

Příloha 2

Některé příklady praktického použití metody ISCO v ČR

Obsah:

MOTOCO A.S. - ČESKÉ BUDĚJOVICE.....	1
PILANA TOOLS A.S. – LOKALITA ZBOROVICE.....	2
AUTOPAL, S.R.O. - NOVÝ JiČÍN	3
KUŘÍVODY	5
OZ CHEMIE – HORNÍ POČERNICE	10
KARA – TRUTNOV	16
FARMAK A.S. - OLOMOUC.....	21
LUČEBNÍ ZÁVODY KOLÍN A.S.	26

Poznámka: původní příloha č. 2 metodické příručky z roku 2006, resp. příklady praktického použití byly doplněny novými informacemi, jedná se o tyto lokality: Kuřívody, OZ Chemie, Kara Trutnov, Farmak Olomouc, Lučební závody Kolín a.s.

MOTOCO a.s. - České Budějovice

Předmětem sanace byly dvě kvartérní zvodně, oddělené nespojitým jílovitým izolátorem o mocnosti až cca 1 m, nacházejícím se v hl. cca 5 - 8 m pod terénem. Koeficient filtrace obou kolektorů byl 5×10^{-5} m/s. Hladina podzemní vody byla v hl. cca 1,5 – 3 m pod terénem. Bližší informace o kontaminaci jsou uvedeny v tabulce níže:

tabulka 1 – lokalita MOTOCO a.s.

Max. koncentrace rozpuštěných CIU v ohnisku kontaminace (µg/l)	200 000
Průměrné koncentrace CIU v podzemní vodě v ohnisku kontaminace (µg/l)	50 000
Maximální zjištěná koncentrace PCE v zemině (mg/kg)	2 800, 7 000 73 000 (volná fáze)
Kontaminovaná plocha (m²)	2 000
Hloubkový dosah kontaminace (m)	12 až 15
Množství CIU v horninovém prostředí před aplikací (kg)	min. 8 000 (volná fáze PCE)
Celkové množství aplikovaného KMnO₄ (kg)	48 850
Cílové limity - rozhodnutí ČIŽP (suma VC, DCE, TCE, PCE v areálu závodu)	pro 1. zvodně 5 - 10 000 µg/l pro 2. zvodně 3 - 5 000 µg/l

Na lokalitě probíhalo klasické sanační čerpání + venting od roku 1995. Do roku 2003 bohužel nebylo technicky možné směřovat zásah přímo do zdrojové oblasti kontaminace,

budovy bývalé odmašťovny (výjimkou byl jeden šikmý sanační vrt a 2 vodorovné ventingové vrty). To bylo umožněno až vstupem nového vlastníka (Tecumseh Products Company). Intenzifikace metodou ISCO byla zahájena přípravnými laboratorními zkouškami a pilotním pokusem na třech vrtech v roce 2003 (2 vrty první zvodeň, 1 vrt druhá zvodeň). Použito bylo 300 kg KMnO_4 . Od ledna 2004 do září 2004 probíhala první etapa provozní aplikace. Celkem bylo gravitačně zasakováno 25 vrtů ve čtyřech liniích, použito bylo 40 750 kg KMnO_4 ve formě 2,5 – 3% vodného roztoku. Sanace 1. linie (ohnisko) byla ukončena už v únoru 2004. V některých částech byla původně plánovaná zasakovací doba prodloužena díky negativnímu vlivu podzemních inženýrských sítí (netěsná kanalizace, kolektor parovodu), kdy bylo možné provádět pouze gravitační aplikaci oxidačního roztoku se zvýšením hladiny podzemní vody pouze o cca 0,3 m, tj. tak, aby hladina podzemní vody původně v úrovni 1,5 m p.t. byla zvýšena pouze pode dno kanalizace a kolektoru parovodu na úroveň 1,2 m p.t. (zabránění nežádoucím únikům). Za účelem zrychlení zasakování byly použity co možná největší koncentrace oxidačního roztoku (max. 3%). Provedeným zásahem byly do podzimu 2004 celoplošně sníženy koncentrace CIU na 0 – 1 000 $\mu\text{g/l}$ ve všech injekčních vrtech, s výjimkou dvou vrtů, kde se při aplikaci vyskytly zmíněné technické problémy. V souladu se závěry z následného kontrolního dne byla v období prosinec 2004 až únor 2005 za účelem odstranění reziduální kontaminace provedena druhá etapa provozní aplikace (7 800 kg KMnO_4). Oxidant byl opakovaně zasakován do předmětných 2 vrtů první etapy a nově do dalších 6 vrtů v kontaminačním mraku mimo hlavní ohnisko kontaminace. Celkem bylo zlikvidováno cca 8 tun volné fáze PCE (ve formě reziduálního nasycení) a další Cl-ethyleny rozpuštěné v podzemní vodě a sorbované na horninové prostředí. Po ukončení prací proběhl v souladu s rozhodnutím ČIŽP OI OOV České Budějovice kvartální postsanační monitoring. V současné době je akce úspěšně ukončena.

PILANA TOOLS a.s. – lokalita Zborovice

Hydraulická metoda sanace byla aplikovaná v letech 1998 až 2003. Vzhledem k nízké propustnosti horninového podloží a přítomnosti vysokých zbytkových koncentrací na malé ploše, byla v roce 2004 schválena intenzifikace sanace metodou ISCO. Během pilotního testu bylo v roce 2003 ve vymezené pokusné ploše (cca 300 m^2) tlakově aplikováno celkem 352 kg KMnO_4 do 10 injektážních vrtů. Odhadované množství CIU v horninovém prostředí ovlivněné pilotním testem bylo 2,4 kg. Po aplikaci koncentrace CIU rapidně poklesly. Po 14 dnech došlo k jejich opětovnému nárůstu (proces „reboundingu“). Při pilotním pokusu bylo odstraněno celkem cca 15 % CIU ve vymezené ploše. Proto bylo navrženo opakovat injektáž v několika cyklech. Celkem byly provedeny 4 cykly, které proběhly v období od listopadu 2004 do března 2005. KMnO_4 byl aplikován na počátku do 10 injekčních vrtů. V důsledku poklesu koncentrací CIU pod sanační limit byl postupně snižován jejich počet na 5. V prvním injekčním cyklu trvala aplikace KMnO_4 cca 3 hodiny. V důsledku snížení propustnosti zvodněného kolektoru účinkem injektáže se prodloužila doba aplikace až na 3 - 5 dní. Injektáž byla prováděna v každém vrtu ve dvou etážích.

tabulka 2 – lokalita PILANA TOOLS a.s.

Max. koncentrace rozpuštěných CIU před zahájením injektáže ve 4 cyklech (µg/l)	přes 9 740
Průměrné koncentrace CIU v podzemní vodě (µg/l)	3 956
Kontaminovaná plocha (m²)	640
Hloubkový dosah kontaminace (m)	10
Množství CIU v horninovém prostředí před aplikací (kg)	16,67
Množství aplikovaného KMnO₄ při injektáži ve 4 cyklech (kg)	1 085
Cílové limity - rozhodnutí ČIŽP (na linii odtoku z areálu)	suma CIU 800 µg/l

Po ukončení aplikace KMnO₄ poklesla koncentrace CIU ve vrtu, v němž se vyskytovala po celou dobu sanace koncentrace nejvyšší, která před zahájením oxidace dosáhla hodnoty 9 740 µg/l, na hodnoty nižší než 226 µg/l. Před zahájením čtyř sanačních cyklů byla průměrná koncentrace v kontaminačním mraku 2 904 µg/l a po ukončení oxidace 800 µg/l, což je sanační limit. Na linii odtoku dosahuje koncentrace CIU 43 % ze sanačního limitu (340 µg/l).

AUTOPAL, s.r.o. - Nový Jičín

Na lokalitě se nacházely tři ohniska kontaminace CIU (ohniska č. 1, 2 a 5), kde bylo uvažováno se sanační technologií in situ chemické oxidace manganistanem draselným a 2 ohniska, kde bylo uvažováno s dokončením sanace aplikací KMnO₄. Pilotní pokusy proběhly v roce 2003 (ohnisko č. 1) a 2004 (ohniska č. 2 a 5) s tím, že na jednom ohnisku bylo dosaženo sanačních limitů již v rámci poloprovozní zkoušky. V prosinci 2004 byla zahájena sanace metodou ISCO na ohnisku č. 2, v lednu 2005 pak byl zahájen zásak roztoku manganistanu na ohniscích č. 1 a 5 a v průběhu roku byl zásak prováděn v menším rozsahu i na ohniscích č. 3 a 4 (viz tabulka 1). Manganistan je aplikován gravitačně. Původně byl plánovaný zásak v ohniscích č. 1, 2 a 5 ve čtyřech cyklech s intervalem 2 měsíce. V ohniscích č. 1 a 2 musel být harmonogram zásaku pozměněn, neboť hladina podzemní vody je v těchto ohniscích cca 2,0 m p.t. a při větším množství zasakovaného roztoku docházelo k takovému zvýšení hladiny podzemní vody, že se roztok začal šířit do kanalizace, která je v hloubce cca 1,5 m p.t. Aby se zasakovalo co nejmenší množství roztoku, byla zvýšena jeho koncentrace na 4,0 a až 4,7 %, což je maximum, při kterém se ještě manganistan rozpouští ve vodě. Sanační zásah se velmi zpomalil a byl ukončen pouze v ohnisku č. 5 v září 2005. V tomto ohnisku byla kontaminace úspěšně odstraněna. Při postsanačním monitoringu po cca 6 měsících došlo v 1 vrtu ke spotřebování manganistanu a mírnému nárůstu obsahu CI-U v podzemní vodě. Proto bylo provedeno dočištění v dubnu 2006. V ohniscích č. 1 a 2 zásak pokračuje dosud a jeho ukončení je plánováno na září 2006. Podle výsledků laboratorních analýz je ve všech vrtech obsah CI-U pod cílovými limity s ojedinělými výjimkami. Manganistan je nyní aplikován do vrtů, ve kterých dojde ke spotřebování manganistanu a zpětně vzroste obsah chlorovaných uhlovodíků (max. do nižších tisíců µg/l). Následující tabulka udává souhrnné informace o stavu kontaminace za všechna 3 ohniska, kde byla sanace manganistanem hlavní sanační metodou.

tabulka 3 – lokalita AUTOPAL, s.r.o.

	Ohnisko č. 1	Ohnisko č. 2	Ohnisko č. 5
Max. koncentrace CIU v podzemní vodě (µg/l)	360 000*	992 000*	
průměrné koncentrace CIU v podzemní vodě (µg/l)	100 000	300 000	70 000
Max. koncentrace CIU v zeminách (mg/kg)	6 000		
Kontaminovaný prostor (m³)	1 800	750	3 000
Množství aplikovaného KMnO₄ (kg)	18 000	24 335	7 878
Cílové limity - rozhodnutí ČIŽP	1,2-cis-DCE 750 µg/l TCE 750 µg/l a PCE 500 µg/l		
Stav k 31.5.2006	limity dosaženy, probíhá dočišťování	limity dosaženy, probíhá dočišťování	limity dosaženy, sanace ukončena

* na ohniscích č. 1 a 2 byl prokázán výskyt volné fáze CIU na dně vrtů

tabulka 4 – zasáknuté množství KMnO₄ (pilotní pokus a provozní aplikace do 04/2006)

Ohnisko č.	1	2*	3	4	5
Pilotní zkouška	648,0	1 335,0	-	-	1 528,0
Vlastní sanace - plán	17 360,0	23 000,0	1 950,0	1 200,0	6 350,0
Celkem - plán	18 008,0	24 335,0	1 950,0	1 200,0	7 878,0
Zasáknuto					
Zasáknuto celkem prosinec 2004 – duben 2006	13 310,2	20 310,75	1 950,0	1 200,0	7 878,0
Zůstává k zasáknutí	4 697,8	4 024,25	0,0	0,0	0,0


* v ohnisku č. 2 bylo projektováno pro vlastní sanaci 25 000 kg KMnO₄, na kontrolním dnu č. 15, který se konal dne 8.6.2005, bylo odsouhlaseno použití 1 000 kg na zásak v ohnisku č. 3 a 1 000 kg na zásak v ohnisku č. 4, neboť účinnost sanace v ohnisku č. 2 se jeví vyšší než se předpokládalo v projektu, a proto bude dostatečné do horninového prostředí aplikovat jen 23 000 kg KMnO₄

** 175,0 kg zasáknuto do ohniska č. 3

V ohniscích č. 3 a 4 bylo provedeno pouze dočištění ohnisek. Na ohnisku č. 3 bylo hlavní sanační metodou řízené propařování, čerpání podzemní vody a venting, na ohnisku č. 4 bylo realizováno čerpání podzemní vody a odsávání půdního vzduchu. Poznatky ze sanace:

- Na lokalitě jsou specifické hydrogeologické poměry – mocnost kolektoru je cca 3 až 5 m a stupeň zvodnění je velmi nízký, proto dochází k velmi pomalé spotřebě manganistanu ve vrtech a tedy i prodlužování doby sanace.
- Problémem je vysoká hustota inženýrských sítí, které způsobují šíření roztoku podél sítí a jejich únik do kanalizace. Množství zasakovaného roztoku je regulováno maximální zvýšením hladiny podzemní vody v zasakovacích vrtech (0,1 m pode dno kanalizace).
- Z důvodů nutnosti splnění termínů v rozhodnutí ČIŽP nelze zpomalit zásak, ideální by však bylo přerušit zasakování na cca 5 měsíců a poté do vrtů, kde bude manganistan spotřebován a opětovně se objeví CIU provést opakovanou aplikaci oxidačního roztoku na dočištění.

KUŘÍVODY

Lokalita	
Název lokality	Kuřívody
Kolektor – průměrný k_f	$10^{-5} - 10^{-6}$
Kolektor – báze, hladina p.v. (m p.t.)	9 m p.t., 2 m p.t.
Kolektor – hornina	pískovec
Historie sanace	sanováno od 1991 metodami sanační čerpání, venting, odtěžba
Kontaminace NAPL	Ano, výskyt prokázán v subhorizontálně uložených puklinách v mocnosti jednotek mm na ploše cca 3000 m ² , Odhadováno množství jednotek tun.
Dominantní polutanty + jejich průměrné koncentrace v ohnisku	PCE, 100 mg/l TCE, 60 mg/l
Bilance dominantních polutantů před aplikací (pokud existovala)	Bilance provedena pro parametr SUMA CIU. Celkové odhadované množství polutantu na lokalitě je v rozmezí 5 – 10 t.
Chemismus podzemní vody – specifika	Ca ²⁺ : 300 mg/l, Na ⁺ 10 mg/l, Cl ⁻ : 20 mg/l, SO ₄ ²⁻ : 60 mg/l, HCO ₃ ⁻ : 300 mg/l,
Aplikace ISCO	
Činidla vyřazená jako neúčinná při lab. testech	KMnO ₄ potvrzené při laboratorních zkouškách jako dostatečně účinné
Činidlo	KMnO ₄
Laboratorně zjištěná NOD/SOD	0,43 – 1,14 g/kg/ 2,0 g/kg
Měřítka	pilotní/provozní
Příprava injektážního pole	nálevová zkouška, stopovací zkouška, karotáž, hydraulické štěpení, kopané infiltrační zářezy
Datum aplikace	2004 - 2008
Množství aplikovaného činidla (kg)	40 000 kg
Oblast ovlivněná činidlem	7150 m ³
Foto z lokality	
Kontaktní údaje	RNDr. Petr Kvapil, kvapil@aquatest.cz

Úvod

Problematika starých ekologických zátěží na bývalé základně Sovětské armády v Kuřívodech byla řešena prakticky okamžitě po odchodu SA v roce 1991. Na základě průzkumných prací došlo k vymapování jednotlivých zjištěných primárních zdrojů uvedeného znečištění u jednotlivých útvarů (odtěžování znečištěných zemin). Znečištění na bázi ropných látek se podařilo v reálných časových horizontech odstranit. Z hlediska dalšího vývoje znečištění v zájmovém prostoru byla však velmi závažná přetrvávající masivní kontaminace podzemních vod chlorovanými uhlovodíky.

Podle získaných zkušeností lze konstatovat, že užití klasických dekontaminačních technologií, které jsou založeny na principu čerpání podzemní vody a jejím čištění na povrchu, se v uvedených geologických (hydrogeologických) podmínkách neosvědčilo. Proto byl navržen další systém sanace, který spočívá v aplikaci podpůrných látek do podzemní vody (in situ) a postupném rozkladu (oxidaci či redukcí) kontaminantu až na netoxické konečné produkty rozpadu.

Popis lokality

Zájmové území se nachází na katastrálním území obce Kuřívody (správní obec Ralsko), 8 km jihovýchodně od města Mimoň. Širší zájmové území je především okolí bývalé vojenské prádelny po SA o přibližné rozloze cca 0,8 x 2 km v katastru obce Kuřívody, na západní straně komunikace Mimoň - Mnichovo Hradiště. Samotné centrální území, jež bude dotčeno sanací, zaujímá plochu v rozsahu cca 22 000 m². Na jižní straně je zájmové území omezeno opět komunikací Kuřívody - Bělá pod Bezdězem, kde se nachází také středověká tvrz, a dále jihozápadním směrem i sídliště panelových domů a severněji i čistírna odpadních vod (základní mapa ČR 03 - 31 - 23). Administrativně lokalita spadá do katastru města Ralsko.

V prostoru došlo v minulých čtyřiceti letech k rozsáhlé kontaminaci podzemních vod a zemin převážně chlorovanými uhlovodíky a omezeně také ropnými látkami. Od roku 1991 do současnosti na lokalitě působilo několik sanačních firem (1991 až 1997 - AQUATEST - Stavební geologie a.s. Praha, 1997 až 1999 - OPV s.r.o. Praha, 1999 až 2003 - Vodní zdroje a.s. Praha). Pro sanaci byly dříve použity metody odtěžby, ventingu, sanačního čerpání, čištění čerpané vody stripováním.

Hydrogeologické a geologické poměry

Obecně lze konstatovat, že hydrogeologické poměry zájmového území jsou poměrně složité, podmíněné vertikálně pestrým složením pískovců a tektonickým postižením oblasti. Kromě bazálního cenomanského kolektoru krytého izolátorem bělohorského souvrství je na lokalitě předpokládáno několik navzájem omezeně komunikujících zvodněných systémů:

a) vodohospodářsky významný regionální kolektor dále v textu označovaný jako R (střední turon) o mocnosti cca 200 m s volnou hladinou v oblasti zájmového území v hloubce cca 35 m pod terénem (k_f : 10^{-4} až 10^{-5} m/s), generelní směr proudění tohoto kolektoru je západní až jihozápadní.

b) více lokálních zavěšených zvodní vzájemně oddělených méně propustnými avšak makroskopicky obtížně odlišitelnými polohami umožňujícími vznik zavěšených zvodnělých vrstev. **Tyto kolektory jsou v předchozích zprávách označovány shora dolů jako A - hloubka 0 - 4 m, B - hloubka 4 - 10 m a C - hloubka 10 - 35 m.** Generelní směr jejich proudění je kromě mělké, přípovrchové zvodně západní až jihozápadní. Voda mělké přípovrchové zvodně odtéká jižním až jihovýchodním směrem.

Z hlediska distribuce kontaminace v zájmové lokalitě je velmi významná první, mělká zvodeň, která je vytvořena na bázi méně propustných pískovců v výše uvedeném zájmovém horizontu do cca 4 m.p.t. Dobře prokazatelná a zřetelná je zvodeň v úrovni cca po 10 m.p.t (označovány jako patro „C“). Prostor mezi výše uvedenými horizonty můžeme označit jako „mezipatro“, které bylo v předchozí době syceno chlorovanými uhlovodíky, které se mohou dále uvolňovat puklinovým prostředím do hlubších zvodní.

Proudění podzemních vod ve vertikálním směru je na lokalitě laterálně sestupné, všechny kolektory jsou odvodňovány do vlastního turonského kolektoru zejména po tektonicky predisponovaných liniích. Stěžejní otázkou pro mechanismus šíření je místo a hloubka změny a potenciálního hydraulického spádu na skutečné sestupné proudění podzemní vody do regionální turonské zvodně.

Jizerské souvrství je v zájmové oblasti tvořeno **velmi pevnými jemno až střednězrnnými pískovci s vápenitým tmelem se slabě jílovitými nebo naopak hrubozrnnými polohami.** Ve svrchní části vrstevního sledu do hloubky cca 30 metrů je přítomnost jílovito-prachovité frakce významnější, hlouběji mizí. Kvartérní pokryv je tvořen 1-5 metrů mocnou vrstvou písčitých hlín a písků.

Charakteristika znečištění zájmové lokality

Kontaminace zájmové lokality byla předmětem revize prováděných průzkumných prací. Obecně lze konstatovat, že zájmové území je zatíženo zejména chlorovanými alifatickými uhlovodíky. V původní distribuci jednotlivých složek CIU **převažuje tetrachlorethen (PCE, 90 - 95 %)**, na druhém místě je trichlorethen (TCE, 5 %) a 1,2 - cis dichlorethen (DCE, 2 - 5 % celkové koncentrace kontaminantu). Obsah vinylchloridu (VC), 1,1- DCE a 1,2-trans DCE je nízký. (uvádíme počáteční stav koncentrací kontaminantu v zájmové lokalitě). Z hlediska dalších výpočtů používáme pro zjednodušení fyzikálně chemické parametry tetrachloretenu – dominantní složky kontaminace v podzemní vodě v zájmové lokalitě.

Plošné vymezení zdrojové oblasti a oblasti předpolí

Nejintenzivnější znečištění (prokazatelný výskyt produktu organické fáze DNAPL a koncentrace CIU v podzemních vodách převyšující hodnoty 20 mg.l⁻¹) je zakotveno v nesaturované a saturované části nejvyšší zavěšené nespojitě zvodně (do 4 m pod terénem), v ploše cca **3 500 m²**. Plošný rozsah dalších stupňů znečištění, které jsou vázány již na zvodněné systémy více-méně spojitě zvodnělé svrchní zvodně s koncentracemi CIU mezi 20 a 2,5 mg.l⁻¹, je **22 000 m²**. Odlišné sanační technologie byly použity v místech s předpokládaným výskytem nerozpuštěného produktu organických látek (**zdrojová oblast**) a v místech, kde se výskyt produktu nepředpokládá (**předpolí**).

Přehled provedených sanačních prací

Etapa rešeršní

V rámci rešeršní etapy byla provedena revize veškerých dostupných dokumentů týkajících se zájmového území v souvislosti s geologickou stavbou území, množstvím a kvalitou podzemních vod. Tyto informace byly následně shrnuty v etapové zprávě.

Etapa přípravných prací

V rámci této etapy byla provedena revize starých vrtů, povrchová geofyzikální a atmogeochemická měření za účelem vymapování tektonických poruch území, mapování kontaminace a stavby horninového prostředí průzkumnými vrty, karotážními měřeními a vzorkováním podzemních vod. Pomocí stopovací zkoušky bylo ověřeno proudění podzemní vody na zájmovém území. Nejdůležitějším poznatkem získaným v rámci etapy přípravných prací bylo prokázání subhorizontálně uložených více či méně propustných vrstev. Prokázána byla přítomnost mělké, dříve neregistrované a nejvíce kontaminované zvodně v hloubce do 4 m pod terénem.

Etapa pilotních zkoušek

Pilotními zkouškami byly ověřeny veškeré aktivity projektované pro dekontaminaci zájmového území - torpedace vrtů, hydraulické štěpení, příprava roztoků podpůrných látek, vybudování 3 - 4 m hlubokého infiltračního zářezu, poloprovozní infiltrace KMnO_4 do 3 infiltračních objektů:

- roztok KMnO_4 do vrtu HJ - 952 - hloubka 10 m, **1,0 t KMnO_4**
- roztok KMnO_4 do PW - 4 - infiltrační zářez hluboký 3 - 3,5 m, **0,5 t KMnO_4** ,
- krystalický KMnO_4 do PW - 1 v rámci hydraulického štěpení - nový hydraulicky štěpený vrt v horizontu 10 - 11 m pod terénem, **0,5 t KMnO_4**
- poloprovozní infiltrace kyseliny mléčné do vrtu PW-2 hloubka 15 m, celkem **1 t kyseliny mléčné**
- poloprovozní infiltrace nanočástic nulmocného Fe do vrtu PW-3, hloubka 15 m, **20 kg Fe^0**

Nejdůležitějším poznatkem této etapy bylo jednoznačné prokázání přítomnosti produktu organické fáze v horninovém prostředí výkopovými pracemi, dále pak účinná aktivace horninového prostředí jak šetrnějším hydraulickým štěpením tak torpedací vrtů, kde obě metody umožňují zvýšit velikosti koeficientů filtrace o 1 - 2 řády. V případě tzv. zdrojové oblasti byla potvrzena použitelnost metody *in-situ* oxidace s využitím KMnO_4 .

Výsledkem pilotních zkoušek bylo definování nejvíce účinného konečného postupu pro sanaci lokality s vyloučením méně účinných technologií nápravných opatření i pomocných činností pro řešení zakázky.

Etapa sanace ohniska v roce 2005

V roce 2005 byla zahájena 1. fáze sanace ohniska znečištění v rámci které byl nejprve vybudován infiltrační systém umožňující infiltrovat KMnO_4 celkem odděleně do tří hloubkových pater. Svrchní patro (do cca 3,5 m pod terénem) je řešeno infiltračními zářezy (6 ks, 120 bm). Během budování infiltračních zářezů byla opět potvrzena přítomnost volného, sbíratelného produktu organické fáze. Během zemních prací byl tento produkt postupně odčerpáván spolu s kontaminovanou podzemní vodou. V rámci průzkumných a sanačních prací bylo provedeno více jak 300 bm vrtných prací. Spodní patro (10 - 15 m pod terénem) bylo aktivováno hydraulickým štěpením. Hydraulickým štěpením se na lokalitě podařilo vytvořit na převážné části plochy ohniska znečištění subhorizontálně orientovanou polohu sloužící k infiltraci roztoku KMnO_4 . Celkem bylo během 1. fáze do horninového prostředí infiltrováno ve formě roztoku 21,9 t KMnO_4 . Dále bylo odstraněno cca 6,5 t kontaminované zeminy a 0,95 t kalu (organická fáze).

Etapu sanace ohniska znečištění v roce 2006

V roce 2006 byly provedeno vyčištění stávajících infiltračních objektů (6 ks infiltračních zářezů a 26 ks. vrtů), dále byly vyhloubeny infiltrační zářezy v místech s indikovanou zvýšenou mírou kontaminace (40 m zářezů). V rámci doplnění průzkumných prací bylo realizováno cca 32 bm vrtů v oblasti s předpokládaným výskytem volné fáze - nevystrojené mělké mapovací vrty. Dále byla v rámci realizace infiltračních zářezů objevena stará skládka po SA a následně provedena její sanace (odtěžení, odstranění, zpětný závoz inertním materiálem, celkové množství odstraněných odpadů činí 230 t). V souladu s projektem proběhlo také odčerpávání kontaminované vody a produktu organické fáze (164 m³ kontaminované vody během 51 dnů sanačního čerpání, souběžně bylo čerpáno vždy maximálně 6 vrtů). V ohnisku znečištění proběhla infiltrace roztoku manganistanu draselného (16,1 tun, 62 dní infiltrace, 985 m³ roztoku).

Etapu sanace ohniska znečištění v roce 2007

V rámci přípravných prací bylo opět provedeno čištění jednotlivých aplikačních objektů, především v ohnisku sanačních prací u 65 ks hydrogeologických objektů. Následovalo provedení vrtných prací v rozsahu 4 ks hydrogeologických monitorovacích a sanačních vrtů řady RW 38 - RW 41 do hloubky 11 m (celkem 44 bm), tedy do nižších zvodnělých horizontů. Dále byly vyhloubeny 3 ks nových infiltračních zářezů o celkové délce 30 m - západní okraj ohniska, realizace lokálního infiltračního zářezu v oblasti vrtu MW 15 (v místech s indikovanou zvýšenou mírou kontaminace).

Aplikace KMnO₄ v celkovém množství 3,8 tuny byla provedena v první etapě do infiltračního zářezu IZ 10, IZ 11 a IZ 12 a následně do vybraných hg. vrtů během 22 dní. Celkové množství aplikovaného roztoku manganistanu draselného injektovaného v roce 2007 činí cca 254 m³. Aplikace manganistanu draselného byla v roce 2007 prováděna pouze cíleně do vrtů a zářezů vykazujících zvýšené koncentrace CIU v podzemní vodě.

Vertikálně byl manganistan v roce 2007 aplikován do dvou odlišných hloubkových horizontů: mělké patro do 3 m hloubky a spodní patro v intervalu 10 - 15 m pod terénem (zjednodušené členění). Roztok byl infiltrován cíleně, pouze do 14 infiltračních objektů.


Etapu sanace ohniska znečištění v roce 2008

V rámci přípravných prací bylo opět provedeno čištění jednotlivých aplikačních objektů, především v ohnisku sanačních prací u 65 ks hydrogeologických objektů. Dále byly vyhloubeny 3 ks nových infiltračních zářezů IZ 13, IZ 14 a IZ 15 o celkové délce 15 bm. Následoval zásak pitné vody do vybraných hg. objektů, ve kterých byl doposud nespotřebovaný KMnO₄ (16 ks).

Aplikace KMnO₄ v celkovém množství 0,9 tuny byla provedena následně do vybraných 15 hg. objektů během 12 dní. Celkové množství aplikovaného roztoku manganistanu draselného injektovaného v roce 2008 činí cca 90 m³. Aplikace manganistanu draselného byla v roce 2008 prováděna pouze cíleně do vrtů a zářezů vykazujících zvýšené koncentrace CIU v podzemní vodě. Vertikálně byl manganistan v roce 2008 aplikován do dvou odlišných hloubkových horizontů: mělké patro do 3 m hloubky a spodní patro v intervalu 10 - 15 m pod terénem (zjednodušené členění).

OZ CHEMIE – Horní Počernice

Lokalita	
Název lokality	bývalá OZ CHEMIE Horní Počernice
Kolektor – průměrný k_f	4×10^{-5} m/s (průlinově-puklinové prostředí)
Kolektor – báze, hladina p.v. (m p.t.)	cca 40 m p.t., cca 14 m p.t.
Kolektor – hornina	pískovce - cenoman
Historie sanace (v areálu původního chemického skladu) (průzkumné a sanační práce v předpolí areálu – v obytné zóně Horních Počernic zasažené kontaminací z areálu – od 70-tých let)	sanace zahájena 1992: sanační čerpání, venting; od 2003 intenzifikace sanačních prací: promývání horninového prostředí PAL, zasakování přečištěné vody, ISCO – KMnO_4 , sanace pokračuje
Kontaminace NAPL (bilance k r. 2009)	cca 1-10 t DNAPL (volná fáze PCE / TCE) zbývající kontaminace – odhad bilance v nesaturované zóně 1,4-2,8 t Cl-ethylenů, saturovaná zóna 20-30 t Cl-ethylenů
Dominantní polutanty + jejich průměrné koncentrace v ohnisku (k roku 2009)	Cl-ethyleny, 80 mg/l BTEX, většinou již pod mezí detekce
Bilance dominantních polutantů před aplikací (pokud existovala)	celkem únik TOL (CIU a BTEX) 150 – 200 tun; celková bilance kontaminantu musela být postupně upřesňována během provádění sanace, prvotní odhady byly nižší do r. 2009 odtěženo z nesaturované zóny 98,7 t TOL (CIU 80 t), ze saturované zóny 22,7 t TOL (CIU 21 t)
Chemismus podzemní vody – specifika	Lokálně antropogenně zvýšené obsahy těžkých kovů (díky únikům skladovaných kyselin).
Aplikace ISCO	
Činidla vyřazená jako neúčinná při lab. testech	-
Činidlo	KMnO_4
Laboratorně zjištěná NOD/SOD	0,002 kg KMnO_4 /kg prostředí, tato teoretická maximální požadovaná spotřeba oxidantu byla dále upřesněna pilotním pokusem metodou push-pull test
Měřítka	pilotní pokus, zatím 3 etapy provozní aplikace
Příprava injekčního pole	I. až III. etapa: využití stávajících sanačních vrtů (po jejich regeneraci), nálevová zkouška, pilotní pokus IV. etapa: podrobný geofyzikální průzkum, příprava pokud možno pravidelné sítě nových zasakovacích vrtů se zonální výstrojí.
Datum aplikace	I.etapa: 3.10.2006 - 4.1.2007 II.etapa: 24.9. - 6.12.2007 III.etapa: 8.4. – 24.6.2008 IV. etapa: v přípravě

Množství aplikovaného činidla (kg)	I.etapa: 13 200 kg II.etapa: 9 300 kg III.etapa: 9 300 kg IV. etapa: v přípravě
Oblast ovlivněná činidlem	cca 10 000 m ³
Foto z lokality	
Kontaktní údaje	Mgr. Pavlína Hlaváčová, hlavacova@vodnizdroje.cz

Na lokalitě označované OZ CHEMIE Horní Počernice probíhalo od poloviny minulého století ekologicky nezabezpečené skladování a expedice nebezpečných chemických látek a jedů. Kromě provozních úkapů při manipulaci s chemikáliemi docházelo i masivnějším únikům skladovaných látek (např. během stáčení z cisteren, apod.) – především CIU a BTEX. Toto znečištění se ve velkém množství rozšířilo i mimo areál. Zasaženou plochu tvořila především obytná zóna městské části Horní Počernice jz. a j. od areálu (označována jako Jižní předpolí). Primárním kontaminantem na lokalitě byly a zůstávají chlorované uhlovodíky, konkrétně Cl-ethelyny (perchlorethylen, trichlorethylen, které se v areálu OZ CHEMIE skladovaly, i produkty jejich rozpadu – dichlorethylen, příp. vinylchlorid aj.).

NEGATIVNÍ CHARAKTERISTIKY LOKALITY:

- kontaminací CIU bylo zasaženo velmi rozsáhlé území - rozloha areálu a zasažené části Jižního předpolí je cca 1 km²
- značná mocnost nesaturované i saturované zóny, hladina podzemní vody je v areálu cca 15 m p.t., báze znečištěného cenomanského kolektoru je cca 40 m p.t.
- puklinové prostředí a další nehomogenity horninového prostředí, které mají vliv na odhady bilancí znečištění i vlastní sanační zásah
- rozšíření znečištění do obytné části města, se značnou zastavěností, omezující možnosti průzkumu a sanačních prací, ohnisko kontaminace v ochranném pásmu frekventované železniční trati

PŘEHLED SANAČNÍCH PRACÍ:

První průzkumné práce, zabývající se kontaminací pocházející z areálu OZ CHEMIE, byly na lokalitě zahájeny již na konci 70. let, kdy bylo zjištěno silné znečištění domovních studní v Jižním předpolí. Všechny domácnosti musely být proto napojeny na veřejný vodovod. Sanační čerpání v této oblasti bylo zahájeno v roce 1989 a pokračovalo téměř kontinuálně až do roku 2004. V letech 2005-2008 zde byla realizována závěrečná etapa sanace metodou podpory přirozené atenuace. Sanační práce v Jižním předpolí byly k roku 2009 po splnění cílových parametrů ukončeny.

Sanační práce ve vlastním areálu chemického skladu byly zahájeny v roce 1992 (EKOSYSTEM, s.r.o.). Při jižním okraji areálu byla vybudována hydraulická clona za účelem zamezení dalšího šíření kontaminace směrem do Jižního předpolí (7 vrtů) a další vrty byly umístěny v místech ověřených center kontaminace. Čerpání hydraulické clony prostřednictvím vrtů HJ-11 – HJ-17 bylo zahájeno v roce 1993. V následujícím roce bylo sanační čerpání rozšířeno o vrty HJ-20 a HJ-21 ve střední části areálu.

Od roku 1997 provádí sanační práce na lokalitě firma VODNÍ ZDROJE, a.s. Na základě úvodních průzkumných prací byl zahájen intenzivní sanační zásah, a to jak ve vlastním areálu, tak v obytné zóně Jižního předpolí. Byl vybudován rozsáhlý systém ventingových, hydrogeologických čerpacích i kombinovaných vrtů.

Čerpáním půdního vzduchu metodou ventingu se v areálu OZ CHEMIE v průběhu několika let podařilo z nenasycené zóny odtěžit téměř 100 t těkavých organických látek. Odstraněním významné části tohoto sekundárního zdroje kontaminace byla téměř úplně eliminována dotace znečištění do podzemních vod. Společně s intenzivním sanačním čerpáním, při kterém bylo odtěženo značné množství TOL ze sycené zóny (téměř 23 t), došlo k zamezení šíření znečištění z areálu OZ CHEMIE do Jižního předpolí a oddělení původně spojitého kontaminačního mraku.

V oblasti hydraulické bariéry v j. části areálu OZ CHEMIE probíhalo v letech 1997 – 2004 intenzivní sanační čerpání o celkové vydatnosti až 10 l/s. Přecházející vody ze sanačních jednotek byly vypouštěny do dešťové kanalizace. Díky postupnému snižování výtěžností sanačních vrtů bylo přistoupeno k promývání horninového prostředí PAL. Metodou sanačního čerpání bylo ze sycené zóny horninového prostředí celkem odstraněno 21,7 tun chlorovaných uhlovodíků (Cl-ethylenů).

V roce 2005 bylo nutno vzhledem k podnikatelskému záměru firmy METROSTAV a.s. provést konečné vyčištění a likvidaci retenční nádrže v jeho areálu, přes níž dešťová kanalizace z areálu OZ CHEMIE procházela. Retenční nádrž tak sloužila k odsazení značného množství hlinitých a železitých kalů s obsahem dalších (sorbovaných) kovů. Vzhledem k tomu, že neodsazená voda již nemohla být z areálu OZ CHEMIE nadále vypouštěna, mohlo být v následujících letech realizováno již jen omezené sanační čerpání. Čerpaná voda tak v současnosti může být po dekontaminaci pouze zpětně zasakována do horninového prostředí prostřednictvím stávajících vrtů, které se však relativně rychle kolmatují v důsledku vysokých obsahů železa v podzemní vodě.

Pro závěrečnou etapu sanačních prací v areálu OZ CHEMIE byla z tohoto důvodu operativně zvolena metoda ISCO (chemická oxidace in-situ s využitím manganistanu draselného), avšak s omezeným rozpočtem prací.

APLIKACE METODY ISCO

Přípravné práce pro provozní aplikaci (úvodní monitoring, laboratorní testy, pilotní pokus) byly realizovány v květnu až září 2006. Na základě výsledků přípravných prací a zhodnocení úrovně kontaminace v jednotlivých objektech, zastoupení jednotlivých složek Cl-ethylenů,

odhadu přítomnosti fáze, s přihlédnutím k délce otevřeného úseku vrtu, byla vypočtena potřebná dávka KMnO_4 pro jednotlivé vrty. Manganistan draselný byl jako oxidant zvolen zejména z těchto důvodů:

- Kontaminace saturované zóny prakticky pouze chlorovanými ethyleny
- Vyšší poloměr dosahu (výhoda v méně propustném prostředí), tj. i menší necílová / pozadřová spotřeba
- Bezpečnější přeprava a manipulace

Zasakování manganistanu draselného v rámci provozní aplikace I. etapy probíhalo od 3.10.2006 do 4.1.2007. Celkem bylo nadávkováno 13,2 tun manganistanu draselného v podobě 1,25%, resp. 2,5% roztoku KMnO_4 . Pro zasakování byly využity vrty HP-104, HP-81, HP-68, HP-82, HP-69, HJ-12 a jako podpurný k HP-82 též blízký vrt HJ-11. Roztok byl připravován ve speciální směsné nádrži o objemu 10 m^3 , přečerpáván do menších nádrží u jednotlivých vrtů a poté gravitačně zapouštěn prostřednictvím hadic do dvou hloubkových úrovní (cca 5 a 15 m pod hladinou podzemní vody) z důvodu lepší distribuce manganistanu do zvodně. Rychlost zapouštění roztoku do jednotlivých vrtů byla řízena na základě sledování hladiny podzemní vody ve vrtech. Z důvodu zamezení ztrát oxidačního činidla v nenasatované zóně bylo dodržováno maximální zvýšení hladiny ve vrtech 1-2 m nad ustálenou hladinu podzemní vody.

Vzhledem ke skutečnosti, že v ohnisku kontaminace nebylo dosaženo potřebného snížení koncentrací CIU (na části vrtů došlo dokonce ke zvýšení koncentrací díky zvýšenému rozpouštění volné fáze DNAPL), byl již před ukončením monitoringu I. etapy vypracován dodatek projektu, který plánoval realizaci dalších etap metody ISCO s aplikací KMnO_4 v množství až 24 tun, v kombinaci s klasickým sanačním čerpáním. Cílem sanačního čerpání byl jednak aktivní sanační zásah do zahájení další etapy ISCO, jednak odtěžení části kontaminace, která byla uvolněna v důsledku aplikace manganistanu. Toto uvolnění sorbované kontaminace, resp. zejména zvýšené rozpouštění volné fáze DNAPL, je logickým důsledkem vyrovnávání rovnováh mezi reziduální kontaminací a „čistou vodou“, v níž byla kontaminace aplikací oxidačního činidla eliminována. V rámci II. etapy ISCO (24.9.-6.12.2007) bylo aplikováno 9,3 tun KMnO_4 do vrtů HP-104, HP-81, HP-82, HP-69, HJ-12, HJ-11 a HP-70. III. etapa ISCO probíhala od 8.4. do 24.6.2008 a do vrtů HP-104, HP-81, HP-69, HJ-12, HP-70, HP-82 a HJ-13 bylo aplikováno dalších 9,3 tun KMnO_4 . V rámci II. a III. etapy ISCO byl použit roztok manganistanu draselného o koncentraci 3%, resp. 2% u vrtů s nižšími koncentracemi CIU (3% roztok KMnO_4 byl v nádržích u vrtů HP-70 a HP-104 doředěn pitnou vodou). Zasakování roztoku probíhalo rovněž gravitačně.

V rámci jednotlivých etap aplikace metody ISCO byl prováděn průběžný a koncový monitoring v následujícím rozsahu:

- v průběhu provozní aplikace a 3 měsíce po ukončení provozní aplikace byly s četností 1x měsíčně sledovány vybrané monitorovací vrty: HP-89, HP-64, HP-65, HP-67, S-102, HP-80 a HJ-15; vzorky podzemní vody byly odebrány dynamicky, analyzovány byly: chlorované ethyleny, chloridy, draslík, v případě výskytu růžového zabarvení KMnO_4 , a na závěr provozní aplikace vybrané těžké kovy (Cr, Zn, Co, As, Ni) a mangan; parametry zvodně zjišťované in-situ (pH, vodivost, ORP, teplota) byly měřeny s četností 1x za 1,5 měsíce
- koncový monitoring na zasakovacích vrtech na závěr provozní aplikace byl rovněž v délce 3 měsíce se stejnou četností a rozsahem sledovaných parametrů; v závislosti na vývoji koncentrací CIU a dalším zvoleném postupu prací (sanační čerpání nebo další etapa zasakování) byl koncový monitoring dílčích etap na vybraných objektech případně zkrácen

- každodenně v průběhu zasakování byl prováděn vizuální monitoring vrtů v areálu Pragotronu a potoku P-4 za účelem zjištění přítomnosti nezreagovaného KMnO_4 - přítomnost či nepřítomnost růžového či fialového zbarvení vody

Pozn.: Zjevným nedostatkem stávajícího monitorovacího systému byla příliš velká vzdálenost pozorovacích objektů od hydraulické bariéry, v níž probíhala aplikace ISCO. Důvodem je především těsná blízkost frekventované železniční trati Praha – Lysá n. Labem, přítomnost vlečkových tratí a dále zastavěnost lokality. Nejbližší monitorovací objekty ve směru proudění podzemních vod od hydraulické bariéry se tak nacházejí až za železnicí v prostoru bývalého Pragotronu, tj. ve vzdálenosti cca 100 m jižně. Existence ochranného pásma železnice je pro sanační práce významným omezením. V ohnisku kontaminace tak není možno realizovat např. výkopové práce do větších hloubek. Rovněž vybudování systému nových sanačních či monitorovacích vrtů ve větší blízkosti k trati než je stávající hydraulická bariéra nebylo možné realizovat, a to i z důvodu finančních a termínových omezení původního projektu sanačních prací.

Výsledky monitoringu byly využity pro řízení a vyhodnocení sanačního zásahu. V rámci aplikace manganistanu draselného nebylo zaznamenáno nežádoucí šíření nezreagovaného KMnO_4 mimo sanovanou oblast, rovněž nebyla zjištěna migrace kovů.

METODA ISCO – SHRNU TÍ

Přehled zasakovacích objektů v rámci jednotlivých etap a aplikované množství KMnO_4 (v kg) je uvedeno v souhrnné tabulce:

ISCO	I. etapa	II. etapa	III. etapa	Celkem
HP-81	1900	1250	1989	5139
HP-69	2987,5	1920	1800	6707,5
HJ-12	2500	1740	1810	6050
HP-104	2100	1380	1300	4780
HP-82	1525	510	700	2735
HJ-11	975	1020	0	1995
HP-68	1212,5	0	0	1212,5
HJ-13	0	0	201	201
HP-70	0	1480	1500	2980
Celkem	13200	9300	9300	31800

Bilanční hodnocení odstraněného množství kontaminace v rámci I. až III. etapy ISCO (2006 – 2008) je provedenými výpočty odhadováno na cca 0,8 – 4,1 t CIU.

Cílem aplikace metody ISCO bylo v rozsahu zbývajících finančních prostředků a daném termínu pro ukončení sanace splnit cílové parametry sanace, příp. dosáhnout co největšího snížení zbytkové kontaminace.

Výsledky koncového monitoringu III. etapy na zasakovacích objektech v ohnisku kontaminace i následné sanační čerpání vybraných vrtů (HP-104, HP-81, HJ-12) však ukázaly, že v okolí několika vrtů přetrvává významná kontaminace CIU, několikanásobně překračující stanovené sanační limity. Nejistotou bohužel zůstává neznalost skutečného množství volné fáze kontaminantu (DNAPL), která obecně může být v řádu několika posledních set kilogramů, ale i v desítkách tun. Důvodem jsou především mnohem větší objemy znečištění, které v době zadání sanace lokality a výběrového řízení nebyly známy. V průběhu sanace se podařilo z horninového prostředí saturované zóny odstranit

několikanásobně větší množství kontaminantu, než bylo prezentováno v zadávacích podmínkách výběrového řízení. Přestože byla bilance v průběhu sanačních prací dále upřesňována, nebylo možno navýšit celkovou cenu (garanční částku) na sanaci lokality a tedy nebylo možno razantněji změnit metodiku sanačních prací. Sít' sanačních vrtů, realizovaných ve vzdálenosti cca 10-15 m od sebe, byla vzhledem k uváděným bilancím znečištění a projektované metodě sanačního čerpání dostatečná. Aplikace moderních metod (např. ISCO) však předpokládá mnohem hustší sít' aplikačních a příp. i monitorovacích objektů, má-li být sanační zásah u takto masivní kontaminace úspěšný.

Z výše uvedených důvodů byl vypracován a předložen „Projekt sanačních prací pro závěrečnou etapu sanace v areálu bývalé OZ CHEMIE Horní Počernice“, který byl podkladem pro navýšení garanční částky na sanační práce na této lokalitě. Na jaře roku 2009 byla garanční částka navýšena a projekt závěrečné etapy sanace (IV. etapa aplikace metody ISCO) schválen. V červnu 2009 byly zahájeny přípravné práce dle tohoto projektu.

V současné době (2009) je budována pokud možno pravidelná sít' nových zasakovacích vrtů se zonální výstrojí, za účelem optimální a cílené distribuce oxidantu ve zvodněném horninovém prostředí a tím i zefektivnění celého procesu ISCO s využitím KMnO_4 jako oxidačního činidla. Pokud to bude možné, bude aplikaci oxidantu předcházet odčerpání zastižené mobilní volné fáze DNAPL. Vlastní metoda ISCO je tedy používána až v okamžiku, kdy je sanační čerpání neefektivní nebo nemožné. Dochází tak k úsporám oxidačního činidla a tedy i finančních prostředků.

Hlavním cílem sanačních prací v rámci závěrečné etapy sanace v areálu OZ CHEMIE zůstává dokončení nápravných opatření na lokalitě a dosažení cílových parametrů sanace daných rozhodnutím ČIŽP OI Praha ze dne 30.6.2008 (toto rozhodnutí prodloužilo konečný termín dosažení cílových parametrů do roku 2013).

ZÁVĚR

Problémem v současné době zůstává pouze relativně malá část lokality v jižní části areálu OZ CHEMIE (oblast hydraulické bariéry), kde přes dlouhodobé sanační čerpání i intenzifikaci sanačních prací metodami vymytí saturované zóny PAL a in-situ chemickou oxidací (manganistanem draselným) přetrvávají vysoké koncentrace CIU (až desítky tisíc $\mu\text{g/l}$) a v okolí cca 3 vrtů i fáze CIU o neznámém množství. V s. části areálu se koncentrace CIU pohybují v desítkách či stovkách $\mu\text{g/l}$ (suma CIU), pouze výjimečně dosahují vyšších hodnot (vrty HP-61, HP-92 v blízkosti vrtů bariéry). V průběhu sanace se podařilo z horninového prostředí saturované zóny odstranit několikanásobně větší množství kontaminantu, než bylo prezentováno v zadávacích podmínkách výběrového řízení.

Sanační práce v Jižním předpolí byly ke konci roku 2008 ukončeny, cílové limity i termín daný rozhodnutím ČIŽP byly splněny.

Cílové limity v jižní části areálu OZ CHEMIE dosud splněny nebyly. Sanační práce v této oblasti pokračují v rámci „Projektu sanačních prací pro závěrečnou etapu sanace v areálu bývalé OZ CHEMIE Horní Počernice“. Termín pro dosažení cílových parametrů byl prodloužen do roku 2013.

KARA – Trutnov

Lokalita	
Název lokality	KARA TRUTNOV okolí vrtu KPQ-9A
Kolektor – průměrný k_f	$1,00 \times 10^{-9}$ m/s
Kolektor – báze, hladina p.v. (m p.t.)	báze 8,0 m p.t., hladina p. v. 4,5 m p. t.
Kolektor – hornina	Fluviální balvanité štěrkopísky – kvartérní nivní sediment řeky Úpy do 4,5 m, dále střídání permských lavicovitých arkózových pískovců, prachovců a jílovců, střídání písčitých a jílovitých poloh s kompaktnější horninou patrné do hloubky cca 8 m, pak následuje pevné skladní podloží. Efektivní pórovitost hornin $n_s = 0,127$.
Historie sanace	sanováno od 2002 metodou „pump and treat“ – čerpání vod do aerátoru, odsazení CIU na filtrech s AU.
Kontaminace NAPL	ne
Dominantní polutanty + jejich průměrné koncentrace v ohnisku	PCE, TCE, cis-1,2-DCE, po ukončení provozní aplikace pozorován rebounding efekt, po 1 roce nárůst koncentrací na původní hodnoty, polutanty v hlubších partiích hornin. prostředí, pokračování ohniska proti směru proudění podzemních vod.
Bilance dominantních polutantů před aplikací (pokud existovala)	PCE 15000 ug/l, TCE 490 ug/l, cis-1,2-DCE 1300 ug/l
Chemismus podzemní vody – specifika	pH 7,5, zvýšené obsahy Fe a Mn vyšší obsahy Cl- cca 300 mg/l celková mineralizace do 1 g/l
Aplikace ISCO	
Činidla vyřazená jako neúčinná při lab. testech	
Činidlo	H ₂ O ₂ (10%)
Laboratorně zjištěná NOD/SOD	
Měřítka	pilotní
Příprava injektážního pole	zasakovací zk., stopovací zkouška - stopovací látka fluorescein disodná sůl
Datum aplikace	pilotní test - únor až duben 2005
U H ₂ O ₂ a Na ₂ S ₂ O ₈ – způsob katalýzy	katalýza pomocí železa přítomného v horninovém prostředí, úprava pH aplikací 15 % HCl
Množství aplikovaného činidla (kg)	pilotní test 40 m ³ , koncentrace 10 %
Oblast ovlivněná činidlem	cca 350 m ³
Foto z lokality	 <p>The photograph shows an outdoor site with several red metal monitoring points labeled ME-3, KPQ-9A, and ME-4. A large, rusted metal pipe is labeled 'původní pažnice vrtu KPQ-9'. The ground is dirt and gravel, with some vegetation in the background.</p>
Kontaktní údaje	Ondřej Stískal, ekora@ekora.cz Lenka Wimmerová, wimmerova@dekonta.cz

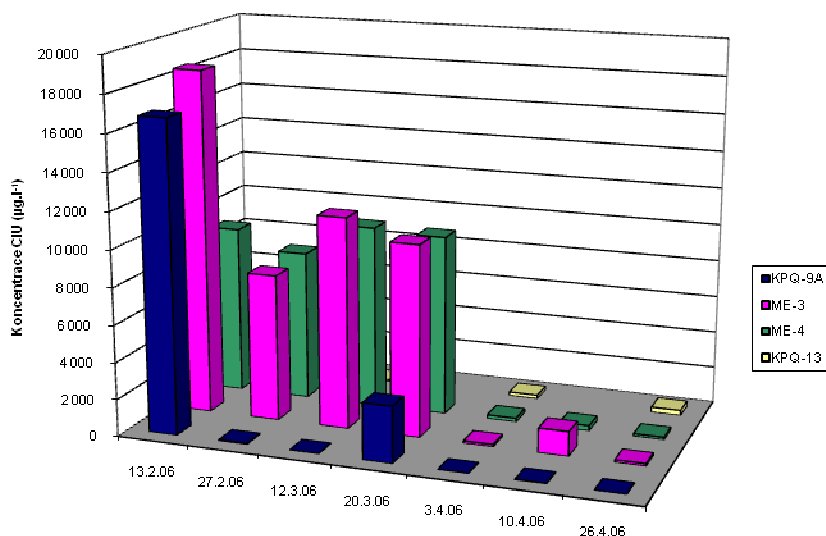
V období od 20.2. do 12.3.2006 bylo oxidační činidlo infiltrováno do vrtu KPQ-9A (pozorovací vrty ME-3, ME-4) rychlostí přibližně 70 l.h^{-1} . V následujícím období (20.3. až 2.4. a 11. až 26.4.2006) byla na základě výsledků chemických analýz rychlost infiltrace navýšena na 90 až 100 l.h^{-1} . Roztok peroxidu byl připravován přímo v 1 m^3 aplikační nádrži a po dokonalém rozmíchání byl gravitačně infiltrován do vrtu KPQ-9A. Aplikace činidla probíhala diskontinuálně; peroxid byl aplikován zpravidla ve 14 denních intervalech (8 až 15 hodin denně) s následnou týdenní přestávkou. V průběhu pilotní zkoušky se podařilo zrealizovat 3 zasakovací periody. Celkem bylo zasáknuto cca 40 m^3 10% peroxidu. Spolu s peroxidem byla zasakována také 15% HCl za účelem úpravy pH v oblasti zásaku s cílem zajistit optimální podmínky pro tvorbu hydroxylových radikálů. V prvním zasakovacím intervalu (v období od 20.2. do 12.3.2006) byla kyselina infiltrována jednorázově, vždy před zahájením zásaku roztoku peroxidu. Tento způsob se však ukázal jako nedostatečný pro udržení optimálního pH mezi hodnotami 2 a 4,5 a z tohoto důvodu byla následně kyselina zasakována společně s roztokem činidla. V průběhu celé pilotní zkoušky bylo do vrtu KPQ-9A zasáknuto cca 100 litrů 15% HCl.

V průběhu pilotního testu byly měřeny koncentrace PCE, TCE, cis-1,2-DCE, VCE, methanu, ethanu, ethenu, Cl^- , Fe, vybraných toxických kovů včetně Cr^{6+} , pH, ORP, konduktivita, teplota a tlak. V průběhu oxidace v oblasti zásaku panovaly velmi dobré oxidační podmínky, došlo ke zvýšení ORP z 210 mV až na hodnoty 500 až 600 mV. Měření hodnot pH v aplikačním vrtu KPQ-9A ukázalo, že se v průběhu infiltrace 10% roztoku peroxidu dařilo pH udržovat ve vhodném rozmezí od 1,84 do 3,29. V případě konduktivity bylo možné pozorovat mírný pokles ve všech objektech způsobený pravděpodobně vyčerpáním železa a ostatních dvojmocných kovů. V závěru monitoringu pilotního pokusu byla konduktivita podzemních vod ve vrtu KPQ-9A mírně vyšší než před aplikací, což zřejmě souvisí s aplikací kyseliny do tohoto vrtu. Měření teplot nepotvrdilo obavy z možného extrémního exotermního průběhu Fentonovy reakce. Maximální teploty podzemní vody bylo dosaženo posledního dne aplikace $29,2^\circ\text{C}$, teplota vzrůstala pozvolně.

Výsledky dosažené při pilotním testu ISCO s Fentonovým činidlem v okolí vrtu KPQ-9A v areálu KARA Trutnov jednoznačně potvrdily vysokou účinnost aplikované metody (prakticky až 100 %) k sanaci kontaminované saturované zóny a k destrukci přítomného znečištění tvořeného CIU.

Významným faktorem podmiňujícím účinnost fentonova činidla je kontinuální úprava pH zvodně průběžným dávkováním 15% HCl (od poloviny testu technicky řešeno nádržkou s HCl odkapávající do vrtu, výsledky viz. graf vývoje koncentrací CIU). Aplikační vrt nesmí být vystrojen ocelovou výstrojí z důvodu prudké exotermické reakce Fentonova činidla s ocelovou výstrojí vrtu ! Účinnost metody omezuje nehomogenita horninového prostředí (střídání vrstev jílovců, prachovců a pískovců), kde propustnějšími zónami snadno migrují roztoky oxidačního činidla, zatímco polohy o nízké propustnosti mohou zůstat kontaminovány. V porovnání s náklady na ISCO manganistanem draselným je použití Fentonova činidla na lokalitě KARA Trutnov přibližně 2x dražší. Z tohoto důvodu probíhala provozní aplikace v ohnisku u vrtu KPQ-9A pomocí roztoku manganistanu draselného, který byl pilotně otestován v prostoru vrtu KPQ-7 (viz níže)

Vývoj koncentrací CIU - CHOST peroxid



Lokalita	
Název lokality	KARA TRUTNOV okolí vrtu KPQ-7
Kolektor – průměrný k_f	$4,04 \cdot 10^{-7}$ m/s
Kolektor – báze, hladina p.v. (m p.t.)	báze 8,0 m p.t., hladina p. v. 2,3 – 2,4 m p. t.
Kolektor – hornina	Fluviální balvanité štěrkopísky – kvartérní nívní sediment řeky Úpy do 3,0 m, dále střídání permských lavicovitých arkózových pískovců, prachovců a jílovců, střídání písčitých a jílovitých poloh s kompaktnější horninou patrné do hloubky cca 8 m, pak následuje pevné skladní podloží. Efektivní pórovitost hornin $n_s = 0,127$.
Historie sanace	sanováno od 2000 metodou „pump and treat“ – čerpání vod do aerátoru, odsazení CIU na filtrech s AU.
Kontaminace NAPL	Pravděpodobně ne, pokud ano, tak v hlubších partiích horninového prostředí.
Dominantní polutanty + jejich průměrné koncentrace v ohnisku	PCE, TCE, cis-1,2-DCE, po ukončení provozní aplikace pozorován rebounding efekt, nárůst koncentrací na původní hodnoty, polutanty v hlubších partiích hornin. prostředí. Vlivem aplikace ISCO mobilizace Cr^{3+} na Cr^{6+} ze sedimentů staré kanalizace, která nebyla předem známa. PCE 1300 ug/l, TCE 190 ug/l, cis-1,2-DCE 510 ug/l kontaminace sumy CIU více než 500 ug/l na ploše cca 600 m ²
Bilance dominantních polutantů před aplikací (pokud existovala)	
Chemismus podzemní vody – specifika	pH 7 - 7,5 celková mineralizace do 1 g/l
Aplikace ISCO	
Činidla vyřazená jako neúčinná při lab. testech	
Činidlo	KMnO ₄
Laboratorně zjištěná NOD/SOD	NOD 3,85 g.kg-1 frakce nad 8 mm spotřeba 6 g.kg ⁻¹ frakce pod 1 mm spotřeba 11 g.kg ⁻¹ spotřeba na kg horniny a l vody 4,12 g
Měřítka	pilotní a provozní

Příprava injektážního pole	zasakovací zk., stopovací zkouška - stopovací látka fluorescein disodná sůl
Datum aplikace	pilotní test 11.10.2005 – 4.11.2005, provozní aplikace 2008
Množství aplikovaného činidla (kg)	pilotní test 420 kg, koncentrace 20 g/l provoz 10,5 t – 20 g/l
Oblast ovlivněná činidlem	cca 350 m ³
Foto z lokality	
Kontaktní údaje	Mgr. Ondřej Stískal, ekora@ekora.cz Ing. Lenka Wimmerová, wimmerova@dekonta.cz

Pilotní test ISCO manganistanem draselným:

Příprava roztoku v přípravné nádrži o objemu 1 m³ (IBC kontejner), přečerpání sudovým čerpadlem do aplikační nádrže o objemu 1 m³, gravitační aplikace roztoku KMnO₄ o koncentraci 20 g/l do vrtu KPQ-7, pozorovací objekty ME-1 a ME-2. Ve směru proudění podzemní vody zjištěna max. postupová rychlost oxidačního činidla 0,85 m/den, cca 3x nižší než u fluoresceinu při stopovací zkoušce. V průběhu pilotního testu měřena koncentrace PCE, TCE, cis-1,2-DCE, VCE, methanu, ethanu, ethenu, KMnO₄, Cl⁻, K⁺, Mn, Fe, vybraných toxických kovů včetně Cr⁶⁺, pH, ORP, konduktivita.

V průběhu pokusu prokazatelně došlo k odstranění kontaminace chlorovanými ethyleny při oxidaci roztokem manganistanu draselného, koncentrace CIU poklesly pod detekční limity stanovení. Koncentrace CIU opět narůstaly několik týdnů po ukončení aplikace oxidačního činidla do zvodně na hodnoty cca o 69 % nižší než byl výchozí stav. To svědčí o několikanásobně větším rozsahu ohniska kontaminace, než bylo předpokládáno. Vzhledem k vysokým obsahům PCE a Cr zjištěným v průběhu monitoringu v odpadních vodách kanalizace z budovy F (výroba firmy Czech furs, s.r.o.), nebylo možné vyloučit ani vliv recentní dotace polutantů, která mohla negativně zkreslit výsledky pilotního pokusu ISCO. Úspěšnost oxidace dokládají také o cca 20 až 30 mg.l⁻¹ zvýšené koncentrace chloridů z destruovaných chlorovaných uhlovodíků v podzemních vodách zjištěné po aplikaci oxidačního činidla v ohnisku. Po 26 dnech od ukončení aplikace poklesla koncentrace KMnO₄ z 20 g.l⁻¹ na koncentraci nižší než 1 g.l⁻¹.

Dále bylo zjištěno, že nemůže dojít k ohrožení povrchových vodních toků, protože rychlost šíření manganistanu v ohnisku byla v prvním týdnu jen $0,85 \text{ m.den}^{-1}$ a dále během pokusu stále klesala, oxidační činidlo tak proniklo do vzdálenosti pouze cca 8 - 12 m ve směru proudění podzemní vody, v jiných směrech pouze cca 3 - 5 m. Místo realizace pilotního pokusu ISCO se přitom nachází více než 130 m od řeky Úpy a podzemní vody nejsou drénovány k Úpě, ale proudí do rozsáhlé deprese na hladině podzemní vody způsobené nepřetržitým sanačním čerpáním v hlavním ohnisku kontaminace na lokalitě KARA Trutnov. Pro provozní aplikaci ISCO s použitím manganistanu draselného jako oxidačního činidla je nutné za daných podmínek uvažovat maximální vzdálenost dosahu účinné oxidace CIU ve zvodni pouze cca 10 m od aplikačního vrtu. Pro provozní aplikaci ISCO s použitím manganistanu draselného bylo navrženo rozčlenit aplikaci oxidačního činidla do několika nejvýše 30 denních cyklů, aby bylo minimalizováno vytlačení kontaminovaných vod masou zasakovaného oxidačního činidla mimo ohnisko kontaminace.

Při provozní aplikaci v roce 2008 bylo v ohnisku kontaminace podzemních vod chlorovanými etheny u budovy F v areálu KARA Trutnov vybudováno 5 nových aplikačních vrtů (3 ks šikmé pod budovu F) a 4 vrty chemické bariéry ve směru proudění podzemních vod z ohniska. Ve vrtných jádrech nebyly zastiženy zvýšené koncentrace chromu. Podzemní vody na vrtech chem. bariéry byly monitorovány na obsah Cr celk. a Cr^{6+} z důvodu výskytu zvýšených koncentrací Cr^{6+} při pilotním testu aplikace roztoku KMnO_4 do vrtu KPQ-7, v případě opakování situace bylo připraveno na chem. bariéře provedení in-situ chemické redukce roztokem dithioničitanu sodného s přidavkem hydrogenuhličitanu draselného a uhličitanu draselného. Při provozní aplikaci bylo gravitačně aplikováno 525 m³ roztoku KMnO_4 o koncentraci 20 g/l, tedy 10,5 tuny KMnO_4 . Zcela odstraněna byla kontaminace CIU v tomto dílčím ohnisku mimo nejbližší okolí vrtu KPQ-7, kde je horninové prostředí nejméně propustné. Zde došlo po 6 měsících od ukončení aplikace opět k reboundingu. Navrženo je významné zahuštění sítě sanačních vrtů v tomto omezeném prostoru a aplikace 130 °C horké páry do zvodně a následné čerpání vod do aerátoru a separace CIU na filtrech s aktivním uhlím, neboť v nejbližším okolí vrtu KPQ-7 opět došlo při aplikaci ISCO k nárůstu koncentrací Cr^{6+} , ačkoliv trasa historické kanalizace obsahující chromem nabohacený sediment dosud nebyla nalezena.

Provozní aplikace ISCO v ohnisku kontaminace podzemních vod CIU v okolí vrtu KPQ-7 v areálu KARA Trutnov lze hodnotit jako velmi úspěšnou, významnými faktory omezujícími její použití a účinnost byly zejména přítomnost kontaminace horninového prostředí Cr^{3+} v části ohniska kontaminace vod CIU a nehomogenita horninového prostředí (střídání vrstev jílovců, prachovců a pískovců), kde propustnějšími zónami snadno migrují roztoky oxidačního činidla, zatímco polohy o nízké propustnosti zůstávají kontaminovány.

FARMAK a.s. - Olomouc

Lokalita	
Název lokality	Farmak Olomouc
Kolektor – průměrný k_f	$2,2 \times 10^{-4} - 1,4 \times 10^{-3}$ m/s
Kolektor – báze, hladina p.v. (m p.t.)	7 - 9 m p.t., 2 - 4 m p.t. (neovlivněná)
Kolektor – hornina	kvarterní fluvialní písčité šterky
Historie sanace	podzemní těsnicí stěna a ochranné sanační čerpání (od 1986 do 1997), sanační čerpání + venting (od 2007)
Kontaminace NAPL	ano, místně – LNAPL ve složení toluen (70 %) + chlorbenzen (30 %), max. 0,5 m vrstva, nebilancováno.
Dominantní polutanty + jejich průměrné koncentrace v ohnisku	toluen – stovky mg/l chlorbenzen - desítky až stovky mg/l LNAPL
Bilance dominantních polutantů před aplikací (pokud existovala)	-
Chemismus podzemní vody – specifika	amonné ionty (desítky mg/l), chloridy a sírany (stovky až tisíce mg/l), další BTEX a chlor. etheny (jednotky mg/l)
Aplikace ISCO	
Činidla vyřazená jako neúčinná při lab. testech	KMnO ₄ , NZVI
Činidlo	H ₂ O ₂ (MFR), Na ₂ S ₂ O ₈
Laboratorně zjištěná NOD/SOD	14 g H ₂ O ₂ /kg zeminy (Fentonovo č.); 20 g Na ₂ S ₂ O ₈ /kg zeminy (peroxodisíran)
Měřítka	pilotní
Příprava injektážního pole	nálevová zkouška; karotáž
Datum aplikace	Fentonovo činidlo: vrt SM-18 1. etapa: 11.12.2008 – 14.12.2008, 2. etapa: 3.2.2009 – 5.2.2009, (vrt AT-107: jednorázově 6.2.2009, peroxodisíran sodný: vrt AT-107 1. etapa: 17.3.2009, 2. etapa: 31.3.2009)
U H ₂ O ₂ a Na ₂ S ₂ O ₈ – způsob katalýzy	FeSO ₄ .7H ₂ O s kyselinou citrónovou
Množství aplikovaného činidla (kg)	peroxid vodíku: vrt SM-18: 663 kg (100% H ₂ O ₂) (vrt AT-107: 37 kg (100% H ₂ O ₂)) peroxodisíran sodný: vrt AT-107: 50 kg)
Oblast ovlivněná činidlem	SM-18: 42 m ³ , ostatní nebilancováno
U H ₂ O ₂ a Na ₂ S ₂ O ₈ – množství aplikovaného katalyzátoru (kg)	peroxid vodíku: vrt SM-18 : 28,9 kg FeSO ₄ .7H ₂ O, 4,8 kg kyseliny citrónové (vrt AT-107: 1,62 kg FeSO ₄ .7H ₂ O, 0,27 kg kyseliny citrónové) peroxodisíran sodný: vrt AT-107: 3 kg FeSO ₄ .7H ₂ O, 3 kg kyseliny citrónové)

Foto z lokality



Pohled na aplikační vrt SM-18 a monitorovací vrt SM-42, SM-44 a SM-45

Kontaktní údaje RNDr. Hana Koppová, olomouc@aquatest.cz

CHARAKTERISTIKA LOKALITY

Areál společnosti Farmak se nachází na severním okraji města Olomouce a je využíván pro chemickou a farmaceutickou výrobu od roku 1934. Na severu a východě sousedí areál se zemědělskými pozemky, za nimiž je situováno jímací území Černovír. Východní hranice areálu je rovněž hranicí pásma hygienické ochrany 2. stupně tohoto vodního zdroje. Na jihozápadním okraji Farmak sousedí s objekty obytné zóny, za níž protéká řeka Morava (cca 500 m od areálu). Lokalita je součástí CHOPAV Kvartér řeky Moravy. Znečištění je vázáno na kvartérní hydrogeologický kolektor tvořený vrstvou fluvialních písčitých štěrků. Báze kolektoru se pohybuje cca 10 m.p.t. a hladina podzemní vody okolo 5 m.p.t. Zvodeň lze charakterizovat jako freatickou s přímou vazbou na hladinu řeky Moravy. Koryto řeky Moravy má v širší oblasti po většinu roku drenážní funkci, pouze za vyšších stavů hladiny v řece (jarní měsíce) dochází k lokální dotaci kolektoru. Koeficient filtrace se pohybuje řádově v $n \cdot 10^{-4}$ až $n \cdot 10^{-3} \text{ m.s}^{-1}$. Hydrogeologické poměry na lokalitě jsou ovlivněny vybudovanou podzemní těsnicí stěnou s tím, že směrem k řece Moravě je tato stěna otevřena. Jejím účelem je zabránit pronikání kontaminované podzemní vody z prostoru areálu směrem k jímacímu území Černovír.

Podzemní voda kvartérního kolektoru je masivně znečištěna především toluenem a chlorbenzenem, v relativně menší míře amonnými ionty, benzenem, chlorovanými ethyleny, krezoly a místně také methanolem a isopropanolem. Výskyt LNAPL je na lokalitě spíše ojedinělý.

Práce na lokalitě byly zahájeny v roce 2007 a spočívaly v sanaci kontaminovaných stavebních objektů. Jejich náplní byla demolice objektů (základů budov, podzemních jímek a chemické kanalizace) a odtěžba kontaminovaných zemin nesaturované zóny. Po ukončení těchto prací bylo postupně zahájeno sanační čerpání kontaminovaných podzemních vod včetně LNAPL a venting. Vyčerpaná podzemní voda je čištěna stripováním a částečně zpětně zasakována do horninového prostředí pomocí zasakovacích vrtů ($3,8 \text{ l.s}^{-1}$), částečně je vypouštěna do řeky Moravy ($3,5 \text{ l.s}^{-1}$). Sanační čerpání s následným stripováním představuje prozatím stěžejní sanační metodu na lokalitě.

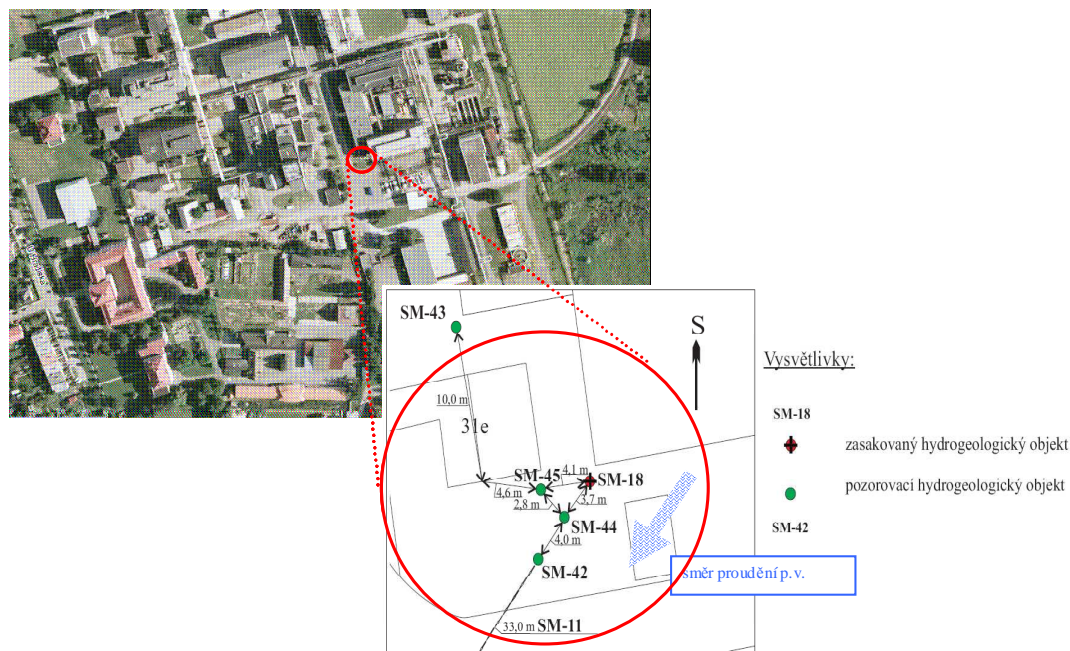
APLIKACE METODY ISCO

Laboratorní testy

Před pilotním testem byla pro lokalitu laboratorně otestována tři oxidační činidla a jedno reduktivní. Z testovaných oxidačních činidel nepřinesl pozitivní výsledky manganistan draselný, který nedokázal odstranit chlorbenzen a benzen. Laboratorní testy rovněž vyloučily použití NZVI z důvodu nízké účinnosti na prioritní polutanty. Stoprocentní účinnost při odbourávání vykazovaly peroxodisíran sodný ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_8$) a peroxid vodíku (H_2O_2). Úspěšně bylo otestováno klasické i modifikované uspořádání Fentonovy reakce. Nevýhodou peroxodisíranu sodného byla tvorba meziproduktů (např. chlorethanu, chlor- a brommethanu, a to řádově až v desítkách mg/l).

Přípravné práce pro pilotní zkoušku

Pro pilotní test MFR byla původně zamýšlená jiná oblast na lokalitě, ve které však došlo k nečekanému úbytku kontaminace, proto bylo na poslední chvíli vybráno jiné místo na lokalitě. Před pilotním testem bylo provedeno karotážní měření a nálevová zkouška v budoucím aplikačním vrtu. Bezprostředně po ní se objevila LNAPL ve třech vrtech. Z tohoto důvodu byl plánovaný začátek pilotního testu posunut, a probíhalo odčerpání LNAPL. Celkem bylo odčerpáno a odebráno 299,7 volné fáze směsi polutantů. Ačkoliv je v takových případech doporučováno kompletní odstranění LNAPL a až poté aplikace FČ, pilotního test byl zahájen, aniž by tohoto ideálního stavu bylo dosaženo. A to zejména vzhledem k tomu, že pravděpodobnost setkání LNAPL se zasakovaným FČ by na lokalitě v případě plnoprovozního sanačního využití FČ byla poměrně vysoká a bylo proto vhodné ji otestovat v menším měřítku. Kontakt LNAPL s FČ byl také před zahájením pilotního testu otestován laboratorně. Druhá nálevová zkouška byla provedena po ukončení pilotního testu pro zjištění případné kolmatace výstroje vrtu nebo zanesení horninového prostředí železitým sedimentem (nebylo prokázáno).



Obr.: Situace na lokalitě pro aplikaci Fentonova činidla

Pilotní zkouška

Pilotní zkouška zahrnovala hlavně aplikaci Fentonova činidla (663 kg H₂O₂) do vrtu SM-18. Kromě toho byla otestována aplikace řádově menších dávek Fentonova činidla (37 kg H₂O₂) a později peroxodisíranu sodného (50 kg) do vrtu AT-107. Roztok katalyzátorů a oxidačních činidel byl infiltrován do vrtu gravitačně, a to současně, pod hladinu podzemní vody. Dávka oxidačního činidla byla zasakována při průtoku 0,2 l/s a dávky roztoku katalyzátorů byly zasakovány při průtoku 0,0025 l/s. Během obou etap docházelo k zasakování 5%, 7,5% a 10 % peroxidu vodíku (8 700 l - 5%, 2 500 l – 7,5%, 400 l roztoku – ve formě 10% roztoku). Zhlaví vrtů aplikačního a třech nejbližších, které byly ve směru proudění, bylo napojeno na venting, odsávaný půdní vzduch byl čištěn ve filtru s aktivním uhlím.

Monitoring pilotní zkoušky

- provozní parametry zásaku (hladina p.v. + mocnost vrstvy LNAPL, časové záznamy, zasáknuté objemy a chod ventingu)
- kontinuální měření teploty a hladiny v aplikačním vrtu pomocí sondy s výstupem na monitor a současným ukládáním dat (podle vývoje teploty bylo řízeno dávkování roztoků FČ)
- kontinuální měření pH a Eh ve dvou vrtech pomocí sond s dataloggery (SM-42 a SM-45)
- odběry vzorků podzemních vod a stanovení obsahu TOL, TK a případných meziproductů oxidace s vysokou četností a dobou monitoringu 2 měsíce po ukončení
- v menší míře byly odebrány vzorky pro stanovení anorganických ukazatelů v rozsahu ÚCHR a pro testy ekotoxicity.
- odběry vzorků podzemní vody ze dvou nejbližších pozorovacích vrtů a stanovení koncentrace H₂O₂ pomocí přenosné titrační aparatury
- ruční měření fyzikálně chemických parametrů podzemní vody (teplota, pH, Eh, vodivost, rozp. O₂)
- měření složení půdního vzduchu (CO₂, O₂, CH₄, PID, T.P.) přístrojem Ecoprobe

Rozsah monitoringu pilotní zkoušky

počet monitorovaných vrtů	6 – podzemní voda / 4 - půdní vzduch
počet vzorků TOL / TK / meziproducty	102 (17 na vrt)
počet odměrů půdního vzduchu (Ecoprobe)	96 (24 na vrt)

Závěry

Dosah účinnosti aplikovaného Fentonova činidla je odhadován na cca 4,0 m od aplikačního vrtu ve směru proudění podzemní vody. Pokles koncentrací polutantů byl ovlivněn přítomností LNAPL, ale i velkým množstvím čisté vody, které bylo potřeba na ředění výchozího 35% H₂O₂.

Srovnání obsahů hlavních polutantů před a po zkoušce aplikace Fentonova činidla

Objekt	Před zkouškou aplikace FČ (11.12.2008)				Po zkoušce aplikace FČ (12.5.2009)			
	toluen	chlorbenzen	benzen	krezoxy	toluen	chlorbenzen	benzen	krezoxy
	µg/l				µg/l			
SM-11	0,4	162	3,2	1,6	2,6	17,7	1	< 0,1
SM-18	242 000	96 500	611	1 950	11 100	39 000	410	230
SM-42	52 000	32 100	260	477	21 200	14 700	632	930
SM-44	314 000	113 000	707	2 610	15 400	9 400	74,5	65,3
SM-45	362 000	135 000	707	2 820	37 300	25 600	125	322

Bilanční výpočty jsou zatíženy vysokou mírou nejistoty z důvodu přítomnosti neznámého množství volné fáze polutantů před pilotní zkouškou. Množství odstraněných polutantů bylo bilancováno dvěma způsoby. První výpočet byl proveden na základě nárůstu koncentrací CO₂ ve vzdušnině odčerpávané v průběhu zkoušky a předpokladu, že jeho dominantním původcem jsou molekuly cílových polutantů (toluen a chlorbenzen). V odsávané vzdušnině byl současně sledován celkový obsah organických látek, který byl po odečtení methanu použit pro výpočet polutantů odstraněných ventingem.

Výsledky bilančních výpočtů

Období	toluen _{ox.}	toluen _{vent.}	toluen celk.	chlorbenzen _{ox.}	chlorbenzen _{vent.}	chlorbenzen celkem
	kg					
1.etapa	10,30	26,40	36,70	7,72	15,76	23,48
2.etapa	3,28	9,59	12,87	2,46	5,73	8,19
celkem	13,58	35,99	49,57	10,18	21,49	31,67

Terénní zkouška in-situ chemické oxidace prokázala technologickou proveditelnost sanace na lokalitě, a to i v místech s výskytem volné fáze směsi polutantů na hladině podzemní vody. Byl ověřen významný pokles hlavních polutantů (toluen a chlorbenzen) a byly odstraněny zbytky volné fáze v okolí aplikačního vrtu SM-18. Monitoring těžkých kovů neprokázal trvalý významný nárůst jejich koncentrací. Přínosem byl venting, jenž sloužil jako bezpečnostní prvek a zároveň intenzivně podporoval odstraňování kontaminace ve formě par.

Pilotní aplikace peroxodisíranu potvrdila tvorbu meziproductů a o dalším využití tohoto oxidačního činidla není na lokalitě uvažováno.

LUČEBNÍ ZÁVODY KOLÍN a.s.

Tabulka k lokalitám s aplikací ISCO – přílohová část Metodické příručky MŽP

Lokalita	
Název lokality	Lučební závody Kolín a.s.
Kolektor – průměrný k_f	Svrchní křída – cenoman, 1×10^{-4} m/s
Kolektor – báze, hladina p.v. (m p.t.)	Báze cca 25 m, hladina p.v. cca 7,5 m
Kolektor – hornina	cenomanské pískovce
Historie sanace	sanováno od 1984, hlavní metodou sanace saturované zóny je sanační čerpání
Kontaminace NAPL	ANO
Dominantní polutanty + jejich průměrné koncentrace v ohnisku	Chlorbenzen, cca 300 $\mu\text{g/l}$
Bilance dominantních polutantů před aplikací (pokud existovala)	-
Chemismus podzemní vody – specifika	SO_4^{2-} (354 mg/l), vápník (435 mg/l)
Aplikace ISCO	
Činidla vyřazená jako neúčinná při lab. testech	-
Činidlo	H_2O_2 – Fentonovo činidlo
Laboratorně zjištěná NOD/SOD	NOD (800 ml/kg suš.)
Měřítka	Pilotní pokus
Příprava injektážního pole	-
Datum aplikace	9 – 11 / 2008
U H_2O_2 a $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_8$ – způsob katalýzy	$\text{H}_2\text{O}_2 + \text{Fe}^{3+} \rightarrow \text{Fe}^{3+} + \cdot\text{OH} + \text{OH}^-$
Množství aplikovaného činidla (kg)	2460 kg H_2O_2
Oblast ovlivněná činidlem	170 m ³
U H_2O_2 a $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_8$ – množství aplikovaného katalyzátoru (kg)	4 kg
Foto z lokality	
Kontaktní údaje	Mgr Petr Hosnédl (hosnedl@rmtvz.cz), Ing. Petra Otmarová (otmarova@rmtvz.cz)

Cílem pilotního pokusu bylo ověření možnosti dočištění zbytkové kontaminace podzemní vody v prostoru vrtu L-13N chlorbenzenem metodou ISCO s využitím Fentonova činidla. Pilotní pokus ISCO byl provedena na dvou hydrogeologických objektech, a to na vrtu L28, kde byly ověřovány manipulační techniky, a dále pak vlastní pilotní pokus na vrtu L13N.

Před vlastním zahájením aplikace ISCO byly provedeny níže popsání práce.

- Provedení podrobné literární rešerše
- Odběr vzorků zemin pro laboratorní testy
- Provedení laboratorních testů za účelem výběru vhodné metody ISCO a nastavení dávkování oxidantu

- Získání povolení výjimky pro použití závadné látky dle § 39 zákona č. 254/2001 Sb., o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon), v platném znění, nutné pro realizaci pilotního pokusu metody in situ chemické oxidace (ISCO).

V rámci laboratorních testů bylo provedeno ověření možnosti aplikace metody ISCO s použitím peroxidu vodíku a dvojmocného železa alias Fentonova činidla. V rámci přípravných prací byly stanoveny základní parametry potřebné pro upřesnění vlastností zeminy a následně pro přípravu oxidačního činidla. Mj. byl stanoven celkový obsah organického uhlíku (TOC), stanovena spotřeba oxidačního činidla na jednotkovou hmotnost zeminy (NOD) a stanovena kinetika úbytku oxidačního činidla při jeho kontaktu se zeminou.

Vlastní pilotní pokus byl rozdělen do několika etap. Jednotlivé etapy byly voleny dle uvážení a jejich interval se pohyboval v rozmezí 6 – 10 dnů zasakování. Zasakování činidel bylo prováděno gravitačně, pod neustálým dozorem. V průběhu celého pilotního pokusu byl sledován vývoj teploty podzemní vody v vrtu za pomoci teplotních sond se stanicí pro nepřetržitý záznam dat, a to ve třech hloubkových úrovních. Dále byla tlakovou sondou sledována i úroveň hladiny podzemní vody. Díky tomuto zařízení tak mohl být průběžně korigován průběh celé reakce. Odběr provozních vzorků a měření základních fyzikálně chemických parametrů byl proveden vždy po ukončení každé z pěti etap zasakování a následně i po ukončení pilotního pokusu. Jednotlivá kola monitoringu po ukončení pilotního pokusu byla provedena v intervalech 7, 9, 14 a 30 dnů a následně v měsíčním intervalu do března 2009. Za pomoci měřicí techniky Gryf Magic XBM (kombinované multifunkční sondy) byly in situ sledovány profily v oblasti pH, teploty, vodivosti a oxidačně-redukčního potenciálu. Monitorovanými objekty byl jednak vlastní aplikační vrt L13N, dále pak nejbližší monitorovací vrt (vzdálený 6 m od aplikačního vrtu) a ostatní blízké monitorovací vrty (v počtu 6). Ze získaných hodnot lze konstatovat, že z hlediska vývoje pH se u všech měření prokázala silná pufrací schopnost zeminy, tedy rychlá návratnost do neutrálních hodnot již po jednodenní přestávce. Stejně tak bylo možné pozorovat vývoj ORP, kde byla návratnost poněkud pomalejší, avšak po definitivním ukončení aplikace se vrátila na původní hodnoty. Značný výkyv byl zaznamenán u teplot, který dle očekávání byl nejintenzivnější, a též u vodivosti.

Z výsledků jednotlivých kol monitoringu bylo možné sledovat vývoj cílového kontaminantu (chlorbenzenu), případných ostatních kontaminantů a těžkých kovů. Přítomnost chlorbenzenu byla již po první etapě pilotního pokusu z velké části odstraněna. Následně byl chlorbenzen ještě detekován po druhé etapě, ovšem v daleko menším množství, a nadále se jeho obsahy pohybovaly na mezi detekce. Kontaminanty, které by mohly vznikat jako vedlejší produkt reakce v podobě di, tri chlorbenzenů nebyly detekovány. Z hlediska vývoje těžkých kovů, které v předaplikačním monitoringu nebyly téměř detekovány, došlo k mírnému nárůstu vlivem změny pH, a to především u zinku a mědi. Efekt „reboundingu“ byl pozorován po 7 měsících od ukončení pilotního pokusu, během kterých byly obsahy sledovaných kontaminantů na mezi detekce použité laboratorní metody (GC).

Uspořádání pilotního pokusu:

