

Text k výstupu Nmap – Mapa území ochrany krajinného rázu před světelným znečištěním

Zpracování satelitních dat ALAN a dosažené výsledky

Konečný uživatel: Ministerstvo životního prostředí

Název projektu: Vliv světelného znečištění na citlivé druhy živočichů, ekosystémy a krajinný ráz

Číslo projektu: TITSMZP012

Řešitel projektu: Česká zemědělská univerzita v Praze

Doba řešení: 1.11.2021 – 31.12.2024

Důvěrnost a dostupnost: veřejný, přístupný

Autor:

David Moravec
dmoravec@fzp.czu.cz

Další informace o projektu:

V rámci projektu bude zpracováno celkem sedm výstupů/výsledků:

Nmap - Mapa (soubor map) ohrožení citlivých druhů živočichů a jejich biotopů světelným znečištěním v České republice

Nmet - Metodika hodnocení vlivů světelného znečištění na volně žijící živočichy a ekosystémy

O - Seznam druhů živočichů citlivých na světelné znečištění

Vsouhrn - Vliv světelného znečištění na krajinný ráz resp. jeho hodnoty

O - Literární rešerše na téma vliv světelného znečištění na živočichy a ekosystémy

O - Terénní sběr dat světelného znečištění

Nmap - Mapa území ochrany krajinného rázu před světelným znečištěním

OBSAH

1.	Účel poznámek	5
2.	Volně dostupná satelitní data světelného znečištění	5
2.1	DMSP/OLS	5
2.2	LJ1-01.....	5
2.3	Landsat 8 a 9.....	6
2.4	ISS	7
2.5	VIIRS/DNB.....	8
3.	Použitá data VIIRS DNB	8
4.	Zdroje nejistot v satelitním pozorování ALAN.....	9
5.	Dokumentace zpracování výstupů	11
5.1	Stažení dat	11
5.2	Filtrace oblastí s chybějícím pozorováním	12
5.3	Ořez rastru na území ČR, nastavení NoData na -9999	12
5.4	DOS Korekce dat.....	12
5.5	Validace DOS měření.....	13
5.6	Tvorba kvartálních mozaik.....	14
5.7	Zonální analýzy	14
5.8	Změnové Rastry.....	14
5.9	Tvorba mapy jasu oblohy	15
5.10	Tvorba mapy ve vysokém rozlišení.....	16
5.11	Vizuální kontrola kalibrovaných produktů DOS.....	17
6.	Uplatnění satelitních snímků nočních světél.....	18
7.	Vývoj nočního světla v ČR dle senzoru VIIRS (mediány po DOS korekci)	19
8.	Analýza výsledných měření	21
8.1.	Vztah satelitních dat k temnotě noční oblohy.....	21
8.2.	Faktory ovlivňující naměřené noční světlo v ČR pomocí senzoru VIIRS	22
9.	Literatura.....	25
10.	Příloha: Python kód využitý ke zpracování snímků	26
11.	Příloha: Tabulka pro zvláště chráněná území	29
12.	Příloha: Tabulka pro krajinné typy dle reliéfu, sídelní typy krajiny, a oblasti tmavé oblohy.....	30
13.	Příloha: Mapa Světelné znečištění v ČR 2023: Rámcové krajinné typy dle reliéfu	31
14.	Příloha: Mapa Využití Landsat-8 k identifikaci bodových zdrojů nočních světél	32
15.	Příloha: Mapa Umístění oblastí tmavé oblohy: Na podkladu interpolovaného jasu noční oblohy 2022.....	33

16.	Příloha: Mapa Světelné znečištění v ČR 2023: Rámcové sídelní krajinné typy	34
17.	Příloha: Mapa Model jasů noční oblohy ČR: Medián roku 2022	35
18.	Příloha: Mapa Zdroje nočního osvětlení: Model zdrojů ve vysokém rozlišení, medián 2022	36
19.	Příloha: Mapa Změna nočních zdrojů světla mezi lety 2018/2019 a 2014/2015	37
20.	Příloha: Mapa Změna nočních zdrojů světla mezi lety 2023/2022 a 2014/2015	38
21.	Příloha: Mapa Změna nočních zdrojů mezi lety 2023/2022 a 2018/2019	39

1. Účel poznámek

Cílem tohoto dokumentu je představit způsob využití nástrojů dálkového průzkumu Země pro sledování umělého nočního osvětlení (Artificial Light At Night – ALAN) v projektu TAČR TITSMZP012, a to především ze senzorů VIIRS Day/Night Band na družicích Suomi-NPP a NOAA-20. Dále jsou v dokumentu představeny limity těchto produktů a z nich vyplývající doporučení ohledně jejich použití. V poslední řadě jsou popsány dosažené výsledky a testování jednotlivých produktů.

Veškeré výstupy, podkladová data a interaktivní mapy jsou umístěny na adrese: <https://owncloud.cesnet.cz/index.php/s/apOfihWzqFfbgeg>

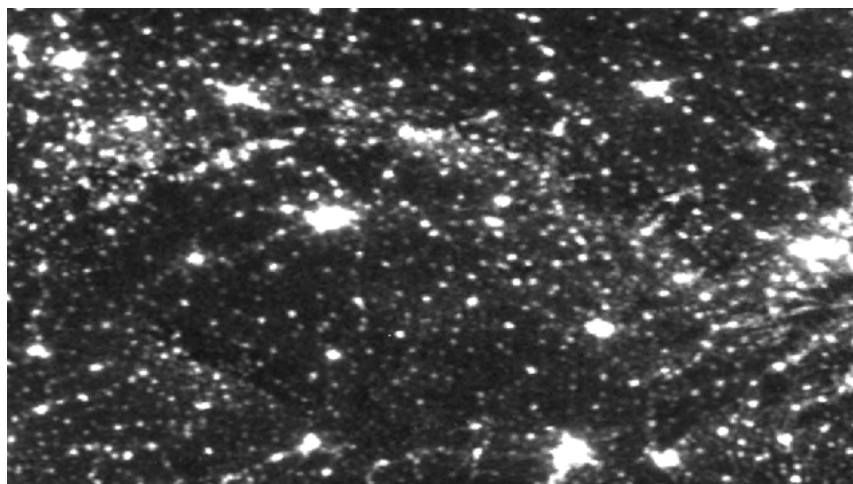
2. Volně dostupná satelitní data světelného znečištění

2.1 DMSP/OLS

Nejstarším vhodným zdrojem dat je systém Defense Meteorological Satellite Program (DMSP) a jeho senzor Operational Linescan System (OLS), který snímal v období mezi lety 1992–2011. Noční pásmo "VIS" snímá v části spektra VNIR (0,5 až 0,9 μm). Systém byl zaveden pro detekci noční oblačnosti. Neočekávaným důsledkem nočního zesílení světla je možnost sledování ALAN (Elvidge 1997).

Zpracované roční mozaiky lze zdarma stáhnout ze stránek [NOAA Earth Observation Group](#). Soubory obsahují roční bezoblačné kompozice vytvořené pomocí všech dostupných archivovaných dat DMSP-OLS za jednotlivé kalendářní roky. V letech, kdy data sbíraly obě družice, byly vytvořeny dva kompozity.

Zásadní nevýhodou těchto dat je jejich nízké prostorové a radiometrické rozlišení (cca 3 km a 6 bit). Prostorové rozlišení neumožňuje detekci jednotlivých zdrojů světla a slouží spíše jako obecný přehled distribuce zdrojů. Nízká bitová hloubka dat umožňuje odlišit jen 64 úrovní intenzity světla, čímž ztrácíme možnost sledovat jemné rozdíly ALAN v čase či prostoru.



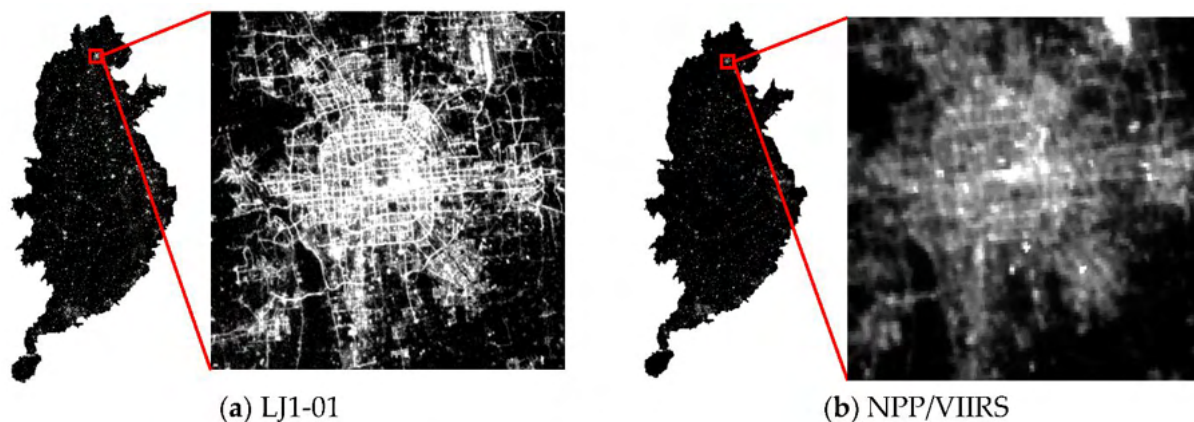
Obr. 1 Noční DMSP/OLS snímek ČR z roku 1992.

2.2 LJ1-01

Družice Luojia byla zkonstruována univerzitou ve Wuhanu. Jedná se o malý satelit (Cubesat) sloužící především jako demonstrátor pro budoucích 60 až 80 obdobných družic jedné konstelace (Zhang 2021). S prostorovým rozlišením 100 m představuje velmi kvalitní zdroj informací o distribuci ALAN.

Zásadním nedostatkem je, že se jedná především o demonstrátor a neposkytuje tak kontinuální globální přehled o nočním světle. Další nevýhodou je komplikovaný přístup k datům, protože se jedná

o čínský satelit. Z těchto důvodů není vhodný pro sledování ALAN v ČR. Data jsou po registraci a schválení dostupná z oficiálních stránek [LJ-01](#).



Obr. 2 Snímek Zhang (2019). Porovnání prostorového rozlišení NPP/VIIRS a LJ1-01 Peking 2018.

2.3 Landsat 8 a 9

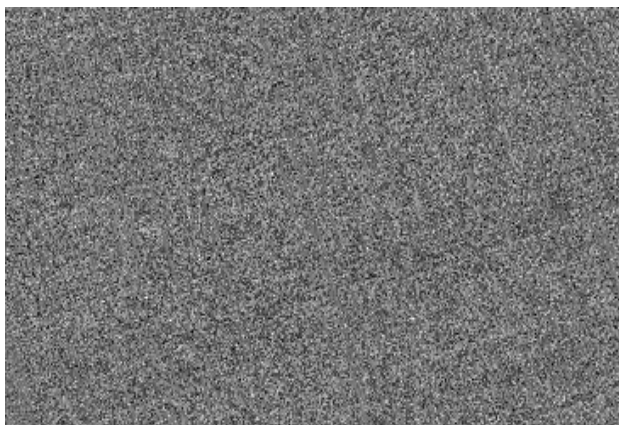
Pro účely tohoto projektu se jeví jako velmi zajímavá možnost využití družic vysokého rozlišení. I přes to, že jsou družice Landsat 8 a 9 určeny pro denní snímání, mohou na žádost uživatelů své pozorování provádět i v noci. S prostorovým rozlišením 30 m mohou představovat kvalitní zdroj nočního světla a např. Levin (2020) či Levin a Phinn (2016) uvádějí, že senzor je schopný zaznamenat některé světlé povrchy i přes to, že optické systémy tohoto satelitu byly navrženy především pro denní snímání. Satelitní snímky je možné získat ze stránek [Earth Explorer USGS](#).

Bohužel jsou noční snímky ČR k dispozici pouze v oblasti jižní Moravy z let 2019–2021. V případě, že bychom chtěli zahájit pravidelné snímání jiné lokality, existuje teoretická možnost žádat o snímání skrze oficiální formulář na: <https://www.usgs.gov/landsat-missions/landsat-acquisitions>.

Obr. 3 Oblast snímána satelitem Landsat 8

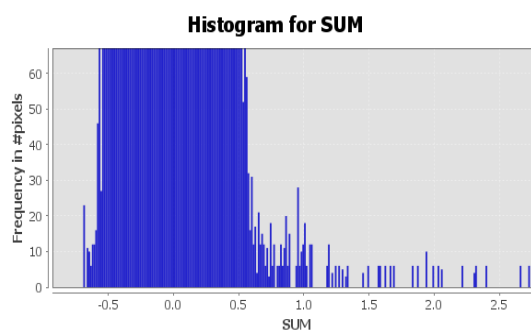
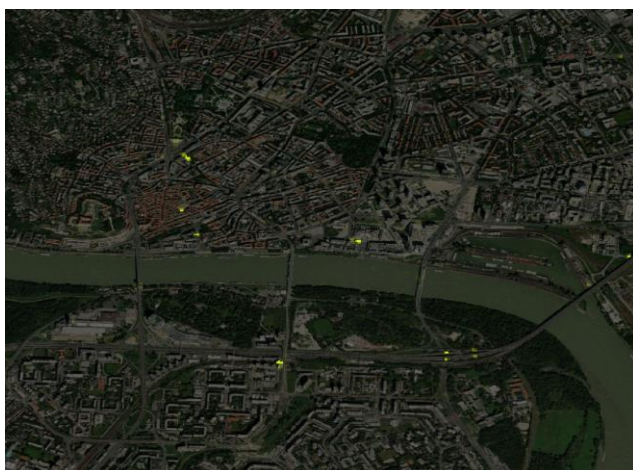


Provedené testy ukazují, že na základě jednoho pozorování je v podmínkách ČR velmi obtížné odlišit signál od šumu.



Obr. 4 Snímek Landsat-8 - území jižní Moravy pásma č. 8 (panchromatické) 27.10.2021 a rozložení hodnot na snímku.

Nicméně po sečtení naměřených hodnot v optických pásmech červeného, modrého, zeleného a infračerveného spektra daného snímku lze vytvořit kompozitní snímek, kde v ojedinělých případech velmi jasného zdroje nočního světla, lze identifikovat pixely, které svým jasem překonaly citlivost senzoru a oddělily se od šumu.



Obr. 5 Náhled identifikovaných pixelů ALAN a jejich odlišení v histogramu.

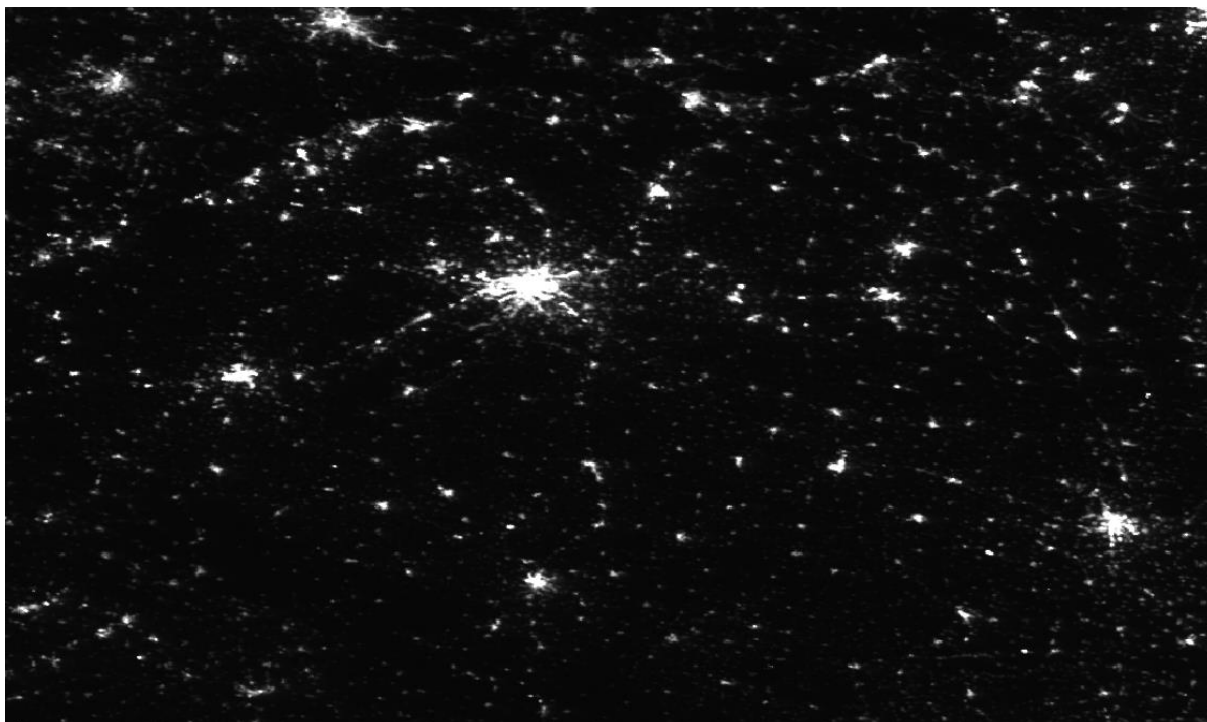
Satelitní snímky by tak mohly sloužit k identifikaci nejvíce problematických zdrojů světla směřujících směrem k satelitu a osvětlujících tak především noční oblohu. Z důvodu nepravidelného snímání, omezeného využití a pouze lokálního pokrytí však není tento zdroj vhodný pro kontinuální snímání stavu ALAN v ČR.

2.4 ISS

V ojedinělých případech lze využít fotografie astronautů na mezinárodní vesmírné stanici. Tyto fotografie nejsou nijak kalibrovány, a tak je nelze využít k absolutnímu stanovení intenzit. Nicméně jako jeden z mála zdrojů snímají ve více spektrech (červeném, modrém a zeleném) a zobrazují spektrální zastoupení ALAN a zároveň mají vysoké prostorové rozlišení. Alespoň přibližně georeferencované snímky astronautů lze získat ze stránek [JSC Earth Science & Remote Sensing Unit NASA](#), kde lze nalézt také jeden snímek noční Prahy.

2.5 VIIRS/DNB

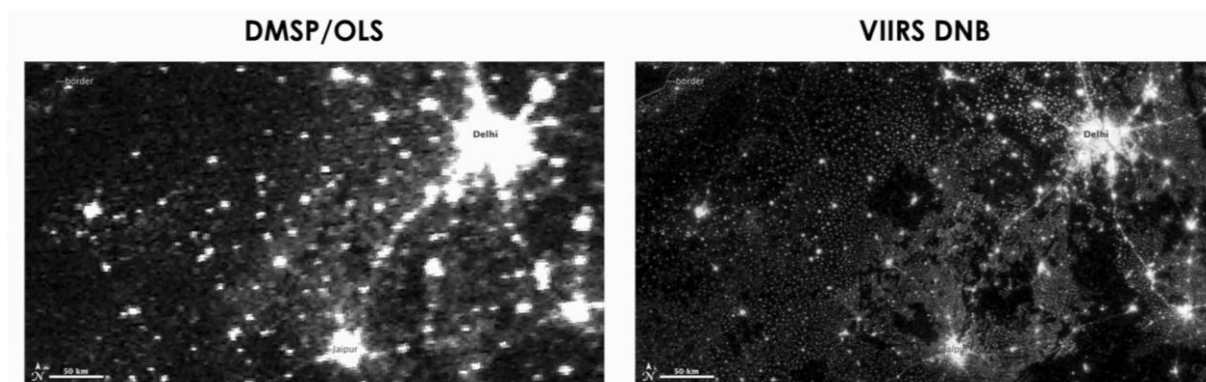
Visible and Infrared Imaging Suite (VIIRS) Day Night Band (DNB) představuje významné kvalitativní zlepšení oproti předchozímu senzoru DMSP/OLS. Snímky jsou pořizovány každou noc s tím, že jsou následně automaticky agregovány do měsíčních mozaik. Díky tomu lze potlačit jinde přítomný problém s oblačností zamezující pravidelnému pozorování. Tato data mají prostorové rozlišení ~ 300 x 470 m a velmi vysokou bitovou hloubku 14 bit umožňující sledovat celkem 16 384 úrovní ALAN. Jedná se o snadno dostupný zdroj kvalitně popsany ve vědecké literatuře s archivem od roku 2012. Z pohledu projektu se jeví jako nejlepší nástroj pro sledování ALAN v ČR.



Obr. 6 Noční snímek ČR Březen 2022 VIIRS/DNB.

3. Použitá data VIIRS DNB

Zdrojem aktuálních satelitních snímků (2012–2023) byla data ze senzorů VIIRS Day/Night umístěných na dvou satelitech Suomi-NPP a JPSS. Tyto satelity mají globální pokryv s oběžnou dráhou ve výšce 824 km, což umožňuje snímání zemského povrchu pravidelně v 01:30 lokálního slunečního času. Data jsou dostupná na platformě [Google Earth Engine](#) či stránkách [NASA Black Marble](#) a [Earth Observation Group \(EOG\) - Colorado School of Mines](#) ve formě měsíčních a celoročních bezoblačných mozaik. Pro potřeby projektu byla stažena z posledních zmíněných stránek v měsíčním a ročním kroku. Tato data mají velikost pixelu v území ČR ~ 300 x 470 m (v závislosti na zeměpisné šířce). Nicméně u dat je patrná výrazná prostorová autokorelace změřená až do vzdálenosti 3 km (viz zpráva za Q5). Konkrétně využíváme "vcmssl" verzi, jelikož obsahuje data za ČR i v letních měsících.



Obr. 7 Srovnání prostorového rozlišení senzorů DMSP/OLS a VIIRS DNB. Zdroj NASA ARSET.

Attribute	DMSP/OLS	VIIRS DNB
Orbital Details	Sun-synchronous, ~850 km	Sun-synchronous, 824 km
Nighttime Overpass Time	~1930 UTC	~0130 UTC
Swath Width	3000 km	3000 km
Spectral Passband Bandwidth	Panchromatic 500–900 nm	Panchromatic 500–900 nm
Spectral Passband Center	~600 nm	~700 nm
Spatial Resolution	2.7 km	<0.770 km (Scan) <0.750 km (Track)
Minimum Detectable Signal	$4 \times 10^{-5} \text{ W m}^{-2} \text{ sr}^{-1}$	$3 \times 10^{-5} \text{ W m}^{-2} \text{ sr}^{-1}$
Noise Floor	$\sim 5 \times 10^{-6} \text{ W m}^{-2} \text{ sr}^{-1}$	$\sim 5 \times 10^{-7} \text{ W m}^{-2} \text{ sr}^{-1}$ (Nadir)
Radiometric Quantization	6 bit	13–14 bit
Radiometric Calibration	None	On-Board Solar Diffuser
Saturation, Stray Light Artifacts	Urban Cores, Substantial, Uncorrectable	None, Near-Terminator, Corrected

Obr. 8 Porovnání obou senzorů. Zdroj NASA ARSET.

4. Zdroje nejistot v satelitním pozorování ALAN

Satelitní pozorování ALAN je zatíženo mnoha externími vlivy, které přinášejí dodatečné záření a ovlivňují výsledné hodnoty. Jedná se především o: Albedo povrchu (zejména vliv sněhové pokrývky), fáze měsíce, oblačnost, fenologickou fázi vegetace, rozdílné úhly pozorování Země, záření vrchních vrstev atmosféry či polární záři.

Nejzávažnějším vlivem je **záře noční oblohy**, která je způsobena nabitými částicemi ve vrchních vrstvách atmosféry (Hofmann 1977). Tato záře může nabývat hodnot od 0,1 až po 1 $\text{nWcm}^{-2}\text{sr}^{-1}$, což při srovnání s noční září NP Šumava (okolo 0,1 $\text{nWcm}^{-2}\text{sr}^{-1}$) může být násobně více. Vliv záře je nižší u zastavěných oblastí, které typicky přesahují 10 $\text{nWcm}^{-2}\text{sr}^{-1}$.

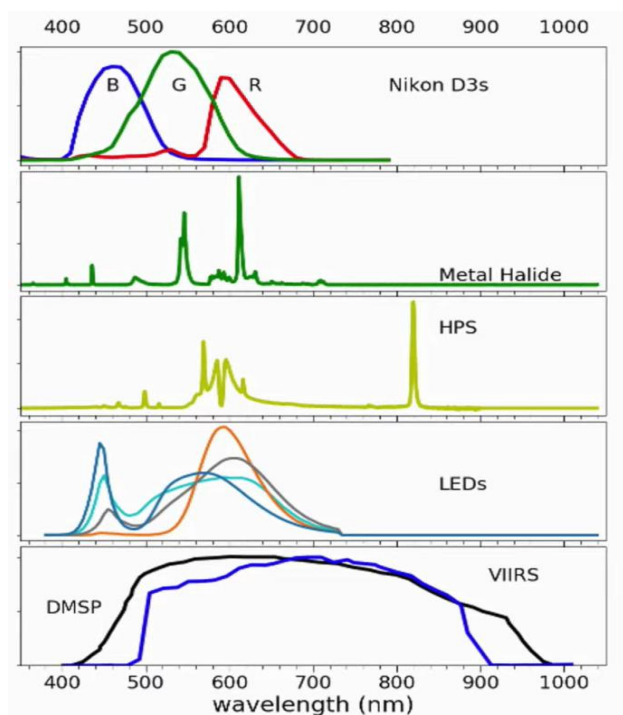
Dalším problémem celého systému je **nedokonalá detekce oblačnosti**. Schopnost detekovat oblačnost se u VIIRS globálně pohybuje okolo 94 % (Kopp et al., 2014). V ČR se vlivem vyšší oblačnosti pravděpodobně bude projevovat ještě výrazněji. Na některých výstupech je pozorovatelný efekt pozůstatků oblak především vysoké oblačnosti (např. typu cirostratus). V případě správné detekce oblačnosti jsou ovlivněné pixely vynechané z výsledné např. měsíční mozaiky. Na jednu stranu vynechání pixelů přispěje ke správnějšímu měření, ale zároveň to může způsobit nepřírozenou mozaiku z důvodu rozdílného počtu pozorování napříč různými oblastmi.

Především v letních měsících může být měření částečně ovlivněno **vlivem slunce**, jak je popsáno na webu distributora dat: <https://eogdata.mines.edu/products/vnl/>. Tento efekt je silnější směrem k severnímu pólu, proto předpokládáme slabý pozitivní gradient v naměřených datech směrem k severní části republiky.

Mezi další zdroje chyb v měření patří **vliv úhlu pozorování**, kde se stejná oblast může jevit různě jasná pod různými úhly. Tento efekt je však vzhledem k velikosti ČR poměrně malý. Dále můžeme pozorovat **vliv aerosolů**, které způsobují sníženou záři zdrojů světla a zvýšenou záři jejich okolí. Drobný vliv na výsledné hodnoty může mít také **přítomnost sněhu** na povrchu, či aktuální **fenofáze rostlin**. I nad územím ČR se může vyskytovat **slabá polární záře**, která ovlivní naměřené hodnoty. Předvídatelný zdroj chyb je vliv měsíce, výsledné mozaiky se však skládají pouze ze snímků neovlivněných měsícem. Kvalita výsledného produktu je také snížena vlivem nutnosti převzorkování naměřených hodnot na výsledný rastr, kde umístění měřených hodnot ne zcela odpovídá umístění výsledného pixelu. Dobrou řešící všech nejistot lze nalézt například v článku Wang et. al. 2021.

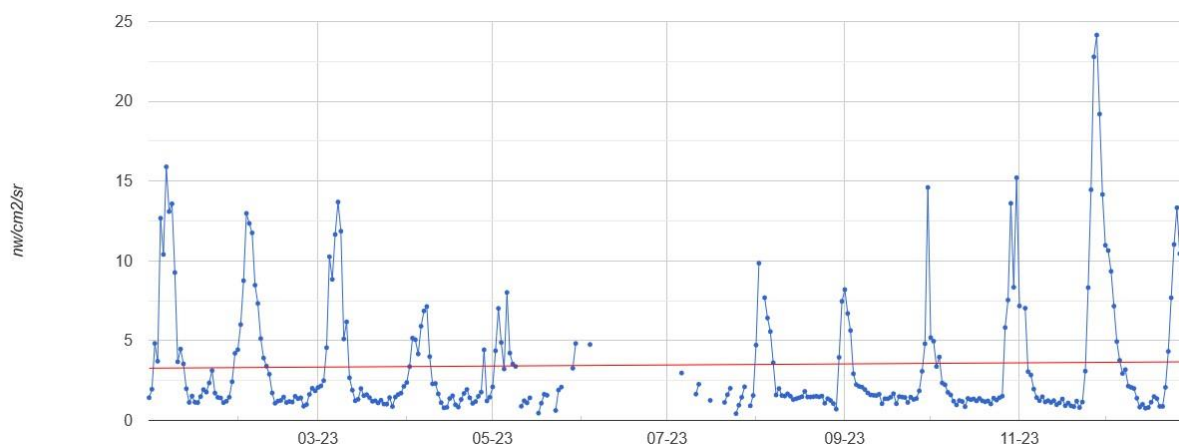
Mnohé z výše zmíněných chyb mohou být úspěšně potlačeny tvorbou průměrných mozaik a následnou aplikovanou korekcí DOS.

Spektrální senzitivita senzoru je omezená a nezachytává tak podstatnou část modrého světla emitovaného především novými LED světelnými zdroji.



Obr. 9 Emitované spektrum pomocí Metal Halide (Halogenidová výbojka), HPS (Sodíková výbojka) a LED (5000K Modrá, 4000K tyrkysová, 2700K šedá a PC Amber Oranžová), osvětlení ve srovnání s citlivostí senzorů DMSP (černá), VIIRS (modrá) a Nikon D3s (fotoaparát na ISS). Zdroj NASA ARSET.

Pokud využijeme surové satelitní snímky bez potřebné korekce, jsou výsledné hodnoty ovlivněny mnoha faktory, především pak různou fází měsíce v daném okamžiku, který může navýšit průměrné hodnoty ČR okolo 1 nW/sr/cm² až na hodnoty okolo 15 či v extrému 24 nW/sr/cm². Viz analýza průměrného ALAN v ČR za rok 2023:



Obr. 10 Průměrná hodnota ALAN v ČR v roce 2023 z dat VIIRS VNP46A1.

Za účelem sledování vývoje umělého nočního osvětlení ALAN je třeba tyto zdroje šumu co nejvíce potlačit. Z toho důvodu byly využívány zmíněné produkty Earth Observation Group, Payne Institute for Public Policy. I přes to, že tyto produkty filtrují data mnoha způsoby, stále v nich zůstává zbytková hladina šumu. Velikost šumu lze ilustrovat na výzkumu (Román et al. 2018), kde jako průlom byla schopnost detekovat skokové navýšení v jednom pixelu o $0,43 \text{ nW} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$. V rámci tohoto projektu se však zaměřujeme mimo jiné na chráněné přírodní rezervace, které ze své podstaty mají velmi nízké hladiny nočního světla. Za účelem dalšího zpřesnění jsme data kalibrovali na základně nejtmavších míst v ČR. Popis DOS korekce a její vyhodnocení je rozpracováno v kapitole 3.

5. Dokumentace zpracování výstupů

V této kapitole je popsán způsob, jakým byly staženy a zpracovány snímky včetně příkladu zpracování ve volně dostupném softwaru QGIS. Pro účely projektu proběhlo zpracování automaticky, a to pomocí skriptu v jazyce Python uvedeného v příloze.

5.1 Stažení dat

Z portálu <https://eogdata.mines.edu/products/vnl/> lze stáhnout měsíční kompozity vytvořené automaticky každý měsíc globálně ve dvou variantách "vcm" a "vcmsl". „Vcm“ varianta neobsahuje pixely, u kterých mohlo dojít ke kontaminaci slunečním zářením pronikajícím do senzoru skrze horizont Země. Přesné oblasti, kde může docházet ke zmíněné kontaminaci závisí na geometrii mezi Zemí, Sluncem a Satelitem VIIRS. V případě ČR se tento jev projevuje během letních měsíců, proto je v projektu využíváno produktu „vcmsl“, který tato data obsahuje a následně je uměle koriguje. Výsledný produkt tedy obsahuje veškerá data, avšak za cenu možné nižší kvality. Z důvodu nižší velikosti doporučujeme stahovat pouze dlaždici obsahující ČR (produkt: Tiled, **Tile 2 75N60W**). Více o problému i korekci je uvedeno v publikaci Lee a kol. (2016). Tato verze dat je dostupná až od roku 2014. Rok 2013 a část roku 2012, kdy byla družice v provozu, tudíž není zpracován v měsíčním a čtvrtletním kroku, jelikož by data nekorespondovala v rámci časové řady a zároveň by v letních měsících data v ČR zcela chyběla.

V případě celoročních mozaik využíváme nejnovější dostupné produkty. Pro roky 2012–2021 jsou dostupné **Annual VNL V2.1**, pro produkty od **2022 Annual VNL V2.2**.

5.2 Filtrace oblastí s chybějícím pozorováním

Ve staženém produktu se nachází 3 rastry. Rastr končící na **cvg.tif* obsahuje počty nasnímání senzorem pro každý pixel. Rastr končící na **cf_cvg.tif* obsahuje počet použitých pozorování pro každý pixel (po odstranění pixelů obsahujících mrak, svit měsíce apod.). A rastr končící na **avg_rade9h* obsahuje průměrnou naměřenou hodnotu za daný měsíc. Pokud pro daný pixel nebylo k dispozici ani jedno měření daného měsíce, je v produktu **avg_rade9h* zapsána 0. Tyto zavádějící hodnoty je třeba odstranit. Pokud nám produkt **cf_cvg.tif* říká, že daný pixel nemá žádné pozorování (0), je třeba přepsat nulovou hodnotu v **avg_rade9h* na NoData – v našem případě NoData = -9999.

Například v programu QGIS, lze využít nástroj Raster calculator a vzorec:

$$IF(„*cf_cvg@1“ = 0, -9999, „*avg_rade9h@1“)$$

říkající Když **cf_cvg@1* je roven 0, zapiš do výsledného rastru -9999, když ne zapiš hodnotu z rastru **avg_rade9h@1*.

Případně lze využít přiložený skript v jazyce Python.

Tento krok není třeba při stahování ročních mozaik (Annual VNL V2.2), kde je již daná filtrace aplikována.

5.3 Ořez rastru na území ČR, nastavení NoData na -9999

V dalším kroku je třeba oříznout rastr na území ČR (např. podle přiloženého polygonu CR.shp). GIS softwaru rastr zpravidla ořežou pouze dle rozsahu masky („obdélníkový“ ořez dle zeměpisných šířek a délek masky). Detailní ořez (dle podrobných hranic masky) může být následně definován pomocí tzv. Alfa kanálu (rastr říkající, kde má být vrstva průhledná) či v tomto případě přiřazením hodnot NoData (zde hodnota -9999) pixelům ležícím mimo masku. Tím dojde i k definování hodnot NoData = -9999 v hlavičce souboru a odstranění pixelů obsahujících tuto hodnotu z následných výpočtů (tedy i pixelů s hodnotou -9999).

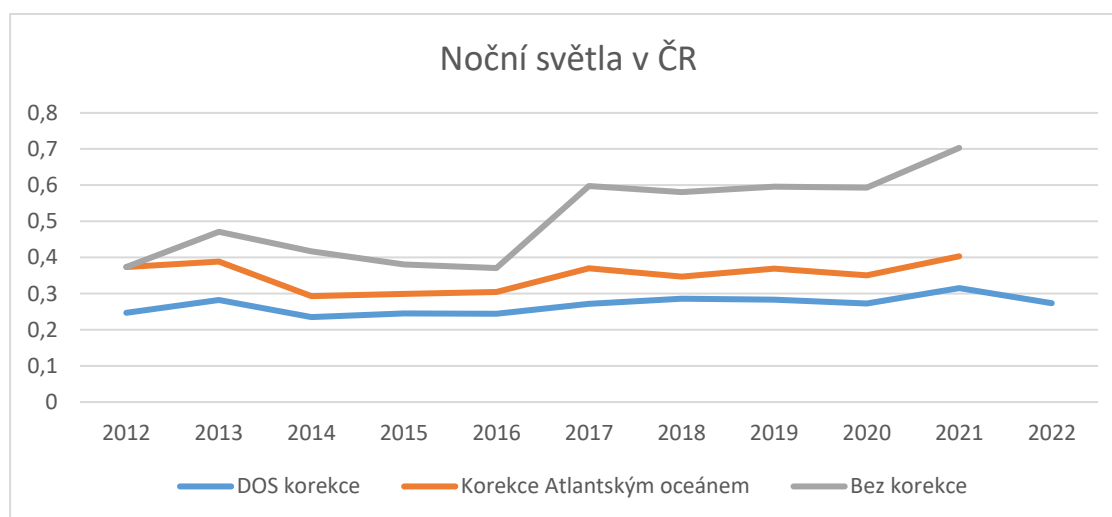
5.4 DOS Korekce dat

Finální mapové produkty kalibrujeme tak, aby došlo k odstranění co největšího možného množství zdroje šumu, a to především vlivu záře noční oblohy (viz kapitola 1.3). Jeden ze způsobů korekce dat navrhl Coesfeld (2020), jehož přístup spočívá v globální identifikaci tmavých míst pomocí globální mapy lidského osídlení (Florczyk 2019). Předpokladem je, že v tmavých místech bez lidského osídlení se nenachází žádný zdroj umělého osvětlení. Hodnoty z takto identifikovaných oblastí se následně interpolují napříč celou planetou, čímž vznikne vrstva nechtěné záře, která se následně odečte od naměřených hodnot a tím vznikne mapa umělé noční záře.

Tento přístup zachováváme i při naší korekci s použitím několika zjednodušení. Hlavní motivací ke zjednodušení je, že z důvodu nízkého rozlišení odečítá původní metoda z celého území ČR prakticky jedinou hodnotu. Dále využívá mapu globálního osídlení z roku 2015, která již nemusí zcela odpovídat současnému stavu. A především je postavena na dnes již staré sadě skriptů, která by vyžadovala značnou údržbu, a to i v budoucnu.

Místo toho navrhujeme metodu **Dark Object Subtraction (DOS)**, která patří mezi klasické metody atmosférické korekce. Jejím předpokladem je, že na sledovaném území existují zcela tmavá místa, která by měla mít nulovou hodnotu. Jakýkoliv signál z těchto míst je tedy pouze výsledek atmosféry a měl by být odečten z celého území. V porovnání s ostatními metodami dosahuje obdobně kvalitních výsledků (viz Moravec 2020) a jeho využití pro stabilizaci časových řad nočních snímků VIIRS předpokládá i Stathakis et. al (2019). V našem případě uvažujeme, že v ČR existuje alespoň 1 % pixelů, ze kterých nepřichází směrem k satelitu žádné umělé světlo. Z každého rastru je v našem případě vyčtena hodnota 1. percentilu histogramu. Tato hodnota je následně odečtena od všech ostatních pixelů.

Výhodou našeho přístupu je jeho jednoduchost. Nevýhodou je, že podobně jako u předchozí zmíněné metody mohou nastat situace, kdy se ve výsledném rastru vyskytnou fyzikálně nemožné záporné hodnoty. Tyto hodnoty v současnosti neodstraňujeme, nicméně necháváme na zvážení jejich vynulování v budoucnu.

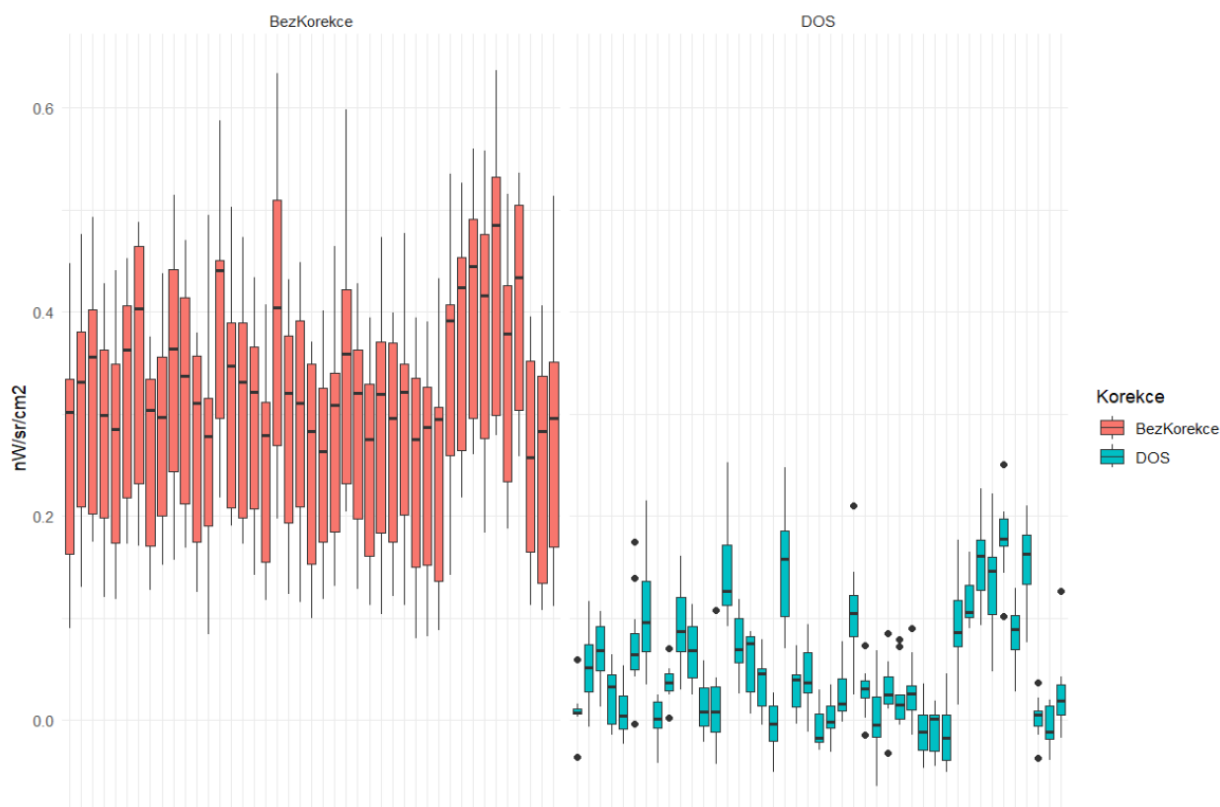


Obr. 3 Obr. 11 Význam atmosférických korekcí na příkladu ročních mozaik ČR.

5.5 Validace DOS měření.

Za účelem validace DOS kalibrace jsme vytvořili vrstvu oblastí, u kterých nepředpokládáme žádné světelné zdroje. Jednalo se o území uvnitř velkoplošných zvláště chráněných území či maloplošných zvláště chráněných území, dále než 5 km od jejich okrajů, dále než 3 km od zástavby, dále než 500 m od silnic vyšších tříd (mimo cyklostezky, turistické cesty, účelové cesty apod.) a alespoň 500 m od železnic. V těchto oblastech bylo náhodně rozmístěno 43 bodů s minimální vzájemnou vzdáleností 3 km. Body byly následně ručně zkontrolovány pomocí ortofota, zda se opravdu nalézají mimo možné zdroje nočních světél. Předpoklad byl takový, že v průběhu let budou jejich hodnoty ALAN stabilní a blízké nule.

Následně proběhlo měření ročních mediánů těchto „tmavých oblastí“ za roky 2012 až 2022. Z výsledků je zřejmé, že se metodou DOS podařilo redukovat šum pozadí způsobený pravděpodobně vlivem atmosféry. Průměrná hodnota „tmavých oblastí“ se po DOS korekci snížila z 0,306 na 0,052 nW/sr/cm², což lépe odpovídá předpokladu oblastí bez nočního osvětlení. Zatímco průměr směrodatných odchylek mezi sledovanými lety tmavých oblastí byl před korekcí 0,109, po korekci se snížil na 0,031 nW/sr/cm². Dá se tedy předpokládat, že nejistota vlivem šumu klesla u tmavých oblastí přibližně trojnásobně. V korigovaných datech je možné odhalit jemné, původně neprůkazné rozdíly mezi lokalitami.



Obr.12 ALAN ve 43 tmavých lokalitách ČR v letech 2012–2022. Box ploty ukazují měření za jednotlivé lokality.

5.6 Tvorba kvartálních mozaik

Kvartální mozaiky jsou vytvořeny na základě výše opravených DOS měsíčních mozaik a jejich příslušnosti k ročním obdobím (Zima: prosinec, leden, únor; Jaro: březen, duben, květen; Léto: červen, červenec, srpen; Podzim: září, říjen, listopad). Výsledná mozaika je vytvořena pomocí mediánu příslušných měsíců.

5.7 Zonální analýzy

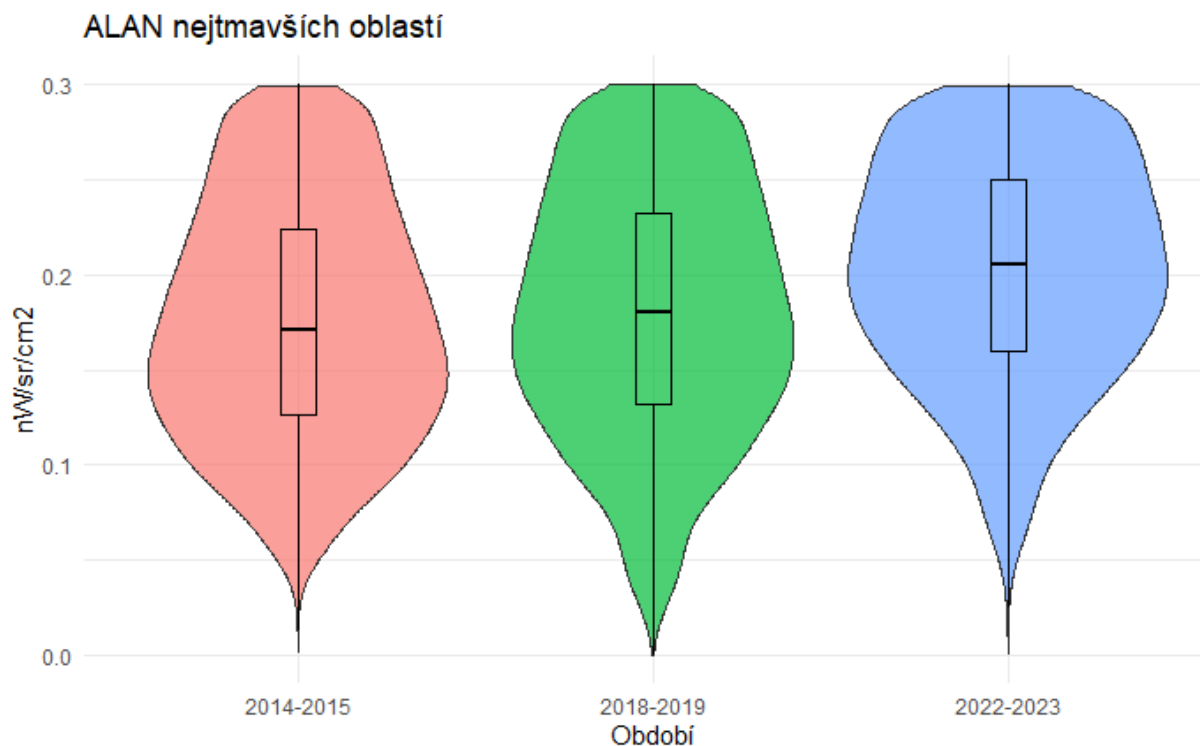
Pro získání dlouhodobých trendů za vybrané oblasti jsme využili nástroje zonálních statistik. V QGIS konkrétně Zonal Statistic (multiband) od Dymaxion Labs: <https://github.com/dymaxionlabs/qgis-zonal-statistics-multiband>.

5.8 Změnové Rastry

Změnové rastry jsou vytvořeny pomocí měsíčních korigovaných DOS rastrů, a to za tři období vždy dvouletých mediánů 2013/2014 2018/2019 a 2022/2023. Mediánem za období dvou let byl zmírněn vliv krátkodobých světelných zdrojů (např. stavební činnosti). Jelikož jsou jednotlivé rastry výsledkem mozaik z různých úhlů po dobu mnoha let, dochází v rastrech k drobnému vzájemnému posunu. Bohužel tento posun je různých v různých místech rastrů. Ke zmírnění bylo využito automatické koregistrace AROSICS (Scheffler et. al 2017) dostupné v prostředí QGIS, kde byly rastry 2013/2014

a 2018/2019 koregistrovány na rok 2022/2023. Změny byly následně vytvořeny prostým rozdílem 2018/2019 – 2013/2014, 2022/2023 – 2018/2019 a 2022/2023 – 2014/2015.

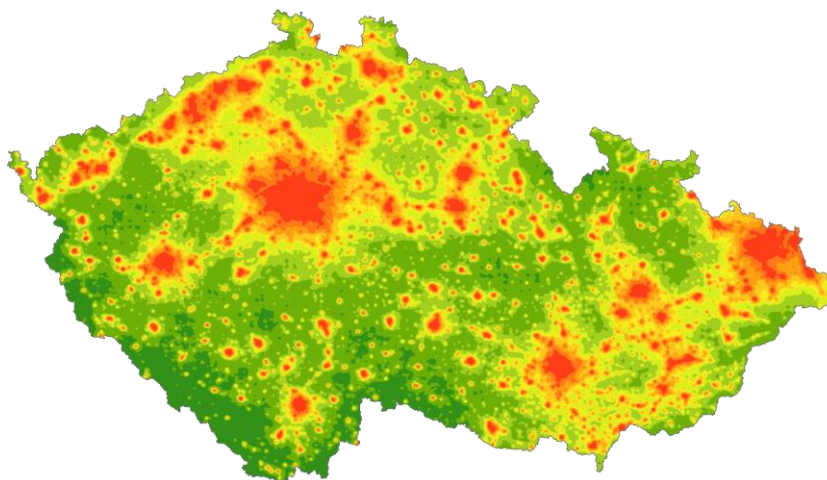
Z celkových výsledků vyplývá, že ALAN v ČR (viz kap. 7) má stabilní či jen velmi mírně rostoucí trend. Pokud se však podíváme na nejtmaší oblasti v ČR (oblasti s hodnotami 0 - 0,3 nW/sr/cm²) z výsledných rastrů zjistíme, že v ČR dlouhodobě ztrácí takovéto oblasti z 40157 km² v roce 2013/2014 na 36369 km² v roce 2018/2019 a dále na 33293 km² v posledním roce 2022/2023. Zároveň z histogramu těchto oblastí zřejmé, že i tyto velmi tmavé oblasti se v postupně stávají světlejšími.



Pokud se zaměříme naopak na nejsvětlejší oblasti s hodnotou nad 10 nW/sr/cm², tak vývoj rozlohy za stejné období byl 1723 km², 1827 km² a 1698 km². Tudíž se jedná o relativně malé území (v porovnání s nejtmašími oblastmi), které se vykazuje dynamickou proměnou zdrojů ALAN bez jasného trendu.

5.9 Tvorba mapy jasu oblohy

Satelit měří světlo přicházející z daného místa směrem k senzoru satelitu. Díky tomu přináší celkový obraz rozmístění a relativní intenzity zdrojů světelného znečištění. Ze své podstaty však není schopen změřit, zda je v daném místě světlá či tmavá noční obloha. Z toho důvodu jsme přistoupili k modelování stavu oblohy. Dle Longcore (2004) mohou jasné zdroje světla ovlivnit okolí až do vzdálenosti 160 km. Z toho důvodu jsme interpolovali hodnotu každé buňky jasu oblohy ze všech buněk zdrojů světla do 160 km i se započtením zdrojů mimo hranice ČR. S přihlédnutím k podstatě šíření světla, kdy intenzita záření klesá s druhou mocninou vzdálenosti, byla interpolace provedena pomocí vážené inverzní vzdálenosti s tím, že významnost každého zdroje klesala s druhou mocninou vzdálenosti od interpolované buňky jasu oblohy. Vstupem posloužila vrstva korigovaného (DOS) mediánu roku 2022 (DOS_CLIP_VNL_v22_npp_2022_CZ_vcmlcfcg_c202303062300.median.dat.tif). Výsledný rastr byl následně filtrován pomocí low pass filtrace s oknem kernelu 5×5 a třemi iteracemi tak, aby se odstranily artefakty vzniklé IDW interpolací – především tzv. „bull eye effect“.



Obr. 13. Stav noční oblohy ČR 2022– náhled výsledné mapy.

Zde nabízíme srovnání se zavedeným celosvětovým atlasem Falchi 2016 dostupným z <https://cires.colorado.edu/Artificial-light>



Obr. 14 Stav noční oblohy dle celosvětového atlasu.

Ze srovnání je zřejmé, že trend oblohy nad ČR je shodný, avšak naše mapa poskytuje vyšší detail a vychází z novějších dat.

5.10 Tvorba mapy ve vysokém rozlišení

Pro prezentační účely jsme přistoupili k tvorbě mapy ve vysokém rozlišení. Tento postup vychází z přístupu produktu Black Marble HD, který je dostupný pouze pro spolupracovníky projektu NASA Black Marble (<https://blackmarble.gsfc.nasa.gov/>). Přístup předpokládá, že zdroje nočního světla jsou umělé povrchy, tedy povrchy bez vegetace. S tímto předpokladem, je původní hrubý rastr nočního světla rozpočítán pomocí jemnějšího rastru vegetace (NDVI) na rastr s vysokým rozlišením. Výhodou je dosažení vysoké vizuální kvality. Nevýhodou je ztráta původních hodnot, díky čemuž se jedná o výstup vhodný především pro účel vizualizace.

NDVI je normalizovaný rozdíl mezi odrazivostí v blízkém infračerveném (NIR) a červeném (RED) pásmu. Tento index je citlivý na množství a kvalitu vegetace, kterou vyjadřuje v hodnotách od -1 do 1.

NTL je normalizovaný snímek nočních světél VIIRS v našem případě z roku 2022 po DOS korekci. Každý pixel v něm je podělen maximální hodnotou rastru (v našem případě 168.57).

Výsledný produkt NDUI (Normalized Difference Urban Index (NDUI)) vznikne váženým rozdílem mezi NTL a NDVI.

$$NDVI = \frac{(NIR - Red)}{(NIR + Red)} \quad NTL_n = \frac{NTL}{NTL_{max}} \quad NDUI = \frac{NTL_n - NDVI}{NTL_n + NDVI}$$



Obr. 15 Náhled výstupu vysokého rozlišení.

Nedostatkem tohoto produktu je, že výsledná škála je pouze relativní a ztrácí původní hodnoty. Zároveň dochází k tomu, že za umělý povrch se považuje i vodní hladina a jsou jí přiřazovány vysoké hodnoty.

5.11 Vizuální kontrola kalibrovaných produktů DOS

I přes výše zmíněnou kalibraci produktu mohou v některých případech nastávat neobvyklé hodnoty.

Měsíční mozaika ze srpna 2022 chybí z důvodu výskytu anomálie na systému. Kompletní report o chybě je k nalezení zde: https://www.ospo.noaa.gov/data/messages/2022/09/MSG_20220901_1450.html

Měsíční mozaika z dubna 2021 obsahuje cca 30 zcela chybných pixelů s hodnotou okolo -100 neznámého původu. Jelikož se jedná o jednu linii snímání a tento jev nebyl pozorován jinde, jedná se pravděpodobně o chybu ve snímání či přenosu dat.

Měsíční mozaiky z února 2022 a února 2019 obsahují extrémně vysoké hodnoty (řádově vyšší než kdykoliv a kdekoliv jinde v ČR) z oblasti Rafinérie Kralupy. Jelikož se jedná o totožnou lokalitu, předpokládáme, že měření je správné. Možným vysvětlením mohou být dvě fléry využívané ke spalování přebytečných plynů.

6. Uplatnění satelitních snímků nočních světél

K čemu je satelitní snímání vhodné:

- Lokalizace zdrojů světelného znečištění.
- Včasné varování ohledně nových zdrojů.

K čemu je satelitní snímání vhodné s omezením:

- Relativní srovnání různých oblastí v čase.
- Sledování dlouhodobého vývoje.
- Odvození tmavé oblohy.

Vlivem výše zmíněných limitací produktu může krátkodobě docházet k nečekaným výkyvům. Z analýzy DOS korekce vyplývá, že běžná meziroční variabilita oblastí málo ovlivněných ALAN dosahuje hodnoty 0,03 nW/sr/cm² šumu.

K čemu se satelitní snímání vhodné není:

- Kvalitativnímu zhodnocení míry světelného znečištění vlivem daného zdroje.

7. Vývoj nočního světla v ČR dle senzoru VIIRS (mediány po DOS korekci)

CZECH	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
	0.247	0.282	0.235	0.245	0.244	0.272	0.286	0.284	0.273	0.315	0.273	0.278
National Parks	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
České Švýcarsko	0.102	0.071	0.088	0.085	0.072	0.106	0.090	0.101	0.122	0.124	0.098	0.138
Krkonošský národní park	0.111	0.227	0.102	0.160	0.137	0.125	0.169	0.163	0.132	0.212	0.174	0.189
Podyjí	0.078	0.100	0.080	0.074	0.059	0.067	0.105	0.084	0.095	0.110	0.089	0.100
Šumava	0.005	0.017	0.016	0.027	0.018	0.018	0.004	0.011	0.026	0.004	0.027	0.032
Protection Zones	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Krkonošský národní park	0.315	0.662	0.294	0.352	0.380	0.324	0.387	0.359	0.344	0.402	0.382	0.354
Podyjí	0.353	0.368	0.378	0.394	0.356	0.362	0.427	0.407	0.365	0.399	0.368	0.393
Protected landscape areas	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Beskydy	0.124	0.113	0.104	0.124	0.122	0.099	0.144	0.131	0.144	0.156	0.150	0.127
Bílé Karpaty	0.160	0.189	0.160	0.174	0.178	0.176	0.193	0.201	0.175	0.206	0.197	0.218
Blaník	0.129	0.117	0.123	0.085	0.108	0.123	0.142	0.151	0.133	0.163	0.142	0.130
Blanský les	0.196	0.166	0.142	0.161	0.160	0.164	0.197	0.142	0.159	0.152	0.135	0.118
Brdy	0.096	0.094	0.050	0.057	0.068	0.072	0.076	0.094	0.105	0.091	0.094	0.102
Broumovsko	0.179	0.313	0.165	0.211	0.172	0.194	0.212	0.226	0.186	0.285	0.205	0.193
České středohoří	0.349	0.455	0.372	0.385	0.357	0.454	0.442	0.441	0.437	0.491	0.429	0.467
Český kras	0.495	0.749	0.607	0.624	0.583	0.664	0.701	0.705	0.698	0.735	0.673	0.679
Český les	0.083	0.069	0.038	0.058	0.044	0.050	0.045	0.059	0.060	0.067	0.042	0.056
Český ráj	0.218	0.277	0.213	0.251	0.220	0.266	0.260	0.278	0.266	0.291	0.251	0.235
Jeseníky	0.090	0.122	0.073	0.105	0.092	0.057	0.097	0.100	0.077	0.126	0.121	0.117
Jizerské hory	0.183	0.405	0.183	0.283	0.272	0.246	0.281	0.283	0.306	0.323	0.301	0.369
Kokořínsko - Máchův kraj	0.164	0.141	0.142	0.159	0.121	0.158	0.179	0.169	0.178	0.192	0.188	0.185
Křivoklátsko	0.163	0.190	0.143	0.145	0.122	0.159	0.168	0.182	0.168	0.198	0.141	0.182
Labské pískovce	0.206	0.246	0.219	0.202	0.192	0.259	0.235	0.244	0.251	0.272	0.227	0.243
Litovelské Pomoraví	0.388	0.368	0.380	0.383	0.438	0.446	0.455	0.504	0.443	0.508	0.432	0.449
Lužické hory	0.173	0.236	0.173	0.189	0.173	0.209	0.221	0.204	0.223	0.235	0.197	0.240
Moravský kras	0.400	0.456	0.406	0.394	0.433	0.453	0.492	0.496	0.492	0.563	0.521	0.494
Orlické hory	0.044	0.100	0.056	0.079	0.073	0.054	0.085	0.098	0.078	0.122	0.112	0.108
Pálava	0.260	0.265	0.239	0.264	0.258	0.285	0.324	0.302	0.333	0.346	0.337	0.370
Poodří	0.552	0.558	0.537	0.557	0.515	0.537	0.600	0.556	0.611	0.631	0.570	0.536
Slavkovský les	0.150	0.269	0.149	0.126	0.125	0.167	0.164	0.181	0.160	0.150	0.168	0.176
Šumava	0.039	0.053	0.034	0.048	0.035	0.040	0.025	0.028	0.050	0.040	0.030	0.049
Třeboňsko	0.158	0.114	0.133	0.119	0.107	0.109	0.116	0.103	0.131	0.157	0.106	0.145
Žďárské vrchy	0.130	0.168	0.120	0.099	0.155	0.130	0.139	0.178	0.166	0.186	0.142	0.180
Železné hory	0.163	0.154	0.121	0.122	0.145	0.145	0.156	0.182	0.166	0.210	0.158	0.160

Krajinné typy dle reliéfu	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Krajiny širokých říčních niv	0.523	0.583	0.558	0.554	0.572	0.603	0.630	0.638	0.608	0.671	0.620	0.606
Krajiny zaříznutých údolí	0.217	0.240	0.201	0.203	0.197	0.226	0.237	0.237	0.223	0.266	0.225	0.235
Krasové krajiny	0.480	0.680	0.555	0.569	0.563	0.623	0.666	0.667	0.647	0.701	0.649	0.634
Izolované kužele	0.274	0.384	0.279	0.289	0.283	0.320	0.339	0.328	0.310	0.362	0.302	0.304
Krajiny členitých pahorkatin a vrchovin Hercynic	0.211	0.234	0.188	0.194	0.194	0.218	0.227	0.228	0.223	0.259	0.218	0.225
Krajiny rovin	0.394	0.437	0.413	0.411	0.422	0.462	0.478	0.483	0.461	0.514	0.464	0.450
Těžební krajiny	1.429	1.842	1.544	1.380	1.384	1.515	1.470	1.401	1.332	1.522	1.318	1.312
Krajiny vrchovin Carpatica	0.468	0.533	0.480	0.506	0.528	0.510	0.574	0.553	0.539	0.608	0.550	0.515
Krajiny váťých písků	0.374	0.405	0.385	0.385	0.391	0.410	0.428	0.418	0.401	0.438	0.388	0.388
Krajiny plošin a plochých pahorkatin	0.414	0.462	0.442	0.446	0.453	0.492	0.522	0.525	0.498	0.563	0.507	0.494
Krajiny bez vylíšeného reliéfu	9.789	10.173	10.033	10.224	10.163	10.311	10.654	10.462	10.130	10.856	10.290	9.745
Krajiny skalních měst	0.155	0.162	0.134	0.154	0.122	0.154	0.163	0.168	0.170	0.191	0.169	0.171
Krajiny kup a kuželů	0.251	0.303	0.260	0.274	0.256	0.319	0.314	0.316	0.318	0.361	0.300	0.327
Krajiny vysoko položených plošin	0.103	0.148	0.080	0.072	0.082	0.106	0.107	0.120	0.100	0.117	0.107	0.127
Krajiny rozřezaných tabulí	0.206	0.240	0.195	0.219	0.204	0.233	0.247	0.251	0.226	0.284	0.233	0.240
Krajiny výrazných svahů a skalnatých horských	0.123	0.152	0.099	0.118	0.112	0.110	0.131	0.135	0.123	0.153	0.136	0.136
Krajiny sopečných pohoří	0.154	0.167	0.126	0.141	0.130	0.153	0.173	0.169	0.160	0.197	0.174	0.176

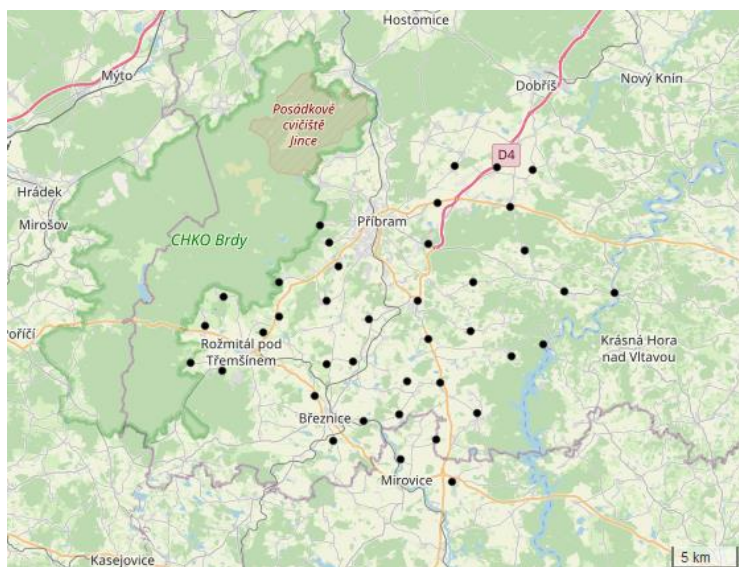
Sídelní typy krajiny	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Novověká sídelní krajina Carpatica	0.159	0.152	0.139	0.161	0.163	0.152	0.188	0.179	0.172	0.197	0.182	0.176
Novověká sídelní krajina Hercynica	0.101	0.135	0.077	0.091	0.088	0.089	0.103	0.112	0.101	0.129	0.111	0.116
Vrcholně středověká sídelní krajina Carpatic	0.659	0.789	0.687	0.721	0.739	0.721	0.788	0.780	0.764	0.847	0.777	0.729
Pozdně středověká sídelní krajina Hercynica	0.182	0.208	0.160	0.166	0.168	0.181	0.193	0.195	0.187	0.225	0.187	0.196
Vrcholně středověká sídelní krajina Hercynic	0.235	0.260	0.217	0.226	0.221	0.252	0.261	0.261	0.253	0.293	0.249	0.253
Stará sídelní krajina Pannonica	0.431	0.445	0.457	0.448	0.479	0.494	0.542	0.540	0.505	0.548	0.515	0.514
Stará sídelní krajina Hercynia a Polonica	0.572	0.683	0.620	0.624	0.618	0.687	0.702	0.709	0.675	0.769	0.692	0.669

Oblasti tmavé oblohy	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Manětinská	0.120	0.123	0.093	0.059	0.051	0.071	0.084	0.076	0.068	0.106	0.074	0.079
Jizerská	0.056	0.165	0.067	0.109	0.093	0.055	0.088	0.113	0.099	0.117	0.098	0.115
Beskydská	0.065	0.053	0.067	0.053	0.060	0.038	0.071	0.058	0.078	0.083	0.085	0.049

8. Analýza výsledných měření

8.1. Vztah satelitních dat k temnotě noční oblohy

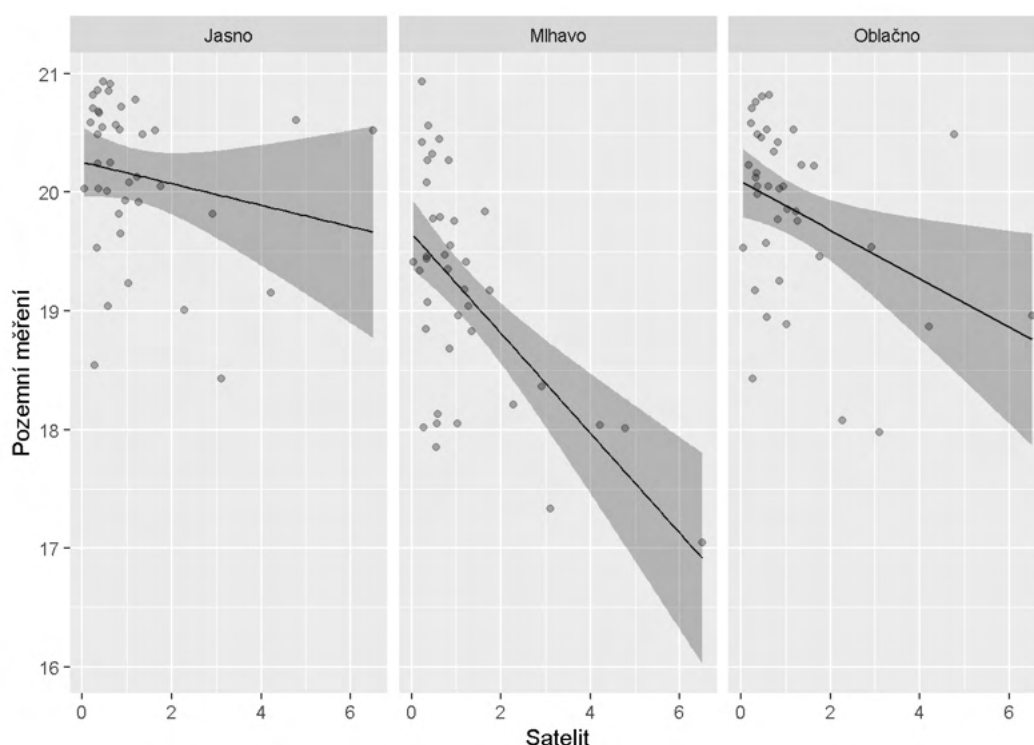
Pro měření vztahu mezi hodnotami naměřenými pomocí satelitů a temnotou noční oblohy bylo využito ručního měření pomocí přístroje Sky Quality Meter (SQM). Bylo vybráno celkem 40 lokalit v okolí města Příbram. Každá tato lokalita byla následně měřena během jasné oblohy, zatažené oblohy a mlhavého počasí, a to vždy třikrát (za účelem stanovení směrodatné odchylky měření). Celkem proběhlo 360 měření.



Obr. 16 lokality pro měření oblohy.

Zatímco satelitní měření udává příchozí záření v hodnotách záře ($\text{nW/cm}^2/\text{sr}$) tak SQM měří v hodnotách magnitudy na čtvereční úhlovou vteřinu (stupnice využívaná v astronomii), která je vůči hodnotám ze satelitu obrácená (vyšší hodnota = tmavší obloha). Více o měření lze nalézt zde: <https://svetelneznecistení.cz/mapovani-tmy/metody-a-technika/>

Z výsledků vyplývá, že vztah mezi satelitním snímáním a skutečným stavem noční oblohy je velmi volný.



Obr. 17 Model lineárního trendu vztahu satelitního a pozemního měření za jasné oblohy, oblačné oblohy a mlhy.

Jako jediný signifikantní vyšel model v případě mlhavého počasí, kdy satelitní snímání vysvětlilo celkem 37 % variability temnoty noční oblohy (Adjusted R-squared). Ostatní případy (zataženo a jasná obloha) vychází neprůkazně.

Tento výsledek ukazuje na neschopnost senzoru přímo zobrazovat stav noční oblohy. Z toho důvodu bylo nutné přistoupit v případě mapového výstupu noční oblohy k jejím modelování, který lépe odpovídá realitě. I přes to je potřeba brát výsledné hodnoty s rezervou, jelikož mohou být výrazně ovlivněny aktuálními atmosférickými podmínkami.

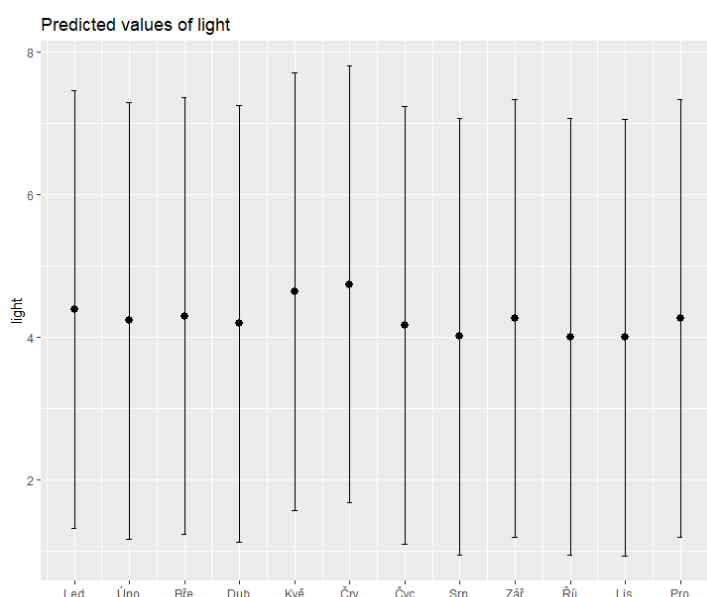
8.2. Faktory ovlivňující naměřené noční světlo v ČR pomocí senzoru VIIRS

Na území ČR bylo vygenerováno 1000 náhodně rozmístěných bodů, k nimž byly extrahovány hodnoty intenzity záření. Výsledná data byla analyzována pomocí lineárního smíšeného modelu, kde vysvětlovanou proměnnou byla hodnota nočního světla ($\text{nW/cm}^2/\text{sr}$). Prediktory s pevnými efekty byly nadmořská výška, svažitost, aspekt a měsíc v roce, prediktory s náhodnými efekty byly krajinný pokryv a ID bodu. Zahrnutí krajinného pokryvu jako prediktoru s náhodným efektem jednak snížilo počet parametrů modelu, jednak umožnilo odhad variability hodnot světla mezi jednotlivými třídami krajinného pokryvu. Náhodné efekty byly modelovány jako tzv. vnořené (nested), neboť každý bod se vyskytuje právě v jedné třídě krajinného pokryvu.

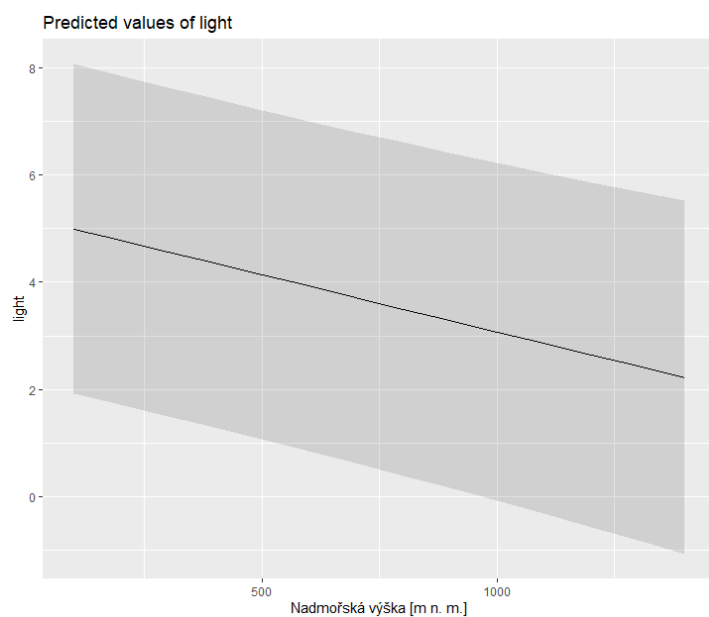
Model byl filtrován v programu R (R Core Team 2021) pomocí balíčků lme4 a lmerTest. Svažitost a orientace svahu (aspekt) se ukázaly jako nevýznamné ($p = 0,95$ resp. $0,67$), a byly proto z výsledného modelu vypuštěny. Ostatní proměnné byly statisticky významné. Model vysvětlil 98,2 % variability světla, nicméně prediktory s pevnými efekty vysvětlily samy o sobě pouze 0,3 % variability. Z toho plyne, že téměř veškerou variabilitu vysvětlují prediktory s náhodnými efekty, a tedy že vliv nadmořské

výšky a meziměsíční variability je prakticky zanedbatelný. Tomu odpovídají i grafy těchto efektů na obr. 1 a 2. Zbytková směrodatná odchylka byla 1,0 (nW/cm²/sr), směrodatná odchylka způsobená variabilitou mezi kategoriemi krajinného pokryvu byla 6,8 (nW/cm²/sr) a směrodatná odchylka způsobená variabilitou mezi jednotlivými body byla 3,2 (nW/cm²/sr). Z toho plyne, že hlavní zdroj variability světla lze spatřovat v rozdílech mezi jednotlivými třídami krajinného pokryvu. Tomu odpovídá graf náhodných efektů na obr. 3, kde je vidět, že hlavním důvodem jsou výrazně nadprůměrné hodnoty světla u kategorií:

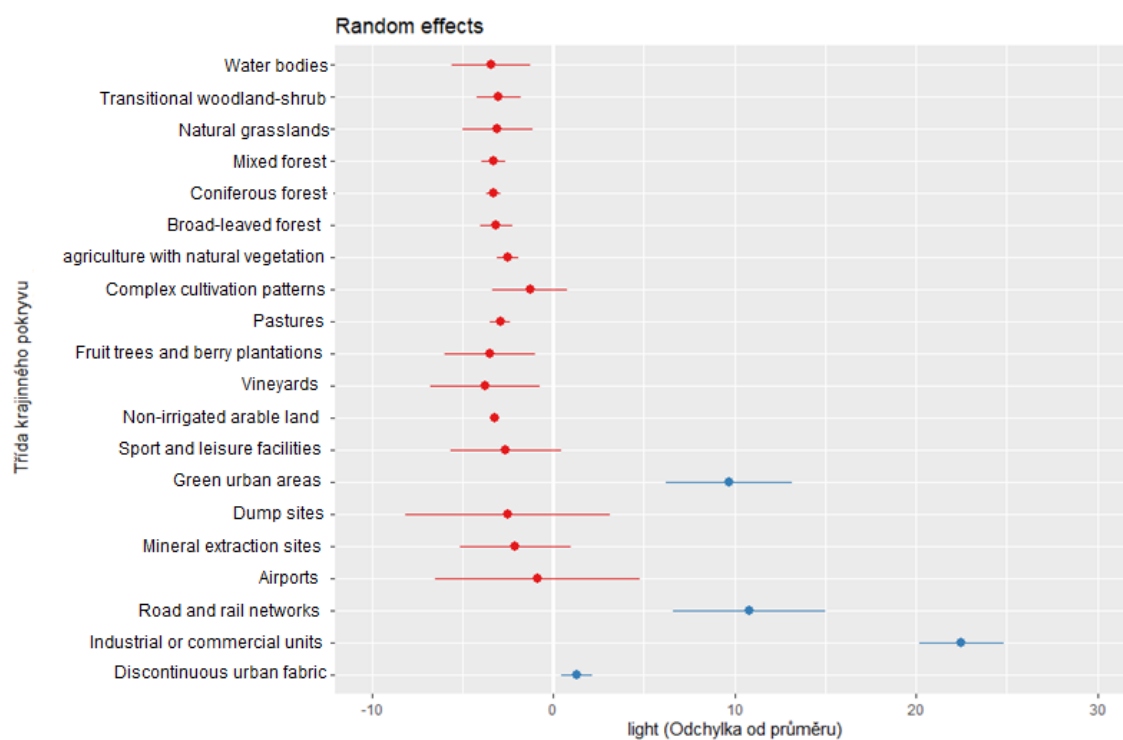
- Industrial or commercial units
- Road and rail networks and associated land
- Green urban areas



Obr. 18 Efekt měsíce v roce na světlo (nW/cm²/sr) predikovaný lineárním smíšeným modelem.



Obr. 19 Efekt nadmořské výšky na světlo ($\text{nW}/\text{cm}^2/\text{sr}$) predikovaný lineárním smíšeným modelem.



Obr. 20 Náhodné efekty jednotlivých tříd krajinného pokryvu na světlo ($\text{nW}/\text{cm}^2/\text{sr}$) predikované lineárním smíšeným modelem.

9. Literatura

Coesfeld, J.; Kuester, T.; Kuechly, H.U.; Kyba, C.C.M. *Reducing Variability and Removing Natural Light from Nighttime Satellite Imagery: A Case Study Using the VIIRS DNB*. *Sensors* 2020, 20, 3287. <https://doi.org/10.3390/s20113287>

Florczyk A.J., Corbane C., Ehrlich D., Freire S., Kemper T., Maffenini L., Melchiorri M., Pesaresi M., Politis P., Schiavina M., Sabo F., Zanchetta L., *GHSL Data Package 2019*, EUR 29788 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2019, ISBN 978-92-76-08725-0, doi:10.2760/062975, JRC 117104

Hofmann, W., Lemke, D., & Thum, C. (1977). Balloon-borne infrared telescope for absolute surface photometry of the night sky. *Applied Optics*, 16(12), 3125-3130.

Kopp, T. J., Thomas, W., Heidinger, A. K., Botambekov, D., Frey, R. A., Hutchison, K. D., ... & Reed, B. (2014). The VIIRS Cloud Mask: Progress in the first year of S-NPP toward a common cloud detection scheme. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 119(5), 2441-2456.

Lee S, Cao C. Soumi NPP VIIRS Day/Night Band Stray Light Characterization and Correction Using Calibration View Data. *Remote Sensing*. 2016; 8(2):138. <https://doi.org/10.3390/rs8020138>

Moravec, David, Jan Komárek, Serafín López-Cuervo Medina, and Iñigo Molina. 2021. "Effect of Atmospheric Corrections on NDVI: Intercomparability of Landsat 8, Sentinel-2, and UAV Sensors" *Remote Sensing* 13, no. 18: 3550. <https://doi.org/10.3390/rs13183550>

ROMÁN, Miguel O., et al. NASA's Black Marble nighttime lights product suite. *Remote Sensing of Environment*, 2018, 210: 113-143.

Stathakis, D., & Liakos, L. (2019). VIIRS lunar radiance removal by Dark Object Subtraction. *IGARSS 2019 - 2019 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium*, 6380-6383. <https://doi.org/10.1109/IGARSS.2019.8898906>.

Wang, Z., Román, M. O., Kalb, V. L., Miller, S. D., Zhang, J., & Shrestha, R. M. (2021). Quantifying uncertainties in nighttime light retrievals from Suomi-NPP and NOAA-20 VIIRS Day/Night Band data. *Remote Sensing of Environment*, 263, 112557.

Scheffler, D.; Hollstein, A.; Diedrich, H.; Segl, K.; Hostert, P. AROSICS: An Automated and Robust Open-Source Image Co-Registration Software for Multi-Sensor Satellite Data. *Remote Sens.* **2017**, 9, 676. <https://doi.org/10.3390/rs9070676>

10. Příloha: Python kód využitý ke zpracování snímků

```
# This script will loop through all the rasters inside the folder. Finds *avg_rade9h.tif
containing the average values of night lights and
# to them *cf_cvg.tif containing the number of observations. Subsequently, regions in
*avg_rade9h.tif that do not contain any observations
# will be overwritten to a NaN (Not a Number) value. In the next step, the raster is
cropped using the specified polygon, and in the last step,
# it performs a 1% DOS correction. All outputs are saved in the input rasters folder.

# import necessary packages
import rasterio
import rasterio.mask
import numpy as np
import geopandas as gpd
import os
import glob

folder_path = 'C:/Users/dmoravec/Desktop/2023' # folder containing all the
viirs (*avg_rade9h.tif and *cf_cvg.tif) files
shapefile_path = 'C:/Users/dmoravec/Desktop/ZpracovaneVIIRS/CR.shp' # shapefile for
clipping the original tile
gdf = gpd.read_file(shapefile_path)
polygon_geom = gdf.geometry.iloc[0] #Loading the first geometry (assuming we have just one
mask polygon)

# Get a list of all "avg_rade9h.tif" files in the folder
avg_rade9h_files = glob.glob(os.path.join(folder_path, '*avg_rade9h.tif'))

# Loop through each "avg_rade9h.tif" file
for avg_file in avg_rade9h_files:
    # Extract the datum (number) from the file name
    datum = os.path.basename(avg_file).split('.')[0]
    print(f"working on file: {datum}")

    # Define the corresponding "cf_cvg.tif" file
    cf_cvg_file = os.path.join(folder_path, f'{datum}.cf_cvg.tif')

    # Check if the corresponding "cf_cvg.tif" file exists
    if os.path.exists(cf_cvg_file):

        ##### SOLVE NAN PROBLEM IN RASTER #####
        with rasterio.open(os.path.join(avg_file), 'r') as VIIRS_AVG_ds, ...
```

```
rasterio.open(os.path.join(cf_cvg_file), 'r') as Observations_ds:

# Read the categorical raster into a NumPy array
categorical_data = Observations_ds.read(1) # Assuming it's a single band
raster

# Create a mask to identify pixels with 0 observations in the VIIRS *cf_cvg.tif
mask = (categorical_data == 0)

# Read VIIRS monthly (or annual) average raster
VIIRS_data = VIIRS_AVG_ds.read()

# Set the corresponding pixels in the VIIRS raster to NA
VIIRS_data[:, mask] = np.nan

# Write the modified VIIRS data to a new raster file
with
rasterio.open(os.path.join(folder_path, f'NanOK_{os.path.basename(avg_file)}'), 'w',
**VIIRS_AVG_ds.profile) as masked_VIIRS_ds:
    masked_VIIRS_ds.write(VIIRS_data)
    print(f'NAN problem solved and saved in: NanOK_{os.path.basename(avg_file)}')

##### CLIP THE RASTER #####
# Open the masked VIIRS raster created in the previous step
with rasterio.open(os.path.join(folder_path, f'NanOK_{os.path.basename(avg_file)}'),
'r') as NanOK_VIIRS:

    # Mask the raster using the polygon
    clip_data, masked_transform = rasterio.mask.mask(NanOK_VIIRS, [polygon_geom],
nodata=np.nan, crop=True)

    # Update the metadata to match the masked data
    clipped_meta = NanOK_VIIRS.meta
    clipped_meta.update({'driver': 'GTiff',
                        'height': clip_data.shape[1],
                        'width': clip_data.shape[2],
                        'transform': masked_transform})

    # Set the NoData (nan) value for masked pixels outside of the polygon
    clipped_meta['nodata'] = np.nan

    # Save the masked data to a new raster file
    with
rasterio.open(os.path.join(folder_path, f'CLIP_NanOK_{os.path.basename(avg_file)}'), 'w',
**clipped_meta) as clip_NanOK_VIIRS_ds:
    clip_NanOK_VIIRS_ds.write(clip_data)
    print(f'Clipped raster by polygon saved: CLIP_NanOK_{os.path.basename(avg_file)}')
```



```
##### DOS CORRECTION #####  
# Open the VIIRS raster  
with  
rasterio.open(os.path.join(folder_path,f'CLIP_NanOK_{os.path.basename(avg_file)}'), 'r') as  
src:  
  
    # Read the first band of raster into a NumPy array  
    data = src.read(1)  
  
    # Calculate the first percentile, omitting NaN values  
    non_nan_values = data[~np.isnan(data)]  
    first_percentile = np.percentile(non_nan_values, 1)  
  
    # Subtract the specified value from each pixel  
    modified_data = data - first_percentile  
  
    # Update the metadata to match the modified data  
    meta = src.meta  
  
    # Create a new raster and save the DOS corrected data into it  
    with  
rasterio.open(os.path.join(folder_path,f'DOS_CLIP_NanOK_{os.path.basename(avg_file)}'),  
'w', **meta) as dst:  
        dst.write(modified_data, 1)  
        print(f'DOS correction of {first_percentile} saved in:  
DOS_CLIP_NanOK_{os.path.basename(avg_file)}')  
  
else:  
    print(f"No corresponding 'cf_cvg.tif' file found for {avg_file}")
```

11. Příloha: Tabulka pro zvláště chráněná území

CZECH	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
	0.247	0.282	0.235	0.245	0.244	0.272	0.286	0.284	0.273	0.315	0.273	0.278
National Parks	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
České Švýcarsko	0.102	0.071	0.088	0.085	0.072	0.106	0.090	0.101	0.122	0.124	0.098	0.138
Krkonošský národní park	0.111	0.227	0.102	0.160	0.137	0.125	0.169	0.163	0.132	0.212	0.174	0.189
Podyjí	0.078	0.100	0.080	0.074	0.059	0.067	0.105	0.084	0.095	0.110	0.089	0.100
Šumava	0.005	0.017	0.016	0.027	0.018	0.018	0.004	0.011	0.026	0.004	0.027	0.032
Protection Zones	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Krkonošský národní park	0.315	0.662	0.294	0.352	0.380	0.324	0.387	0.359	0.344	0.402	0.382	0.354
Podyjí	0.353	0.368	0.378	0.394	0.356	0.362	0.427	0.407	0.365	0.399	0.368	0.393
Protected landscape areas	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Beskydy	0.124	0.113	0.104	0.124	0.122	0.099	0.144	0.131	0.144	0.156	0.150	0.127
Bílé Karpaty	0.160	0.189	0.160	0.174	0.178	0.176	0.193	0.201	0.175	0.206	0.197	0.218
Blaník	0.129	0.117	0.123	0.085	0.108	0.123	0.142	0.151	0.133	0.163	0.142	0.130
Blanský les	0.196	0.166	0.142	0.161	0.160	0.164	0.197	0.142	0.159	0.152	0.135	0.118
Brdy	0.096	0.094	0.050	0.057	0.068	0.072	0.076	0.094	0.105	0.091	0.094	0.102
Broumovsko	0.179	0.313	0.165	0.211	0.172	0.194	0.212	0.226	0.186	0.285	0.205	0.193
České středohoří	0.349	0.455	0.372	0.385	0.357	0.454	0.442	0.441	0.437	0.491	0.429	0.467
Český kras	0.495	0.749	0.607	0.624	0.583	0.664	0.701	0.705	0.698	0.735	0.673	0.679
Český les	0.083	0.069	0.038	0.058	0.044	0.050	0.045	0.059	0.060	0.067	0.042	0.056
Český ráj	0.218	0.277	0.213	0.251	0.220	0.266	0.260	0.278	0.266	0.291	0.251	0.235
Jeseníky	0.090	0.122	0.073	0.105	0.092	0.057	0.097	0.100	0.077	0.126	0.121	0.117
Jizerské hory	0.183	0.405	0.183	0.283	0.272	0.246	0.281	0.283	0.306	0.323	0.301	0.369
Kokořínsko - Máchův kraj	0.164	0.141	0.142	0.159	0.121	0.158	0.179	0.169	0.178	0.192	0.188	0.185
Křivoklátsko	0.163	0.190	0.143	0.145	0.122	0.159	0.168	0.182	0.168	0.198	0.141	0.182
Labské pískovce	0.206	0.246	0.219	0.202	0.192	0.259	0.235	0.244	0.251	0.272	0.227	0.243
Litovelské Pomoraví	0.388	0.368	0.380	0.383	0.438	0.446	0.455	0.504	0.443	0.508	0.432	0.449
Lužické hory	0.173	0.236	0.173	0.189	0.173	0.209	0.221	0.204	0.223	0.235	0.197	0.240
Moravský kras	0.400	0.456	0.406	0.394	0.433	0.453	0.492	0.496	0.492	0.563	0.521	0.494
Orlické hory	0.044	0.100	0.056	0.079	0.073	0.054	0.085	0.098	0.078	0.122	0.112	0.108
Pálava	0.260	0.265	0.239	0.264	0.258	0.285	0.324	0.302	0.333	0.346	0.337	0.370
Poodří	0.552	0.558	0.537	0.557	0.515	0.537	0.600	0.556	0.611	0.631	0.570	0.536
Slavkovský les	0.150	0.269	0.149	0.126	0.125	0.167	0.164	0.181	0.160	0.150	0.168	0.176
Šumava	0.039	0.053	0.034	0.048	0.035	0.040	0.025	0.028	0.050	0.040	0.030	0.049
Třeboňsko	0.158	0.114	0.133	0.119	0.107	0.109	0.116	0.103	0.131	0.157	0.106	0.145
Žďárské vrchy	0.130	0.168	0.120	0.099	0.155	0.130	0.139	0.178	0.166	0.186	0.142	0.180
Železné hory	0.163	0.154	0.121	0.122	0.145	0.145	0.156	0.182	0.166	0.210	0.158	0.160

12. Příloha: Tabulka pro krajinné typy dle reliéfu, sídelní typy krajiny, a oblasti tmavé oblohy

Krajinné typy dle reliéfu	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Krajiny širokých říčních niv	0.523	0.583	0.558	0.554	0.572	0.603	0.630	0.638	0.608	0.671	0.620	0.606
Krajiny zaříznutých údolí	0.217	0.240	0.201	0.203	0.197	0.226	0.237	0.237	0.223	0.266	0.225	0.235
Krasové krajiny	0.480	0.680	0.555	0.569	0.563	0.623	0.666	0.667	0.647	0.701	0.649	0.634
Izolované kužele	0.274	0.384	0.279	0.289	0.283	0.320	0.339	0.328	0.310	0.362	0.302	0.304
Krajiny členitých pahorkatin a vrchovin Hercynic	0.211	0.234	0.188	0.194	0.194	0.218	0.227	0.228	0.223	0.259	0.218	0.225
Krajiny rovin	0.394	0.437	0.413	0.411	0.422	0.462	0.478	0.483	0.461	0.514	0.464	0.450
Těžební krajiny	1.429	1.842	1.544	1.380	1.384	1.515	1.470	1.401	1.332	1.522	1.318	1.312
Krajiny vrchovin Carpatica	0.468	0.533	0.480	0.506	0.528	0.510	0.574	0.553	0.539	0.608	0.550	0.515
Krajiny vátých písků	0.374	0.405	0.385	0.385	0.391	0.410	0.428	0.418	0.401	0.438	0.388	0.388
Krajiny plošin a plochých pahorkatin	0.414	0.462	0.442	0.446	0.453	0.492	0.522	0.525	0.498	0.563	0.507	0.494
Krajiny bez vylíšeného reliéfu	9.789	10.173	10.033	10.224	10.163	10.311	10.654	10.462	10.130	10.856	10.290	9.745
Krajiny skalních měst	0.155	0.162	0.134	0.154	0.122	0.154	0.163	0.168	0.170	0.191	0.169	0.171
Krajiny kup a kuželů	0.251	0.303	0.260	0.274	0.256	0.319	0.314	0.316	0.318	0.361	0.300	0.327
Krajiny vysoko položených plošin	0.103	0.148	0.080	0.072	0.082	0.106	0.107	0.120	0.100	0.117	0.107	0.127
Krajiny rozřezaných tabulí	0.206	0.240	0.195	0.219	0.204	0.233	0.247	0.251	0.226	0.284	0.233	0.240
Krajiny výrazných svahů a skalnatých horských	0.123	0.152	0.099	0.118	0.112	0.110	0.131	0.135	0.123	0.153	0.136	0.136
Krajiny sopečných pohoří	0.154	0.167	0.126	0.141	0.130	0.153	0.173	0.169	0.160	0.197	0.174	0.176

Sídelní typy krajiny	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Novověká sídelní krajina Carpatica	0.159	0.152	0.139	0.161	0.163	0.152	0.188	0.179	0.172	0.197	0.182	0.176
Novověká sídelní krajina Hercynica	0.101	0.135	0.077	0.091	0.088	0.089	0.103	0.112	0.101	0.129	0.111	0.116
Vrcholně středověká sídelní krajina Carpatic	0.659	0.789	0.687	0.721	0.739	0.721	0.788	0.780	0.764	0.847	0.777	0.729
Pozdně středověká sídelní krajina Hercynica	0.182	0.208	0.160	0.166	0.168	0.181	0.193	0.195	0.187	0.225	0.187	0.196
Vrcholně středověká sídelní krajina Hercynic	0.235	0.260	0.217	0.226	0.221	0.252	0.261	0.261	0.253	0.293	0.249	0.253
Stará sídelní krajina Pannonica	0.431	0.445	0.457	0.448	0.479	0.494	0.542	0.540	0.505	0.548	0.515	0.514
Stará sídelní krajina Hercynia a Polonica	0.572	0.683	0.620	0.624	0.618	0.687	0.702	0.709	0.675	0.769	0.692	0.669

Oblasti tmavé oblohy	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Manětinská	0.120	0.123	0.093	0.059	0.051	0.071	0.084	0.076	0.068	0.106	0.074	0.079
Jizerská	0.056	0.165	0.067	0.109	0.093	0.055	0.088	0.113	0.099	0.117	0.098	0.115
Beskydská	0.065	0.053	0.067	0.053	0.060	0.038	0.071	0.058	0.078	0.083	0.085	0.049

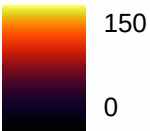
Světelné znečištění v ČR 2023

Rámcové krajinné typy dle reliéfu

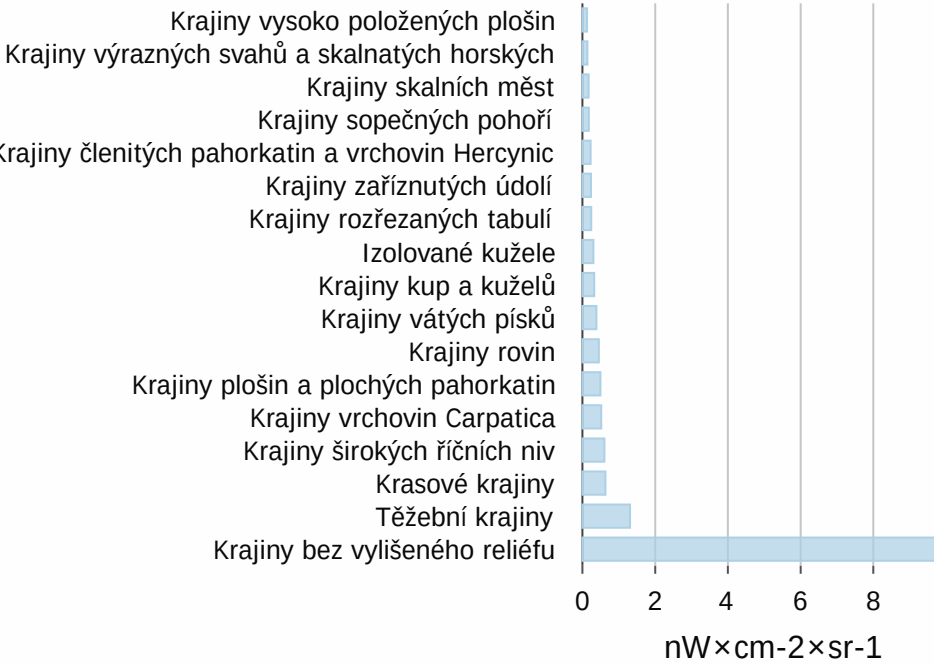
Rámcové krajinné typy dle reliéfu

- Izolované kužele
- Krajiny bez vylišeného reliéfu
- Krajiny kup a kuželů
- Krajiny plošin a plochých pahorkatin
- Krajiny rovin
- Krajiny rozřezaných tabulí
- Krajiny skalních měst
- Krajiny sopečných pohoří
- Krajiny vrchovin Carpatica
- Krajiny vysoko položených plošin
- Krajiny vátých písků
- Krajiny výrazných svahů a skalnatých horských
- Krajiny zaříznutých údolí
- Krajiny členitých pahorkatin a vrchovin Hercynic
- Krajiny širokých říčních niv
- Krasové krajiny
- Těžební krajiny

Světelné znečištění nW×cm2×sr



Medián rámcových krajinných typů dle reliéfu



Projekt TAČR TITSMZP012: Vliv světelného znečištění na citlivé druhy živočichů, ekosystémy a krajinný ráz

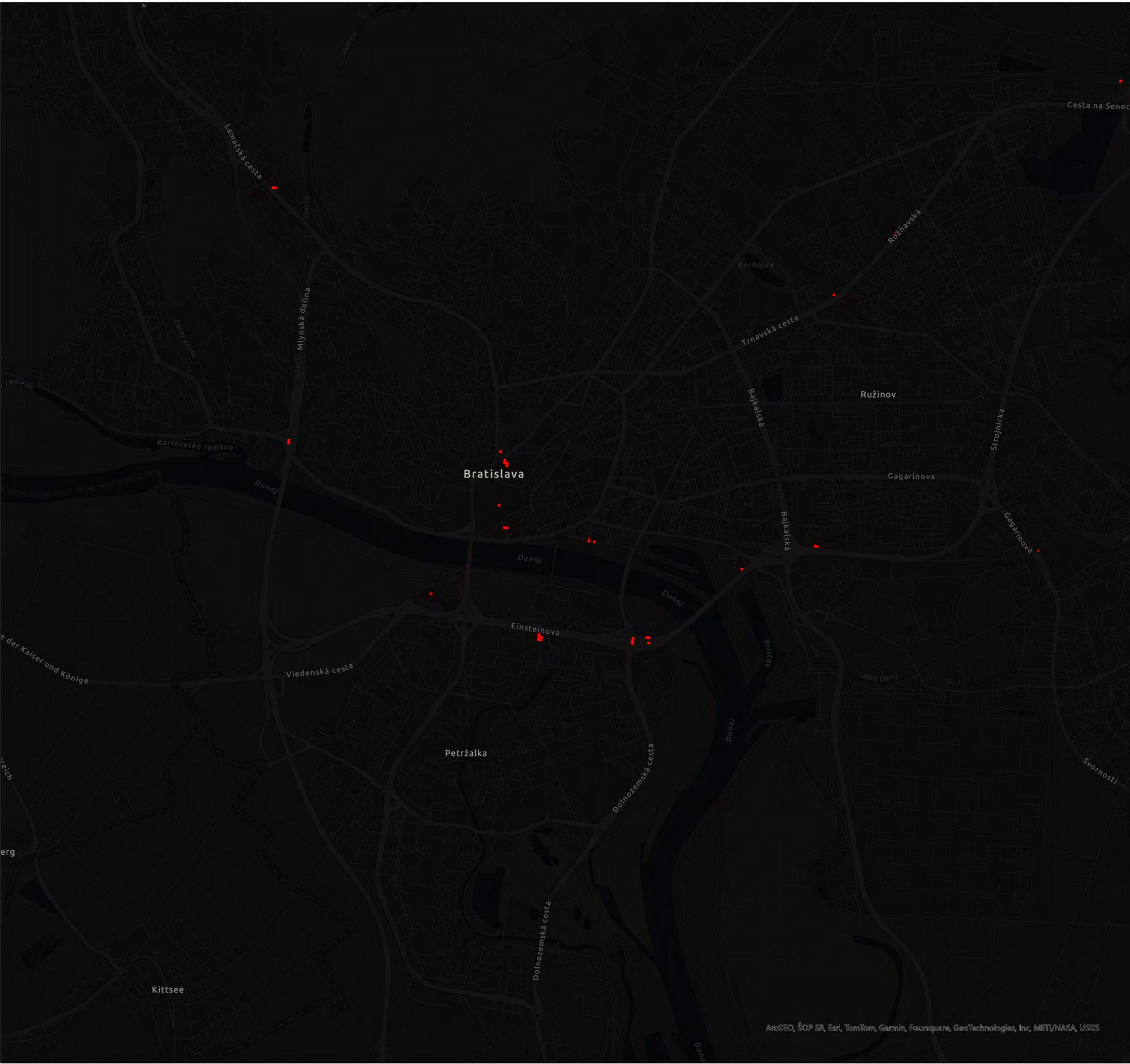
Data: VIIRS NASA a Earth Observation Group, Payne Institute for Public Policy, Česká informační agentura životního prostředí

Vypracoval: David Moravec

Využití Landsat-8 k identifikaci bodových zdrojů nočních světél

Pixely, jejichž záře byla dostatečná k překonání šumu nočního pozorování satelitu. Snímek z 23. 7. 2021

Bratislava

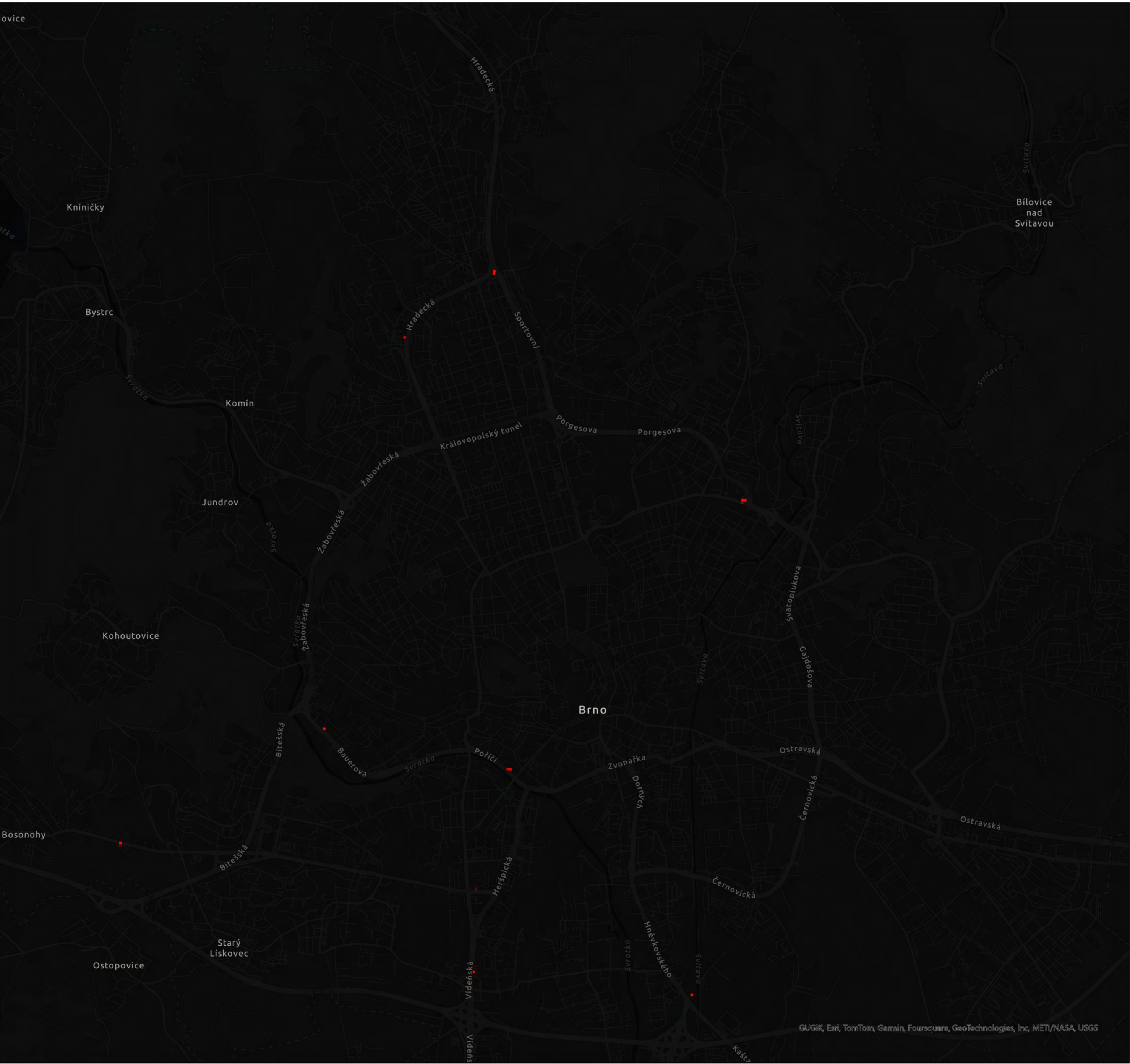


0 0,5 1 2 3 4 km

Identifikované pixely



Brno



0 0,5 1 2 3 4 km



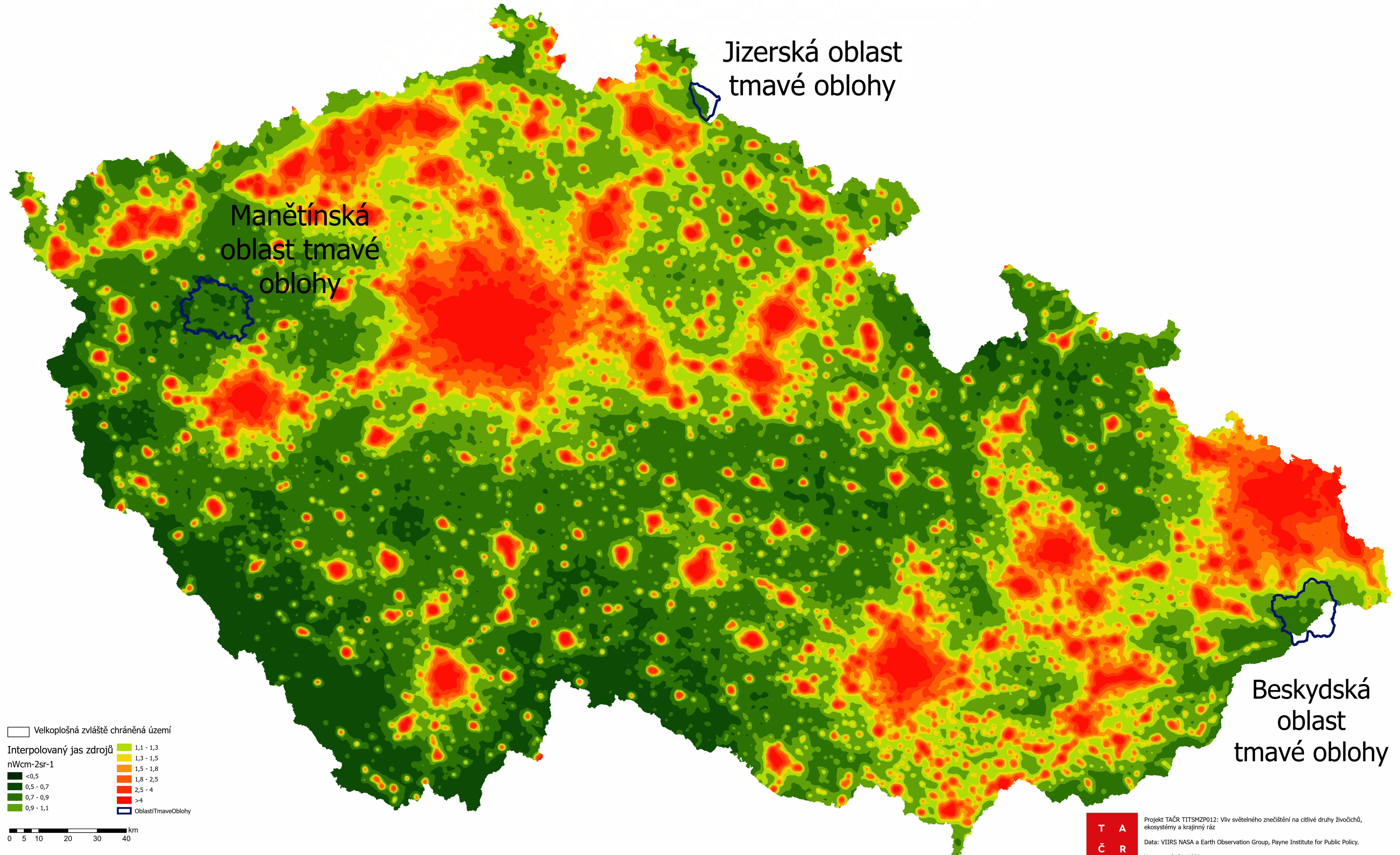
Projekt TAČR TITSMZP012: Vliv světelného znečištění na citlivé druhy živočichů, ekosystémy a krajinný ráz

Data: Landsat-8 LC08_L1GT_048218_20210723_20210728_02_T2 NASA a Earth Observation Group

Vypracoval: David Moravec

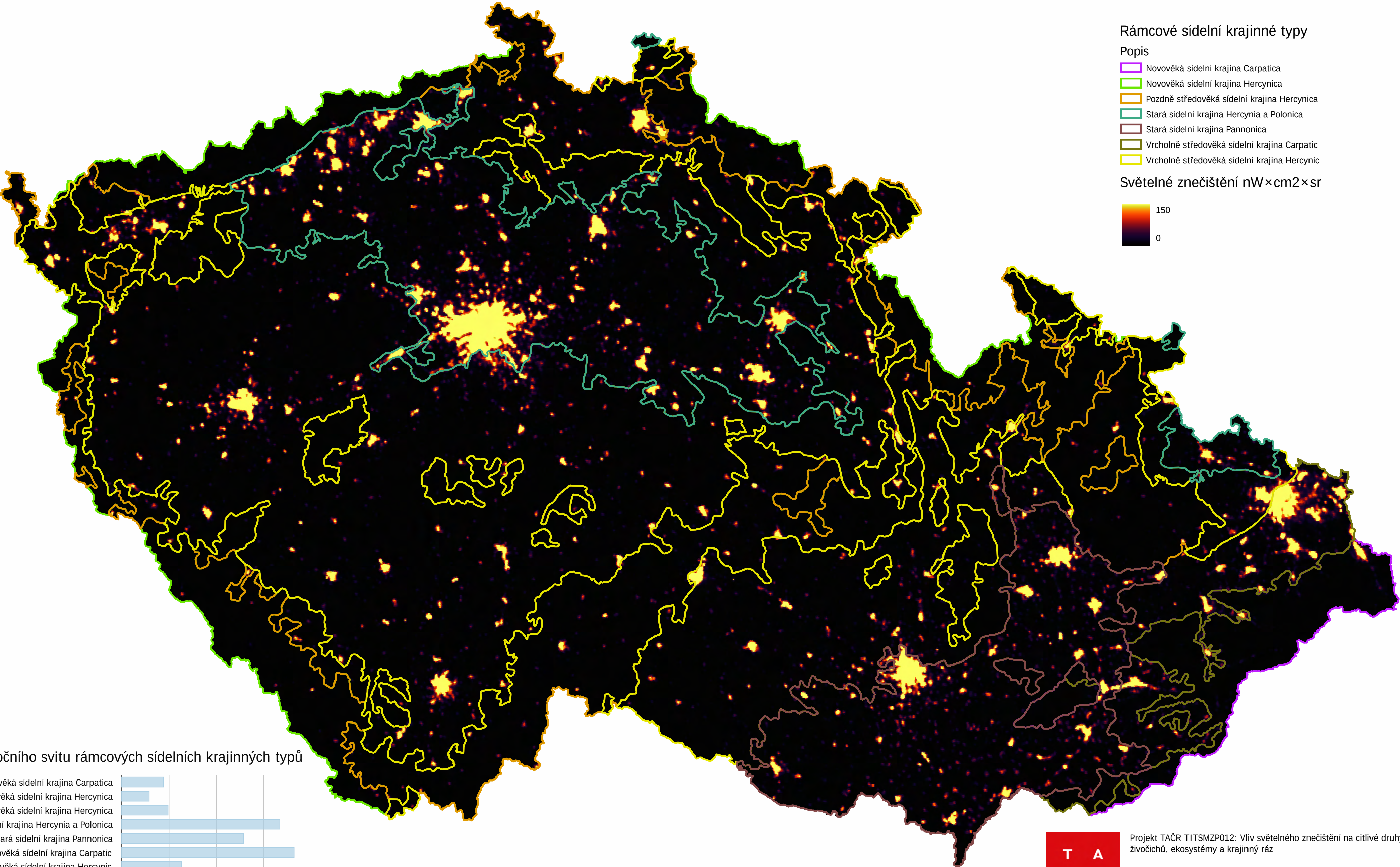
Umístění oblastí tmavé oblohy

Na podkladu interpolovaného jasů noční oblohy 2022

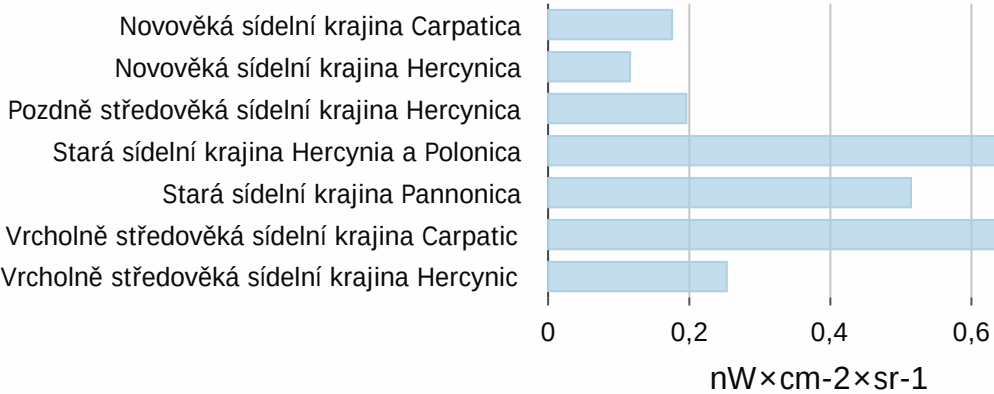


Světelné znečištění v ČR 2023

Rámcové sídelní typy



Medián nočního svitu rámcových sídelních krajinných typů



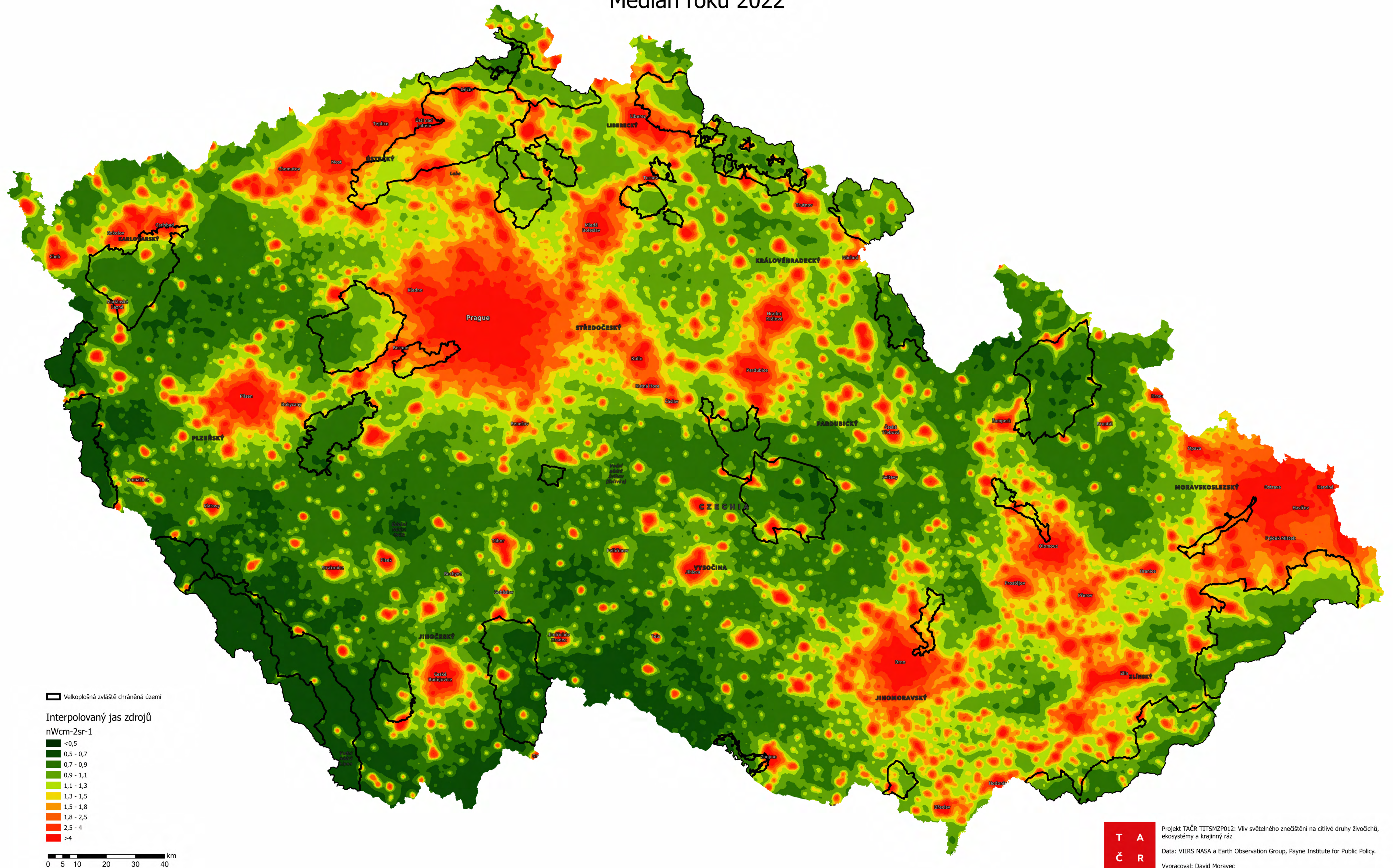
Projekt TAČR TITSMZP012: Vliv světelného znečištění na citlivé druhy živočichů, ekosystémy a krajinný ráz

Data: VIIRS NASA a Earth Observation Group, Payne Institute for Public Policy, Česká informační agentura životního prostředí

Vypracoval: David Moravec

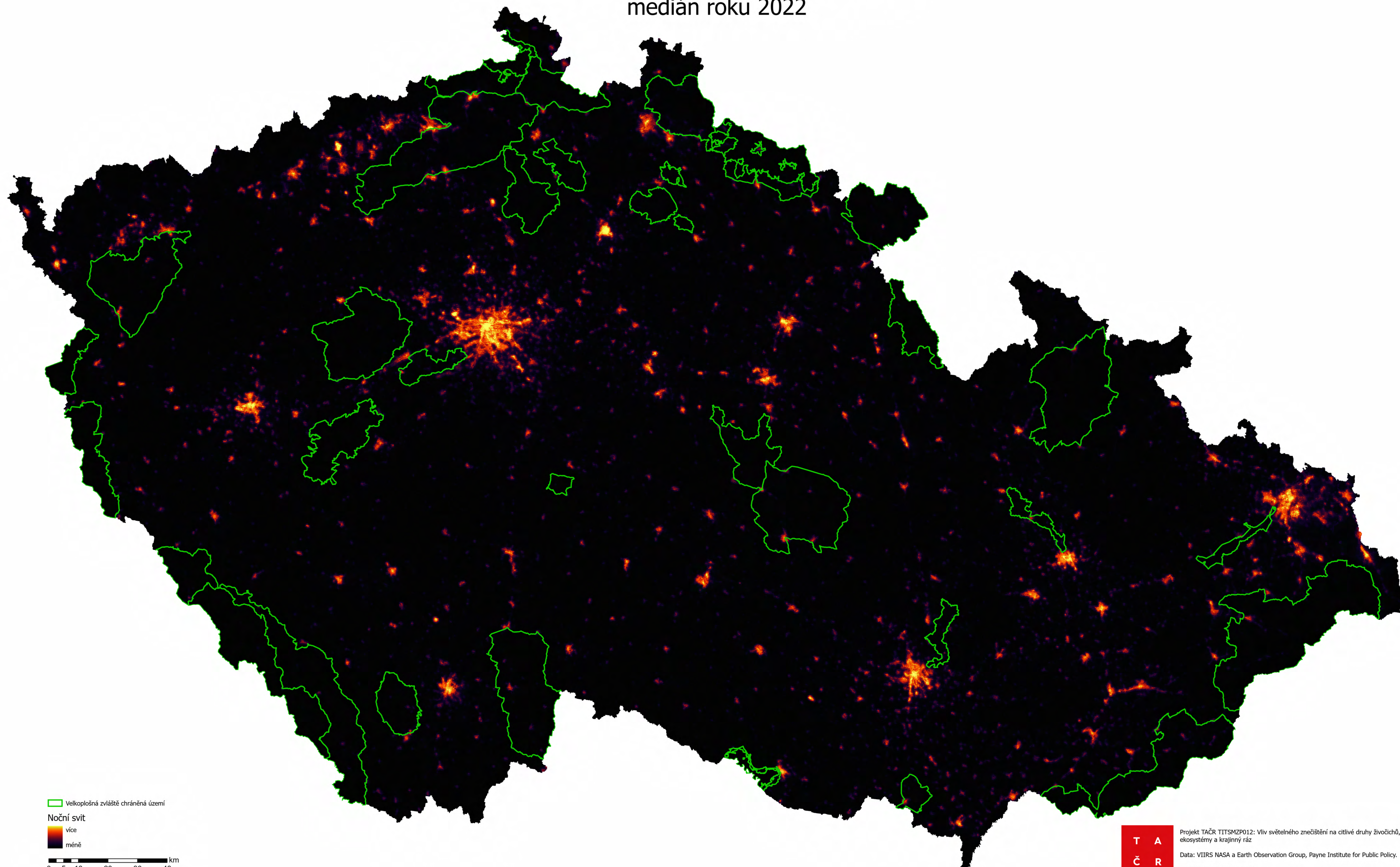
Model jasu noční oblohy ČR

Medián roku 2022



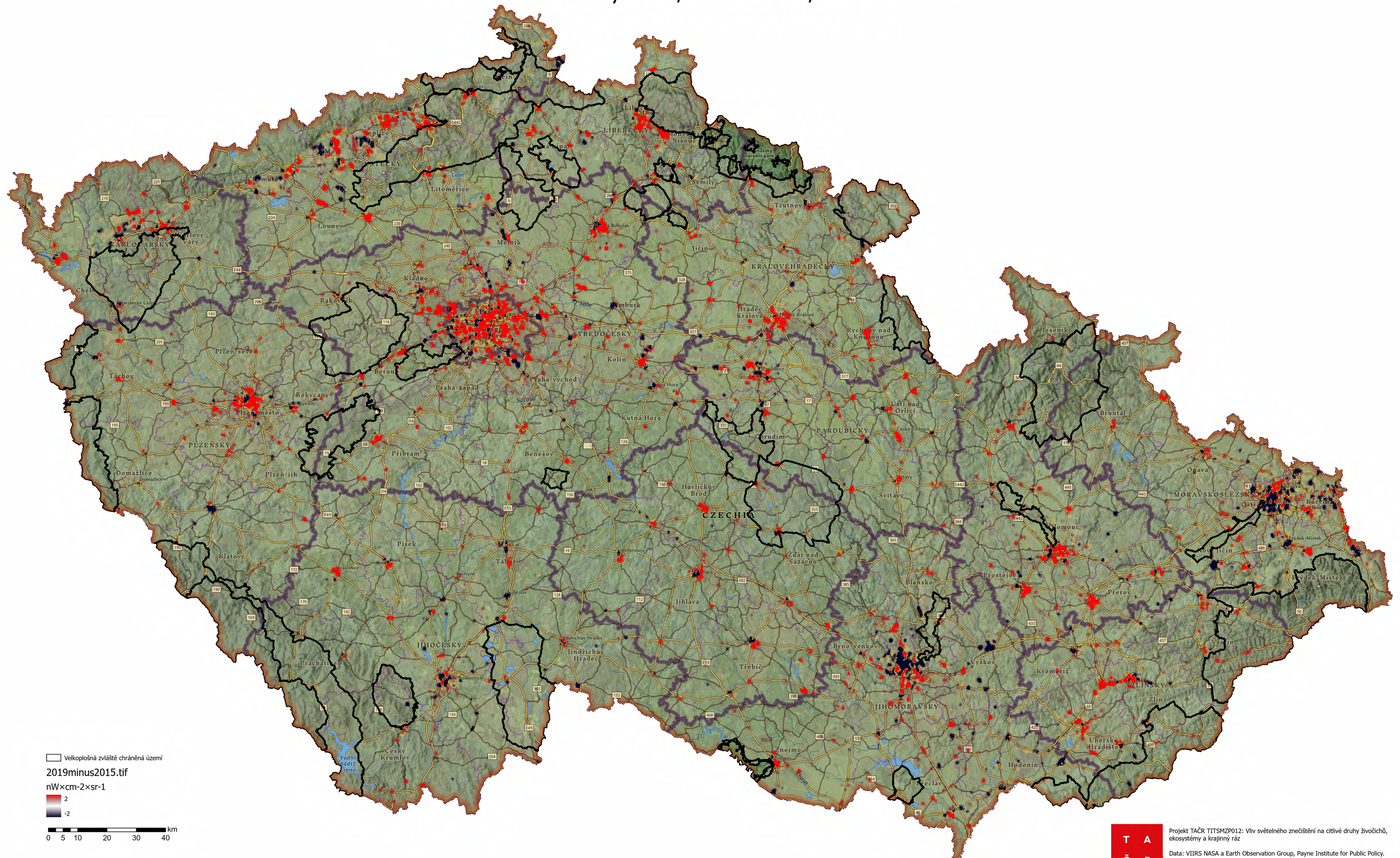
Zdroje nočního osvětlení

Model zdrojů ve vysokém rozlišení
medián roku 2022



Změna nočních zdrojů světla ČR

mezi lety 2018/2019 a 2014/2015



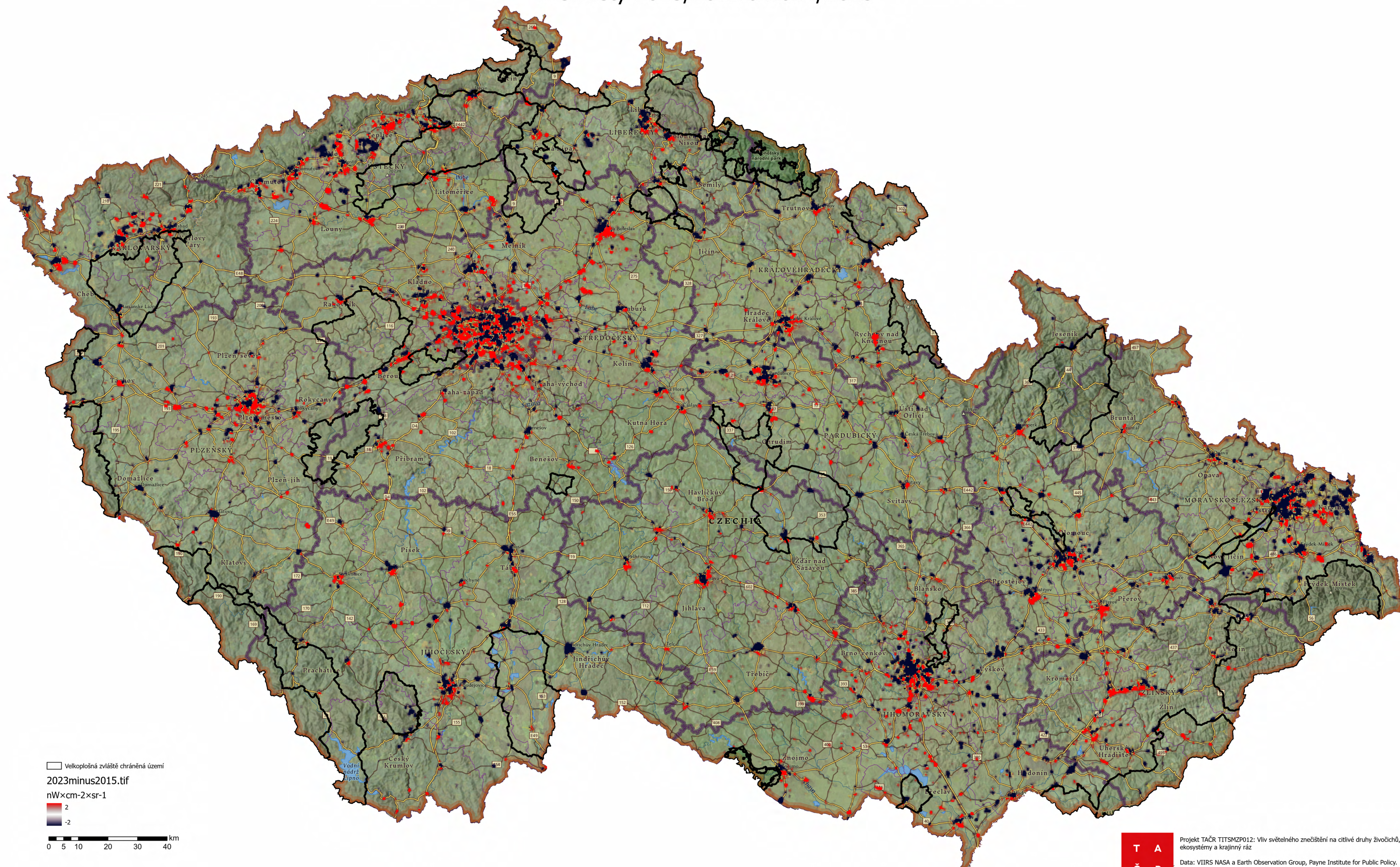
Projekt TAČR TITSMZP012: Vliv světelného znečištění na citlivé druhy živočichů, ekosystémy a krajinný ráz

Data: VIIRS NASA a Earth Observation Group, Payne Institute for Public Policy.

Vypracoval: David Moravec

Změna nočních zdrojů světla ČR

mezi lety 2023/2022 a 2014/2015



Projekt TAČR TITSMZP012: Vliv světelného znečištění na citlivé druhy živočichů, ekosystémy a krajinný ráz

Data: VIIRS NASA a Earth Observation Group, Payne Institute for Public Policy.

Vypracoval: David Moravec

Změna nočních zdrojů světla ČR

mezi lety 2023/2022 a 2018/2019

