných událostech zahrnují reakci záchranných složek (Search and Rescue operace, aj.), rehabilitaci, obnovu a rekonstrukci (oprava, rekonstrukce budov, obnova obchodu a veřejných budov).



Obr. 6.10.1 Preventivní opatření pro zvyšování odolnosti (Zdroj Bisby 2016)

Na obr. 6.10.2 je možné vidět příklad porovnání vynaložených nákladů na přípravu a preventivní opatření vůči nákladům na řešení mimořádných událostí v Kolumbii, Mexiku, Nepálu a Indonésii (World Bank 2010a)



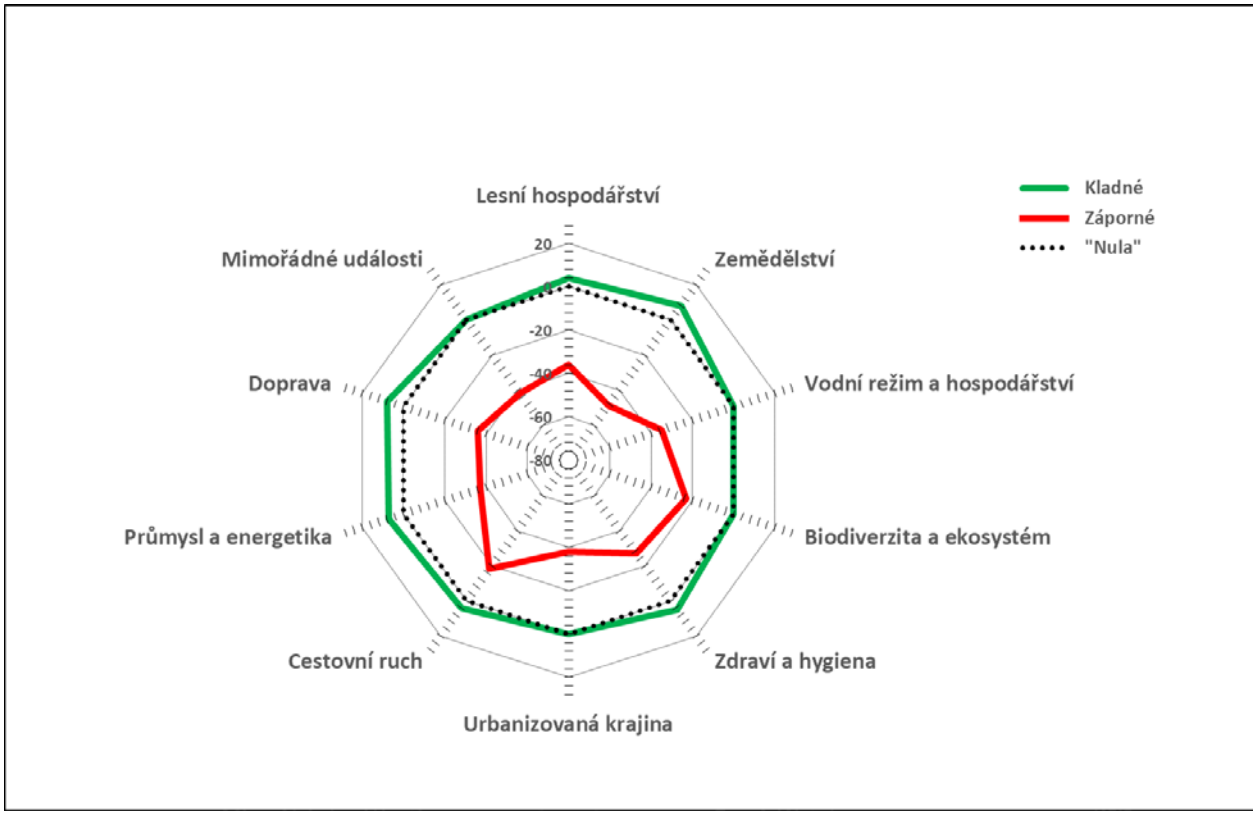
Obr. 6.10.2 Výdaje před a po katastrofách (Zdroj. World Bank 2010a)

6.11 SOUHRN

Dopady změny klimatu a možnosti adptačních opatření nejsou rozloženy stejnoměrně. Navíc tzv primární sektory (zejména vodní hospodářství, dále zemědělství a lesní hospodářství) transformuji dopady na ostatní. Specifické postavení má i sektor bezpečnosti obyvatel s důrazem na riziko krizových situací a jejich prevenci ve všech sektorech. Základní shrnutí a porovnání zjištěných charakteristik jednotlivých sektorů je důležitým indikátorem pro posouzení priorit a strategických rozhodnutí. Souhrnné hodnocení zahrnuje a srovnává všechny sektory podle významnosti dopadů, nákladnosti a efektivity analyzovaných adaptačních opatření. Vzledem k použité metodě hodnocení jednotlivých sektorů na základě jednotného odstupňování v rámci sjedného úseku škály, mají získané výsledky povahu semikvalitativních, ordinálních veličin.

6.11.1 Souhrnná významnost dopadů změny klimatu ve vybraných sektorech ČR

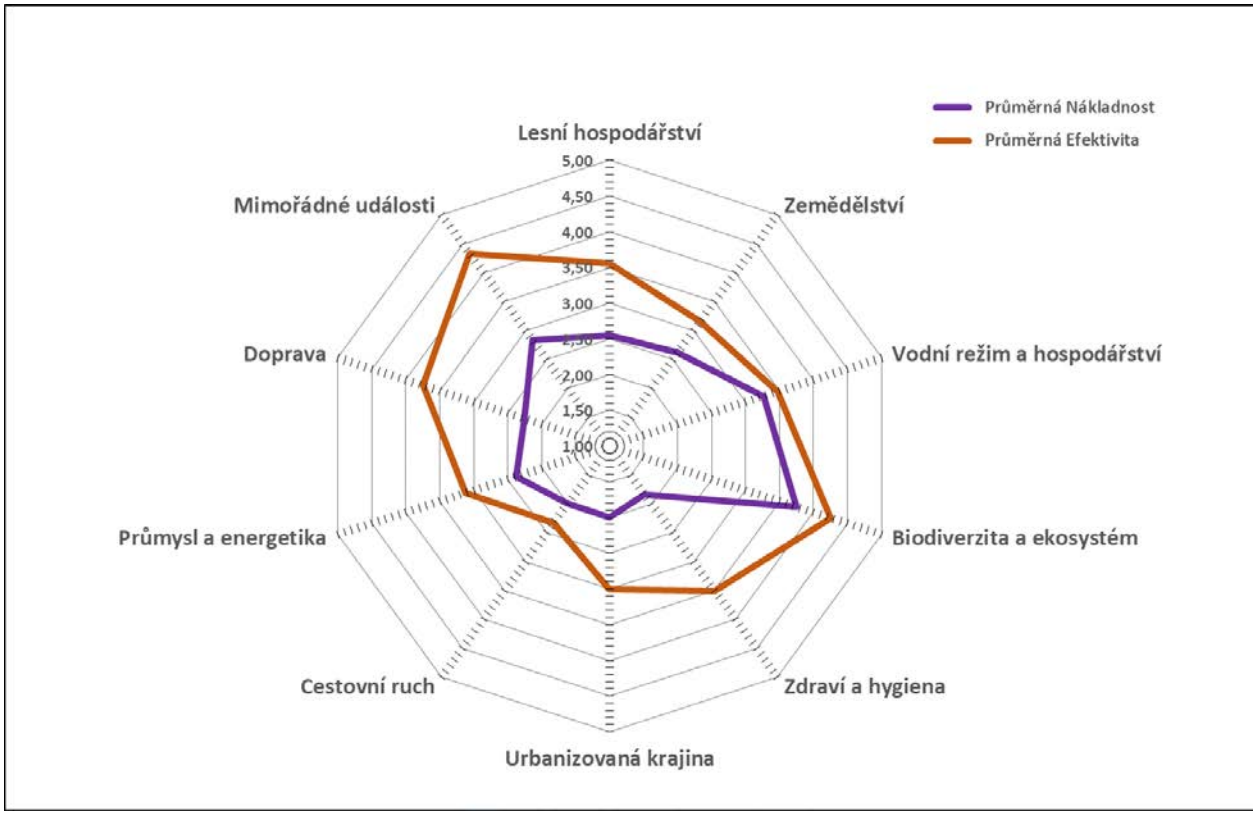
Dopady jsou odvozeny z tabulek jednotlivých sektorů s tím, že výše dopadů je převedana na body (od +3 do −3) a je vynásobena pravděpodobností (ohodnocení rozsahu dopadu a pravděpodobnosti lze interpretovat jako „významnost“. V souladu s analýzou rizik ji lze vyjádřit jako součin rozsahu dopadu a pravděpodobnosti, tzn. VÝZNAMNOST = ROZSAH DOPADU x PRAVDĚPODOBNOST DOPADU). Kladné a záporné dopady mají odlišnou kvalitu a proto jsou uvedeny zvlášť. Jsou vztaženy k „nule“, tedy současnému stavu, Získaný soubor charakteristik kladné a záporné významnosti za jednotlivé sektory je zachycen v grafické podobě na obr. 6.11.1.



Obr. 6.11.1 Charakteristiky významnosti kladných a záporných dopadů pro jednotlivé sektory

6.11.2 Souhrná nákladnost a efektivita adaptací k dopadům změny klimatu ve vybraných sektorech ČR

Za stejných metodických podmínek byly provedeny i souhrny charakteristik nákladnosti a efektivity z průměrných hodnot za jednotlivé sektory a zachyceny v grafické podoběna obr. 6.11.2.



Obr. 6.11.2 Průměrná nákladnost a efektivita adapatačních opatření ke změně klimatu v určených sektorech ČR

6.11.3 Interpretace souhrnného ohodnocenní

6.11.3.1 Významnost

Hodnoty reprezentují bodové ohodnocenní a pozici sektoru na zvolené škále. Nejsou absolutní, určují pořadí. Hodnoty významnosti větší než „0“ indikuji pozitivní příležitosti spojené s klimatickou změnou v jednotlivých sektorech. Lze interpretovat jako případy, kdy si příslušné dopady vynucuji adaptace, u kterých prospěch převýší nároky. Bodova hodnota indikátoru pak ukazuje na souhrnný potenciál. Významnost rovna "0" (tečkované) zachycuje bazickou hodnotu, stav, ke kterému je hodnoceni vztahováno. Uvažujeme-li vývoj dopadu, pak výchozí současnou situaci. Významnost menší než "0" ukazuje na rozsah a pravděpodobnost, ve kterém se dopady změny klimatu odchýlí od stávajícího stavu.

Pozitivni významnost upozornuje na potřebu a naléhavost zabývat se využitím kladných účinků změny klimatu. Negativní na potřebu konkretizovat a zavést adaptační opatření. Významnost indikuje především věcnou oblast a naléhavost řešení. Projevuje se zde i určitá odstupňovanost dopadů (zejména dopady ve vodním režimu a krajině se zpostředkovaně projeví i v dalších sektorech). Významnost koresponduje s rozvojem výzkumných a monitorovacích kapacit v koncepčních materiálech a nástrojích (např. kapitola sucho ve vodním zákoně), zejména ve veřejném sektoru ČR.

6.11.3.2 Nákladnost a efektivita

Narozdíl od významnosti, kde jde o pozitivní a negativní stav téhož indikátoru, nákladnost a efektivita jsou dva samostatné indikátory. Nákladovost v souhrnu ukazuje ekonomickou náročnost opatření v sektoru oproti ostatním, efektivita pak poměřuje dosažený efekt. Indikátory nelze zaměňovat s finančními veličinami např. s finančními náklady v sektoru. Vysoká nákladnost a efektivita zde ukazuje ekonomickou náročnost a pravděpodobnou úspěšnost kompenzace dopadu změny klimatu. V konkrétním případě nebo sektoru zahrnuje jak jednotlivá komplexní opatření tak soubory opakovaných opatření. Použitá metoda hodnocení nerozlišuje dostatečně mezi rozsahem a časovým rozložením adaptačních opatření. Může proto zahrnovat jak rozsahem menší, ale opakovaná opatření tak i opatření, jejichž náklady a efekty jsou rozloženy v dělším čase.

Nákladnost naznačuje, jak dopady klimatické změny a adaptační opatření změní nároky na zdroje v jednotlivých sektorech. Efektivita pak účinnost těchto zdrojů. Opatření (a jejich náklady) se zčásti opět rozloží hierarchicky (např. náklady ve vodním hospodářství a krajině se projeví jako snížení dopadů nebo přínosy v ostatních sektorech).

Ukazatele naznačují, ve kterých sektorech je nezbytné počítat se zvýšenými náklady a rovněž potřebu částí sektorových studií. Opět lze připravenost vztahovat k sektorům podle významnosti, a to na úrovni rozpoznané potřeby analýz, jejich zadání (např. ekonomické analýzy) a finančního ocenění programů, zejména pro veřejný sektor ČR (Vláda ČR 2015, 2017).

7. KRITÉRIA PRO STANOVOVÁNÍ INVESTIČNÍCH PRIORIT V ZÁVISLOSTI NA RIZIKU

7.1 KRITÉRIA PRO STANOVENÍ INVESTIČNÍCH PRIORIT

Stanovení investičních priorit musí v případě navrhovaných opatření vždy uvažovat konkrétní měřítko, časový horizont, účel atd.

Z hlediska měřítka je zřejmé, že investiční priority budou vyhodnoceny odlišně v případě opatření konaných jednotlivce, opatření na území jednotlivé obce, opatření v rámci celého povodí (např. v rámci Plánu pro zvládání povodňového rizika) a opatření na celonárodní úrovni. Podobně výstavba vodní nádrže má zcela odlišný časový horizont realizace ale i dobu působení opatření ve srovnání např. se změnou zemědělského hospodaření na konkrétní lokalitě.

V rámci zpracování Národního akčního plánu (MŽP, 2016) byla navrhovaná typová opatření vyhodnocena pomocí multikriteriální analýzy, která uvažovala:

- Přínos opatření k dlouhodobému řešení dopadů daného projevu změny klimatu
- Vícenásobné adaptační efekty opatření (přínos k řešení dopadů vícero projevů změny klimatu)
- Vedlejší sociální, ekonomické anebo mitigační efekty (pozitivní vlivy na ekonomiku, sociální sféru či z hlediska mitigace změny klimatu)
- Vlivy na životní prostředí a širší ekosystémové služby,
- Finanční nároky na realizaci a provoz

Uvedený postup je systematickým nástrojem pro třídění většího objemu informací – tedy není rozhodovacím mechanizmem pro realizaci investice, ale nástrojem hrubé selekce, který poskytne výsledky pro rozumové vyhodnocení, jež následně provede rozhodovatel (decision-maker).

Při stanovování kritérií pro stanovení investičních priorit, respektive při návrhu investičních priorit, bylo vycházeno z analýzy rizik pro jednotlivé prioritní oblasti, kdy celková míra předpokládaného rizika je na základě expertního zhodnocení přehledně shrnuta v rámci What if analýz za jednotlivé prioritní oblasti, a to na základě vyhodnocení pravděpodobnosti scénáře, závažnosti možných dopadů a zranitelnosti systému. Na základě tohoto hodnocení byla pro jednotlivé oblasti identifikována nejvýznamnější rizika.

Dalším kritériem pro stanovení investičních priorit by měl být rozsah ekonomických dopadů pro řešení jednotlivých rizik, která jsou popsána opět pro jednotlivé prioritní oblasti v rámci části Ekonomická analýza dopadů změny klimatu na jednotlivé sektory a vyčíslení finančních dopadů v případě nečinnosti. Rozsah dopadů je zde hodnocen na škále od velmi negativních (---), středně negativních (--) a mírně negativních (-) přes neutrální (-/+), mírně kladné (+), středně kladné (++) až po velmi kladné dopady (+++). Dalším vstupem pro výběr podporovaných investičních priorit by měl vycházet z odhadu nákladů na realizaci jednotlivých adaptačních opatření a jejich efektivity.

7.2 DOPORUČENÍ PRO VÝBĚR INVESTIČNÍCH PRIORIT

7.2.1 Úvod

Není možné kvantifikovat klimatickou nejistotu nezávisle od toho jaké rozhodnutí má být učiněno a od subjektivního posuzování, které mohou udělat pouze odpovědní lidé s rozhodovacími pravomocemi (IPCC 2012). I proto je v rozhodování o realizaci adaptačních opatření zcela odpovídající využití odborných odhadů v určování nejistot komplexního vývoje (Hallegatte et al. 2012).

Tradiční rozhodovací proces v problematice adaptace na změnu klimatu používá predikci budoucího stavu klimatu a následné vytvoření návrhu opatření dimenzovaných na uvedený budoucí stav. Přijetí takového rozhodnutí lze označit za přístup typu „*agree on assumption*“ (Kalra et al. 2014) neboli shoda na předpokladu, kdy předpokladem je právě výběr scénáře budoucího klimatu a jeho charakteristik, jímž je následně opatření uzpůsobeno. Nevýhodou tohoto způsobu rozhodování je

častý vznik konfliktů mezi různými zájmovými stranami, kdy dochází k rozhodnutím, která na některé z nich mají negativní dopady.

Opačným postupem je zaměření se na robustnost rozhodnutí, kdy je vybíráno takové řešení, které naplňuje cíle (protipovodňová ochrana, udržitelné ekosystémy apod.) v širokém pásu možných variant budoucího vývoje. Světová banka (Kalra et al. 2014) jej označuje za princip *„agree on decision“*, kdy je rozhodnutí utvořeno tak, že je společným postupem expertů, decision makerů a zájmových stran nalezena shoda na vhodných strategiích a řešeních. Takový proces obecně zahrnuje kroky:

1 – navrhovaná možná řešení jsou posouzena z hlediska jejich zranitelnosti vůči proměnným budoucího klimatu,

2 – poté je vyhodnoceno možné spektrum budoucích variant vývoje klimatu a jeho proměnných,

3 – následně je vyhodnocena účinnost/funkčnost navrhovaných opatření v celém souboru možné budoucnosti,

4 – je vybráno opatření, které se osvědčilo jako robustní (generuje nejméně nepříznivých výstupů) v rámci celého spektra možného budoucího vývoje.

Obecně lze při tomto postupu identifikovat jako vhodné strategie typu:

- „no-regret“, kde je přínos i v podmínkách současného stavu bez ohledu na změnu klimatu (např. zlepšení čištění odpadních vod),
- „flexibilní a zvratitelné“, která nehodnotí jen okamžité přínosy ale možnou změnu strategie v budoucnosti v závislosti na změně vývoje (např. rozhodnutí o výstavbě v lokalitě, která by se potenciálně mohla stát povodněmi ohroženou je nezvrtané, zatímco při rozhodnutí výstavbu nerealizovat, lze v budoucnosti bez dalších nákladů výstavbu povolit),
- „na straně bezpečnosti“, kdy se snižuje zranitelnost prostřednictvím opatření s nulovým či zanedbatelným finančním nákladem (při rekonstrukci kanalizace je vhodné již při návrhu použít větší průměr stokových sítí, která vyhoví „všem“ možným budoucím scénářům, zatímco budoucí přestavba by byla finančně extrémně náročná),
- „zkrácení časového horizontu opatření“ (volba opatření s kratší životností a rychlejší obměnou).

Změny světa a společnosti se zrychlují, roste nejistota budoucího vývoje, objevují se velké výzvy a pravděpodobné přelomy. Roste tak nutnost zlepšit naši schopnost se jim přizpůsobit. Taleb (2012) si všiml, že existují systémy, které prospívají v důsledku disturbancí, rostou a zesilují tak, jak jsou vystavovány nejistotě. Jde o koncept, který přesahuje samotnou odolnost a je vlastně opakem „křehkosti“ – fragility, proto ji nazývá antifragilitou. Pravidla pro vybudování antifragilního systému velmi dobře popisují vhodné charakteristiky adaptačních opatření z hlediska jejich efektivity a udržitelnosti:

- Používání jednoduchých pravidel. Komplexní systémy není možné dokonale popsat a je proto efektivnější používání jednoduchých pravidel pro jejich řízení, neboť složitá pravidla nemohou dostatečně zohlednit komplexnost vazeb a mohou tedy neplánovaně působit negativně v jiných částech systému. Ve světě se prokazuje, že řada adaptačních opatření následuje tzv. *indigenous knowledge* (znalosti předků – „selský rozum“), která je často formulována právě jednoduchými pravidly.

- Budování vícevrstevných systémů. Selže-li jedna vrstva, zachycuje dopady jiná vrstva systému. Příkladem vícevrstevného systému je kombinace krajině blízkých opatření, budov hospodařících se šedou a srážkovou vodou, smart-technologie řízení vodovodních sítí, vodní nádrže, jejichž cílem je zajistit dostupnost vody pro různé potřeby lidské společnosti. Budování redundantních a naddimenzovaných řešení. Zdvojení, záloha je cestou k omezení rizika celkového selhání.

- Decentralizace ve smyslu vytváření řešení s prvky *single point of failure* – tedy s body, jejichž případné selhání paralyzuje celý systém.

- Preference praktických řešení před teoretickými.

- Učení se z malých chyb a disturbancí. Zamezením dopadů malých událostí ztrácí systém možnost se učit ve směru ke zvládání větších narušení.

- Každý kdo (se) rozhoduje, musí být zainteresován na dopadech. Taleb (2012, 2017) používá obrat „*skin in the game*“. Přitom rozhodováním se nemyslí jen na úrovni státní správy, samosprávy a jiných orgánů, ale i na úrovni jednotlivců a jejich chování (např. spotřeba vody, způsob hospodaření na půdě apod.

7.2.2 Lesní hospodářství

Tab. 7.2.1 Lesní hospodářství – doporučení pro výběr investičních priorit

Hlavní identifikovaná rizika	Ekonomické dopady rizika	Doporučení pro výběr investičních priorit
Nevhodné podmínky pro pěstování smrkových porostů především v nižších LVS a jejich chřadnutí z důvodu zvýšení teplot, častějším a delším obdobím sucha a lepším podmínkám pro šíření škůdců. Překročení kritických zátěží a další zhoršení zdravotního stavu lesních porostů (zejména jehličnatých) s negativními ekonomickými dopady.	středně negativní	Změna druhové a prostorové skladby směřující ke zvýšení stability a odolnosti lesních porostů. – Cílená postupná redukce stanovištně nevhodných dřevin (především smrk) v nižších polohách. Předčasné smýcení stanovištně nevyhovujících porostů jehličnanů a náhrad těchto porostů směsí s širší ekologickou valencí. – Cílené pěstování druhů vhodných pro budoucí podmínky uváděné v klimatických scénářích. – Vytváření smíšených porostů více odolné ke změnám klimatu. Opatření ke snížení vstupu dusíku a dalších okyselujících látek do lesních ekosystémů. Zajištění výzkumu v oblasti vlivu přízemního ozonu na lesní ekosystém, problematice lesních škůdců apod. Omezení nadměrného odebírání živin z lesních půd: – ponechávání těžebních zbytků v porostech, odkorňování hroubí v porostech, zákaz pálení klestu, ponechávání určitého podílu dříví k zetlení
Díky snížení množství srážek, delším obdobím sucha a zvyšujícím se teplotám, zejména v letním období, zvýšená četnost lesních požárů s nárůstem jejich negativních dopadů na lesní porosty.	středně negativní	Minimalizace technického odvodnění lesních pozemků a opatření k lepšímu zadržení vody v lesních porostech. – Realizace opatření pro zadržení vody v krajině, obnova mokřadů, výstavba malých vodních nádrží, poldrů apod.). – Tvorba bezodtokých nebo regulovaných tůní či drobných nádrží a opatření směřující k přirozené morfologii vodních toků.

Mezi hlavní rizikové projevy klimatické změny pro lesní hospodářství patří zvýšené průměrné teploty (zejména v jarním a letním období), výraznější pokles srážek v letním období a související zvýšená frekvence období sucha a prodlužování jeho délky. Uvedené projevy změn klimatu v kombinaci s dalšími abiotickými a biotickými faktory budou v případě zachování stávajícího systému lesního hospodaření způsobovat chřadnutí (především smrkových) lesních porostů. S uvedenými riziky souvisí i nárůst četnosti a intenzity lesních požárů. Obojí bude negativně ovlivňovat ekonomiku lesního hospodářství.

Jako základní dlouhodobý cíl, ke kterému by měla směřovat hlavní opatření, je proto postupná změna druhové a prostorové skladby směřující ke zvýšení stability a odolnosti lesních porostů. Především se jedná o náhradu jehličnatých porostů porosty s širší ekologickou valencí, které budou lépe adaptovatelné na předpokládané budoucí výkyvy klimatu.

7.2.3 Zemědělství

Tab. 7.2.2 Zemědělství – doporučení pro výběr investičních priorit

<table>
<tr><th>Hlavní identifikovaná rizika</th><th>Ekonomické dopady rizika</th><th>Doporučení pro výběr investičních priorit</th></tr>
<tr><td>Prohloubení deficitu vodní bilance a četnější a intenzívnější epizody sucha. V případě potřeby závlahové vody vznik rizika její nedostupnosti.</td><td>velmi negativní</td><td rowspan="9">Komplexní pozemkové úpravy.

Realizace protierozních a protipovodňových opatření v krajině s cílem předcházet půdní erozi (vodní a větrné) a povodním.

Podpora zadržování vody v krajině a podpora infrastruktury pro zavlažování
– optimalizace zavlažovacích systémů, jejich údržba, obnova a rozšiřování,
– obnova a budování mokřadů a malých, vodních nádrží s cílem zpomalení odtoku z krajiny i s ohledem na dostupnost vody pro závlahy,
– revitalizace vodních toků.

Opatření ke snížení spotřeby vody, podpora suchomilných plodin.

Zatravňování, zalesňování a zakládání prvků mimolesní zeleně na zranitelné lokality. V údolních nivách podpora zatravňování, obnovy lužních lesů (zejm. na podmáčené půdě podél vodních toků). Zaměření na udržitelné nakládání s přírodními zdroji.

Změny načasování agronomických aktivit.

Diverzifikace zemědělské činnosti:
– ekologické zemědělství,
– agroturistika,
– energetická produkce.

Podpora zemědělského výzkumu, vzdělávání a ochrana agrobiodiverzity:
– systém pěstování zemědělských plodin a výběru vhodných odrůd a plemen odolávajících předpokládaným dopadům změny klimatu,
– šlechtění nových a revitalizaci starých odrůd a kultivarů kulturních rostlin i plemen hospodářských zvířat, s dobrou odolností proti škodlivým činitelům, suchu, vlnám vysokých teplot vzduchu, půdní erozi atd.,
– změny pěstebních postupů,
– implementace a podpora nových technologií,
– vzdělávání zemědělců.</td></tr>
<tr><td>Díky vyššímu stresu suchem propady výnosů zemědělských plodin, především v nížinách. Nárůst potřeby závlahové vody pro eliminaci výnosových ztrát.</td></tr>
<tr><td>Riziko vážného poškození obilnin v citlivých fázích růstu, riziko stresu vysokými teplotami u plodin s dobou vegetace během letních měsíců (pícniny, kukuřice, řepa...).</td><td>velmi negativní</td></tr>
<tr><td>Výrazné snížení rozlohy oblastí odpovídajících agroklimatickými podmínkami obilnářsko-bramborářské a pícnínářské výrobní oblasti.</td><td>neutrální až mírně negativní</td></tr>
<tr><td>Riziko větrné eroze během zpracování půdy zejména v suchých oblastech.</td><td rowspan="4">středně negativní</td></tr>
<tr><td>Narůstající riziko odnosu půdy na svažitých pozemcích bez patřičných protierozních opatření.</td></tr>
<tr><td>Poškození porostů na orné půdě v důsledku přívalových dešťů a krupobití a zaplavení pozemků.</td></tr>
<tr><td>Rizika šíření škůdců.</td></tr>
</table>

Dopady měnícího se klimatu v sektoru zemědělství jsou spojena především se zvyšující se teplotou a změnou rozložení srážek v průběhu roku. Především nižší oblasti budou stále častěji ohrožené epizodami zemědělského sucha, což negativně ovlivňuje kvalitu výnosů. Souvisejícím dopadem je dřívější začátek vegetační sezóny s rizikem poškození jarními mrazíky. Dalším významným rizikem je úbytek vody z důvodu teplejších zim a nižšího množství srážek, a to jak v podzemních, tak i povrchových vodách. Očekává se také změna ve variabilitě srážek, kdy ubývá především v jarním a letním období počet srážkových dnů, zatímco se zvyšuje intenzita jednotlivých srážek. Pěstování

plodin v nižších nadmořských výškách bude výrazně ohroženo především na vysýchavých a lehkých půdách. Také se předpokládá zvýšená četnost a intenzita extrémních jevů, jako jsou lokální přívalové srážky, krupobití nebo záplavy, které mohou negativně ovlivňovat výnosy zemědělské produkce a vést k degradaci půdy.

Podmínkou úspěšné adaptace je flexibilní a šetrné využívání území, zavádění nových technologií a diverzifikace zemědělství. V krajině by měla být podporována adaptačně-preventivní opatření chránících a zlepšujících kvalitu půdy, opatření vedoucí k zadržování vody v krajině a agrobiodiverzita. Klíčovou podmínkou je udržitelné využívání půdy, které spočívá na těchto principech: vhodné prostorové uspořádání zemědělské půdy, půdoochranná a protierozní opatření, zlepšování půdní struktury, zvyšování podílu organické hmoty v půdě, šlechtění a využívání odrůd a plemen odolných ke změněným klimatickým podmínkám. Nedílnou součástí musí být také podpora výzkumu v daných oblastech.

7.2.4 Vodní režim a vodní hospodářství

Tab. 7.2.3 Vodní režim a vodní hospodářství – doporučení pro výběr investičních priorit

Hlavní identifikovaná rizika	Ekonomické dopady rizika	Doporučení pro výběr investičních priorit
Zmenšení jarních povodní jako zdroje pro plnění nádrží a mělkých podzemních vod a snížení zabezpečení odběrů, včetně vodárenských, snížení zabezpečení odběrů podzemních vod.	středně negativní	Stabilizace vodního režimu a podpora zadržování vody v krajině – obnova a budování mokřadů a malých vodních nádrží, – revitalizace vodních toků a niv, – podpora vsaku vody. Realizace nových zdrojů. Optimalizace funkcí vodohospodářské infrastruktury (vodovodů a kanalizací) v případě extrémních hydrologických situací (sucho, povodně, zhoršená kvalita vody). Rozšiřování a propojování vodovodních systémů. Opatření ke snižování spotřeby pitné vody, ztrát ve vodohospodářské infrastruktuře a podpora znovuvyužití částečně čištěných odpadních vod. Zefektivnit hospodaření se srážkovými vodami.
Četnější výskyt srážkových extrémů s vyšší intenzitou, zvýšení zejména rizika zaplavení podzemních prostor a infrastruktury v intravilánu.	středně negativní	Integrovaný záchranný systém, systém monitoringu a hlásná a předpovědní služba. Realizace protipovodňových opatření v intravilánu (zabezpečení podzemních prostor, dimenzování a řízení kanalizačních sítí), realizace opatření krajině s cílem předcházet povodním a realizace dalších technických opatření.
Zvýšení erozního ohrožení zemědělské půdy a zintenzivnění dopadu eroze na vodní zdroje.	mírně negativní	Komplexní pozemkové úpravy řešené se zřetelem na problematiku povodní, sucha, a protierozní ochrany. Realizace protierozních opatření v krajině s cílem předcházet půdní erozi (vodní a větrné).
Nárůst průměrné roční teploty vody - rychlejší průběh většiny nežádoucích chemických reakcí a bakteriálních procesů. Delší doba zdržení vody v tocích	mírně negativní	Stabilizace vodního režimu a podpora zadržování vody v krajině. Opatření k zajištění čištění odpadních vod – centrální,

a nádržích, zvýšení teploty vody, snížení parametrů jakosti vody (hlavně z bodových zdrojů). Zvýšení zranitelnosti zvodní vůči znečištění v důsledku omezeného doplňování a oběhu. Zvýšení zatížení a nároků na stupeň čištění, provoz ČOV a údržbu stokové sítě.		decentralizované a domácí ČOV. Snižování znečišťování vod zemědělskou činností.
Nárůst teploty a zmenšení průtoků – omezení chladícího efektu v energetice.	mírně negativní	Optimalizace funkcí vodohospodářské infrastruktury prostřednictvím řízení průtoku v úsecích s odběry pro chlazení.

V některých povodích v ČR je možno již dnes sledovat negativní dopady změny klimatu na vodní hospodářství, zejména ve zmenšení průtoků. Příčinou tohoto je a dále bude průběžné zvyšování teploty vedoucí k růstu evapotranspirace, jež je sice na většině území kompenzována růstem srážek, nicméně v některých oblastech či obdobích k této kompenzaci nedochází. Bezprostředně souvisejícím předpokládaným rizikem je snížení zásoby vody v půdě a ve vodních útvarech, což celkově povede k nedostatku vody pro jiné sektory (zejména průmysl a zemědělství). Mezi další předpokládané dopady patří četnější výskyt srážkových extrémů a jejich intenzita. Malé průtoky, snížení rychlosti proudění vody a zvýšená teplota vody způsobí, že voda bude mít v řekách a vodních nádržích delší dobu zdržení a bude se více prohřívat, což jsou obecně hlavní důvody snížení kvality povrchových vod. Lze očekávat i zhoršení doplňování zásob podzemních vod a tím jejich zranitelnosti z hlediska množství i jakosti. Očekávané změny hydrologického cyklu a jakosti vody představují nebezpečí porušení funkce vodohospodářské infrastruktury a zřejmě povedou ke zvýšeným nárokům na odběry.

Z hlediska investičních priorit je cílem adaptačních opatření stabilizace vodního režimu, ochrana a posilování vodních zdrojů, co nejefektivnější a udržitelné využívání vodních zdrojů a zvládání extrémních hydrologických jevů – povodní a dlouhotrvajícího sucha.

7.2.5 Biodiverzita a ekosystémové služby

Tab. 7.2.4 Biodiverzita a ekosystémové služby – doporučení pro výběr investičních priorit

Hlavní identifikovaná rizika	Ekonomické dopady rizika	Doporučení pro výběr investičních priorit
Zánik vhodných podmínek pro biotopy a druhy subalpinského a alpinského pásma, ochuzení a změna druhové skladby.	negativní	V současné době je formou chráněných území zajištěna pasivní ochrana všech fenoménů vysokohorské přírody v ČR. Aktivní ochrana formou specializovaného managementu by se měla zaměřit na eliminaci negativních antropogenních vlivů (např. nadměrnou rekreační a turistickou zátěží) a na eliminaci porostů geograficky nepůvodní kleče v biotopech přirozeného bezlesí nad horní hranicí lesa.
Omezování průtoků (až vysychání) vodních toků - ohrožení pro vodní biotopy a organismy; ohrožení migrační konektivity krajiny.	negativní	Zabezpečit ochranu a obnovu (revitalizaci či samovolnou renaturaci) ekosystémů a přírodních prvků ve volné krajině s důrazem na vodní nivy a zemědělsky intenzívně využívané oblasti. Zajištění migrační prostupnosti vodních toků a navazujících údolních niv. Stabilizace vodního režimu a podpora zadržování vody v krajině, preferovat přírodě blízká opatření.
Změna areálu rozšíření druhů - tj. posun geografických areálů druhů do vyšších zeměpisných	negativní	Opatření k ochraně a obnově propojenosti a prostupnosti krajiny a rezistence a resilience krajinných prvků tj.: – komplexní řešení krajiny v rámci územního

šířek a nadmořských výšek. Současně zhoršení podmínek pro tyto druhy v části původních areálů výskytu v nižších nadmořských výškách.		plánování a KPÚ – realizace územního systému ekologické stability – zajištění migrační prostupnosti vodních toků a navazujících údolních niv – zajištění migrační prostupnosti krajiny. Řešení problematiky invazních druhů – výzkum, monitoring a opatření proti šíření Opatření k ochraně ohrožených druhů, přírodních biotopů.
Ztráty ekosystémových služeb. Např. kolaps smrkových monokultur v nižších polohách snižuje schopnost lesů vázat uhlík. Intenzívní zemědělské hospodaření vede ke ztrátám organické hmoty v půdě a k ztrátám biodiverzity.	negativní	Obnova ekologické stability lesů. Opatření na podporu sekvestrace uhlíku. Snížení intenzity průmyslového zemědělství, obnova mozaikovitosti ve struktuře zemědělské krajiny, vyšší podpora agroekologických agrotechnických postupů s cílem obnovy degradovaných zemědělských půd, zejména v oblastech ohrožených zemědělských suchem.
Zánik vhodných podmínek pro biotopy a druhy subalpinského a alpinského pásma, ochuzení a změna druhové skladby	negativní	V současné době je formou chráněných území zajištěna pasivní ochrana všech fenoménů vysokohorské přírody v ČR. Aktivní ochrana formou specializovaného managementu by se měla zaměřit na eliminaci negativních antropogenních vlivů (např. nadměrnou rekreační a turistickou zátěží) a na eliminaci porostů geograficky nepůvodní kleče v biotopech přirozeného bezlesí nad horní hranicí lesa.

Mezi hlavní dopady klimatické změny v oblasti biodiverzity patří změna areálu rozšíření druhů a ztráta biodiverzity tzv. tundrových reliktů české přírody ve vysokohorských polohách. Některé z těchto negativních trendů může omezovat specializovaný ochranářský management chráněných území. Pro omezení negativních dopadů změn geografických areálů jednotlivých druhů je třeba propojit izolované lokality chráněných území do migračně propojených soustav. Lesní hospodářství by mělo být více zaměřeno na cílenou podporu sekvestrace uhlíku v lesích. V kulturní zemědělské krajině je zásadní překážkou pro udržení (a pro nutnou obnovu) biodiverzity, která podmiňuje fungování ekosystémových služeb zemědělské krajiny a současná neudržitelná vysoká míra intenzifikace zemědělské výroby. Dnešní intenzívní zemědělství, zaměřené na produkci, významně snižuje kvalitu půdy, diverzitu půdních organismů a nijak nezlepšuje krajinnou strukturu zemědělské krajiny (ČR má nejvyšší rozlohy souvislých lánů zemědělské půdy v EU). Intenzívní zemědělská výroba, ignorující ekosystémové funkce v krajině, by neměla být v podmínkách měnícího se klimatu podporována dotacemi. V zemědělské krajině se jako nejvhodnější investiční priority z hlediska adaptace jeví soustava cíleně promyšlených opatření, směřujících k tzv. smart krajině (tj. plošné zlepšení ekologické stability zemědělské krajiny). Obnova ekologické stability kulturní krajiny v podmínkách změny klimatu musí být opřena o výraznou státní podporu investičních i neinvestičních programů, zaměřených na péči o krajinu a revitalizace říčních systémů. Zároveň je nutné cíleně realizovat ekologicky žádoucí změny ve využívání pozemků v záplavových územích (změny orné půdy na trvalé travní porosty a lužní lesy, výstavba systémů odsazených hrází a poldrů umožňující povodňové rozlivy v nivách mimo zastavěná území, obnova meandrování a ekologických funkcí říčních toků, zrušení funkčnosti odvodňovacích melioračních systémů v údolních nivách).

7.2.6 Zdraví a hygiena

Tab. 7.2.5 Zdraví a hygiena – doporučení pro výběr investičních priorit

Hlavní identifikovaná rizika	Ekonomické dopady rizika	Doporučení pro výběr investičních priorit
Díky zvýšení teplotních maxim a prodloužení četnosti a délky vln veder dojde k nárůstu zdravotních problémů a	středně negativní	Péče a rozšiřování ploch veřejné zeleně ve městech optimálně ve vazbě na vodní plochy. Ochrana a péče o stávající zeleň, rozšiřování ploch parkové zeleně, plochy zeleně v okolí vodních ploch.

zvýšení úmrtnosti obyvatel. S ohledem na tepelný ostrov města především ve větších městech.		Podpora systému preventivní zdravotní péče a managementu chronických onemocnění. Zintenzivnění sociální péče. Rozvoj systému včasného varování a pohotovostních plánů. Zajištění klimatizace budov – především veřejných (nemocnice, objekty pro zajištění péče o seniory, mateřské školky, úřady ...). Klimatizace v oblasti veřejné dopravy Stavební úpravy budov, jejich zastínění, zelené a bílé střechy, využití zeleně, klimatizace.
Díky prodloužení délky vegetační sezóny dojde k prodloužení pylové sezóny a prodloužení délky alergických onemocnění a astmatu.	mírně negativní	Péče a rozšiřování ploch veřejné zeleně ve městech optimálně ve vazbě na vodní plochy (viz výše).
Díky zvyšujícímu se množství a intenzitě srážkových extrémů dojde k ohrožení majetku, zdraví a životů obyvatel.	mírně negativní	Realizace protipovodňových opatření a rozvoj integrovaného záchranného systému (více viz část vodní hospodářství). Lokalizace veřejných a soukromých budov mimo záplavová území.
Díky zvýšeným teplotám se zlepší podmínky pro šíření nových dosud běžně se nevyskytujících onemocnění.	mírně negativní	Rozvoj informačních a monitorovacích systémů v oblasti zdraví. Zvyšování povědomí a informovanosti obyvatel. Zajistit podmínky a prostředky pro diagnostiku a léčbu nových předpokládaných onemocnění. Zajistit připravenost na krizové situace. Rozvoj systému včasného varování a pohotovostních plánů.

Projevy změny klimatu ovlivňují a budou ovlivňovat lidské zdraví řadou přímých i nepřímých způsobů. Mezi přímé účinky patří teplotní změny (tj. nárůst teplot), zvýšené frekvence a intenzita extrémních jevů počasí (povodně, bouřky, vlny horka...). Nepřímé účinky jsou dány působením jednotlivých složek životního prostředí ovlivněných působením změny klimatu (např. podmínky pro šíření infekčních onemocnění, alergie apod.). S tím souvisí také stresová zátěž. Zvýšení teplot zejména v letním období (a ve městech ještě umocněných vlivem tepelného ostrova města) povede ke zvýšenému riziku přehřátí organismu, dehydratace a výskytu dalších zdravotních problémů, respektive úmrtnosti, u rizikových skupin obyvatel. Potenciálně možný je také zvýšený výskyt infekcí a také nově výskyt onemocnění, které se doposud vyskytují pouze v tropickém nebo subtropickém pásmu. Mezi další potenciální rizika související se změnou klimatu patří prodloužení pylové sezóny, což může zhoršovat průběh alergií a astmatu nebo zvyšování koncentrací ozónu

Adaptační opatření by proto měla směřovat převážně k prevenci předpokládaných onemocnění, zlepšení životních podmínek ve městech a veřejných budovách s cílem snižovat negativní účinky tepla (urbanistické řešení měst, způsob konstrukce veřejných budov, klimatizace) a dále ke snižování negativních účinků extrémních meteorologických jevů, jako jsou povodně a horké vlny. Je nutné zohlednit zejména potřeby nejvíce ohrožených skupin obyvatel (senioři, děti, lidé s onemocněním).

7.2.7 Urbanizovaná krajina

Tab. 7.2.6 Urbanizovaná krajina – doporučení pro výběr investičních priorit

Hlavní identifikovaná rizika	Ekonomické dopady rizika	Doporučení pro výběr investičních priorit
Nepohoda, stres a zdravotní ohrožení obyvatel v důsledku zvýšených teplot, vln horka a výkyvů teplot zejména ve větších městech.	středně negativní	Péče a rozšiřování ploch veřejné zeleně ve městech optimálně ve vazbě na vodní plochy. Ochrana a péče o stávající zeleň, rozšiřování ploch parkové zeleně, plochy zeleně v okolí vodních ploch, vodní prvky obecně. Víceúčelové využit těchto prvků v sídlech. Zajištění klimatizace budov, především veřejných (nemocnice, objekty pro zajištění péče o seniory, mateřské školky, úřady a další). Klimatizace v oblasti veřejné dopravy. Stavební úpravy budov, jejich zastínění budov, zelené a bílé střechy, využití zeleně, klimatizace. Ekosystémově založená opatření do městského plánování a struktur.
Ohrožení vodních zdrojů a jejich znečištění v důsledku kombinací nízkého průtoku vody a tepla a nedostatek vody pro obyvatele, služby, výrobu a údržbu zeleně.	mírně negativní	Udržitelné hospodaření s vodou, tj. podpora opatření směřující k: – zvýšení retence vody v městské krajině a zpomalení odtoku vody ze zpevněných ploch, – využití zachycené dešťové vody, – podpora zasakování vod (oproti odvádění), vhodné povrchy, – vznik a revitalizace vodních ploch v městské krajině, – snižování spotřeby pitné vody. Optimalizace funkcí vodohospodářské infrastruktury (vodovodů a kanalizací), rozšiřování a propojování vodovodních systémů. Opatření k zajištění čištění odpadních vod – centrální, decentralizované a domácí ČOV.
Narušení hospodářství a veřejné infrastruktury díky snížené produktivitě, zvýšených nároků na zdravotní služby a ohrožení dopravních a energetických sítí.	středně negativní	Stavební úpravy budov, jejich zastínění budov, zelené a světlé střechy, využití zeleně, klimatizace. Klimatizace v oblasti veřejné dopravy. Budování funkčního a ekologicky stabilního systému sídelní zeleně.
Ohrožení zdraví, životů a majetku a obyvatel, škody na hospodářství a veřejné infrastruktuře v důsledku povodňových stavů a dalších extrémních jevů.	velmi negativní	Realizace protipovodňových opatření a rozvoj integrovaného záchranného systému (více viz část vodní hospodářství). Lokalizace veřejných a soukromých budov mimo záplavová území.

Mezi hlavní projevy změny klimatu, které budou ovlivňovat sídla v rámci ČR, patří především zvýšení teplot umocněné efektem tepelného ostrova města, zvýšená četnost povodňových stavů a meteorologických extrémů, nedostatek vody až sucho díky změně rozložení srážek v průběhu roku a větší četnosti a intenzitě suchých období. Tyto projevy budou mít řadu dopadů a rizik na život ve městech. Při zvýšených teplotách lze očekávat přímé zdravotní dopady zvláště na ohrožené skupiny obyvatel (senioři, nemocní, děti), dopady na pohodu obyvatel nebo snížení pracovní produktivity. Zvyšují se také teplotní výkyvy, tj. např. rozdíl denních minim a maxim. Povodně a extrémní

meteorologické jevy představují riziko škod na majetku a zdraví obyvatel včetně škod na dopravní a technické infrastruktuře. Nedostatek vody až sucho omezují výrobu, dodávku služeb, mohou vést k vyčerpávání vodních zdrojů a snižování kvality vod ve vodních tocích až po jejich vysychání. Ve městech jsou rizika zvyšována také vysokou hustotou osídlení a koncentrací hospodářských činností a služeb. Proto je potřeba zefektivnit nakládání s pitnou vodou, zlepšit využití dešťových vod a zajistit dostatek vody i v období kritických situací, jako je dlouhodobé sucho. Dále ochrana a rozšiřování ploch veřejné zeleně a jejich propojení s vodními prvky. Význam mají také adaptační opatření na budovách, a to zejména u budov s vyšší koncentrací citlivých skupin obyvatel (nemocnice, sociální a zdravotnická zařízení aj.).

7.2.8 Cestovní ruch

Tab. 7.2.7 Cestovní ruch – doporučení pro výběr investičních priorit

Hlavní identifikovaná rizika	Ekonomické dopady rizika	Doporučení pro výběr investičních priorit
Zhoršení podmínek pro zimní rekreaci - zkracování sezóny zimních sportů, zhoršení sněhových podmínek, nevyhovující podmínky zejména v nižších polohách.	mírně negativní	Obecně lze doporučit opatření vedoucí k diverzifikaci forem cestovního ruchu a současně ochraně biologické rozmanitosti krajiny. Při podpoře zimního cestovního ruchu je vždy nutné respektovat přírodní hodnoty v území, zejména v horských polohách a zohledňovat udržitelnost rozvojových záměrů (např. podmínky pro zasněžování, dostupnost vody).
Snížení atraktivity městské turistiky (především velká města) díky nárůstu teplot zejména v letním období.	mírně negativní	Obnova, údržba a rozvoj městské zeleně a vodních ploch. Zajištění tepelného komfortu ve veřejných budovách. Marketing cestovního ruchu v období mimo hlavní letní sezóny, tj. jaro a podzim.
Zhoršení podmínek pro vodáckou turistiku díky menším průtokům ve vodních tocích.	mírně negativní	Opatření vedoucí k lepšímu zadržování vody v krajině.

S klimatickou změnou je nejtěsněji spojen cestovní ruch „sportovně outdoorový“, který je vázán na podmínky přírodní a je jejími projevy nejvíce dotčen. Přímými vlivy na přírodní podmínky je nejvíce dotčena sezóna zimních sportů, kdy ubýváním ledových dní a srážkového úhrnu v zimním období se zhoršují podmínky pro provozování zimních sportů, jako je sjezdové lyžování, běh na lyžích, skialpinismus, snowboarding apod.

Mezi další rizika patří snížení atraktivity městské turistiky ve větších městech, především v Praze, která je suverénně nejvýznamnější českou turistickou destinací. Riziko je dáno očekávaným nárůstem teplot a efektem městského tepelného ostrova. Dále lze předpokládat zhoršení přírodních podmínek pro vodní turistiku snížení průtoků ve vodních tocích.

Pro udržení atraktivity cestovního ruchu se tedy jeví jako nejdůležitější prioritou udržení co nejatraktivnějších přírodních podmínek, které zároveň dokáží ekosystémovými funkcemi zmírňovat vliv a intenzitu probíhajících klimatických změn, tj. přispějí k udržení sněhové pokrývky, zmírnění vln veder ve městech a lepšímu zadržováním vody v krajině. Naopak podporovat umělé zasněžování z veřejných prostředků není s ohledem na dlouhodobou udržitelnost, ekonomickou náročnost a požadavky na životní prostředí (čerpání vody) doporučováno.

Opatření ve městech by měla být zaměřena na ochranu a rozvoj zeleně a ploch zeleně za současného udržitelného rozvoje a využití vodních ploch v městském prostředí. Význam má také marketing cestovního ruchu pro období mimo letní sezónu, tj. zejména do období jara a podzimu. Adaptační opatření jsou velmi úzce provázány s opatřeními mitigačními a systémově významná je proto také propagace šetrných forem cestovního ruchu.

7.2.9 Průmysl a energetika

Tab. 7.2.8 Průmysl a energetika – doporučení pro výběr investičních priorit

Hlavní identifikovaná rizika	Ekonomické dopady rizika	Doporučení pro výběr investičních priorit
Ohrožení kritické infrastruktury z důvodů zvýšení četnosti a intenzity extrémních meteorologických jevů.	středně negativní	Zajištění dostatečných zásob a alternativních dodavatelů paliv pro výrobu elektřiny a tepla. Podpora opatření využívajících domácí druhotné zdroje pro výrobu elektřiny a tepla. Zajištění dostupnosti potřebných regulačních a rezervních výkonů a jejich přiměřené rozdělení do možných ostrovních provozů. Zajištění schopnosti přenosové soustavy ČR pracovat dlouhodobě v ostrovním režimu. Opatření vedoucí k zajištění odolnosti přenosové sítě proti poruchám a zajištění schopnosti rychlé obnovy sítě. Podpora decentralizace výroby energie. Udržení dostatečné kapacity tuzemských zásobníků zemního plynu a dostatečných zásob ropy. U zdrojů tepla a elektrické energie opatření podporující schopnost přechodu na alternativní palivo v případě krizového režimu.
Snížení produkce elektrické energie z hydroelektráren v důsledku sucha a nižších průtoků. Snížení produkce biomasy využívané pro výrobu elektřiny a tepla a výrobu.	mírně negativní	Stabilizace vodního režimu a podpora zadržování vody v krajině. Podpora rozvoje tzv. inteligentních sítí a podpora decentralizace a diverzifikace produkce elektrické energie.
Zvýšení náročnosti chladících procesů tepelných elektráren (jaderných, uhelných a paroplynových) a zvýšená spotřeba elektřiny na chlazení.	středně negativní	Zvýšení efektivity využívání vodních zdrojů ve výrobních procesech (úsporné nakládání a recyklace vody, uplatnění vhodných technologií a využití srážkových vod v provozech). Systémy hospodaření se srážkovými vodami a opětovného využití vody. Zvýšení podílu výroby energie z obnovitelných zdrojů. Podpora přechodu na nízkouhlíkové hospodářství.
Zvýšení rizika pro bezpečnost průmyslu a podnikání, ohrožení zaměstnanců, fungování výrobních a provozních zařízení z důvodů extrémních meteorologických jevů.	mírně negativní	Přizpůsobení současných bezpečnostních opatření, např. krizových a havarijních plánů a systémů řízení rizik pro případy havárií v důsledku extrémních meteorologických jevů.

Energetická infrastruktura zahrnuje zásobování elektřinou, teplem, plynem a ropou a je součástí tzv. kritické infrastruktury, jejichž nefunkčnost by měla závažný dopad na chráněné zájmy státu, jako jsou bezpečnost, životy a zdraví obyvatel, ekonomika nebo veřejná správa. V sektoru energetiky bude v Evropě vlivem změny klimatu velmi pravděpodobně docházet k rozdílům v nabídce energie a poptávce po ní. Změna klimatu také ovlivní distribuci srážek v průběhu roku a to se promítne do výroby elektrické energie z vodních zdrojů. Nepříznivý vliv na chladící procesy při výrobě energií může mít předpokládaná změna rozložení srážek v průběhu roku a větší četnost horkých vln. Důležitý vliv na distribuční a přenosovou soustavu mohou mít extrémní jevy typu vichřic, povodní, srážek a teplotních extrémů. Díky těmto extrémním jevům mohou být narušeny elektrické sítě a produktovody a omezeno dopravní zásobování, což by vedlo následně také k omezení výroby a služeb.

Častější a delší období vysokých teplot budou nepříznivě ovlivňovat chladící procesy energetických zařízení a spolu s vyšší spotřebou elektřiny na chlazení mohou mít za následek přetížení sítě. S vyššími teplotami souvisí také vyšší namáhání materiálů a jejich nižší životnost a poruchy. Při dlouhodobějších suchých obdobích se zvyšuje riziko poklesu množství vody v akumulačních nádržích vodních elektráren, čímž dojde ke snížení výroby vodní energie. Obdobný problém se dá předpokládat i u vodních toků při předpokládaném snížení průtoků. S tím souvisí i předpoklad snížení výnosů z produkce biomasy.

Díky výše uvedeným skutečnostem by adaptační opatření měla směřovat především k zajištění fungování této kritické infrastruktury, aby byly zajištěny chráněné zájmy státu. Další část opatření by měla směřovat k zajištění bezpečnosti průmyslových zařízení.

7.2.10 Doprava

Tab. 7.2.9 Doprava – doporučení pro výběr investičních priorit

Hlavní identifikovaná rizika	Ekonomické dopady rizika	Doporučení pro výběr investičních priorit
Zrychlená degradace materiálů použitých při konstrukci silniční a železniční sítě i letišť v důsledku zvyšování extremity hydrometeorologických jevů (vysoké teploty, extremita srážkových úhrnů, povodně, námraza, ledovka, vichřice, bouřky…).	středně negativní	Zajistit flexibilitu a spolehlivost dopravního sektoru při a po extrémních projevech počasí, např. rychlé odstraňování tzv. úzkých hrdel na komunikacích. Výzkum a vývoj nových materiálů a technologií snižujících rizika. Nové dopravní stavby plánovat a realizovat s ohledem na výskyt předpokládaných rizik způsobených změnami klimatu. Rozvoj telematických a inteligentních dopravních systémů. Zajistit vhodné využití krajiny v okolí komunikací: – protierozní a protipovodňová opatření, – větrolamy, – zastínění komunikací, – stabilizace svahů.
Zatarasení nebo poškození komunikace nebo železnice v důsledku extrémních hydrometeorologických jevů (pády stromů, zatopení a poškození komunikace, sesuvy půdy). Přerušení přepravy na letištích.		
Snížení bezpečnosti, přehlednosti a plynulosti provozu v důsledku extrémních meteorologických jevů (bouřky, přívalové deště, mlha, husté sněžení, námraza…).		
Zhoršení podmínek pro plavbu v důsledku sucha.	mírně negativní	Posilování retenčních schopností krajiny. Opatření vedoucí k zajištění stabilní výšky vodní hladiny na vybraných úsecích vodních toků.
Snížení pozornosti řidičů, strojvedoucích a komfortu cestujících v důsledku extrémně vysokých teplot (vlny veder).	neutrální	Opatření vedoucí k optimalizaci teplot v dopravních prostředcích, zajištění klimatizace.

Česká republika hraje významnou roli tranzitní země jak v dopravě silniční, tak i železniční. Vodní a letecká doprava mají z hlediska přepravních výkonů menší význam. Nejcitlivěji reaguje na klimatickou změnu doprava silniční (zejména díky hustotě dopravní sítě a četnosti využití), kdy materiály povrchů jsou poměrně citlivé na poškození obzvláště vlivem extrémních teplot a povodní. Železniční doprava je ovlivněna obdobným způsobem. Pro všechny druhy přepravy představují nejvyšší subjektivní riziko extrémy týkající se srážek. Extrémní teploty mají spíše vliv na komfort cestujících a řidičů. Mohou ale způsobovat také méně závažná, i když často rozsáhlejší, poškození dopravní infrastruktury.

Hlavním adaptačním opatřením je zajistit flexibilitu a spolehlivost dopravního sektoru při a po extrémních projevech počasí, tj. předcházet poškození silničních komunikací a železnic použitím vhodných materiálů, jejich lokalizací nebo vhodným využitím okolní krajiny. S tímto souvisí také

zachování propustnosti komunikací v průběhu a po skončení extrémních událostí a zajištění dopravní dostupnosti území. Například pomocí využití segregovaných tras veřejné a individuální dopravy, inteligentním dopravním systémům apod.

7.2.11 Mimořádné události a ochrana obyvatelstva a životního prostředí

Tab. 7.2.10 Mimořádné události – doporučení pro výběr investičních priorit

Hlavní identifikovaná rizika	Ekonomické dopady rizika	Doporučení pro výběr investičních priorit
Zvýšený výskyt krizových situací s rostoucím rizikem ohrožení zdraví a životů obyvatel, včetně nárůstu škod na majetku a infrastruktuře.	středně negativní	Rozvoj integrovaného záchranného systému. Rozvoj systémů monitoringu a hlásné a předpovědní služby. Zajištění systémů pro včasné informování veřejnosti. Vymezení rizikových oblastí v sídlech. Vzdělávání a informovanost obyvatelstva v problematice krizových situací. Podpora výzkumu a vývoje v oblasti environmentální bezpečnosti. Budování a rozvoje institucí zaměřených na management rizika. Podpora konceptu PPRR (Prevention – Preparedness – Response – Recovery).
Četnější výskyt intenzivnějších a větší území postihujících povodní a svahových nestabilit s rostoucím rizikem ohrožení zdraví a životů obyvatel, včetně nárůstu škod na majetku a infrastruktuře.	středně negativní	
Četnější výskyt intenzivnějších a větší území postihujících období dlouhodobého sucha s doprovodným nedostatkem vody a tlak na vodní zdroje.	středně negativní	
Četnější výskyt lesních a jiných požárů.	středně negativní	

Předpokládaným projevem/dopadem změny klimatu je zvýšená pravděpodobnost vzniku mimořádných událostí a nárůst jejich intenzity. Předpokládá se nárůst extrémních teplot, vlh horka, přívalových srážek a dlouhodobého sucha. S uvedenými projevy souvisí zvýšený výskyt povodní, sesuvů půdy (v důsledku extrémních srážek) a rozsáhlých lesních požárů. Tyto události zvyšují riziko ohrožení lidských životů, zdraví, životního prostředí a škod na majetku. Související oblastí je environmentální bezpečnost, kdy je nutno zajistit ochranu životního prostředí při krizových situacích. Dále je možno předpokládat zvyšování tlaku na migraci z oblastí, které budou předpokládanými změnami klimatu postiženy mnohem intenzivněji.

S ohledem na výše uvedené předpoklady je prioritou zajištění ochrany obyvatel, majetku a životního prostředí. Cílem je tedy minimalizace negativních dopadů těchto mimořádných událostí. Žádoucí je proto podpora rozvoje a efektivního fungování složek integrovaného záchranného systému, rozvoj monitorovacích a hlásných/výstražných systémů, zvyšování odolnosti kritické infrastruktury a ochrana environmentální bezpečnosti.

8. SOUHRN

8.1 ZÁKLADNÍ SHRNUTÍ PROVEDENÝCH ANALÝZ

Předmětem Komplexní studie dopadů, zranitelnosti a zdrojů rizik souvisejících se změnou klimatu v ČR byla především podrobná analýza očekávaných dopadů změn klimatu a souvisejících rizik na jednotlivé prioritní oblasti a vyhodnocení jejich zranitelnosti. Součástí je i posouzení ekonomických dopadů způsobených změnou klimatu a ekonomické zhodnocení možných adaptačních opatření. Adaptačními opatřeními se podrobně zabývá Strategie přizpůsobení se změně klimatu v podmínkách ČR (MŽP 2015).

V první části studie je provedeno hodnocení dosavadních trendů změny klimatu v evropském a národním měřítku a současně je podrobně uveden souhrn předpokládaných scénářů vývoje na úrovni České republiky (kap. 2). V rámci této části je hodnocen jak předchozí vývoj klimatu do současnosti, tak je popsán další vývoje do konce 21. století na základě použitých modelových projekcí. Tato část vychází z podkladů analyzovaných ve výstupech IPCC (CMIP5), z výstupů nejnovějších regionálních klimatických modelů (RCM) vycházející v současnosti z iniciativy CORDEX a v případě ČR jsou z důvodu historické návaznosti odkazovány i výstupy studie „Zpřesnění dosavadních odhadů dopadů klimatické změny v sektorech vodního hospodářství, zemědělství a lesnictví a návrhy adaptačních opatření“ (Pretel, 2011). Informace uvedené v této kapitole slouží jako jedno z hlavních východisek pro analýzy prováděné v následujících částech pro jednotlivé prioritní oblasti.

V další části byl zpracován Přehled odborných aktivit v ČR se zaměřením na předmět studie a provedeno shrnutí přístupů a výsledků hlavních projektů dotýkajících se územně České republiky.

Třetí a nejrozsáhlejší část studie se zabývá podrobně analýzou dopadů scénářů změny klimatu na jednotlivé prioritní oblasti zájmu a podle identifikovaných hlavních dopadů, a to v těchto oblastech:

1. Lesní hospodářství
2. Zemědělství
3. Vodní hospodářství
4. Biodiverzita
5. Zdraví a hygiena
6. Urbanizovaná krajina
7. Cestovní ruch
8. Průmysl a energetika
9. Doprava
10. Mimořádné události

Analýza dopadů vychází především z výše popsaných scénářů změny klimatu. Analýzy pro jednotlivé oblasti jsou zpracovány v této základní struktuře, která je dle potřeby upravena:

- souhrn za danou oblast,
- základní informace pro danou oblast v národním a evropském kontextu,
- dopady predikovaných scénářů změn klimatu a analýza rizik,
- stanovení indikátorů a vyhodnocení zranitelnosti včetně identifikace nejzranitelnějších regionů v ČR,
- souhrnná What-if analýza,
- analýza navržených adaptačních opatření dle Adaptační strategie.

V závěru analýz jednotlivých prioritních oblastí byla pro souhrn hlavních skutečností a rizik použita tzv. What if analýza, jejímž účelem bylo v jednotné podobě vyjádřit přehledně hlavní identifikovaná rizika pro jednotlivé oblasti. Součástí jednotlivých analýz je i přehled a hodnocení indikátorů klimatických a dopadových. S jejich pomocí je také vyhodnocována zranitelnost vůči dopadům změny klimatu a to i na úroveň jednotlivých regionů tam, kde to bylo možné.

Další část studie je zaměřena na ekonomické dopady změny klimatu. Nejprve byla zpracována ekonomická analýza dopadů změny klimatu na jednotlivé oblasti. Pro každou oblast byly analyzovány

dopady z hlediska příležitostí a rizik, rozsahu a pravděpodobnosti výskytu. Pomocí tohoto přístupu byly vyhodnoceny dopady změny klimatu nejen z hlediska jejich síly a vlivu, ale i směru jejich působení.

Následně byl proveden odhad nákladů na realizaci adaptačních opatření podle sektorů. V této kapitole jsou nastíněna adaptační opatření pro jednotlivé oblasti, jejich odhadovaná nákladnost a efektivita. V obou částech zde existuje značná nejistota plynoucí nejen z klimatického vývoje, ale i dopadů v jednotlivých regionech, které se vzájemně liší. Velmi důležitý je fakt, že adaptační opatření nemohou vždy zcela eliminovat očekávané negativní dopady změny klimatu, nicméně mohou v různém rozsahu zmírnit jejich projevy.

Z výše popsaných analýz vychází část řešící doporučení pro výběr investičních priorit. Zde bylo vycházeno jak z analýzy rizik pro jednotlivé prioritní oblasti, tak i analýz ekonomických. Současně byly doporučené investiční priority porovnávány s opatřeními uvedenými ve Strategii přizpůsobení se změně klimatu v podmínkách ČR (MŽP 2015). Na rozdíl od Adaptační strategie byla uváděna především investiční opatření, nikoliv opatření administrativní, organizační nebo legislativní. S ohledem na podrobný popis adaptačních opatření obsažený v Adaptační strategii byla doporučení pro výběr investičních priorit k jednotlivým identifikovaným rizikům popsána stručněji a jedná se jen o souhrn hlavních doporučení.

V následující části je provedeno zhodnocení možností Operačního programu životní prostředí přispět k realizaci adaptačních opatření řešících potřeby jednotlivých řešených prioritních oblastí.

8.2 MOŽNOSTI PROVÁZÁNÍ ADAPTAČNÍCH OPATŘENÍ A OPŽP

V současnosti se blíží konec programového období 2014-2020 jako platnosti stávajícího OPŽP a dalších programových financování z prostředků EU. Možnosti využití končících programů je tedy velmi limitováno.

Naopak probíhá příprava nového programu pro období let 2021-2027. EU stanovila seznam pěti investičních priorit (specifických cílů) pro zmiňované období:

- Investice do regionálního rozvoje budou převážně zaměřeny na cíle 1 a 2. Na tyto priority bude přiděleno 65 % až 85 % zdrojů EFRR a Fondu soudržnosti, v závislosti na relativním bohatství členských států.
- inteligentnější Evropa díky inovacím, digitalizaci, ekonomické transformaci a podpoře malých a středních podniků
- zelenější, bezuhlíková Evropa díky provádění Pařížské dohody a investicím do transformace energetiky, obnovitelných zdrojů a boje proti změně klimatu
- propojenější Evropa díky strategickým dopravním a digitálním sítím
- sociálnější Evropa díky provádění evropského pilíře sociálních práv a podpoře kvalitní zaměstnanosti, vzdělávání, dovedností, sociálního začleňování a rovného přístupu ke zdravotní péči
- Evropa bližší občanům díky podpoře místně vedených strategií rozvoje a udržitelného rozvoje měst v celé EU.

Autoři studie mohli prozatím čerpat pouze z veřejně dostupných dokumentů, které se problematiky budoucího financování dotýkají. Návrh nařízení Evropského parlamentu a rady o Evropském fondu pro regionální rozvoj a o Fondu soudržnosti pro jednotlivé specifické cíle dále definuje podrobnější nástroje, prostřednictvím jichž předpokládá naplnění daných cílů. Výběr relevantních nástrojů je uveden v tabulce 8.2.1 spolu s uvedením autory předpokládaných sektorových uplatnění. Nicméně podrobnější zmapování možností definice budoucích programů pro efektivní podporu adaptačních opatření musí řešit příslušné rezorty v rámci procesu vyjednávání podmínek nového financování.

Tab. 8.2.1 Možnosti podporovaných oblastí v podpoře adaptace na rizika změny klimatu

Cíl	Opatření	Sektory
Inteligentnější Evropa díky podpoře inovativní a inteligentní ekonomické transformace.	Rozvoj dovedností pro inteligentní specializaci, průmyslovou transformaci a podnikání.	Průmysl, energetika

Zelenější, nízkouhlíková Evropa díky podpoře přechodu na čistou a spravedlivou energii, zelených a modrých investic, oběhového hospodářství.	Podpora opatření v oblasti energetické účinnosti.	Průmysl, energetika, urbanizovaná krajina, zemědělství
	Podpora energie z obnovitelných zdrojů.	Zemědělství, energetika
	Rozvoj inteligentních energetických systémů, sítí a skladování na místní úrovni.	Průmysl, energetika, urbanizovaná krajina
	Podpora přizpůsobení se změnám klimatu, prevence rizik a odolnosti vůči katastrofám.	Všechny oblasti
	Podpora udržitelného hospodaření s vodou.	Vodní hospodářství, zemědělství, urbanizovaná krajina, průmysl, energetika
	Podpora přechodu k oběhovému hospodářství.	Urbanizovaná krajina, průmysl, energetika
	Posílení biologické rozmanitosti, zelené infrastruktury v městském prostředí a snížení znečištění.	Biodiverzita, urbanizovaná krajina, zdraví a hygiena
Propojenější Evropa díky zvyšování mobility a regionálního propojení IKT.	Rozvoj udržitelné, inteligentní, bezpečné a intermodální sítě TEN-T odolné vůči změnám klimatu.	Doprava
	Rozvoj udržitelné, inteligentní a intermodální celostátní, regionální a místní mobility odolné vůči změnám klimatu, včetně lepšího přístupu k síti TEN-T a přeshraniční mobility.	Doprava
Evropa bližší občanům díky podpoře udržitelného a integrovaného rozvoje městských, venkovských a pobřežních oblastí a místních iniciativ.	Podpora integrovaného sociálního, hospodářského a environmentálního rozvoje, kulturního dědictví a bezpečnosti v městských oblastech.	Cestovní ruch a kulturní památky
	Podpora integrovaného sociálního, hospodářského a environmentálního místního rozvoje, kulturního dědictví a bezpečnosti a v případě venkovských a pobřežních oblastí také prostřednictvím komunitně vedeného místního rozvoje.	Cestovní ruch a kulturní památky

9. PŘEHLED POUŽITÝCH ZDROJŮ

Agrawala, S., 2007. Climate Change in the European Alps: Adapting Winter Tourism and Natural Hazards Management. OECD, Organisation for Economic Co-operation and Development. Dostupné z WWW: www.oecdilibrary.org/environment/climate-change-in-theeuropean-alps_9789264031692-en

Alexandersson, H., 1986. A homogeneity test applied to precipitation data. Int. Journal of Climatology, Volume 6, Issue 6, pp 579–685.

Alfieri, L., Burek, P., Feyen, L., Forzieri, G., 2015. Global warming increases the frequency of river floods in Europe. Hydrol. Earth Syst. Sci., 19, 2247–2260, 2015 doi: 10.5194/hess-19-2247-2015.

Alfieri, L., Feyen, L., Dottori, F., Bianchi, A., 2015. Ensemble flood risk assessment in Europe under high end climate scenarios. Glob Environ Chang, 35:199–212. doi: 10.1016/j.gloenvcha.2015.09.004.

Alfieri, L., Feyen, L., Di Baltassarre, G., 2016. Increasing flood risk under climate change: a pan-European assessment of the benefits of four adaptation strategies. Climatic Change, doi: 10.1007/s10584-016-1641-1.

Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., Smith, M., 1998. Crop evapotranspiration. Guidelines for computingcrop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper, No. 56.

Amelung, B., Nicholls, S., Viner, D., 2007, Implications of Global Climate Change for Tourism Flows and Seasonality. Journal of Travel Research, 45, 285–296. doi: 10.1177/0047287506295937.

Andersson, Y., Ekdahl, K., 2006. Wound infections due to Vibrio cholerae in Sweden after swimming in the Baltic Sea, summer 2006. Euro Surveill, 11(31):pii=3013. Dostupné online: www.eurosurveillance.org/ViewArticle.aspx?ArticleId=3013.

Argaud, L., Ferry, T., Le, Q. H., Marfisi, A., Ciorba, D., Achache, P., Ducluzeau, R., Robert, D., 2007. Short- and long-term outcomes of heatstroke following the 2003 heat wave in Lyon, France. Arch Intern Med., 12.167(20):2177-83.

Ashley-Smith, J., Burmester, A., Eibl, M., 2012. Climate for Collections - Standards and Uncertainties - Postprints of the Munich Climate Conference, Doerner Institut, Munich, Germany.

Atkins, 2013. Economics of Climate Change Adaptation and Risks. Final reports, Highways Agency.

Aus der Beek, T., Voß, F., Flörke, M., 2011. Modelling the impact of Global Change on the hydrological system of the Aral Sea basin. Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C, vol. 36, pp 684–695.

Bachner, G., 2016. Assessing the economy-wide effects of climate change adaptation options of land transport systems in Austria. Regional Environmental Change, 2017, no. 3, p. 929–940. doi: 10.1007/s10113-016-1089-x.

Bank of Greece, 2018. The Economics of Climate Change.

Barredo, J. I., 2009. Normalised flood losses in Europe: 1970–2006. Natural Hazards and EarthSystem Sciences, 9: 97–104.

Bauer, Z., Bartošová, L., Bauerová, J., Trnka, M., Štěpánek, P., Možný, M., Dubrovský, M. Nyklová, E., Žalud, Z., 2014. Observed phenological response of ecosystems to the climate: Part I. Flood plain forest. 1. vyd. Brno: Global Change Research Centre, Academy of Sciences of the Czech Republic, 120 s. ISBN 978-80-87902-00-4.

Bauer, Z., Trnka, M., Bauerová, J., Možný, M., Štěpánek, P., Bartošová L., Žalud, Z., 2009. Changing climate and the phenological response of Great Tit and Collared Flycatcher populations in floodplain forest ecosystems in Central Europe. International Journal of Biometeorology, Int J Bio meteorol. doi: 10.1007/s00484-009-0259-7.

Belda, M., Pišoft, P., Žák, M., 2015. Výstupy regionálních klimatických modelů na území ČR pro období 2015–2060. Katedra fyziky atmosféry, Matematicko-fyzikální fakulta, Univerzita Karlova v Praze.

Benbi, D. K., Boparai, A. K., Kiranvir, B., 2014. Decomposition of particulate organic matter is, more sensitive to temperature than the mineral associated organic matter. Soil Biology and Biochemistry, Volume 70, pp 183-192. doi: 10.1016/j.soilbio.2013.12.032.

Beran, A., Hanel, M., 2015. Definování zranitelných oblastí z hlediska nedostatku vody na území České republiky. VTEI, 2015 (4-5), 23-26.

Beran, A., Hanel, M., Nesládková, M., Vizina, A., 2016: Increasing water resources availability under climate change. Procedia Engineering, 162 (2016), pp. 448–454. doi: 10.1016/j.proeng.2016.11.087.

Beran, J., Vaništa, J., Machala L., Wertzová V., 2006. Základy cestovního lékařství. Galén. ISBN 80-7262-435-0.

Bertin, R. I., 2008. Plan phenology and distribution in relation to recent climate change. J. Torrey Bot. Soc., 135:126-146.

Bertolin, C., Camuffo, D., 2014. Climate change impact on movable and immovable cultural heritage throughout Europe. Dostupné online: www.climateforculture.eu/index.php?inhalt=download&file=pages/user/downloads/project_results/D_05.2_final_publish.compressed.pdf.

Bisby, L., 2016. Defining a Resilient City. Velká Británie.

Bolund, P., Hunhammar, S., 1999. Ecosystem services in urban areas. Ecological Economics, 29(2), 293–301.

Bottyán et al., 2005. The relationship between bilt-up areas and the spatial development of the mean maximum urban heat island in Debrecen, Hungary.

Bottyán, Z., Unger, J., 2003. A multiple linear statistical model for estimating the mean maximum urban heat island. Teoretical and Aplied Climatology.

Bouwer, L. M., 2011. Have Disaster Losses Increased Due to Anthropogenic Climate Change? Bulletin of the American Meteorological Society, 92(1):39.

Bosello, F., Carraro, C., De Cian, E., 2009. An Analysis of Adaptation as a Response to Climate Change, Working Paper Department of Economics. Ca' Fosari University of Venice, No. 26/WP/2009.

Brázdil, R., Chromá, K., Dobrovolný, P., Tolasz, R., 2008. Climate fluctuations in the Czech Republic during the period 1961-2005. Journal of Climatology, 29 (2):223-242.

Brázdil, R., Trnka, M. et al., 2015. Sucho v Českých zemích, minulost, přítomnost, budoucnost. Global Change Research Centre, Academy of Sciences of the Czech Republic, 400 s.

Brázdil, R., Trnka, M., Mikšovský, J., Řezníčková, L., Dobrovolný, P., 2015a. Spring-summer droughts in the Czech Land in 1805–2012 and their forcings. Int. J. Climatol., 35, 1405–1421, doi: 10.1002/joc.4065.

Brázdil, R., Trnka, M., Řezníčková, L., Balek, J., Bartošová, L., Bičík, I., Cudlín, P., Čermák, P., Dobrovolný, P., Dubrovský, M., Farda, A., Hanel, M., Hladík, J., Hlavinka, P., Janský, B., Ježík, P., Klem, K., Kocum, J., Kolář, T., Kotyza, O., Krkoška Lorencová, E., Macků, J., Mikšovský, J., Možný, M., Muzikář, R., Novotný, I., Pártl, A., Pařil, P., Pokorný, R., Rybníček, M., Semerádová, D., Soukalová, E., Stachoň, Z., Štěpánek, P., Štych, P., Treml, P., Urban, O., Vačkář, D., Valášek, H., Vizina, A., Vlnas, R., Vopravil, J., Zahradníček, P., Žalud, Z., 2015b. Sucho v českých zemích: Minulost, současnost, budoucnost (Drought in the Czech Lands: Past, Present, and Future). Centrum výzkumu globální změny AV ČR, v.v.i., Brno.

Broadmeadow, M. S. J., 2002. Climate Change: Impacts on UK Forests (2nd ed). The Forestry Commission, Edinburgh.

Brooks, N., Adger, W. N., Kelly, P. M., 2005. The determinants of vulnerability and adaptive capacity at the national level and implications for adaptation. Global Envrionmental Change, vol. 15, pp 151-163.

Brown, O. 2008. Migration and Climate Change. Migration Research Series, No. 31, 62 p, International Organization for Migration, Geneva, ISSN 1607-338X. Dostupné online: https://www.iom.cz/files/Migration_and_Climate_Change_-_IOM_Migration_Research_Series_No_31.pdf.

BRS (Bezpečnostní rada státu), 2012. Rozhodnutí Bezpečnostní rady státu schvalující Koncepci environmentální bezpečnosti České republiky 2012-2015 (s výhledem do roku 2020), včetně příloh. Praha.

BRS (Bezpečnostní rada státu), 2016. Koncepce environmentální bezpečnosti 2016-2020 s výhledem do roku 2030, včetně příloh. Praha. Dostupné online: www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/environmentalni_bezpecnost/$FILE/OKR-koncepce_environmentalni_bezpecnosti_2016_2020-20160606.pdf.

Brummer, E. C., 1998. Diversity, stability and sustainable American agriculture. Agronomy, 90, 1-2.

Buček, A., Lacina, J., 2007. Geobiocenologie II. Geobiocenologická typologie krajiny České republiky. Mendelova zemědělská a lesnická univerzita Brno, 244 s.

Buček, A., Maděra, P., Úradníček, L., 2007. Ecological network creation in the Czech Republic. Journal of Landscape Ecology, 1:12-24.

Cafaro M., Mirto M., Aloisio G., 2013. Preference-Based Matchmaking of Grid Resources with CP-Nets. Journal of Grid Computing, 11, 2, pp 211-237.

Campbell, C. G., Borglin, S. E., Green, F. B., Grayson, A., Wozei, E., Stringfellow, W. T., 2006. Biologically directed environmental monitoring, fate and transport of estrogenic endocrine disrupting compounds in water. A review, 65, 1265–1280. doi: 10.1016/j.chemosphere.2006.08.003.

Cardinale, B. J., Duffy, J. E., Gonzalez, et al., 2012. Biodiversity loss and its impact on humanity. Nature, 486, 59. doi: 10.1038/nature11148.

Carraro, C., Sgobbi, A., 2008. Climate Change Impacts and Adaptation Strategies In Italy. An Economic Assessment, NOTA DI LAVORO 6.2008, Fondazione Eni Enrico Mattei. Dostupné online: www.feem.it/m/publications_pages/NDL2008-006.pdf.

Carter J. G., Cavan, G., Connelly, A., Guy, S., Handley, J., Kazmierczak, A., 2015. Climate change and the city: Building capacity for urban adaptation. Progress in Planning, Vol. 95, pp 1–66.

CENIA, 2019. Hodnocení zranitelnosti České republiky ve vztahu ke změně klimatu k roku 2017. CENIA, Praha.

CEPS, 2010. The Fiscal Im plications of Climate Change adaptation, Final Report, part I, No. ECFIN/E/2008/008, Centre for European Policy Studies, Centre for European Economic Research, Brussels, Zurich. Dostupné online: ec.europa.eu/economy_finance/publications/external_publishers/pdf/fiscal_implications_1.pd.

Cienciala, E., Henžlík, V., Zatloukal, V., 2006. Assessment of carbon stock changes in forests – adopting IPCC LULUCF. Good Practice Giudance in the Czech Republic. Forestry Journal 52:17-28.

Cílek, V., 2009. Ochrana biodiverzity na sklonu novověku. Ochrana přírody, zvláštní číslo, 1/5-5/5.

Ciscar, J. C., et al., 2010. Physical and economic consequences of climate change in Europe. Proceedings of the National Academy of Sciences, 108(7):2678-83. doi: 10.1073/pnas.1011612108.

Ciscar, J. C., Feyen L., Ibarreta D., Soria A., 2018. Climate impacts in Europe. Final report of the JRC PESETA III project. European Commission, Joint Research Centre, Seville, Spain, 95 pp.

City of New York, 2010. NYC Green Infrastructure Plan: A Sustainable Strategy for Clean Waterways. The City of New York, Office of the Mayor.

Civantos, E., et al., 2012. Potential Impacts of Climate Change on Ecosystem Services in Europe: The Case of Pst Control by Vertebrates. Bioscience 62:658-666.

ClimateCost, 2011. Technical Policy Briefing Note 5: Health. The Impacts and Economic Costs of Climate Change on Health in Europe.

COACCH, 2018. The Economic Cost of Climate Change in Europe. COACCH project. Policy brief by the COACCH project. Eds: Watkiss, P., Troeltzsch, J., McGlade, K., 2018.

Costa, D. L., Kahn, M. E., 2004. Changes in the value of life, 1940-1980. Journal of Risk and Uncertainty, 29(2):159-180.

Costello, A., Abbas, M., Allen, A., et al., 2009. Managing the health effects of climate change. Lancet and University College London Institute for Global Health Commission, Lancet, 373 (9676), pp 1693–1733.

CPR (Center for Policy Research), 1979. Comprehensive Emergency Management. Center for Policy Research, NationalGovernors' Association, 64 p.

Cramer, W., et al., 2014. Detection and attribution of observed impacts. In: Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp 979-1037.

Cutter, S. L., Finch, C., 2008. Temporal and spatial changes in social vulnerability to natural hazards. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 105(7):2301-2306.

CzechAdapt, 2019. KlimatickáZměna.cz. Dostupné online: www.klimatickazmena.cz.

CzechTourism, 2018. Návštěvnost turistických cílů, CzechTourism, Praha.

Čada, K., et al., 2015. Analýza sociálně vyloučených lokalit v ČR. Výstupy propjektu ESF, MPSV ČR. Dostupné online: https://www.esfcr.cz/mapa/.

Čamrová, L., Jílková, J., et al., 2006. Povodňové škody a nástroje k jejich snížení. Institut pro ekonomickou a ekologickou politiku (IEEP) Fakulty národohospodářské, Vysoká škola ekonomická v Praze, 420 s.

ČGS, 2016. Rebilance zásob podzemních vod, výsledky projektu HGR 4232. ČGS, Praha. Dostupné online: www.geology.cz/rebilance/vysledky.

ČHMÚ (Český hydrometeorologický ústav), 2013. Vyhodnocení povodní v červnu 2013. Český hydrometeorologický ústav, Praha, 48 s.

ČHMÚ (Český hydrometeorologický ústav), 2015. Hlásná a předpovědní povodňová služba, SIVS. Dostupné online: hydro.chmi.cz/hpps/.

ČHMÚ (Český hydrometeorologický ústav), 2016. Vyhodnocení sucha na území České republiky v roce 2015 – kompletní zpráva ČHMÚ, Praha, 2019.

ČHMÚ (Český hydrometeorologický ústav), 2019. Sucho v roce 2018 – předběžné hodnocení. ČHMÚ, Praha.

ČR (Česká republika), 2015. Česká republika 2030. Praha. Dostupné online: www.vlada.cz/assets/ppov/udrzitelny-rozvoj/Strategicky_ramec_Ceska_republika_2030-compressed-_1_.pdf.

ČSÚ (Český statistický úřad), 2007. Cestovní ruch v hl. m. Praze 2000 až 2005, situace z pohledu statistických údajů. Dostupné online: www.czso.cz/csu/czso/44004daf69.

ČSÚ (Český statistický úřad), 2014. Databáze regionálních účtů. Dostupné na: https://apl.czso.cz/pll/rocenka/rocenkavyber.volba?titul=Ukazatele%20za%20region%E1ln%ED%20celky&mypriznak=RB&typ=2&proc=rocenka.presmsocas&mylang=CZ&jak=4 (čerpáno 29. 10. 201

ČSÚ (Český statistický úřad), 2015a. Lesnictví a myslivost 2014. Dostupné online: www.czso.cz/csu/czso/lesnictvi-a-myslivost-2014.

ČSÚ (Český statistický úřad), 2015b. Statistická ročenka 2014 – energetika. Dostupné online: www.czso.cz/csu/czso/320198-14-eng_r_2014-1600.

ČSÚ (Český statistický úřad), 2017. Ženy a muži v datech – 2017. Zveřejněno dne: 29. 12. 2017. Dostupné online: www.czso.cz/csu/czso/zeny-a-muzi-v-datech-2017.

ČSÚ (Český statistický úřad), 2018. Statistika a my, 2018: Návštěvnost Česka vloni lámala rekordy. Statistika a my – Měsíčník Českého statistického úřadu, č. 5/2018. Dostupné online: www.statistikaamy.cz/2018/05/navstevnost-ceska-vloni-lamala-rekordy/.

ČSÚ (Český statistický úřad), 2019. Satelitní účet cestovního ruchu 2017. Dostupné online: www.czso.cz/csu/czso/satelitni_ucet_cestovniho_ruchu.

ČSÚ (Český statistický úřad), 2019a. V roce 2018 se v ČR ubytovalo více než 21 milionů hostů. Tisková zpráva ze dne 8. 2. 2019. Dostupné online: www.czso.cz/csu/czso/cri/cestovni-ruch-4-ctvrtleti-2018.

ČSÚ (Český statistický úřad), 2019b. Dostupné online: www.czso.cz/csu/.

Dalias, P., Anderson, J. M., Bottnera, P., Coûteaux, M. M., 2001. Long-term effects of temperature on carbon mineralisation processes, Soil Biology and Biochemistry, Volume 33, Issues 7–8, pp 1049-1057. doi: 10.1016/S0038-0717(01)00009-8.

Dankers, R., Feyen, L., 2008. Climate change impact on flood hazard in Europe: An assessment based on high-resolution climate simulations. J. Geophys. Res., 113, D19105. doi: 10.1029/2007JD009719.

Dankers, R., Feyen, L., 2009. Flood hazard in Europe in an ensemble of regional climate scenarios. Vol. 114, D D16108. doi: 10.1029/2008JD011523.

Daniel, M., et al., 2006. Risk assessment and prediction of Ixodes ricinus tick questing activity and human tick-borne encephalitis infection in space and time in the Czech Republic. International Journal of Medical Microbiology, 296 S1, s. 41–48.

Danielová, J. Holubová, J., Daniel, M., 1990. Tick-borne encephalitis virus prevalence in Ixodes ricinus ticks collected in high risk habitats of the South-Bohemian region of the Czech Republic. Experimental and Applied Acarology.

Daňhelka, J., 2017. Povodně a změny povodňového rizika v kontextu historie a možné budoucnosti. In: „Povodně 1997 a 2002 (20 a 15 let poté) 10 let od přijetí Povodňové směrnice“. 20. a 21. září 2017, Praha, 9 s. ISBN 978-80-7251-473-1.

Daňhelka, J., Boháč, M., Kourková, H., Kukla, P., Kulasová, B., Krejčí, J., 2013. Extrémní hydrologické jevy v kontextu klimatické variability a změny klimatu. Meteorologické Zprávy, 66, 3, s. 78–87, ISNN 0026-1173.

Darwin, R., Kennedy, D., 2000. Economic effects of CO_2 fertilization of crops: transformingchanges in yield into changes in supply. Environ. Model. Assess., 5:157–168.

Davídková, H., Plavcová, E., Kynčl, J., Kyselý, J, 2014. Impacts of hot and cold spells differ for acute and chronic ischaemic heart diseases. BMC Public Health, 14:480. doi: 10.1186/1471-2458-14-480.

Davoudi, S., Tranos, E., Lückenkötter, J., 2012. Climate change and winter tourism — A Pan-European perspective (EWP No. 45). Global Urban Research Unit, Newcastle University, Newcastle upon Tyne. Dostupné online: www.ncl.ac.uk/guru/publications/working/.

De Groot, R., Brander, L., van der Ploeg, S., Costanza, R., et al., 2012. Global estimates of the value of ecosystems and their services in monetary units. Ecosystem Services, 1:50–61.

Déqué, M., 2007. Frequency of precipitation and temperature extremes over France in an anthropogenic scenario: model results and statistical correction according to observed values. Global and Planetary Change, 57, 16–26.

Divíšek, J., Chytrý, M., Grulich, V., Polákova, L., 2014. Landscape classification of the Czech Republic based on the distribution of natural habitats. Preslia, 86(3):209–231.

Dobrovolný, P., et al., 2012. Víceúrovňová analýza městského a příměstského klimatu na příkladu středně velkých měst, Projekt GA ČR 205/09/1297 „Klima Brna – víceúrovňová analýza městského klimatu“.

Doswald, N., Osti, M., 2011. Ecosystem-based approaches to adaptation and mitigation – good practice examples and lessons learned in Europe. German Federal Agency for Nature Conservation and UNEP-WCMC, 48 pp.

Dubrovský, M., Svoboda, M., Trnka, M., Hayes, M., Wilhite, D., Žalud, Z., Hlavinka, P., 2009. Application of relative drought indices in assessing climate-change impacts on drought conditions in Czechia. Theoretical and Applied Climatology, 96, No. 1–2, pp 155–171.

Duras, J., Potužak, J., Marcel, M., 2017. Jak se sucho 2015 projevilo v kvalitě stojatých vod. Vodní hospodářství, 4/2017, 11–20.

Duras, J. Marcel, M., 2018. Drought and its influence on water quality in water reservoirs. In: Magdeburský seminář o ochraně vod 2018, Sborník Povodí Vltavy, Praha, pp 64–66.

Dyderski, M. K., et al., 2017. How much does climate change threaten European forest tree species distribution? Global Change Biology, 24:1150–1163.

EA (Environment Agency), 2014. Flood and coastal erosion risk management Long-term investment scenarios (LTIS). Bristol, UK. Dostupné online: assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/381939/FCRM_Long_term_investment_scenarios.pdf.

EA (Environment Agency), 2019. Long-term investment scenarios (LTIS). Dostupné online: www.gov.uk/government/publications/flood-and-coastal-risk-management-in-england-long-term-investment/long-term-investment-scenarios-ltis-2019#new-evidence-about-long-term-investment-levels.

Easterling, W. E., Aggarwal, P. K., Batima, P., Brander, K. M., Erda, L. Howden, S. M., Kirilenko, A., Morton, J., Soussana, J. F., Schmidhuber, J., Tubiello, F. N., 2007. Food, fibre and forest products. In: Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge, UK, 273–313.

ECDC (European Centre for Disease Prevention and Control), 2007. Chikungunya in Italy. Mission Report 17 – 21, Joint ECDC/WHO visit for a European risk assessment. Dostupné online: www.ecdc.europa.eu/en/healthtopics/Pages/Climate_Change_Vector_Borne_Diseases.aspx.

ECDC (European Centre for Disease Prevention and Control), 2019. Dostupné online: http://www.ecdc.europa.eu/en/.

Econadapt, 2015. The costs and benefits of adaptation. Results fromt he ECONADAPT project.

EEA (European Environment Agency), 2008. Impacts of Europe’s Changing Climate – 2008 indicator-based assessment. EEA Report No. 4/2008, Copenhagen, Denmark.

EEA (European Environment Agency), 2010. Mapping the impacts of natural hazards and technological accidents in Europe. Technical report, 13/2010, 146 p.

EEA (European Environment Agency), 2012. Climate change, impacts and vulnerability in Europe 2012. EEA Report No. 12/2012. Dostupné online: www.eea.europa.eu/publications/climate-impacts-and-vulnerability-2012.

EEA (European Environment Agency), 2012a. Urban adaptation to climate change in Europe. Challenges and opportunities for cities together with supportive national and European policies. No. 2/2012, ISSN 1725-9177.

EEA (European Environment Agency), 2017. Climate change, impacts and vulnerability in Europe 2016. Dostupné online: www.eea.europa.eu/publications/climate-change-impacts-and-vulnerability-2016.

Eitzinger, J., Kersebaum, K. C., Formayer, H., 2009. Landwirtschaft im Klimawandel – Auswirkungen und Anpassungsstrategien für die Land- und Forstwirtschaft in Mitteleuropa. 320, Agrimedia, D-29459 Clenze, Deutschland. Dostupné online: de.agrimedia.com.

Elmqvist, T., Setälä, H., Handel, S., van der Ploeg, S., Aronson, J., Blignaut, J. N., Gómez-Baggethun, E., Nowak, D. J., Kronenberg, J., de Groot, R., 2015. Benefits of restoring ecosystem services in urban areas. Current Opinion in Environmental Sustainability, vol. 14, pp 101–108.

EPA (Environmental Protection Agency), 1998. Prevention pesticides and toxic substances. US EPA, 738-F-98018. Dostupné online: www3.epa.gov/pesticides/chem_search/reg_actions/reregistration/fs_PC-090501_1-Dec-98.pdf.

EPA (Environmental Protection Agency), 2015. Benefit mapping and analysis program (BenMap).“A pyramid of effects from air pollution“. Dostupné online: www.epa.gov/benmap/.

Eurostat, 2019. On-line databáze. Dostupné online: ec.europa.eu/eurostat/data/database

Farber, S. C., Costanza, R., Wilson, M., 2002. Economic and Ecological Concepts for Valuing Ecosystem Services. Ecological Economics, 41(3):375–392. doi: 10.1016/S0921-8009(02)00088-5.

Fatorić, S., Seekamp, E., 2017. Are cultural heritage and resources threatened by climate change? A systematic literature review. Climatic Change, pp 142:227–254. doi: 10.1007/s10584-017-1929-9.

Field, C. B., ed., 2012. IPCC/SREX. Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation. A Special Report of Working Groups I and II of the IPCC (eds. Field, C. B., Barros, V., Stocker, T. F., et al.). Cambridge University Press. Dostupné online: ipcc-wg2.gov/SREX/.

Finlay, S. E., Moffat, A., Gazzard, R., Baker, D., Murray, V., 2012. Health Impact of Wildfires. Version 1., Plos Curr., 2(4). Dostupné online: www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3492003/.

Finley, T., Schuchard, R., 2009. Adapting to Climate Change–A Guide for the Energy and Utility Industry. Dostupné online: www.bsr.org/reports/BSR_Climate_Adaptation_Issue_Brief_Energy_Utilities.pdf.

Flörke, M., Kynast, E., Bärlund, I., Eisner, S., Wimmer, F., Alcamo, J., 2013. Domestic and industrial water uses of the past 60 years as a mirror of socio-economic development: A global simulation study. Global Environmental Change, vol. 23, pp 144–156.

Flörke, M., Alcamo, J., 2004. European outlook on water use. Final report. Center for Environmental Systems Research, Kassel, 83 s.

Flousek, J., Harčarik, J., 2009. Sjezdové lyžování a ochrana přírody. Ochrana přírody. 6, 8–10.

Forestry Commission, 2010. Forestry and Climate Change pack. Dostupné online: www.forestry.gov.uk/pdf/packinsertslowres.pdf/$FILE/packinsertslowres.pdf.

Forzieri, G., Cescatti, A., Silva, F. B., Feyen, L., 2017. Increasing risk over time of weather-related hazards to the European population: A data-driven prognostic study. The Lancet, Planetary Health, Vol 1, Number 5, 163-208. doi: 10.1016/S2542-5196(17)30082-7.

Foster, J., Lowe, A., Winkelman, S., 2011. The Center for Clean Air Policy. The Value of Green Infrastructure for Urban Adaptation.

Fouillet, A., Rey, G., Wagner, V., Laaidi, K., Empereur-Bissonnet, P., Le Tertre, A., Frayssinet, P., Bessemoulin, P., Laurent, F., De Crouy-Chanel, P., Jougla, E., Hémon, D., 2008. Has the impact of heat waves on mortality changed in France since the European heat wave of summer 2003? A study of the 2006 heat wave. Int J Epidemiol., 37(2):309-17.

Frélichová, J., Vačkář, D., Pártl, A., Loučková, B., Harmáčková, Z. V., Lorencová, E., 2014. Integrated Assessment of Ecosystem Services in the Czech Republic. Ecosystem Services, 8:110-117.

Füssel, H. M., Jol, A., Kurnik, B., Hemming, D., 2012. Climate change, impacts and vulnerability in Europe 2012: an indicator-based report. EEA Report.

Gelete, G., Gokcekus, H., 2018. The Economic Impact of Climate Change on Transportation Assets. J Environ Pollut Control, 1(1):105. doi: 10.15744/2639-9288.1.105.

Genovese, E., 2006. A methodological approach to land use-based flood damage assessment in urban areas: Prague case study. European Communities, DG-JRC, Ispra, EUR.

Gilman, S. E., 2010. A Framework for community interactions under climate change. Trends in Ecology and Evolution, 25:325-331.

Gonzales, P., Neilson, R. P., Lenihan, J. M., Drapek, R. J., 2010. Global patterns in the vulnerability of ecosystems to vegetation shift due to climate change. Global Ecology & Biogeography, 19, pp 755-768.

Gourdji, S. M., Sibley A. M., Lobell D. B., 2013. Global crop exposure to critical high temperatures in the reproductive period: historical trends and future projections. Environmental Research Letters, 8, 2.

Greiving, S., Flex, F., Lindner, C., Lückenkötter, J., Holsten, A., Kropp, J., Juhola, S., Niemi, P., Peltonen, L., Vehmas, J., Davoudi, S., Tranos, E., Schmidt-Thomé, P., Klein, J., Tarvainen, T., et al., 2011. ESPON Climate – Climate Change and Territorial Effects on Regionsand Local Economies. Applied Research Project No. 2013/1/4. ESPON. Dostupné online: www.espon.eu/export/sites/default/Documents/Projects/AppliedResearch/CLIMATE/inceptionreport_final.pdf.

Grêt-Regamey, A., Bebi, P., Bishop, I. D., Schmid, W. A., 2008. Linking GIS-based models to value ecosystem services in an Alpine region. Journal of Environmental Management, 89, pp 197–208.

Grimm, I. J., Alcântara, L. C. S., Sampaio, C. A. C., 2018. Tourism under climate change scenarios: impacts, possibilities, and challenge. Rev. Bras. Pesq. Tur., São Paulo, 12(3), pp 1-22.

Grulich V., Chobot K., eds., 2017. Červený seznam ohrožených druhů ČR. Cévnaté rostliny. Časopis Příroda Praha, č. 35.

Grumbine, E. R., 1994. What is ecosystem management? Conservation Biology, 8:27-38.

GSA, 2011. The Benefits and Challenges of Green Roofs on Public and Commercial Buildings. A Report of the United States General Services Administration. Dostupné online: www.gsa.gov/portal/mediaId/158783/fileName/The_Benefits_and_Challenges_of_Green_Roofs_on_Public_and_Commercial_Buildings.action.

Gutiérrez, J. M., Maraun, D., Widmann, M., et al., 2018. An intercomparison of a large ensemble of statistical downscaling methods over Europe: Results from the VALUE perfect predictor cross-validation experiment. Int. J. Climatol., pp 1–36. doi: 10.1002/joc.5462.

Hallegatte, S., Henriet, F., Corfee-Morlot, J., 2008. The Economics of Climate Change Impacts and Policy Benefits at City Scale. A CONCEPTUAL FRAMEWORK, (4), pp 0–48.

Hallegatte, S., Hourcade, J.-C., Ambrosi, P., 2007. Using climate analogues for assessing climate change economic impacts in urban areas. Climatic Change, vol. 82, pp 47-60.

Hallegatte, S., Shah, A., Brown, C., Lempeert, R., Gill, S., 2012. Investment Decision Making Under Deep Uncertainty - Application to Climate Change. Policy Research Working Paper No. 6193. The World Bank, Sustainable Development Network. Dostupné online: https://www.researchgate.net/publication/256033234_Investment_Decision_Making_Under_Deep_Uncertainty_--_Application_to_Climate_Change.

Hamilton, J. M., Tol, R. S. J., 2004. The impact of climate change on tourism and recreation. Engineering, pp 1–27.

Hanel, M., et al., 2011. Odhad dopadů klimatické změny na hydrologickou bilanci v ČR a možná adaptační opatření. Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, v.v.i., Praha.

Hanel, M., Havlíček, V., Heřmanovský, M., Máca, P., 2019: Dopady klimatické změny na bilanci povodí Labe po Drážďany. Ochrana přírody, 2/2019, s. 32-35.

Hanel, M., Kožín, R., 2016: Korekce chyb srážek a teploty z regionálních klimatických modelů – vliv na modelování odtoku. VTEI, 2016/5, s. 26-32.

Hanewinkel, M., Cullmann, D. A., Schelhaas, M. J., Naaburs, G. J., Zimmermann, N. E., 2013. Climate change may cause severe loss in the economic value of European forest land. Nature Climate Change, vol. 3, pp 203-207.

Hannah, L., et al., 2002. Conservation of biodiversity in a changing climate. Conservation Biology, 16:264-268.

Hanslík, E., Marešová, D., Juranová, E., Vlnas, R., 2016: Dependence of Selected Water Quality Parameters on Flow Rates at River Sites in the Czech Republic. Journal of Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems, Vol. 4 (2), pp 127-140.

Hantel, M., Ehrendorfer, M., Haslinger, A., 2000. Climate sensitivity of snow cover duration in Austria. International Journal of Climatology, 20(6), pp 615–640.

Hanzlíková, H., Plavcová, E., Kynčl, J., Kříž, B., Kyselý, J., 2015. Contrasting patterns of hot spell effects on morbidity and mortality for cardiovascular diseases in the Czech Republic, 1994–2009. Int J Biometeorol., Volume 59(11), pp 1673–1684.

Harmáčková, Z., Krkoška Lorencová, E., Vačkář, D., 2015. Ecosystem-based adaptation and disaster risk reduction: costs and benefits of participatory ecosystem services scenarios for Šumava National Park, Czech Republic. In: Sudmeier-Rieux, K., Renaud, F., et al., 2015. The role of ecosystems in disaster risk reduction and climate change adaptation, Springer.

Harmon, J. P., et al., 2009. Species response to environmental change: impacts of food web interactions and evolution. Science, 323:1347-1350.

Harrison, P. A., Berry, P. M., Simpson, G., Haslett, J. R., Blicharska, M., Bucur, M., Dunford, R., Egoh, B., Garcia-Llorente, M., Geamana, N., Geertsema, W., Lommelen, E., Meiresonne, L., Turkelboom, F., 2014. Linkages between biodiversity attributes and ecosystem services: A systematic review. Ecosystem Services, 9:191-203.

Hartel, H., Lončáková, J., Hošek, M., eds., 2009. Habitat mapping in the Czech Republic. Agency of Nature Conservation and Landscape Protection, Prague.

Hédl, R., Roleček, J., Boublík, K., et al., 2009. Prohlášení České botanické společnosti aneb deset témat pro českou lesnickou politiku. Zprávy České botanické společnosti, 44, Materiály 24, s. 3–7.

Hejda R., Farkač J., chobot K., eds., 2017. Červený seznam ohrožených druhů ČR. Bezobratlí. Časopis Příroda Praha, č. 36.

Hewitt, G. M., Nichols, R. A., 2005. Genetic and Evolutionary Impacts of Climate Change. In: Lovejoy T. E., Hannah L., eds., 2005. Climate change and Biodiversity. Yale Univ. Press, New Haven.

Higgins, P. A., 2009. Carbon cycle amplification: How optimistic assumptions cause persistent underestimates of potential climate damages and mitigation. An editorial comment. Climatic Change, 95:363-368.

Hlavinka, P., Trnka, M., Balek, J., Semerádová, D., Hayes, M., Svoboda, M., Eitzinger, J., Možný, M., Fischer, M., Hunt, E., Žalud, Z. 2011. Development and evaluation of the SoilClim model for water balance and soil climate estimates. Agriculture and Water Management, 98:1249–1261.

Hodgkins, G. A., Whitfield, P. H., Burn, D. H., Hannaford, J., Renard, B., Stahl, K., Fleig, A. K., Madsen, H., Mediero, L., Korhonen, J., Wilson, D., 2017. Climate-driven variability in the occurrence of major floods across North America and Europe, Journal of Hydrology, Vol. 522, 704-717. doi: 10.1016/j.jhydrol.2017.07.027.

Hofmeister, J., Hruška, J., 2005. Sledování biodiverzity suchozemských ekosystémů v kontextu globálních změn. In: Vačkař, D., ed., 2005. Ukazatele změn biodiverzity. Academia, Praha, s. 58-76.

Hollan, J. 2012, Zvláštní zpráva: Jak reagovat na rizika extrémních událostí a pohrom a zlepšit adaptace na změnu klimatu. Český překlad. Cambridge University Press. Dostupné online: amper.ped.muni.cz/gw/ipcc_cz/srex/srex_cz.pdf.

Hooper, D. U., Adair, E. C., Cardinale, B. J., et al., 2012. A global synthesis reveals biodiversity loss as a major driver of ecosystem change. Nature, 486, 105. doi: 10.1038/nature11118.

Hope, C., 2009. The costs and benefits of adaptation. In: Parry, M., Arnell, N., Berry P., Dodman, D., Fankhauser, S., Hope, C., Kovats, S., Nicholls, R., Satterthwaite, D., Tiffin, R., Wheeler, T., 2009. Assessing the Costs of Adaptation to Climate Change: A Review of the UNFCCC and Other Recent Estimates, International Institute for Environment and Development and Grantham Institute for Climate Change. pp 100–111.

Horrobin, S., 2006. Immortality, human nature, the value of life and the value of life extension. Bioethics, 20(6):279-292.

Hov, Ø., Cubasch, U., Fischer, E., Höppe, P., Iversen, T., Gunnar Kvamstø, N., et al., 2013. Extreme weather events in Europe: Preparing for climate change adaptation. Oslo, Norwegian Meteorological Institute. Dostupné online: real.mtak.hu/id/eprint/8366.

Hrdinka, T., Vlasák, P., Havel, L., Mlejnská, E., 2015: Possible impacts of climate change on water quality in streams of the Czech Republic. Hydrological Sciences Journal, 60 (2), pp 192-201. doi: 10.1080/02626667.2014.889830.

Huglin, P., 1978. Nouveau mode d'évaluation des possibilités héliothermiques d'un milieu viticole. Comptes Rendus de l'Académie d'Agriculture, France, pp 1117–1126.

Huijbregts, Z., Kramer, R. P., Martens, M. H. J., van Schijndel, A. W. M., Schellen, H. L., 2012a. A proposed method to assess the damage risk of future climate change to museum objects in historic buildings, Building and Environment. Volume 55, pp 43-56. ISSN: 0360-1323. doi: 10.1016/j.buildenv.2012.01.008.

Huijbregts, Z., Martens, M., Conen, K., Nugteren, I., van Schijndel, V., 2012b. Damage risk assessment of museum objects in historic buildings due to shifting climate zones in Europe. Proceedings of the 5th International Building Physics Conference, Kyoto, Japan, pp 1271-1278.

Huijbregts, Z., Schellen, H., van Schijndel, J., 2013. Computer modelling to evaluate the risks of damage to objects exposed to varying indoor climate conditions in the past, present, and future, Proceedings of the 2nd Central European Symposium on Building Physics, Vienna, Austria, pp 335–342.

Hůnová, I., Kurfürst, P., Vlček, O., et al., 2016. Towards a better spatial quantification of nitrogen deposition: A case study for Czech forests. Environmental Pollution, 213:1028–1041.

Hunt, A., Ferguson, J., Baccini, M., Watkiss, P., Kendrovski, V., 2016. Climate and Weather Service Provision: Economic Appraisal of Adaptation to Health Impacts. Climate Services. doi: 10.1016/j.cliser.2016.10.004.

Huntley, B., 2007. Climatic change and the conservation of European biodiversity: Towards the development of adaptation strategies. Council of Europe, Strasbourgh, 58 s.

Hutton, G., 2011. The economics of health and climate change: key evidence for decision making. Globalization and Health, 7(1), 18.

HZS ČR (Hasičský záchranný sbor České republiky), 2015. Analýza hrozeb pro Českou republiku. Praha. Dostupné online: https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=2ahUKEwi5nt_BrMriAhUFJFAKHfGSB68QFjAAegQIBRAC&url=https%3A%2F%2Fwww.hzscr.cz%2Fsoubor%2Fanalyza-hrozeb-zaverecna-zprava-pdf.aspx&usg=AOvVaw1NTE9vc8px5W8Cbhp-wBH6.

Challinor, et al., 2014. A meta-analysis of crop yield under climate change and adaptation. Nature Climate Change, 4, pp 287–291.

Chen, I. C., et al., 2011. Rapid Range Shifts of Species Associated with High Levels of Climate Warming. Science, 333:1024-1026.

Chloupek, O., Hrstková, P., Schweigert, P., 2004. Yield and its stability and response to climate changes, weather and fertilization over 75 years in the Czech Republic in comparison to some European countries. Field Crops Research, 85:167–190.

Chobot K., Němec M., eds., 2017. Červený seznam ohrožených druhů ČR. Obratlovci. Časopis Příroda Praha, č. 34.

Christensen, J. H., et al., 2007. Regional Climate Projections. In: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, USA.

Chystal, S. M. P., et al., 2015. Climate change modifies risk of global biodiversity loss due to land-cover change. Biological Conservation, 187:103-111.

Chytrý, M., Kučera, T., Kočí, M., Grulich, V., Lustyk, P., 2010. Habitat Catalogue of the Czech Republic. Agency of Nature Conservation and Landscape Protection, Prague.

IARC, 1999. Monohraphs on the evaluation of the carcinogenic risks to humans. Some chemicals that cause tumours of the kidney or urinary bladder in rodents and some substances. Vol 73, Lyon, France. Dostupné online: monographs.iarc.fr/wp-content/uploads/2018/06/mono73-8.pdf.

IEA (International Energy Agency), 2015. Energy and Climate Change - World Energy Outlook Special Report. IEA PUBLICATIONS, Paříž, Francie, 199 pp. Dostupné online: www.iea.org/publications/freepublications/publication/WEO2015SpecialReportonEnergyandClimateChange.pdf.

IEA (International Energy Agency), 2016. Energy, Climate Change and Environment insight. IEA PUBLICATIONS, Paříž, Francie, 133 pp. Dostupné online: www.iea.org/publications/freepublications/publication/ECCE2016.pdf#page=86.

Iglesias, A., Garrote, L., Quiroga, S., Moneo, M., 2009. Impacts of climate change in agriculture in Europe. PESETA-Agriculture study. JRC, Luxembourg.

IPCC, 2012. Managing the risks of extreme events and disasters to advance climate change adaptation. A special report of working groups I and II of the intergovernmental panel on climate change. Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge, UK, Cambridge University Press, 582 p.

IPCC, 2013. Climate Change 2013. The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp, doi: 10.1017/CBO9781107415324.

IPCC, 2018. Global warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty. In Press.

IPCC, 2019. 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Draft May 2019.

Iverson, L. R., Mckenzie, D., 2013. Tree-species range shifts in a changing climate: detecting, modelling, assisting. Landscape Ecology, 28, pp 879-889.

Jacob, D., Petersen, J., Eggert, B., et al., 2014. EURO-CORDEX: new high-resolution climate change projections for European impact research. Reg Environ Change, 14:563-578. doi: 10.1007/s10113-013-0499-2.

Jahfari, S., et al., 2017. Melting pot of tick-borne zoonoses: the European hedgehog contributes to the maintenance of various tick-borne diseases in natural cycles urban and suburban area. Parasit Vectors, 10:134. doi: 10.1186/s13071-017-2065-0.

Janouš, D., Pavelka, M., Taufarová, K., Havránková, K., Czerný, R., Pokorný, R., Dušek, J., Marek, M. V., 2011. Toky uhlíku mezi ekosystémem a atmosférou. In: Marek, M. V., ed., 2011. Uhlík v ekosystémech České republiky v měnícím se klimatu. Academia, Praha.

Janssens, I. A., Freibauer, A., Cialis, P., 2003. Europe´s terrestrial biosphere absorbs 7-12 % of European anthropogenic CO_2 emissions. Science, 300:1538-1542.

Jones, H. P., Hole, D. G., Zavaleta, E. S., 2012. Harnessing nature to help people adapt to climate change. Nature Climate Change, 2:504-509.

Jones, B., Keen, M., Strand, J., 2012. Fiscal Implications of Climate Change. Policy Research Working Paper, 5956, World Bank.

JRC (Joint Research Centre), 2004. Analysis of Natech (Natural Hazard Triggering Technological Disasters) disaster management. In: NEDIES Workshop Proceedings, Ispra, Italy, 20 – 21 October 2003, 198 pp. Dostupné online: www.preventionweb.net/publications/view/1607.

JRC (Joint Research Centre), 2009. PESETA – Project of Economic Impact in Sectors of Europe Based on Bottom up Analysis. JRC, IPTS, EN 4135.

Kabat, P., van Vierssen, W., Veraart, J., Vellinga, P., Aerts, J., 2005. Climate proofing the Netherlands. Nature, vol. 438, pp 283-284.

Kaiser, R., 2015. Stav požární ochrany kulturního dědictví. Mosty k požární ochraně kulturních památek - odborná konference s mezinárodní účastí. Sborník příspěvků, Národní památkový ústav, Praha, pp 38-51, ISBN 978-80-7480-042-9.

Kalra, N., Hallegatte, S., Lempert, R., Brown, C., Fozzard, A., Gill, S., Shah, A., 2014. Agreeeing on Robust Decisions – New Processes for Decision Making Under Deep Uncertainty. Policy Research Working Paper, 6906, The World Bank.

Keim, M. E., 2008. Building Human Resilience The Role of Public Health Preparedness and Response As an Adaptation to Climate Change. American Journal of Preventive Medicine, 35(5):508-516.

Kelman, I., 2015. Climate Change and Sendai Framework for Disaster Risk Reduction. International Journal of Disaster Risk Science, 6:117-127.

Kendrovski, V., Baccini, M., Martinez, G. S., Wolf, T., Paunovic, E., Menne, B., 2017. Quantifying Projected Heat Mortality Impacts under 21st-Century Warming Conditions for Selected European Countries. Int J Environ Res Public Health, 14(7):729. doi: 10.3390/ijerph14070729.

Kocmánková, E., Trnka, M., Žalud, Z., Semerádová, D., Dubrovský, M., Muška, F., Možný, M., 2008. Comparison of two mapping methods of potential distribution of pests under present and changed climate. Plant Protection Science, 44:49–56.

Koetse, M. J., Rietveld, P., 2009. The impact of climate change and weather on transport: An overview of empirical findings. Transportation Research Part D: Transport and Environment, vol. 14, pp 205-221.

Konvička, M., Maradová, M., Beneš, J., Fric, Z., Kepka, P., 2003. Uphill shifts in distribution of butterflies in the Czech Republic: effects of changing climate detected on a regional scale. Global Ecological Biogegraphy, 12, pp 403-410.

Kovats, R. S., 2009. Adaptation costs for human health. In: Parry, M., Arnell, N., Berry, P., Dodman, D., Fankhauser, S., Hope, C., Kovats, S., Nicholls, R., Satterthwaite, D., Tiffin, R., Wheeler, T., 2009. Assessing the Costs of Adaptation to Climate Change: A Review of the UNFCCC and other recent estimates. IIED and Grantham Institute for Climate Change, London.

Kovats, R. S., Haines, A., Stanwel-Smit, R., Martnes, P., Menne, B., Bertollini, R., 1999. Climate change and human health in Europe. BMJ, Vol 318, 19, pp 1682-1685.

Kovats, R. S., Valentini, R., Bouwer, L. M., Georgopoulou, E., Jacob, D., Martin, E., Rounsevell, M., Soussana, J-F., 2014. Europe. In Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part B: Regional Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, Cambridge University Press, pp 1267-1326.

Kožíšek, F., 2005. Pitný režim. Státní zdravotní ústav. Praha; s. 1-4.

Kožíšek, F., 2016. Dejvická havárie a epidemie nebyla náhoda Příčiny a průběh dejvické epidemie v květnu 2015. Vodní hospodářství, 01/2016. Dostupné online: vodnihospodarstvi.cz/dejvicka-havarie.

Kožíšek, F., et al., 2018. Zpráva o kvalitě pitné vody v roce 2017. SZÚ.

Kredba, V., et. al., 1970. Infekční nemoci. Praha, Avicenum.

Kříž, P., Hanel, M., 2013: Vyhodnocení změn hydrologické bilance v simulacích modelů zemského povrchu. VTEI, 55, 3/2013, s. 1-5.

Kučera, T., 2012. Red List of Habitats in the Czech Republic. In: Machar, I., Drobilová, L., Eds., 2012. Ochrana přírody a krajiny v České republice. Vols I and II. Palacky University, Olomouc, pp 157-160.

Kundzewicz, Z., 2011. Global Change and Flood Risk Management. In: Chavoshian, A., Takeuchi, K., 2011. Large-scale Floods Report. ICHARM, Tokyo, 207 pp. ISSN: 0386-5878.

Květoň, V., Žák, M., 2018. Zima 2016/2017 z pohledu údržby komunikací. Meteorologické zprávy, 71, 1, s. 10-15.

Kyselý, J., 2010. Recent severe heat waves in central Europe: how to view them in a long-term prospect? Int. J. Climatol., 30:89-109.

Kyselý, J., Huth, R., 2004. Možnosti konstrukce budoucích scénářů úmrtnosti související se stresem z horka v ČR a jejich omezení. In: Rožnovský, J., et al., 2004. Seminář „Extrémy počasí a podnebí“, Brno, 11. března 2004. ISBN 80866-90-12-1.

Lafortezza, R., Davies, C., Sanesi, G., Konijnendijk, C. C. C., 2013. Green infrastructure as a tool to support spatial planning in European urban regions. J. Biogeosci. For., 6, pp 102–108.

Landrigan, P. J., 2001. Pesticides and polychlorinated biphenyls (PCBs): An analysis of the evidence that they impair childrenś neurobehavioral development. Japanese Journal of Occupational Medicine and Traumatology, 49 (2), pp 89-96.

Larsen, P., et al., 2008. Estimating Future Costs for Alaska Public Infrastructure at Risk from Climate Change. Institute for Social and Economic Research.

Laurans, Y., Rankovic, A., Rankovic, A., Billé, R., 2013. Use of Ecosystem Services Economic Valuation for Decision Making: questioning a Literature Blindspot. Journal of Environmental Management, 119, pp 208-219. doi: 10.1016/j.jenvman.2013.01.008.

Leckebusch, G. C., Ulbrich, U., Frohlich, L., Pinto, J. G., 2007. Property loss potentials forEuropean midlatitude storms in a changing climate. Geophysical Research Letters, 34(5):L05703.

Ledvinka, O., Lamačová, A. 2015: Detection of field significant long-term monotonic trends in spring yields. Stochastic Environmental Research and Risk Assessment, 29, pp 1463–1484. doi: 10.1007/s00477-014-0969-1.

Lee, T. H., 2013. Influence analysis of community resident support for sustainable tourism development, 2013, Tourism Management, Vol. 34, pp 37–46.

Legrand, J. P., 1978. Fluctuations météorologiques, vendanges et activité solaire. La meteorologie, 9:73–91.

Lerro, C. C., Koutros, S., Andreotti, G., Hines, C. J., Blair, A., Lubin, J., Ma, X., Zhang, Y., Beane Freeman, L. E., 2015. Use of acetochlor and cancer incidence in the Agricultural Health Study. Int J Cancer, 1, 137, (5):1.

Ličbinský, R., et. al., 2017. Environmentální a ekonomické hodnocení adaptačních opatření ve vztahu ke změně klimatu v sektoru dopravy. Závěrečná zpráva. Brno, Centrum dopravního výzkumu, v.v.i.

Ličbinský, R., et al., 2018. Environmentální a ekonomické hodnocení adaptačních opatření ve vztahu ke změně klimatu v sektoru dopravy. Závěrečná zpráva. Brno, Centrum dopravního výzkumu, v.v.i.

Lise, W., van der Laan, J., 2015. Investment needs for climate change adaptation measures of electricity power plants in the EU. Energy for Sustainable Development, 28, pp 10–20.

Liu, Ch., Allan, R. P., 2013. Observed and simulated precipitation responses in wet and dry regions 1850–2100. Environmental Research Letters, 8, 3.

Lobell, D. B., Field, C. B., 2007. Global scale climate-crop yield relationships and the impacts of recent warming. Environmental Research Letters, 2, 014002. doi: 10.1088/1748–9326/2/1/014002.

Luber, G., McGeehin, M., 2008. Climate Change and Extreme Heat Events. American Journal of Preventive Medicine, 35, (5), pp 429-435. Dostupné online: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0749379708006867

MAG Consulting, 2013. Tiskové zprávy. Povodně budou mít vliv i na cestovní ruch. Dostupné online: http://www.magconsulting.cz/povodne-budou-mit-vliv-cestovni-ruch/.

Machar, I., 2012. Protection of nature and landscapes in the Czech Republic Selected current issues and possibilities of their solution. In: Machar, I., Drobilová, L., eds., 2012. Ochrana přírody a krajiny v České republice, Vols I and II., Palacky University, Olomouc.

Machar, I., et al., 2019. Environmental Modelling of Forest Vegetation Zones as a Support Tool for Sustainable Management of Central European Spruce Forests. Journal of Landscape Ecology, 11. doi: 10.2478/jlecol-2018-0012.

Machar, I., Voženílek, V., Kirchner, K., Vlčková, V., Buček, A., 2017. Biogeographic model of climate conditions for vegetation zones in Czechia. Geografie, 122 (1), pp 64-82.

Marchi, L, Borga, M., Preciso, E., Gaume, E., 2010. Characterisation of selected extreme flash floods in Europe and implications for flood risk management. Journal of Hydrology, Volume 394, Issues 1–2, pp 118-133. doi: 10.1016/j.jhydrol.2010.07.017.

Maronna, R. A., Yohai, V. J., 1978. A Bivariate Test for the Detection of a Systematic Change in Mean. Journal of the American Statistical Association, 73(363):640-645 doi: 10.1080/01621459.1978.10480070.

McCarl, B. A., 2007. Adaptation Options for Agriculture, Forestry and Fisheries. A Report to the UNFCCC Secretariat Financial and Technical Support Division.

McMichael, D. H., Campbell-Lendrum, C. F., Corvalan, K. I., Ebi, L., Githeki, A., Scheraga, J. D., Woodward, A., 2003. Climate Change and Human Health: Risks And Responses. WMO, Geneva, Switzerland. ISBN 92 4 156248 X.

McPhearson, T., Andersson, E., Elmqvist, T., Frantzeskaki, N., 2014. Resilience of and through urban ecosystem services. Ecosystem Services, pp 1–5.

MD (Ministerstvo dopravy), 2018. Ročenka dopravy 2017. Praha, Ministerstvo dopravy České republiky.

Menzel, A., et al., 2006. European phenological response to climate change matches the warming pattern. Global Change Biology, 12:1969-1976.

Metroeconomica et al., 2006. Climate change impacts and adaptation: Crossregional research programme to quantify the cost of future impacts. Dostupné online: sciencesearch.defra.gov.uk/Default.aspx?Menu=Menu&Module=More&Location=None&Completed=0&ProjectID=13231.

Miko, L., Hošek, M., eds., 2009. Příroda a krajina České republiky. Zpráva o stavu v roce 2009. Agentura OPaK ČR Praha.

Miller, J. D., Hutchins, M., 2017. Journal of Hydrology: Regional Studies, 12, 2017, pp 345-362. doi: 10.1016/j.ejrh.2017.06.006.

Mima, S., Criqui, P., Watkiss, P., 2011. The Impacts and Economic Costs of Climate Change on Enery in Europe. Summary of Results from the EC RTD ClimateCost Project. The ClimateCost Project, Final Report, Volume 1: Europe, 27 pp.

Mlíkovský, J., Stýblo, P., 2006. Nepůvodní druhy flóry a fauny ČR. ČSOP, Praha.

Moisselin, J. M., Schneider, M., Canellas, C., Mestre, O., 2002. Les changements climatiques en France au XX° siècle: étude des longues séries homogénéisées de température et de précipitations. Météorol., 38:45–56.

MMR (Ministerstvo pro místní rozvoj), 2018. Cestovní ruch. Statistiky a analýzy. Statistiky cestovního ruchu 2010-2017. Statistiky cestovní ruchu 2017. Domácí a výjezdový cestovní ruch. Dostupné online: www.mmr.cz/cs/Ministerstvo/Cestovni-ruch/Statistiky-a-analyzy-(1)/Statistiky-cestovniho-ruchu-2016-2010/Statistiky-cestovni-ruchu-2017/Domaci-a-vyjezdovy-cestovni-ruch.

Moen, J., Fredman, P., 2007. Effects of Climate Change on Alpine Skiing in Sweden. Journal of Sustainable Tourism, 15(4):418-437. doi: 10.2167/jost624.0.

Montaveza, et al., 2008. Urban Climatic Map and Standards for Wind Environment – Feasibility Study

Mooney, H., Larigauderie, A., Cesario, M., Elmquist, T., et al., 2009. Biodiversity, climate change, and ecosystem services. Current Opinion on Environmental Sustainability, 1:46-54.

Mori, A. S., Lertzman, K. P., Gustafsson, L., 2017. Biodiversity and ecosystem services in forest ecosystems: a research agenda for applied forest ecology. Journal of Applied Ecology, vol. 54(1), pp 12–27.

Moulisová, A., Bendakovská, L., Kožíšek, F., Vavrouš, A., Jeligová, H., Kotal, F., 2018. Pesticidy a jejich metabolity v pitné vodě, jaký je současný stav v České republice? Vodní hospodářství. Dostupné online: vodnihospodarstvi.cz/pesticidy-a%E2%80%AFjejich-metabolity-pitne-vode/.

MPO (Ministerstvo průmyslu a obchodu), 2014a. Státní energetická koncepce. Praha.

MPO (Ministerstvo průmyslu a obchodu), 2014b. Národní akční plán energetické účinnosti ČR. Dostupné online: www.mpo.cz/dokument150542.html.

MPO (Ministerstvo průmyslu a obchodu), 2014c.Energetický report, Elektřina 2014. Dostupné online: www.mpo.cz/dokument160779.html

MPSV (Ministerstvo práce a sociálních věcí), 2019. http://www.mpsv.cz/cs/

Mrkva, L., Kirchesch, V., 2018. A water quality model for the Czech part of the river Labe/Elbe: Application for recent state and scenarios of climate change. In: Magdeburský seminář o ochraně vod 2018, Sborník. Povodí Vltavy, Praha, 2018, pp 48-51.

Mueller, U. G., et al., 2011. Evolution of cold-tolerant fungal symbionts permits winter fungiculture by leafcutter ants at the northern frontier of a tropical ant–fungus symbiosis. Proceedings of the National Academy of Sciences, 108, 10, pp 4053-4056.

Munang, R., Thiaw, I., Alverson, K., Mumba, M., Liu, J., Rivington, M., 2013. Climate change and ecosystem-based adaptation: A new pragmatic approach to buffering climate change impacts. Current Opinion on Environmental Sustainability, 5:67-71.

MunichRE, 2015a. Loss events worldwide 2014. Münchener Rückverrsicherungs-Gesellschaft, Geo Risk Research, NatCatSERVICE, 2 p.

MunichRE, 2015b. 1980-2014 loss events worldwide. Münchener Rückverrsicherungs-Gesellschaft, Geo Risk Research, NatCatSERVICE, 10 p.

Muttarak, L., Lutz, W., 2014. Is Education a Key to Reducing Vulnerability to Natural Disasters and hence Unavoidable Climate Change? Ecology and Society, 19(1):42.

MV (Ministerstvo vnitra České republiky), 2013. Koncepce ochrany obyvatelstva do roku 2020 s výhledem do roku 2030. Praha. Dostupné online: www.vlada.cz/assets/ppov/brs/dokumenty/Koncepce-ochrany-obyvatelstva-2020-2030_1_.pdf.

MV, GŘ HZS (Ministerstvo vnitra, Generální ředitelství hasičského záchtanného sboru České republiky), 2015a. Chování občana při mimořádné události. Dostupné online: www.hzscr.cz/clanek/chovani-obcana-pri-mimoradne-udalosti.aspx.

MV, GŘ HZS (Ministerstvo vnitra, generální ředitelství hasičského záchranného sboru České republiky), 2015c. Vyhlášené krizové stavy. Dostupné, online: www.hzscr.cz/clanek/web-krizove-rizeni-a-cnp-krizove-stavy-krizove-stavy.aspx?q=Y2hudW09Mg%3d%3d

Myers, S. S., et al., 2014. Increasing CO_2 threatens human nutrition. Nature, 510, pp 139-142.

MZ (Ministerstvo zdravotnictví), 2019. https://www.mzcr.cz/.

MZe (Ministerstvo zemědělství), 2010. Plán rozvoje vodovodů a kanalizací České republiky. Dostupné online: eagri.cz/public/web/mze/voda/vodovody-a-kanalizace/plany-rozvoje-vodovodu-a-kanalizaci/prvku-cr/plan-rozvoje-vodovodu-a-kanalizaci-ceske.html.

MZe (Ministerstvo zemědělství), 2014a. Zpráva o stavu vodního hospodářství České republiky v roce 2013. Dostupné online: eagri.cz/public/web/mze/ministerstvo-zemedelstvi/vyrocni-a-hodnotici-zpravy/zpravy-o-stavu-vodniho-hospodarstvi/zprava-o-stavu-vodniho-hospodarstvi.html.

MZe (Ministerstvo zemědělství), 2016. Aktualita. Dostupné online: eagri.cz/public/web/mze/tiskovy-servis/tiskove-zpravy/x2016_ministr-zemedelstvi-splnili-jsme-slib.html.

MZe (Ministerstvo zemědělství), 2017. Koncepce ochrany před následky sucha pro území České republiky. Dostupné online: http://eagri.cz/public/web/mze/ministerstvo-zemedelstvi/koncepce-a-strategie/koncepce-na-ochranu-pred-nasledky-sucha.html.

MZe (Ministerstvo zemědělství), 2018. Zpráva o stavu vodního hospodářství České republiky v roce 2017. Praha. ISBN 978-80-7434-463-3.

MZe (Ministerstvo zemědělství), MŽP (Ministerstvo životního prostředí), 2015. Příprava realizace opatření pro zmírnění negativních dopadů sucha a nedostatku vody. Dostupné online: eagri.cz/public/web/mze/voda/legislativa/dalsi-metodicke-pomucky/zakon-o-vodach/priprava-realizace.html.

MZV (Ministerstvo zahraničních věcí České republiky), 2015. Bezpečnostní strategie ČR. Dostupné online: www.vlada.cz/assets/ppov/brs/dokumenty/bezpecnostni-strategie-2015.pdf.

MŽP (Ministerstvo životního prostředí), 2015. Strategie přizpůsobení se změně klimatu v podmínkách ČR. Praha, 130 s. Dostupné online: www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/zmena_klimatu_adaptacni_strategie/$FILE/OEOK-Adaptacni_strategie-20151029.pdf.

MŽP (Ministerstvo životního prostředí), 2016. Státní politika životního prostředí 2012–2020. Praha, 112 s. Dostupné online: www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/statni_politika_zivotniho_prostredi/$FILE/SOPSZP-Aktualizace_SPZP_2012-2020-20161123.pdf.

MŽP (Ministerstvo životního prostředí), 2016. Národní akční plán adaptace na změnu klimatu. Implementační dokument Strategie přizpůsobení se změně klimatu v podmínkách ČR (2015). Praha, 113 s. Dostupné online: https://www.mzp.cz/cz/narodni_akcni_plan_zmena_klimatu.

Naumann, S., Anzaldua, G., Berry, P., Burch, S., Davis, M., Frelih-Larsen, A., Gerdes, H., Sanders, M., 2011. Assessment of the potential of ecosystem-based approaches to climate change adaptation and mitigation in Europe. Final report to the European Commission, DG Environment, Contract no. 70307/2010/580412/SER/B2, Ecologic institute and Environmental Change Institute, Oxford University Centre for the Environment.

Nečas, E., et al., 2014. Obecná patologická fyziologie. Univerzita Karlova, Karolinum.

Neuner, S., Albrecht, A., Cullmann, D., Engels, F., Griess, V. C., Hahn, W. A., Knoke, T., et al., 2015. Survival of Norway spruce remains higher in mixed stands under a dryer and warmer climate. Global Change Biology, vol. 21(2), pp 935–946.

Němec, J., 2001. Bonitace a oceňování zemědělské půdy České republiky. Výzkumný ústav zemědělské ekonomiky Praha. ISBN: 80-85898-90-X.

Němec, J., et al., 2006. Voda v České republice, Consult, Praha.

Niestena E., Alkemadeb F., 2015, How is value created and captured in smart grids? A review of the literature and an analysis of pilot projects. Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 53, pp 629–638.

Niklińska, M., Maryański, M., Laskowski, R., 1999. Effect of temperature on humus respiration rate and nitrogen mineralization: Implications for global climate change. Biogeochemistry, 44, 1999, pp 239-257. doi: 10.1007/BF00996992.

NIPOS, 2017. Kultura České republiky v číslech – Vybrané údaje ze statistických šetření. Národní informační a poradenské středisko pro kulturu, Praha.

Novický, O., Vyskoč, P., Vizina, A., Kašpárek, L., Picek, J., 2008. Klimatická změna a vodní zdroje v povodí Vltavy. Praha, VÚV T.G.M, v.v.i., 29 s. ISBN 978-80-85900-79-8.

Oberdörster, G., Sharp, Z., Atudorei, V., Elder, A., Gelein, R., Kreyling, W., Cox, C., 2004. Translocation of inhaled ultrafine particles to the brain. Inhal Toxicol., 16(6-7):437-45.

OECD (Organisation for Economic Co-Operation and Development), 2008a. Cost of Inaction on Key Environmental Challenges. OECD Publishing, Paříž, France.

OECD (Organisation for Economic Co-Operation and Development), 2008b. Economic Aspects of Adaptation Climate Change: Costs, Benefits and Policy Instruments. OECD Publishing, Paříž, France.

OECD (Organisation for Economic Co-Operation and Development), 2010. Climate Change and Agriculture: Impacts, Adaptation and Mitigation. OECD Publishing, Paříž, France.

OECD, 2015a. Addendum Number 2 to the OECD Guiding Principles for Chemical Accident Prevention, Preparedness and Response (2nd Ed.) to Address Natural Hazards Triggering Technological Accidents (NATECHS). Series on Chemical Accidents, No. 27, ENV/JM/MONO(2015)1, 378 pp. Dostupné online: www.oecd.org/officialdocuments/publicdisplaydocumentpdf/?cote=env/jm/mono(2015)1&doclanguage=en.

Oke, T. R., 1973. City size and the urban heat island. Atrnospheríc Environment.

Oke, T. R., 1981. Canyon geometry and the nocturnal heat island: comparisons of scale model and field observations. Journal of Climatology, 1(3):237-254. doi: 10.1002/joc.3370010304.

Oke, T. R., 1997. Urban climates and global environmental change. In: Thompson, R. D., Perry, A., eds., 1997. Applied Climatology Principles & Practices. Routledge, London, New York.

Olesen, J. E., Bindi, M., 2002. Cosequences of climate change for European agricultural productivity, land use and policy. European Journal of Agronomy, 16:239–262.

Olson, J. M., Blankenship, R. E., 2004. Thinking about the evolution of photosynthesis. Photosynthesis Research, 80:373-386.

Opdam, P., Wascher, D., 2004. Climate change meets habitat fragmentation: linking landscape and biogeographical scale levels in research and conservation. Biological Conservation, 117:285-297.

Paci, D., 2014. Report for the PESETA II project. Report EUR 26494EN2014. ISBN: 978-92-79-35421-2.

Paerl, H. W., Paul, V. J., 2012. Climate change: links to global expansion of harmful cyanobacteria. Water research, 46(5), pp 1349-1363.

Parry, M., Arnell, N., Berry P., Dodman, D., Fankhauser, S., Hope, C., Kovats, S., Nicholls, R., Satterthwaite, D., Tiffin, R., Wheeler, T., 2009. Assessing the Costs of Adaptation to Climate Change: A Review of the UNFCCC and Other Recent Estimates, International Institute for Environment and Development and Grantham Institute for Climate Change.

Pásková, M., Zelenka, J., 2002. Výkladový slovník cestovního ruchu. Praha, Ministerstvo pro místní rozvoj, 448 s. ISBN 80-239-0152-4.

Pecl, G. T., et al., 2017. Biodiversity redistribution under climate change: impacts on ecosystems and human well-being. Science, 355. doi: 10.1126/science.aai9214.

Pechanec, V., Machar, I., Pohanka, T., Opršal, Z., Petrovič, F., Švajda, J., Šálek, L., Chobot, K., Filippovová, J., Cudlín, P., Málková, J., 2018. Effectiveness of Natura 2000 system for habitat types protection: A case study from the Czech Republic. Nature Conservation, 24:21-41.

Peláková, M., Boersema, M., 2005. Odhad objemu nádrží potřebného pro kompenzaci poklesu odtoku vlivem klimatické změny. Výzkumná zpráva, VÚV T.G.M., v.v.i., Praha. Dostupné online: eagri.cz/public/web/file/37101/VUV_klim_zmen_1_.pdf.

Pelc, F., 2009. Příroda a krajina v České republice a jejich přizpůsobení změnám podnebí. Ochrana přírody, zvláštní číslo, 1/6-5/6.

Penga, L., Jim, C., 2015. Economic evaluation of green-roof environmental benefits in the context of climate change: The case of Hong Kong. Urban Forestry & Urban Greening, Volume 14, Issue 3, pp 554–561.

PESETA, 2014. Climate IMpacts in Europe. The JRC PESETA II Project. Publications Office of the European Union in Luxembourg.

PESETA, 2018. Climate IMpacts in Europe. The JRC PESETA III Project. Publications Office of the European Union in Luxembourg.

Peterson, 2003. Assesment of Urban Versus Rural In situ Surface Temperatures in the Contiguous United States.

Plavcová, E., Kyselý, J., 2014. Effects of sudden air pressure changes on hospital admissions for cardiovascular diseases in Prague, 1994–2009. International Journal of Biometeorology, 58 (6), pp 1327–1337.

Polišenský, J., 2002. Povodně a knihovny. Národní knihovna, 13, 4, pp 301-304.

Porter, J. R., et al., 2014. Food security and food production systems. Climatic Change 2014: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climatic Change ed C B Field et al (Cambridge: Cambridge University Press), pp 485–533.

Prague City Tourism, 2019. V roce 2018 do Prahy přijelo 7,9 milionů návštěvníků. Tisková zpráva ze dne 8. 2. 2019. Dostupné online: www.praguecitytourism.cz/cs/media/tisk/v-roce-2018-do-prahy-prijelo-79-milionu-navstevniku-15330.

Pyšek, P., et al., 2008. Rostlinné invaze v České republice: situace, výzkum a management. Zprávy České botanické společnosti, 43:1-222.

Pyšek, P., et al., 2009. The global invasion success of Central European plant sis related to distribution characteristics in their native range and species traits. Diversity Distribution, 15:891-903.

Petry B., 2002. Coping with floods: complementarity of structural and non-structural measure. In: Wu B., et al., 2002. Flood Defence 2002, ed. Science Press, New York Ltd. ISBN 1-880132-54-0.

Povodí Moravy, 2009. Studie posouzení dopadů klimatické změny na vodohospodářskou soustavu v povodí Moravy, pro oblast povodí Moravy a oblast povodí Dyje. Povodí Moravy, Brno. Dostupné online: www.pmo.cz/download/klimaticka-zmena.pdf.

Povodí Odry, 2015: Plán dílčího povodí horní Odry, 2016-2021: část II užívání vod a dopady lidské činnosti na stav vod. Povodí Odry, Ostrava. Dostupné online: www.pod.cz/planovani/cz/navrh_PDP_HOd/kapitola_II/text/PDP_II_uzivani_a_dopady_HOD.pdf.

Pretel, J., et al., 2011. Zpřesnění dosavadních odhadů dopadů klimatické změny v sektorech vodního hospodářství, zemědělství a lesnictví a návrhy adaptačních opatření. Technické shrnutí výsleků projektu VaV SP/1a6/108/07 v letech 2007–2011. Praha, ČHMÚ. Dostupné online: www.chmi.cz/files/portal/docs/meteo/ok/klimazmena/files/vav_TECHNICKE_SHRNUTI_2011.pdf.

Pretzsch, H., et al., 2014. Forest stand growth dynamics in Central Europe have accelerated since 1870. Nature Communications. doi: 10.1038/ncomms5967.

Rajmis, S., Barkmann, J., Marggraf, R., 2009. User community preferences for climate change mitigation and adaptation measures around Hainich National Park, Germany. Climate Research, 40:61-73.

RAMSES, 2018. Science for cities in transition. Transition Handbook. Trainong Package. Funding from the European Community's Seventh Framework Programme under Grant Agreement No. 308497 (Project RAMSES). doi: 10.2312/PIK.2018.003.

Ramsfield, T. D., Bentz, B. J., Faccoli, M., Jactel, H., Brockerhoff, E. G., 2016. Forest health in a changing world: Effects of globalization and climate change on forest insect and pathogen impacts. Forestry, vol. 89(3), pp 245–252.

Ray, D., Morison, J., Broadmeadow, M., 2010. Climate change: impacts and adaptation in England's woodlands. Dostupné online: www.forestry.gov.uk/pdf/FCRN201.pdf/$FILE/FCRN201.pdf.

Reif, J., Storch, D., Voříšek, P., Šťastný, K., Bejček, V., 2008. Bird-habitat associations predict population trends in central European forest and farmland birds. Biodiversity Conservation, 17, pp 3307-3319.

Reif, J., Vermouzek, Z., 2018. Collapse of farmland bird populations in an Eastern European country following its EU accession. Conservation Letters. doi: 10.1111/conl.12585.

Reilly, J., Schimmelpfennig, D., 1999. Agricultural impact assessment, vulnerability, and the scope for adaptation. Clim. Change, 43:745–788.

Reyer, C. P. O., Lasch-Born, P., Suckow, F., Gutsch, M., Murawski, A., Pilz, T., 2014. Projections of regional changes in forest net primary productivity for different tree species in Europe driven by climate change and carbon dioxide. Annals of Forest Science, vol. 71, pp 211-225.

Reyer, C. P. O., Bathgate, S., Blennow, K., Borges, J. G., Bugmann, H., Delzon, S., Hanewinkel, M., et al., 2017. Are forest disturbances amplifying or canceling out climate change-induced productivity changes in European forests? Environmental Research Letters, vol. 12(3), 34027.

Rixen, C., Teich, M., Lardelli, C., Gallati, D., Pohl, M., Pütz, M. and Bebi, P., 2011. Winter tourism and climate change in the Alps: An assessment of resource consumption, snow reliability and future snowmaking potential. Mountain Research and Development, 31(3), pp 229–236. doi: 10.1659/MRDJOURNAL-D-10-00112.1.

Rojas, R., Feyen, L., Watkiss, P., 2013. Climate change and river floods in the European Union: Socio-economic consequences and the costs and benefits of adaptation. Global Environmental Change, vol. 23, pp 1737-1751.

Romportl, D., Chuman, T., Lipsky, Z., 2013. Landscape typology of Czechia. Geografie, 118(1)16-39.

Rosenthal, D. H., Gruenspecht, H. K., Moran, E., 1995. Effects of Global Warming on Energy Use for Space Heating and Cooling in the United States, The Energy Journal, vol. 16(2), pp 77-96.

Rossi, F., Bonamente, E., Nicolini, A., Anderini, E., Cotana, F., 2015. A carbon footprint and energy consumption assessment methodology for UHI-affected lighting systems in built areas, Enegry and Buildings.

Roudier, P., Jafet Andersson, C. M., Donnelly, Ch., Feyen, L., Greuell, W., 2016. Projections of future floods and hydrological droughts in Europe under a +2 °C global warming. Climatic Change, Springer Verlag, 135 (2). doi: 10.1007/s10584-015-1570-4.

Rudolf, I., Bakonyi, T., Šebesta, O., Mendel, J., Peško, J., Betášová, L., Blažejová, H., Venclíková, K., Nowotny, V., Hubálek, Z., 2014. West-Nile virus lineage 2 isolated from Culex modestusm mosqutoes in the Czech Republic 2013: expansion of the europena WNV endemic area to the North? Euro Surveill, 19 (31), 20867. Dostupné online: www.eurosurveillance.org.

Rudolf, I., Blažejová, H., Šebesta, O., Peško, J., Mendel, J., Šikutová, S.., Hubálek, Z. Kampen, H., Schaffner, F., 2018. The invasive Asian tiger mosquito *Aedes albopictus* (Diptera: Culicidae) in the Czech Republic: Repetitive introduction events highlight the need for extended entomological surveillance. Acta Tropica, 185, pp 239-241.

Runhaar, H., Mees, H., Wardekker, A., van der Sluijs, J., Driessen, P., 2012. Adaptation to climate change-related risks in Dutch urban areas: stimuli and barriers. Reg Environ Change, vol. 12(4), pp 777-790.

Sabbioni, C., Cassar, M., Brimblecombe, P., Lefevre, R. A., 2008. Vulnerability of Cultural Heritage to Climate Change. EUR-OPA, AP/CAT 44.

Sabbioni, C., Cassar, M., Brimblecombe, P., 2010. Atlas of climate change impact on European cultural heritage: scientific analysis and management strategies. European Commission, Brussels, ISBN: 978-1-84331-798-2.

Salcedo Rahola, B., van Oppen, P., Mulder, K., 2009. Heat in the city. An inventory of knowledge and knowledge deficiencies regarding heat stress in Dutch cities and options for its mitigation. Report commissioned by the national research programme climate changes spatial planning. Delft University of Technology, Delft.

Sandbrook, Ch., Burgess, N. D., 2015. Biodiversity and ecosystem services. Ecosystem Services, 12. doi: 10.1016/j.ecoser.2014.12.006.

Sanderson, H., Hildén, M., Russel, D., Penha-Lopes, G., Capriolo, A., eds., 2018. Adapting to Climate Change in Europe 1st Edition. Exploring Sustainable Pathways – From Local Measures to Wider Policies. Elsevier. ISBN 9780128498873.

Santini, A., et al., 2013. Biogeographical patterns and determinants of invasion by forest pathogens in Europe. New Phytologist, 197. doi: 10.1111/j.1469-8137.2012.04364.x.

Sathaye, J., Dale, L., Larsen, P., Fitts, G., Lewis, S., Koy, K., Lucena, A., 2013. Estimating impacts of warming temperatures on California's electricity system. Global Environmental Change.

Sauerborn, R., Ebi, K., 2012. Climate change and natural disasters - integrating science and practice to protect health. Global Health Action, 5:1-7.

SCCV (Swedish Commission on Climate and Vulnerability), 2007. Sweden facing climate change – threats and opportunities. Final report from the Swedish Commission on Climate and Vulnerability. Stockholm, Sweden.

Sellye, H., 1976. Forty years of of stress research: principal remaining problems and misconceptions. CMA Journal, (115) 53-56.

Shalani, M., Pielke Jr., R., 2014. Reconciliation of Trends in Global and Regional Economic Losses from Weather Events: 1980–2008. Natural Hazards Review, Volume 15, Issue 4. doi: 10.1061/(ASCE)NH.1527-6996.0000141.

Shezi, et al., 2019. Environmental Health Practicioners play a key role in helping communities adapt to climate change. BMC Public Health, pp 19-54.

Schröter, M., van der Zanden, E. H., van Oudenhoven, A. P. E., Remme R. P., Serna-Chavez, H. M., de Groot, R. S., Opdam, P., 2014. Ecosystem Services as a Contested Concept: a Synthesis of Critique and Counter-Arguments. Conservation Letters, Volume7, Issue 6, pp 514-523. doi: 10.1111/conl.12091.

Schwartz Jr., H. G., 2010. Adaptation to the Impacts of Climate Change ton Transportation. The Bridge, vol. 40, pp 5-13.

Sluis, T., Pedroli, B., Kristensen, S. B. P., Cosor, G. L., Pavlis, E., 2016. Changing land use intensity in Europe – Recent processes in selected case studies. Land Use Policy, 57:777-785.

Solomon, T., 2003. West Nile Encephalitis. BMJ, 31, 326(7400):1173.

SOU (Statens Offentliga Untredningar), 2019. Skogsbränderna sommaren 2018. Betenkände av 2018 års skogsbrandutveckling. Stockholm, 7, 334 pp. (in Swedish).

Steiger, R., Scott, D., Abegg, B., Pons, M., Aall, C., 2017. A critical review of climate change risk for ski tourism. Current Issues in Tourism, pp 1–37. doi: 10.1080/13683500.2017.1410110.

Steinert, H., Pilgram, A., eds., 2003. Welfare Policy from Below: struggles against social exclusion in Europe. Aldershot: Ashgate, Volume 33, Issue 1, 292 pp., ISBN: 0754630633.

Stern, N., 2006. The Economics of Climate Change – The Stern Review. Cambridge University Press, 712 pp. ISBN: 780521700801.

Stock, M., Gerstengarbe, F. W., Kartschall, T., Werner, P. C., 2005. Reliability of Climate Change Impact Assessments for Viticulture. Acta Horticulture, 689:29–40.

Strnad, F., Moravec, V., Hanel, M., Vizina, A., Beran, A., Melišová, E., Kožín, R., 2017. Regionalizace nedostatkových objemů v České republice. VTEI, 2017 (4), s.12-17.

Stuczyinski, T., et al., 2000., Adaptation Scenarios of Agriculture in Poland to Future Climate Changes. Environmental Monitoring and Assessment, 61(1), pp 133-144.

Susorova I., 2015, Green facades and living walls: vertical vegetation as a construction material to reduce building cooling loads. Eco-Efficient Materials for Mitigating Building Cooling Needs, Design, Properties and Applications, pp 127–153

Svensson, M. K., 2004. Sky view factor analysis implications for urban air temperature differences. Meteorological Applications.

Svoboda, V., Hanel, M., Máca, P., Kyselý, J., 2017. Characteristics of rainfall events in regional climate model simulations for the Czech Republic. Hydrol. Earth Syst. Sci., 21, pp 963–980. doi: 10.5194/hess-21-963-2017.

Svobodová, E., et al., 2013. Pests occurrence model in current climate – validation study for european domain. Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis, sv. LXI, č. 1, pp 206-214.

SZIF (Státní zemědělský intervenční fond), 2014. Zpráva o trhu obilovin, olejnin a krmiv – listopad 2014. Dostupné online: www.szif.cz/cs/CmDocument?rid=%2Fapa_anon%2Fcs%2Fzpravy%2Ftis%2Fzpravy_o_trhu%2F05%2F1420804549273.pdf.

SZIF (Státní zemědělský intervenční fond), 2018. Aktualita. Dostupné online: www.zscr.cz/clanek/zemedelci-si-rekli-zhruba-o-pulku-sumy-na-odskodneni-za-sucho-3842.

SZÚ (Státní zdravotní ústav), 2015. Borelióza. Dostupné online: www.szu.cz/uploads/Epidemiologie/Lymeska_borrelioza/Lymeska_borelioza_CR_data_do_roku_2014.pdf.

SZÚ (Státní zdravotní ústav), 2015a. Malárie.

SZÚ (Státní zdravotní ústav), 2019. Výskyt vybraných infekcí 2019. Praha. Dostupné online: www.szu.cz/publikace/data/infekce-v-cr.

Šebesta, O., et al., 2012. Výzkum komárů na jižní Moravě a jejich zdravotní význam. Hygiena, 57(1), s. 4-9.

Šebesta, O., Gelbič, I., 2016. Late flooding combined with warm autumn – potential piossibility for prolongation of transmission of mosquito-borne diseases. Biologia, 71(11), pp 1292-1297. doi: 10.1515/biolog-2016-0155.

Šefrna, L., Janderková, J., 2007. Obsah oxidovatelného uhlíku v půdních asociacích mapy 1:500 000; Zemědělské půdy. Dílčí zpráva projektu VaV 640/18/03 Czech Carbo: Studium uhlíku v terestrických ekosystémech České republiky.

Šercl, P., Pecha, M., Šrámek, J., Hanzlík, J., 2018: Hydrologické zhodnocení významných srážkových epizod v období 2014-2017. In: ČHMÚ: Suché období 2014-2017 – Vyhodnocení, dopady a opatření, ČHMÚ, Praha, s. 11-30. ISBN 9778-80-87577-81-3.

Špaček, J. Hájek, P., 2018. Influence of low flows on diversity and recovery of macrozoobenthos communities as one of the components of ecological status assessment according to the Framework Directive. In: Magdeburský seminář o ochraně vod 2018, Sborník Povodí Vltavy, Praha, pp 56-59.

Štěpánek, M., et al., 1983. Hygienický význam dějů ve vodách. Avicenum, 1983.

Štěpánek, P., Zahradníček, P., Brázdil, R., Tolasz, R., 2011a. Metodologie kontroly a homogenizace časových řad v klimatologii (Methodology of data quality kontrol and homogenization of time series in climatology). ČHMÚ, 118 s. ISBN 978-80-86690-97-1.

Štěpánek, P., Zahradníček, P., Farda, A., 2013. Experiences with data quality control and homogenization of daily records of various meteorological elements in the Czech Republic in the period 1961–2010. Időjárás, 117, 1, pp 123–141.

Štěpánek, P., Zahradníček, P., Farda, A., Skalák, P., Trnka, M., Meitner, J, Rajdl, K., 2016. Projection of drought-inducing climate conditions in the Czech Republic according to Euro-CORDEX models. Clim Res, 70:179-193. doi: 10.3354/cr01424.

Štěpánek, P., Zahradníček, P., Huth, R., 2011b. Interpolation techniques used for data quality control and calculation of technical series: an example of Central European daily time series. Időjárás, 115, 1-2, pp. 87-98.

Štěpánek, P., Zahradníček, P., Skalák, P., 2009. Data quality control and homogenization of air temperature and precipitation series in the area of the Czech Republic in the period 1961–2007. Advances in Science and Research, 3, pp 23–26. Dostupné online: www.adv-sci-res.net/3/23/2009/.

Taleb, N. N., 2007. The black swan: the impact of the highly improbable (1. vyd.). London: Penguin.

Taleb, N. N., 2012. Antifragile. Random House, New York.

Taleb, N. N., 2017. Skin in the game. Random House, New York.

Tan, G., Shibasaki, R., 2003. Global Estimation of Crop Productivity and the Impacts of Global Warming by GIS and EPIC Integration. Ecological Modelling, 168(3), pp 357-370.

Taylor, K. E., Stouffer, R. J., Meehl, G. A., 2012. An Overview of CMIP5 and the experiment design. Bull. Amer. Meteor. Soc., 93, pp 485-498.

Tebaldi, C., Knutti, R., 2007. The use of the multi-model ensemble in probabilistic climate projections. Philosophical Transactions of the Royal Society A, 365, pp 2053-2075.

Thieken, A. H., Kreibich, H., Muller, M., Merz, B., 2007. Coping with floods: preparedness, response and recovery of flood-affected residents in Germany in 2002. Hydrological Sciences Journal, 52(5):1016-1037.

Thrum, B., Vielle, M., Vöhringer, F., 2017. Impacts of climate change for Swiss winter and summer tourism“ a general equilibrium analysis. In: EAERE 23rd Anual Conference, pp 1-31.

Tillman, D., et al., 2017. Future threats to biodiversity and pathways to their prevention. Nature, 546, doi: 10.1038/nature22900.

Tkadlecová, H., 2011. Usutu virus – potenciální riziko lidských onemocnění v Evropě. Zprávy Centra epidemiologie a mikrobiologie (SZÚ Praha), 20(9), s. 337-338.

Tobin, I., et al., 2018. Vulnerabilities and resilience of European power generation to 1.5 °C, 2 °C and 3 °C warming. Environ. Res. Lett., Vol 13, No 4. Dostupné online: iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/aab211/meta.

Tol, R. S. J., 2002. Estimates of the Damage Costs of Climate Change. Environmental and Resource Economics, vol. 21, pp 47-73.

Tolasz, R., et al., 2007. Atlas podnebí Česka. ČHMÚ. Praha. 256 s. ISBN 978-80-86690-26-1.

Trnka, M., et al., 2014. Adverse weather conditions for European wheat production will become more frequent with climate change. Nature Climate Change 4, 7, pp 637-643.

Trnka, M., et al., 2015. Generel vodního hospodářství krajiny České republiky, Etapa I., Kapitoly 1,2 a 3, 97 s.

Trnka, M., Dubrovský, M., Svoboda, M., Semerádová, D., Hayes, M., Žalud, Z.,Wilhite, D., 2009. Developing a Regional Drought Climatology for the Czech Republic. International Journal of Climatology, 1745:1–21. doi: 10.1002joc.

Trnka M., Balek J., Štěpánek P., Zahradníček P., Možný M., Eitzinger J, Žalud Z., Formayer, H., Turňa M., Nejedlík P., Semerádová D., Hlavinka P., Brázdil R., 2016. Drought trends over part of Central Europe between 1961 and 2014. Clim Res, 70:143-160. doi: 10.3354/cr01420.

Trnka, M., Rotter, R. P., Ruiz-Ramos, M., Kersebaum, K. C., Olesen, J. E., Žalud, Z., Semenov, M. A., 2014b. Adverse weather conditions for European wheat production will become more frequent with climate change. Nature Climate Change, 4, 7, pp 637-643.

Turner, R. K., Daily, G. C., 2008. The Ecosystem Services Framework and Natural Capital Conservation. Environ Resource Econ, 39:25. doi: 10.1007/s10640-007-9176-6.

UN, 2017. On-line databáze. Dostupné online: population.un.org/wpp/.

UNDP (United Nations Development Programme), 2018. Climate Change Adaptation in Europe and Central Asia. Regional Bureau for Europe and the CIS, 142 pp.

UNESCO, 2007. Climate Change and World Heritage - Report on predicting and managing the impacts of climate change on World Heritage and Strategy to assist States Parties to implement appropriate management responses. UNESCO, Paris.

UNESCO, 2009: Case Studies on Climate Change and World Heritage. UNESCO World Heritage Centre, UNESCO, Paris. ISBN: 978-92-3-104125-9.

UNFCCC (United Nations Framework Convention on Climate Change), 2007. Investment and financial flows relevant to the development of an effective and appropriate international response to Climate Change, 273 pp.

UNFCCC (United Nations Framework Convention on Climate Change), 2016. World Heritage and Tourism in a Changing Climate. Dostupné online: whc.unesco.org/document/139944.

UNFCCC (United Nations Framework Convention on Climate Change), 2018. COP24 special report: Health and climate change. Geneva, WHO. ISBN 978-92-4-151497-2.

Unger, J., 2004. Intra-urban relationship between surface geometry and urban heat island: review and new approach. Climate Research.

Unger, J., 2006. Modelling of the Annual Mean Maximum Urban Heat Island Using 2D and 3D Surface Parametres. Climate Resarch.

UNISDR (United Nations International Strategy for Disaster Reduction), 2005. Hyogo Framework for Action 2005-2015: Building the Resilience of Nations and Communities to Disasters. 22 pp.

UNISDR (United Nations International Strategy for Disaster Reduction), 2015. Sendai Framework for Disaster Risk Reduction 2015 – 2030. 35 pp.

UNWTO/UNEP (World Tourism Organization and United Nations Environment Programme), 2008. Responding to Global Challenges Climate Change and Tourism Responding to Global Challenges. Change, pp 1–269.

Urban, O., Zitová, M., Pokorný, R., Tomášková, I., Marek, M. V., 2011. Podstata a ekofyziologické předpoklady ukládání uhlíku. In: Marek M. V., ed., 2011. Uhlík v ekosystémech České republiky v měnícím se klimatu. Academia, Praha.

Urban, A., Burkart, K., Kyselý, J., Schuster, C. H., Plavcová, E., Hanzlíková, E., Štěpánek, P., Lakes, T., 2016. Spatial Patterns of Heat-Related Cardiovascular Mortality in the Czech Republic. Int. J. Environ. Res. Public Health, 13(3), 284 pp. doi: 10.3390/ijerph13030284.

Urban, A., Davídková, H., Kyselý, J., 2014. Heat- and cold-stress effects on cardiovascular mortality and morbidity among urban and rural populations in the Czech Republic. Int J Biometeorol., 58(6), pp 1057-1068. doi: 10.1007/s00484-013-0693-4.

Urban, A., Hanzlíková, H., Kyselý, J., Plavcová, E., 2017. Impacts of the 2015 Heat Waves on Mortality in the Czech Republic - A Comparison with Previous Heat Waves. Int J Environ Res Public Health, 14(12), doi: 10.3390/ijerph14121562.

USAID, 2013. Methods for Economic Analysis of Climate Change Adaptation Interventions. Dostupné online: www.climatelinks.org/resources/methods-economic-analysis-climate-change-adaptation-interventions.

ÚZIS, 2019. DPS-k aplikace – dynamické tabulky. Dostupné online: www.uzis.cz/cz/dps/index.html.

Vacík, P., 2013. Statistický model charakteru tepelného ostrova evropských měst. Dipl. práce, Karlova univerzita, Přírodovědecká fakulta.

Van der Veen, A., Kalfagianni, A., 2006. Evaluatie van de economische impact van het waterschap Regge en Dinkel op de regionale economie van het oosten van het Land. Center for Clean Technology and Environmental Policy, 38 pp. (CSTM-reeks; No. 253).

Van Ierland, et al., 2006. Qualitative assessment of climate change adaptation options and some estimates of adaptation costs. Wageningen, Netherlands, ARK/Routeplanner project, 145 pp.

Van Mechelena, C., Dutoitb, T., Hermya, M., 2015, Adapting green roof irrigation practices for a sustainable future: A review, Sustainable Cities and Society, Vol. 19, pp 74–90.

Vermaat, J. E, Wagtendonk, A. J., Brouwer, R., Sheremet, O., Ansink, E., Brockhoff, T., Plug, M., Hellsten, S., Aroviita, J., Tylec, L., Giełczewski, M., Kohut, L., Brabec, K., Haverkamp, J., Poppe, M., Böck, K., Coerssen, M., Segersten, J., Hering, D., 2016. Assessing the societal benefits of river restoration using the ecosystem services approach. Hydrobiologia, 769, 1, pp 121-135. doi: 10.1007/s10750-015-2482-z.

Viner, D., Agnew, M., 1999. Climate Change and Its Impacts on Tourism. Climatic Research Unit, University of East Anglia.

Vizina, A., Vlnas, R., Hanel, M., Kašpárek, L., Melišová, E., Beran, A., Kožín, R., Strnad, F., 2017. Hydrologická bilance a disponibilní vodní zdroje v České republice v době hydrologického sucha. VTEI, (4), s. 6-11.

Vizina, A,. Hanel, M., Trnka, M., Daňhelka, J., Gregorieová, I., Pavlík, P., Heřmanovský, M., 2018. HAMR: Online systém pro zvládání sucha – operativní řízení během suché epizody. VTEI, roč. 60, (5):22-28.

Vláda ČR, 2017. Koncepce na ochranu před následky sucha pro území České republiky, příloha usn. vl. č. 528/2017 (zavazuje MŽP, MV, MD, MPO, MMR, MZd, MŠMT, MO, MF).

Vláda ČR, 2015. Příprava realizace opatření pro zmírnění negativních dopadů sucha a nedostatku vody, příloha usn. vl. č. 620/2015 (zavazuje MŽP, MZe, MPO, MMR).

Vlasák, O., 2018. Zkušenosti provozovatelů vodovodů a kanalizací s projevy sucha v roce 2015. In: ČHMÚ: Suché období 2014-2017 – Vyhodnocení, dopady a opatření, ČHMÚ, Praha, s. 77-79. ISBN 9778-80-87577-81-3.

Vlčková, V., Buček, A., Machar, I., Daněk, T., Pechanec, V., Brus, J., Kiliánová, H., 2015. The application of geobiocoenological landscape typology in the modelling of climate change implications. Journal of Landscape Ecology (Brno), 8, č. 2, s. 69-81.

Vlnas, R., 2015. Pozorované změny složek hydrologické bilance z hlediska využitelných vodních zdrojů. VTEI, 2015/4–5, s. 27-32.

Vystoupil, J., et al., 2006. Atlas cestovního ruchu ČR. ESF MU, Brno, MMR, Praha, 156 s.

Vystoupil, J., Šauer, M., Holešinská, A., Metelková, P., 2005. Geografie cestovního ruchu. Brno, ESF.

Waligoa, V., Clarkeb, J., Hawkinsc, R., 2015. Embedding stakeholders in sustainable tourism strategies. Annals of Tourism Research, Vol. 55, pp 90–93.

Walther, G. R., et al., 2009. Alien species in a warmer world: risks and oportunities. Trends in Ecology and Evolution, 24:686-693.

Wamslera C., Luederitza C., Brinka E., 2014. Local levers for change: Mainstreaming ecosystem-based adaptation into municipal planning to foster sustainability transitions, Global Environmental Change, Vol. 29, pp 189–201.

Warren, M. S., et al., 2001. Rapid response of British butterflies to opposing forces of climate and habitat changes. Nature, 414:65-69.

Watkiss, P., ed., 2011. The ClimateCost Project. Final Report. Volume 1: Europe. Published by the Stockholm Environment Institute, Sweden, ISBN 978-91-86125-35-6.

Watkiss, P., Horrocks, L., Pye, S., Searl, A., Hunt, A., 2009. Impacts of climate change in human health in Europe. PESETA-Human health study, pp 1–60.

Weinkle, J., Landsea, C., Collins, D., Musulin, R., Crompton, R. P., Klotzbach, P. J., Pielke Jr. R., 2018. Normalized hurricane damage in the continental United States 1900–2017. Nature Sustainability, 1, pp 808–813. doi: 10.1038/s41893-018-0165-2.

WGF, 2010. Floods and Economics: appraising, prioritising and financing flood risk management measures and instruments. Working Group F on Floods, Thematic Workshop 25-26/10/2010, Ghent, Belgium.

Whetton, P. H., Haylock, M. R., Galloway, R., 1996. Climate change and snow-cover duration in the Australian Alps. Climatic Change, 32(4):447-479.

WHO (World Health Organization), 1948. Preamble to the Constitution of the World Health Organization as adopted by the International Health Conference, New York, 19-22 June, 1946; signed on 22 July 1946 by the representatives of 61 States (Official Records of the World Health Organization, no. 2, p. 100) and entered into force on 7 April 1948.

WHO (World Health Organization), 2009. Protecting health from climate change: connecting science, policy and people. ISBN 978 92 4 159888. Dostupné online: apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/44246/9789241598880_eng.pdf;jsessionid=7EC61D459327970ACD0F73EAB6B8EF72.

WHO (World Health Organization), 2011. Gudelines for drinking water quality. Geneva.

WHO (World Health Organization), Regional Office for Europe, 2008. Improving Public Health Responses to Extreme Weather/Heat-waves - EuroHEAT. Technical Summary, Copenhagen, Denmark, Development and Grantham Institute for Climate Change, London.

WHO (World Health Organization), Regional Office for Europe, 2013. Climate change and health: a tool to estimate health and adaptation costs. ISBN 978 92 890 0023 9.

WHO (World Health Organization), 2019a. Air pollution, Climate and Health. Breathe life. Climate Clean Air Coalition. Dostupné online: www.who.int/sustainable-development/Air Pollution_Climate and Health_Factsheet.pdf.

WHO (World Health Organization), 2019b. Piloting climate change adaptation to protect human health. A joint who/undp project funded GEF.

WHO (World Health Organization), WMO (World Meteorological Orgabization), 2012: Atlas of health and climate. ISBN: 978 92 4 156452 6.

Wilby, R. L., 2008. Constructing climate change scenarios of urban heat island intensity and air quality. Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science, Volume 35, Issue 5, pp 902-919. doi: 10.1068%2Fb33066t.

Willems, P., Arnbjerg-Nielsen, K., Olsson, J. V. T. V., 2012. Climate change impact assessment on urban rainfall extremes and urban drainage: Methods and shortcomings. Atmospheric Research. 103, 2012, pp 106-118. doi:10.1016/j.atmosres.2011.04.003.

Willems, P., 2013. Revision of urban drainage design rules after assessment of climate change impacts on precipitation extremes at Uccle, Belgium. Journal of Hydrology, 496, 2013, pp 166-177. doi: 10.1016/j.jhydrol.2013.05.037.

Willson, T. E., et al., 2006. Heat stress reduces cerebral blood velocity and markedly impairs orthostatic tolerance in humans. Environmental, Exercise and Respiratory Physiology, 291(5), pp 1443-1448. Dostupné online: www.physiology.org/doi/prev/20171106-aop/abs/10.1152/ajpregu.00712.2005.

Willson, T. E., Crandall, G. G., 2011. Effect of Thermal Stress on Cardiac Function. Exerc Sport Sci Rev, 39:12-17.

Wollenberg, E., et al., 2016. Reducing emissions from agriculture to meet the 2°C target. Global Change Biology, 22, pp 3859–3864.

World Bank, 2010. Economics of adaptation to climate change - Synthesis report (English). Washington, DC: Dostupné online: documents.worldbank.org/curated/en/646291468171244256/Economics-of-adaptation-to-climate-change-Synthesis-report.

World Bank, 2010a. Natural hazards, unnatural disasters: the economics of effective prevention. Washington, D. C., c2010. ISBN 978-0-8213-8050-5.

Yuminoa, S., Uchidaa, T., Sasakib, K., Kobayashia, H., Mochidaa, A., 2015, Total assessment for various environmentally conscious techniques from three perspectives: Mitigation of global warming, mitigation of UHIs, and adaptation to urban warming, Sustainable Cities and Society.

Zamuda, C., Mignon, B., Biello, D., Hallett, K., 2013. US Energy Sector Vulnerabilities to Climate Change and Extrem Weather, U.S. Department of Energy.

Zlatník, A., 1976. Přehled skupin typů geobiocénů původně lesních a křovinných v ČSR. Zprávy Geografického ústavu ČSAV, 13, s. 55-64.

10. SEZNAM TABULEK

Tab. 2.4.1 Vybrané EURO-CORDEX regionální modely a jejich řídící globální modely

Tab. 2.5.1 Trendy průměrné teploty vzduchu (°C/10 let), úhrnů srážek (mm/10 let), vlhkosti vzduchu (%/10 let) a počtu tropických dní (dny/10 let) v České republice za období 1961–2016 pro jednotlivé měsíce, sezóny a rok (tučně jsou znázorněny hodnoty statisticky významné na hladině p = 0,05)

Tab. 2.5.2 Rozdíl teploty vzduchu (°C) pro ČR podle ensemblového průměru 11 realizací RCM modelů pro jednotlivé období a sezóny v porovnání s referenčním obdobím 1981–2010

Tab. 2.5.3 Procento srážkových úhrnů pro ČR podle ensemblového průměru 11 realizací RCM modelů pro jednotlivé období a sezóny v porovnání s referenčním obdobím 1981–2010

Tab. 2.5.4 Rozdíl relativní vlhkosti vzduchu (%) pro ČR podle ensemblového průměru 11 realizací RCM modelů pro jednotlivé období a sezóny v porovnání s referenčním obdobím 1981–2010

Tab. 2.5.5 Vybrané klimatologické charakteristiky (průměrná změna – ensemblový průměr, minimální a maximální (rozpětí všech modelů) pro blízkou budoucnost (2021–2040) a vzdálenou budoucnost (2081–2010), vzhledem k současnému klimatu (1981–2010), podle dvou emisních scénářů RCP4.5 a RCP8.5 (TMA>=30 °C = počet tropických dní; TMI<0 °C = počet mrazových dnů; TMA MAX = průměrná roční maximální teplota vzduchu; TMI MIN = průměrná roční minimální teplota vzduchu, SRA>X udává počet dnů se srážkou nad limit)

Tab. 2.6.1 Globální trendy změny klimatu

Tab. 2.6.2 Změna klimatu v Evropě

Tab. 2.6.3 Trendy změny klimatu v Česku

Tab. 2.7.1 Hlavní projevy predikovaných scénářů změny klimatu – souhrn

Tab. 3.1.1 Změna průměrné teploty vzduchu (°C) predikovaná pro období 2021–2050 a 2071–2100

Tab. 4.1.1 Přehled nahodilých těžeb podle příčin od roku 2000 (mil. m3/rok) (Zdroj: MZe 2018)

Tab. 4.1.2 Lesní požáry – základní statistiky (Zdroj: MZe 2018)

Tab. 4.1.3 PLO nesplňující ekologickou valenci pro smrk ve scénářových obdobích (Zdroj: Pretel 2011)

Tab. 4.1.4 Lesní hospodářství, souhrnná what-if analýza

Tab. 4.1.5 Lesní hospodářství, analýza navržených adaptačních opatření dle Adaptační strategie

Tab. 4.2.1 Popis základních kritérií pro definici půdně klimatického vlhkostního režimu

Tab. 4.2.2 Průměrný počet dní s denní maximální teplotou > 30°C v období v období 1961–1990 a 1991–2014 a jeho změna (oproti 1991–2014) pro období let 2021–2040 a 2081–2100 pro 5 GCM modelů a RCP4.5 a RCP8.5. Hodnoty jsou vyjádřeny jako medián pro území ČR a území ČR do nadmořské výšky 400 m n. m. (Zdroj: www.klimatickazmena.cz)

Tab. 4.2.3 Průměrný počet dní se sněhovou pokrývkou větší než 3 cm v období v období 1981–2010 a dále pro odobí let 2021–2040, 2041–2060 a 2081–2100 pro 5 GCM modelů a RCP4.5 a RCP8.5. Hodnoty jsou vyjádřeny jako medián pro území ČR a území ČR do nadmořské výšky 400 m n. m.

Tab. 4.2.4 Efektivní délka vegetačního období v období 1961–1990 a 1991–2014 a jeho změna oproti 1991–2014 pro období let 2021–2040, 2041–2060 a 2081–2100 pro 3 GCM modely a RCP4.5 a RCP8.5. Hodnoty jsou vyjádřeny jako medián pro území ČR a území ČR do nadmořské výšky 400 m n. m.

Tab. 4.2.5 Průměrný počet dní s nedostatkem vláhy vyvolávajícím stres suchem v období v období 1981–2010 a dále pro odobí let 2021–2040, 2041–2060 a 2081–2100 pro 5 GCM modelů

a RCP4.5 a RCP8.5. Hodnoty jsou vyjádřeny jako medián pro území ČR a území ČR do nadmořské výšky 400 m n. m.

Tab. 4.2.6 Zemědělství, souhrnná what-if analýza

Tab. 4.2.7 Zemědělství – analýza navržených adaptačních opatření dle návrhu Adaptační strategie

Tab. 4.2.8 Přehled možných adaptačních opatření

Tab. 4.3.1 Dlouhodobé měsíční a roční úhrny potenciální evapotranspirace travního porostu [mm] v referenčním a ve scénářových obdobích (Zdroj: MŽP 2015)

Tab. 4.3.2 Změny průměrných srážek v krátkodobém a střednědobém horizontu v porovnání s referenčním obdobím 1961–1990 podle simulace regionálního klimatického modelu ALADIN- CLIMATE/CZ pro scénář A1B a korespondující scénář RCP2.6 (Zdroj: MŽP 2015)

Tab. 4.3.3 Průměrné změny srážek (%) pro ČR v souboru klimatických modelů projektu ENSEMBLES a EURO-CORDEX (Zdroj: Hanel 2011)

Tab. 4.3.4 Změny základních složek hydrologické bilance [mm/rok] podle souboru klimatických modelů pro jednotlivé oblasti povodí pro časový horizont 2085 (Zdroj: Hanel 2011)

Tab. 4.3.5 Změny základních složek hydrologické bilance [mm/rok] podle souboru klimatických

Tab. 4.4.1 Přehled problémových invazních druhů rostlin v ČR (Zdroj: Machar et al. 2012)

Tab. 4.4.2 Biogeografická predikce změn podmínek vegetační stupňovitosti krajiny v ČR (pro scénář RCP8.5)

Tab. 4.4.3 Biodiverzita, souhrnná what if analýza

Tab. 4.5.1 Přehled „výjimek“ z kvality pitné vody kvůli PL v roce 2017 podle jednotlivých látek i celkem. Tučně jsou uvedeny mateřské látky a relevantní metabolity (Moulisová et al., 2018) (Zdroj: IS PiVo)

Tab. 4.5.2 Zdraví a hygiena, souhrnná what if analýza

Tab. 4.6.1 Intenzita městského ostrova ve městech nad 75 tis. Obyvatel

Tab. 4.6.2 Ohrožení měst nad 75 tis. obyvatel při působení klimatických změn a MTO (výpočet)

Tab. 4.6.3 Urbanizovaná krajina, souhrnná what-if analýza

Tab. 4.6.4 Urbanizovaná krajina – analýza navržených adaptačních opatření dle Adaptační strategie

Tab. 4.6.5 Urbanizovaná krajina – analýza navržených adaptačních opatření dle NAP

Tab. 4.7.1 Rizika – přírodní potenciál cestovního ruchu

Tab. 4.7.2 Rizika – kulturně-historický potenciál cestovního ruchu

Tab. 4.7.3 Rizika – základní a doprovodná infrastruktura cestovního ruchu

Tab. 4.7.4 Rizika dle typologie cestovního ruchu

Tab. 4.7.5 Statistika požárů památkově chráněných objektů (Zdroj: Kaiser 2015)

Tab. 4.7.6 Předpokládaný časový trend indikátorů na území ČR podle scénáře RCP8.5

Tab. 4.7.7 Identifikace nejzranitelnějších regionů a regionálně nejzávažnějších dopadů

Tab. 4.7.8 Cestovní ruch, souhrnná what if analýza

Tab. 4.7.9 Cestovní ruch, analýza navržených adaptačních opatření dle Adaptační strategie

Tab. 4.7.10 Cestovní ruch, analýza navržených adaptačních opatření dle NAP

Tab. 4.8.1 Předpověď emisí ze stacionárních zdrojů dle IEA

Tab. 4.8.2 Rizika změny klimatu na český průmysl a energetiku (Podle Finley, 2009)

Tab. 4.8.3 Zásahy u živelních pohrom (počet/rok) (Zdroj: MVČR GŘ HZS 2015b)

Tab. 4.8.4 Vyhlášené krizové stavy od roku 2002 po současnost (Zdroj: MVČR GŘ HZS 2015c)

Tab. 4.8.5 Průmysl a energetika, souhrnná what-if analýza

Tab. 4.8.6 Průmysl a energetika – analýza navržených adaptačních opatření dle návrhu Adaptační strategie

Tab. 4.9.1 Doprava, souhrnná what if analýza (upraveno podle Ličbinský et al. 2017; Ličbinský et al. 2018)

Tab. 4.9.2 Srovnání identifikovaných rizik s návrhy adaptačních opatření

Tab. 4.10.1 Typy mimořádných událostí (v gesci Ministerstva životního prostředí vyznačené oranžově)

Tab. 4.10.2 Mimořádné události, souhrnná what-if analýza

Tab. 4.10.3 Mimořádné události a ochrana obyvatelstva a životního prostředí – analýza navržených adaptačních opatření dle Adaptační strategie na změnu klimatu

Tab. 4.11.1 Matice vazeb projevů změny klimatu a prioritních oblastí

Tab. 4.11.2 Indikátory změny klimatu, jejich vazba k prioritním oblastem

Tab. 4.11.3 Indikátory dopadové a jejich příslušnost k prioritním oblastem

Tab. 5.1.1 Náklady spojené s adaptací jako podíl HDP pro ČR na základě projekcí do roku 2030

Tab. 5.1.2 Mezinárodní odhady ročních nákladů pro adaptace (Zdroj: Watkiss 2009; World Bank 2010)

Tab. 5.1.3 Přehled evropských hodnocení ekonomických dopadů změny klimatu na národní úrovni

Tab. 5.2.1 Srovnání analytických nástrojů hodnocení (Zdroj: World Bank 2010; USAID 2013; COACCH 2018; Bank of Greece 2018)

Tab. 5.2.2 Přístupy k hodnocení dopadů (škod) klimaticé změny a přínosu adaptací (Zdroj: World Bank 2010; USAID 2013; COACCH 2018; Bank of Greece 2018)

Tab. 5.2.3 Přehled metod ekonomického hodnocení adaptačních opatření ke změně klimatu (Upraveno podle World Bank 2010; USAID 2013; COACCH 2018; Bank of Greece 2018)

Tab. 6.1.1 Ekonomické dopady ZK na lesní hospodářství (Zdroj: Broadmeadow 2002; Forestry Commission 2010; Ray et al. 2010; Reyer et al. 2017)

Tab. 6.1.2 Přehled adaptačních opatření v lesnictví, jejich nákladnost a efektivita

Tab. 6.2.1 Ekonomické dopady změny klimatu na zemědělství ČR (Zdroj: Stuczynski et al. 2000; Tan a Shibasaki 2003; OECD 2008a, 2010)

Tab. 6.2.2 Přehled adaptačních opatření v zemědělství, jejich nákladnost a efektivita

Tab. 6.3.1 Ekonomické dopady změny klimatu na vodní režim a hospodářství (Zdroj: Peseta 2014; Econadapt 2015)

Tab. 6.3.2 Ekonomické dopady změny klimatu na vodní režim a vodní hospodářství

Tab. 6.3.3 Přehled adaptačních opatření ve vodním hospodářství, jejich nákladnost a efektivita

Tab. 6.3.4 Vyhodnocení parametrů pro rozhodování o rychlosti adaptačních opatření

Tab. 6.4.1 Ekonomické dopady změny klimatu na biodiverzitu a ekosystémové služby (Zdroj: Parry et al., 2009; Doswald and Osti, 2011)

Tab. 6.4.2 Přehled adaptačních opatření pro biodiverzitu, jejich nákladnost a efektivita

Tab. 6.5.1 Ekonomické dopady ZK na zdraví a hygienu (Zdroj: Kyselý, 2004; Watkiss et al. 2009; ClimateCost, 2011; Hutton, 2011; Watkiss 2011; UNFCCC, 2018)

Tab. 6.5.2 Přehled adaptačních opatření v oblasti zdraví, jejich nákladnost a efektivita

Tab. 6.6.1 Ekonomické dopady změny klimatu na urbanizovanou krajinu (Zdroj: Hallegatte et al. 2008; Hutton 2011; EEA 2012a)

Tab. 6.6.2 Přehled adaptačních opatření v oblasti urbanismu, jejich nákladnost a efektivita

Tab. 6.7.1 Ekonomické dopady ZK na cestovní ruch (Zdroj: UNWTO/UNEP 2008; Greiving et al. 2011; Füssel et al. 2012; Davoudi et al. 2012; Kovats et al, 2014)

Tab. 6.7.2 Přehled adaptačních opatření v oblasti cestovního ruchu, jejich nákladnost a efektivita

Tab. 6.8.1 Ekonomické dopady změny klimatu na průmysl a energetiku (Zdroj: Mima et al. 2011)

Tab. 6.8.2 Přehled adaptačních opatření v oblasti průmyslu a energetiky, jejich nákladnost a efektivita

Tab. 6.9.1 Ekonomické dopady změny klimatu na dopravu (Zdroj: Koetse & Rietveld, 2009; Schwartz, 2010; PESETA, 2014)

Tab. 6.9.2 Přehled adaptačních opatření v dopravě, jejich nákladnost a efektivita

Tab. 6.10.1 Změna klimatu a ekonomický tlak na sektor ochrany životů a zdraví obyvatelstva (Zdroj: What-if analýzy v kapitole 4; UNISDR, 2015)

Tab. 6.10.2 Přehled adaptačních opatření k ochraně životů a zdraví obyvatel při mimořádných událostech souvisejících se změnou klimatu, jejich relativní nákladnost a efektivita

Tab. 7.2.1 Lesní hospodářství – doporučení pro výběr investičních priorit

Tab. 7.2.2 Zemědělství – doporučení pro výběr investičních priorit

Tab. 7.2.3 Vodní režim a vodní hospodářství – doporučení pro výběr investičních priorit

Tab. 7.2.4 Biodiverzita a ekosystémové služby – doporučení pro výběr investičních priorit

Tab. 7.2.5 Zdraví a hygiena – doporučení pro výběr investičních priorit

Tab. 7.2.6 Urbanizovaná krajina – doporučení pro výběr investičních priorit

Tab. 7.2.7 Cestovní ruch – doporučení pro výběr investičních priorit

Tab. 7.2.8 Průmysl a energetika – doporučení pro výběr investičních priorit

Tab. 7.2.9 Doprava – doporučení pro výběr investičních priorit

Tab. 7.2.10 Mimořádné události – doporučení pro výběr investičních priorit

Tab. 8.2.1 Možnosti podporovaných oblastí v podpoře adaptace na rizika změny klimatu

11. SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 2.2.1 Střední změna teploty a srážek na konci 21. století dle globálních klimatických modelů z CMIP5 ansámblu pro scénáře RCP2.6 a RCP8.5 (Zdroj: IPCC 2013)

Obr. 2.3.1 Změna průměrné roční teploty vzduchu v Evropě dle E-OBS datasetu

Obr. 2.3.2 Změna průměrného úhrnu srážek (vlevo) a teploty vzduchu (vpravo) na konci 21. století (2071–2100) vůči konci 20. století (1971–2000) dle Euro-CORDEX modelů a scénářů RCP4.5 a RCP8.5. Pro srovnání jsou v posledním řádku rovněž zobrazeny projekce starší generace modelů dle scénáře A1B.

Obr. 2.5.1 Průměrná teplota vzduchu v České republice pro tři zvolená období (1961–1990, 1981–2010 a 2001–2016; nahoře) a vývoj teplot za celé období 1961–2016 (dole)

Obr. 2.5.2 Odchylka průměrné roční teploty vzduchu v letech 2001–2016 od normálu 1961–1990

Obr. 2.5.3 Lineární trendy průměrné teploty vzduchu (°C/10 let) v České republice za období 1961–2016 (barevné sloupečky přísluší teplotním vzestupům statisticky významným na hladině významnosti p=0,05)

Obr. 2.5.4 Vývoj roční teploty vzduchu pro ČR podle ensemblového průměru 11 realizací RCM modelů (shlazeno 10letým nízkofrekvenčním filtrem)

Obr. 2.5.5 Rozdíl průměrných ročních teplot vzduchu v budoucnosti vzhledem k referenčnímu období (1981–2100) pro vybraný model HadGEM2-ES-RCA

Obr. 2.5.6 Rozdíl teploty vzduchu (°C) pro ČR podle ensemblového průměru 11 realizací RCM modelů pro jednotlivé období a sezóny v porovnání s referenčním obdobím 1981–2010 (RCP4.5 vlevo, RCP8.6 vpravo)

Obr. 2.5.7 Vývoj roční teploty vzduchu podle ensemblového průměru 11 realizací RCM modelů v Praze – Klementinum (1775–2100; 1775–2017 současnost, 2021–2100 modelová predikce)

Obr. 2.5.8 Roční úhrn srážek v České republice pro tři zvolená období (1961–1990, 1981–2010 a 2001–2016; nahoře) a vývoj srážek za celé období 1961–2016 (dole)

Obr. 2.5.9 Podíl průměrného ročního úhrnu srážek v období 2001–2016 vzhledem k normálu 1961–1990

Obr. 2.5.10 Vývoj průměrných ročních srážkových úhrnů (mm) pro ČR podle ensemblového průměru 11 realizací RCM modelů (shlazeno 10letým nízkofrekvenčním filtrem)

Obr. 2.5.11 Procento srážkových úhrnů pro ČR podle ensemblového průměru 11 realizací RCM modelů pro jednotlivá období a sezóny v porovnání s referenčním obdobím 1981–2010

Obr. 2.5.12 Vývoj ročních srážkových úhrnů (mm) podle ensemblového průměru 11 realizací RCM modelů v Praze-Klementinu (1804–2100)

Obr. 2.5.13 Poměr průměrných ročních úhrnů srážek v budoucnosti vzhledem k referenčnímu období (1981–2100) pro vybraný model HadGEM2-ES-RCA

Obr. 2.5.14 Podíl množství nového sněhu v zimních sezonách 2001–2016 vzhledem dlouhodobému průměru 1961–1990

Obr. 2.5.15 Počet dní se sněhovou pokrývkou nad 10 cm podle pěti globálních klimatických modelů a dvou emisních scénářů pro období 2021–2100 (Zdroj: www.klimatickazmena.cz)

Obr. 2.5.16 Průměrná vlhkost vzduchu v České republice pro tři zvolená období (1961–1990, 1981–2010 a 2001–2016; nahoře) a vývoj vlhkosti za celé období 1961–2016 (dole)

Obr. 2.5.17 Rozdíl relativní vlhkosti vzduchu (%) pro ČR podle ensemblového průměru 11 realizací RCM modelů pro jednotlivé období a sezóny v porovnání s referenčním obdobím 1981–2010

Obr. 2.5.18 Rozdíl vlhkosti vzduchu v letech 2001–2016 vzhledem k normálu 1961–1990

Obr. 2.5.19 Vývoj vlhkosti vzduchu pro ČR podle ensemblového průměru 11 realizací RCM modelů (shlazeno 10letým nízkofrekvenčním filtrem)

Obr. 2.5.20 Rozdíl počtu tropických dnů v letech 2001–2016 od normálu 1961–1990

Obr. 2.5.21 Průměrný počet tropických dní na území České republiky v letech 1961–2016 (plošná interpolace na celé území)

Obr. 2.5.22 Změna počtu tropických dní (teplota 30 °C a více) vůči referenčnímu období 1981–2010 vypočtena na základě tří RCM modelů pro období 2021–2040 a 2081–2100

Obr. 2.5.23 Počet tropických dnů na příkladu města Brna v letech 1961–2100 s vyznačenými extrémními roky 2015 a 2018 (RCP4.5 – oranžově, RCP8.5 – červeně)

Obr. 2.5.24 Vývoj vybraných teplotních klimatologických indexů pro období 1961–2100, pro ČR podle ensemblového průměru 11 realizací RCM modelů (shlazeno 10letým nízkofrekvenčním filtrem)

Obr. 2.5.25 Počet mrazových dnů podle výhledu vybraných GCM modelů v letech 2021–2100 na základě RCP4.5 a RCP8.5 (Zdroj: www.klimatickazmena.cz)

Obr. 2.5.26 Vývoj vybraných srážkových klimatologických indexů pro období 1961–2100, pro ČR podle ensemblového průměru 11 realizací RCM modelů (shlazeno 10letým nízkofrekvenčním filtrem)

Obr. 3.1.1 Výsledky varianty multikriteriální analýzy založené na 6 vstupních parametrech (Zdroj: Trnka 2015)

Obr. 3.1.2 Mapa intenzity sucha (Zdroj: www.intersucho.cz 2019)

Obr. 3.1.3 Mapa hydrologického povrchového sucha ze systému HAMR (Zdroj: hamr.chmi.cz 2019)

Obr. 3.1.4 Změna ročního úhrnu srážek (%) predikovaná pro období 2021–2050 a 2071–2100 (Zdroj: Brázdil et al. 2015)

Obr. 4.1.1 Vývoj podílu jehličnatých a listnatých porostů na celkové ploše lesů ČR [%], 1990–2017 (Zdroj: SLHP, ÚHÚL)

Obr. 4.1.2 Rekonstruovaná přirozená, současná a doporučená skladba lesů v ČR [%], 2017 (Zdroj: Zelená zpráva Mze, 2018)

Obr. 4.1.3 Objem kůrovcového dříví po krajích v letech 2010–2018

Obr. 4.1.4 Objem evidovaného kůrovcového dříví po krajích v roce 2018

Obr. 4.1.5 PLO splňující ekologickou valenci smrku v obdobích C–E (bez zahrnutí podrobnosti LVS) (Zdroj: Pretel 2011)

Obr. 4.2.1 Kombinovaná pravděpodobnost výskytu agrometeorologických extrémů (a) v současném klimatu, (b) scénáři GISS-RCP8.5 a (c) HadGEM-RCP8.5 s velikostí kruhu odpovídající relativní změně ve srovnání se základní linií, (d) dominantní typ nežádoucí události pro základní linii, (e) pro GISS-RCP8.5, (f) pro HadGEM-RCP8.5 s velikostí kruhu odpovídající frekvenci události, g) podíl plochy pšenice v Evropě s umístěním 379 meteorologicých stanic použitých ve studii, h) podílu produkce regionu na produkci evropské a velikost kruhu odpovídá podílu plochy. Současné klima prezentuje období 1981–2010 a klimatické scénáře reprezentují období 2081–2100. (Zdroj: Trnka et al. 2015)

Obr. 4.2.2 Procentuální podíl měsíců s výskytem intenzivní (a horší) suché epizody (Zdroj: CzechGlobe 2019)

Obr. 4.2.3 Procentuální podíl měsíců s výskytem suché epizody (intenzinvní sucho a horší tj. rZ-index<–2) podle relativního Palmerova Z-indexu v období dubna–září mezi léty 1961–2018 (Zdroj: CzechGlobe 2019)

Obr. 4.2.4 Počet měsíců ve vegetačním období (duben–září) s negativním/pozitivním trendem Palmerova indexu intenzity sucha (PDSI) a standardizovaného srážkově evapotranspiračního indexu (SPEI) pro 12-měsíců (Zdroj: Brázdil 2015)

Obr. 4.2.5 Počátek prvního květu a plného květu meruňky obecné na lokalitě Lednice (Zdroj: CzechGlobe 2019)

Obr. 4.2.6 Odhadovaná průměrná délka vegetační sezóny při realizaci scénářů RCM4.5 a RCM8.5

Obr. 4.2.7 Hodnoty Huglinova indexu vyznačující oblasti potenciálně vhodné pro pěstování vinné révy (na základě maximální a průměrné teploty) pro referenční klimatické podmínky (1981–2010) a pro tři zvolené časové horizonty a reprezentativní sadu 5 GCM

Ob. 4.2.8 Odhadované riziko výskytu pozdních mrazů v pro vegetaci citlivé fázi při realizaci scénářů RCM4.5 a RCM8.5

Obr. 4.2.9 Odhadované riziko teplotního stresu pro skot při realizaci scénářů RCM4.5 a RCM8.5

Obr. 4.2.10 Počet dní při realizaci scénářů RCM4.5 a RCM8.5

Obr. 4.2.11 Hydrické režimy půd při realizaci scénářů RCM4.5 a RCM8.5

Obr. 4.2.12 Schéma základní metodiky analyzující dopady změny klimatu na udržitelnost jednotlivých funkcí (systému) a posouzení možností adaptačních opatření (Zdroj: Trnka a vlastní zpracování 2015)

Obr. 4.2.13 Průměrný počet dní s denní maximální teplotou > 30°C v v období v období 1981–2010 a dále pro období let 2021–2040, 2041–2060 a 2081–2100 pro 5 GCM modelů a RCP4.5 a RCP8.5

Obr. 4.2.14 Průměrný počet dní se sněhovou pokrývkou větší než 3 cm v období v období 1981–2010 a dále pro období let 2021–2040, 2041–2060 a 2081–2100 pro 5 GCM modelů a RCP4.5 a RCP8.5

Obr. 4.2.15 Počet dní efektivní vegetační sezóny v období v období 1981–2010 a jeho změna (oproti 1991–2014) pro období let 2021–2040 a 2081–2100 pro 5 GCM modelů a RCP4.5 a RCP8.5

Obr. 4.2.16 Průměrný počet dní s nedostatkem vláhy vyvolávajícím stres suchem v období v období 1981–2010 a jeho změna oproti 1991–2014 pro období let 2021–2040 a 2081–2100 pro 5 GCM modelů a RCP4.5 a RCP8.5

Obr. 4.2.17 Průměrný počet dní v roce s výskytem nedostatku vláhy a vysokých teplot nedostatkem vláhy vyvolávajícím stres suchem v období v období 1981–2010 a jeho změna oproti 1991–2014 pro období let 2021–2040 a 2081–2100 pro 5 GCM modelů a RCP 4.5 a RCP 8.5

Obr. 4.3.1 Pozorované změny srážek mezi obdobími 1961–1980 a 1981–2005 (Zdroj: Pretel 2011)

Obr. 4.3.2 Průměrný měsíční úhrn srážek na území ČR v referenčním období 1961–1990 a ve scénářových obdobích 2010–2039 a 2040–2069 (Zdroj: Pretel 2011)

Obr. 4.3.3 Změna evapotranspirační bilance mezi obdobími 1961–1980 a 1981–2005

Obr. 4.3.4 Odhad změn vybraných složek hydrologické bilance [mm] v Evropě pro časový horizont roku 2085. Polygony ohraničují oblast, v níž leží projektované změny pro všechna uvažovaná povodí (Zdroj: Christensen 2007)

Obr. 4.3.5 Odhad změn odtoku pro období (a) 2011–2039 a (b) 2070–2099 v ČR dle sady klimatických modelů (Zdroj: Pretel 2011)

Obr. 4.3.6 Odchylky měsíčních průtoků (QM) variant modelů od referenční řady (1961–1990) ve stanici Písek na Otavě (Zdroj: Daňhelka et al. 2013)

Obr. 4.3.7 Změna minimálního 7denního odtoku na dolním Labi (vyznačen medián a rozptyl 80 % hodnot (Zdroj: Hanel et al. 2019)

Obr. 4.3.8 Změny srážkových extrémů v souboru klimatických modelů pro sezonní a roční maxima trvání 1 až 30 dní; barevně jsou odlišeny změny pro různé doby opakování (Zdroj: Hanel 2011)

Obr. 4.3.9 5letá průměrná intenzita srážkové události a její relativní výhledová změna (Zdroj: Trnka 2015)

Obr. 4.3.10 Průměrný úhrn srážek v létě dle CzechAdapt (2019) (Zdroj: www.klimatickazmena.cz)

Obr. 4.3.11 Relativní změna Q355d ve stanici Orlice – Týniště v období 2081–2100 podle různých klimatických modelů (Zdroj: Daňhelka et al. 2013)

Obr. 4.3.12 Změna rozdílu srážek a referenční evapotranspirace (Zdroj: CzechAdapt 2019)

Obr. 4.3.13 Roční výroba elektřiny ve vodních elektrárnách v období 2002–2018 (Zdroj: ERÚ)

Obr. 4.3.14 Roční přepravní výkony v ČR v období 2006–2018 (dle dat Ministerstva dopravy)

Obr. 4.3.15 Současný stav vodohospodářské soustavy (Zdroj: Trnka 2015)

Obr. 4.3.16 Výhledový stav vodohospodářské soustavy k období 2071–2100 (Zdroj: Trnka 2015)

Obr. 4.3.17 Regionalizace ohrožení suchem dle Strnad et al. (2017)

Obr. 4.3.18 Závislost hodnot parametrů jakosti vody v závislosti na velikosti průtoku pro Sázavu (a, e), Vsetínskou Bečvu (b), Jevišovku (c, d) a Úhlavu (f) (Zdroj: Hanslík et al. 2016)

Obr. 4.3.19 VN Římov – huminové látky, porovnání vývoje podélného profilu nádrže ve vodném roce 2013 a v suchém roce 2015 (Zdroj: Duras et al. 2017)

Obr. 4.4.1 Schéma vztahů mezi globální změnou klimatu, biodiverzitou, ekosystémy a lidským blahobytem (Zdroj: Pecl et al. 2017)

Obr. 4.4.2 Schéma koloběhu uhlíku (t/rok) v lesních ekosystémech a agroekosystémech krajiny na příkladu Novohradska v roce 2015. Toky uhlíku jsou znázorněny šipkami mezi jednotlivými zásobníky.

Obr. 4.4.3 Dokumentované trendy změn početnosti čtyř skupin ptačích druhů v ČR na základě dat z Jednotného programu sčítání ptáků (JPSP). Rozdělení druhů do skupin podle hnízdního rozšíření v Evropě. (Zdroj: Reif et al. 2008)

Obr. 4.4.4 Stav biologických druhů v ČR podle červených seznamů (Zdroj: Miko, Hošek 2009)

Obr. 4.4.5 Zařazení obojživelníků (vlevo) a plazů (vpravo) do jednotlivých kategorií Evropského červeného seznamu (vnější kruh) a do Červeného seznamu ČR (vnitřní kruh) (Zdroj: Miko, Hošek 2009)

Obr. 4.4.6 Rozšíření vegetačních stupňů na území v ČR, modelovaná situace pro rok 2030

Obr. 4.4.7 Rozšíření vegetačních stupňů na území v ČR, modelovaná situace pro rok 2050

Obr. 4.5.1 Obyvatelstvo České republiky podle pohlaví, věku a rodinného stavu k 31. 12. 2016 (Zdroj: ČSÚ, 2017)

Obr. 4.5.2 Naděje dožití v České republice při narození a ve věku 65 a 85 let podle pohlaví (Zdroj: ČSÚ, 2017)

Obr. 4.5.3 Standardizovaná úmrtnost na 100 000 obyvatel, muži (standardizováno na evropskou standardní populaci) (Zdroj: ČSÚ, 2019b)

Obr. 4.5.4 Standardizovaná úmrtnost na 100 000 obyvatel, ženy (standardizováno na evropskou populaci) (Zdroj: ČSÚ, 2019)

Obr. 4.5.5 Kojenecká úmrtnost (počet zemřelých do 1. roku života na 1000 živě narozených) v krajích České republiky (Zdroj: ČSÚ, 2019b)

Obr. 4.5.6 Novorozenecká úmrtnost (počet zemřelých do 28. dne života na 1000 živě narozených) v České republice (Zdroj: ČSÚ, 2019b)

Obr. 4.5.7 Živě narození s vrozenou vývojovou vadou na 1000 živě narozených (Zdroj ČSÚ, 2019b)

Obr. 4.5.8 Standardizovaná úmrtnost na novotvary na 100 000 obyvatel, muži (Zdroj: ÚZIS, 2019)

Obr. 4.5.9 Standardizovaná úmrtnost na novotvary na 100 000 obyvatel, ženy (Zdroj: ÚZIS, 2019)

Obr. 4.5.10 Vývoj počtu léčených diabetiků v ČR v letech 1993–2016 (Zdroj: ÚZIS, 2019)

Obr. 4.5.11 Spotřeba pitné vody (Zdroj: https://www.scvk.cz/vse-o-vode/pitna-voda/spotreba-vody/)

Obr. 4.5.12 Lesní požáry v Evropě 2012 (WHO/WMO, 2012)

Obr. 4.5.13 Populace v Evropě (osob v miliónu) ovlivněná povodněmi (2000–2011) (Zdroj: WHO, 2019a)

Obr. 4.5.14 Incidence leptospirózy v České republice v letech 2008–2018 (Zdroj: SZÚ, 2019)

Obr. 4.5.15 Počet případů onemocnění salmonelózou, úplavicí, kampylobakteriózou, enterohemoragickou kolitidou a jinými střevními infekcemi (Zdroj: ÚZIS, 2019)

Obr. 4.5.16 Distribuce infekce virem WNV u člověka na území EU/EEA a sousedních zemí. Sezóna přenosu 2018, poslední údaje 13. prosince 2018. (zdroj ECDC, 2019)

Obr. 4.5.17 Incidence nemocí přenášených klíšťaty a komáry v ČR 2008–2018 (Zdroj: ÚZIS, 2019)

Obr. 4.5.18 Incidence malárie ve světě 2017 (Zdroj: ECDC, 2019)

Obr. 4.5.19 Cyklus kachní motolice (Schistosoma) způsobující „swimmers itch“ (Zdroj: http://www.dpd.cdc.gov/dpdx/HTML/CercarialDermatitis.htm a https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=36892536)

Obr. 4.5.20 Pyramida vlivu znečištění ovzduší na zdraví (Zdroj: EPA, 2015)

Obr. 4.6.1 Přehřívání lokalit s umělými a nepropustnými povrchy (Zdroj: Voogt 2000)

Obr. 4.6.2 Energetická bilance povrchů města (Zdroj: Sailor 2002)

Obr. 4.6.3 Průměrné letní teploty za sledovaná období a poloha měst větších jak 75tis. obyvatel (a. 1961–1990, b. 2010–2039, c. 2040–2069, d. 2070–2099) (Zdroj: Pretel 2011)

Obr. 4.6.4 Predikované průměrné letní teploty pro střední a vysoký emisní scénář (Zdroj:www.klimatickazmena.cz)

Obr. 4.7.1 Ukázka mapy rizik klimatické změny v závislosti na materiálu stavby a typu rizika (Zdroj: Bertolin et al. 2010)

Obr. 4.8.1 Struktura pilířů udržitelnosti

Obr. 4.8.2 Energetická závislost, mezinárodní srovnání [%] (Zdroj: Eurostat, http://issar.cenia.cz/issar/page.php?id=1560; MPO 2014c)

Obr. 4.8.3 Výroba elektřiny z obnovitelných zdrojů (Zdroj: MPO 2014c)

Obr. 4.8.4 Graf zásahů u živelních pohrom (Zdroj: MVČR GŘ HZS 2015b)

Obr. 4.8.5 On-line dostupná mapa rozložení zranitelných IPCC zařízení na území ČR (Zdroj: CENIA Geoportál 2015)

Obr. 4.8.6 Schéma zranitelné rozvodné sítě ČEPS, a.s. (Zdroj: ČEPS 2015)

Obr. 4.9.1 Lokalizace úseků železničních tratí nacházejících se v záplavových územích pro n letost povodně Q5, Q20 a Q100 na území ČR (Zdroj: Ličbinský, el al. 2018)

Obr. 4.10.1 Trend odchylky teploty od celkové průměrné teploty z 1950–2018 od 1981–2010. ERA5 (tmavě modrá a červená od r. 1979) a E-OBS (světle modrá a žlutá) (Zdroj: Copernicus Climate Change Service, C3S/ECMWF/KNMI)

Obr. 4.10.2 Přístupy k adaptaci a k managementu rizik pohrom v podmínkách měnícího se klimatu s cílem snížit tato rizika (Upraveno podle Field 2012)

Obr. 4.10.3 Vliv změn v rozložení teplot na extrémy (Zdroj: Hollan 2012)

Obr. 6.3.1 Změny očekávaných ročních povodňových škod na území EU a skladba jejich nárůst (Zdroj. PESETA 2014)

Obr. 6.3.2 Očekávané dopady v různých částech Evropy (Zdroj: PESETA 2014)

Obr. 6.8.1 Ekonomické ztráty podle vybraných příčin v období 1998–2017 (Zdroj: https://www.weforum.org/agenda/2018/10/climate-disasters-cause-global-economic-losses-un/)

Obr. 6.8.2 Budoucí změny produkce energie podle zdrojů při změně globální teploty +1,5 °C (šedé sloupce), +2 °C (modrozelené sloupce) a +3 °C (oranžové sloupce)

Obr. 6.10.1 Preventivní opatření pro zvyšování odolnosti (Zdroj Bisby 2016)

Obr. 6.10.2 Výdaje před a po katastrofách (Zdroj. World Bank 2010a)

Obr. 6.11.1 Charakteristiky významnosti kladných a záporných dopadů pro jednotlivé sektory

Obr. 6.11.2 Průměrná nákladnost a efektivita adapatačních opatření ke změně klimatu v určených sektorech ČR