

**Univerzita Karlova**  
**Přírodovědecká fakulta**  
**Ústav pro životní prostředí**

Studijní obor: Ekologie a ochrana prostředí

Studijní program: Ochrana životního prostředí



**Jakub Uhrin**

**Inovativní sanační metody v ČR**  
Innovative remediation methods in the Czech Republic

**Bakalářská práce**

Školitel: RNDr. Petra Innemanová, Ph. D.

Praha, 2024

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje a literaturu. Tato práce ani její podstatná část nebyla použita k získání jiného či stejného akademického titulu.

V Praze dne:

.....

Jakub Uhrin

**Poděkování:**

Chtěl bych poděkovat zejména mé školitelce RNDr. Petře Innemanové, Ph.D. za trpělivost, vstřícnost a rychlou komunikaci při psaní této bakalářské práce. Dále bych chtěl poděkovat RNDr. Ivaně Kopecké, Ph.D. z agentury CENIA, za zapůjčení sborníků z konferencí a za umožnění jejich naskenování.

Nakonec děkuji své rodině a přátelům, kteří se mnou měli v průběhu psaní této práce trpělivost.

## Abstrakt

Znečištění životního prostředí je celosvětový a velice závažný problém. Na území České republiky došlo po roce 1989 k privatizaci. Státem vlastněné průmyslové objekty přešly do soukromého vlastnictví a stejně tak i povinnost odstranění ekologických zátěží. V minulosti byl kladen jen malý důraz na udržitelnost a ochranu životního prostředí a tím vznikl pojem staré ekologické zátěže. Sanační metody jsou schopné odstranit i několik desítek let staré kontaminace a jejich vývoj jde neustále kupředu. Tato práce obsahuje výběr současně nejčastěji používaných sanačních metod v České republice a stručný popis jejich principu a využití. Jsou uvedeny příklady provozních anebo poloprovozních aplikací popisovaných sanačních metod. Primární pozornost je věnována inovativním sanačním metodám, které byly metodicky vytěženy ze sborníků konferencí Sanační technologie, Inovativní sanační technologie ve výzkumu a praxi a z recenzovaného časopisu Waste Forum. Inovativní sanační metody jsou pro potřeby této práce definovány jako sanační metody, které byly vyvinuty po roce 2000 a dosud nejsou součástí běžné komerční nabídky společností nabízejících sanační práce. V této práci jsou popsány principy vybraných inovativních sanačních metod a vysvětlen předmět samotné inovace konkrétní metody. Je zde uvedeno 12 inovativních sanačních metod, nalezených dle uvedené metodiky. V závěrečné kapitole výsledky a diskuse jsou tyto metody shrnuty, kriticky zhodnoceny a částečně vsazeny do světového kontextu. Budoucnost sanačních technologií spočívá v nalezení rovnováhy mezi účinností a efektivitou s ohledem na náklady a vliv samotného sanačního zásahu do životního prostředí. Je žádoucí vyvíjet další inovační metody a zlepšovat tak efektivitu stávajících sanačních metod.

## **Abstract**

Environmental pollution is a global and very serious problem. The Czech Republic was privatised after the year of 1989. State-owned industrial facilities were transferred to private ownership and so was the obligation to remove environmental burdens. In the past, little emphasis was placed on sustainability and protection of the environment, giving rise to the concept of old environmental burdens. Remediation methods are capable of removing decades-old contamination and their development is constantly moving forward. This paper contains a selection of most commonly used remediation methods in the Czech Republic and a brief description of their principles and applications. Examples of operational or semi-operational applications of described remediation methods are given. Main attention is paid to innovative remediation methods, which were methodologically extracted from recordings of conferences Remediation Technologies, Innovative Remediation Technologies in Research and Practice and from the peer-reviewed journal Waste Forum. Innovative remediation methods are defined for the purposes of this paper as remediation methods that were developed after year 2000 and are not yet part of the mainstream commercial offerings of companies offering remediation work. This work describes the principles of selected innovative remediation methods and explains the subject of innovation of the specific method itself. The 12 innovative remediation methods found according to the methodology are presented. In the final chapter, the results and discussion summarise, critically evaluate and partly place these methods in a global context. The future of remediation technologies lies in finding a balance between efficiency and effectiveness, taking into account the costs and impact of the remediation intervention on the environment. It is desirable to develop further innovations to improve the effectiveness of existing remediation methods.

**Klíčová slova:**

Inovace, sanace, inovativní sanační metody, technologie, výzkum, vývoj, testování, seznam

**Key words:**

Innovation, remediation, innovative remediation technologies, research, development, testing, list

# Obsah

1	Úvod.....	10
2	Stávající sanační metody.....	10
2.1	Sanační čerpání.....	11
2.2	Stripping.....	11
2.3	Venting.....	12
2.4	In situ chemická oxidace (ISCO).....	12
2.5	In situ chemická redukce za použití nulamocného železa.....	12
2.6	Termická desorpce.....	13
2.7	Vitrifikace.....	13
2.8	Bariéry.....	13
2.8.1	Nepropustné bariéry.....	14
2.8.2	Drenážní bariéry.....	14
2.8.3	Reakční bariéry.....	14
2.9	Bioremediace.....	15
2.9.1	Bioventing.....	16
2.9.2	Kompostování.....	16
2.9.3	Umělé mokřady.....	16
2.9.4	Fytoremediace a rhizoremediace.....	17
3	Inovativní sanační metody.....	17
3.1	Reduktivní dehalogenace za použití slitiny hliníku a niklu jako redukčního činidla....	18
3.2	Reduktivní dechlorace podpořená stejnosměrným proudem.....	18
3.3	ISCO – kombinace činidel MFČ a PDS.....	18
3.4	Heterogenní fotokatalýza pro odstranění léčiv.....	19
3.5	Pasivní skimer.....	19
3.6	Technologie SNIP.....	19
3.7	Technologie BČOV.....	20

3.8	Elektrogeochemická obnova funkce reduktivních reakčních bariér .....	20
3.9	Tepelně podporovaná anaerobní bioremediace .....	21
3.10	Nanomateriál CeO <sub>2</sub> pro odstranění chlorovaných pesticidů .....	22
3.11	Technologie MNB Ozone.....	22
3.12	Mikrovlnná termická desorpce .....	23
4	Metodika vyhledávání .....	23
4.1	Sborníky z konferencí .....	23
4.2	WASTE FORUM .....	24
4.3	Systém SEKM.....	24
5	Výsledky a diskuse.....	24
	Seznam literatury.....	29
6	Přílohová část .....	34



## Seznam použitých zkratek

ISCO	- in situ chemická oxidace
TOL	- těkavé organické látky
BTEX	- monoaromatické uhlovodíky benzenové skupiny
nZVI	- nanočástice nulamocného železa
nCeO <sub>2</sub>	- nanočástice oxidu ceričitého
SEKM	- systém evidence kontaminovaných míst
CENIA	- centrální agentura životního prostředí
FRTR	- Federal Remediation Technologies Roundtable
PCB	- polychlorované bifenyly
PAU	- polycyklické aromatické uhlovodíky
POPs	- persistentní organické polutanty
MFČ	- modifikované fentonovo činidlo
PDS	- peroxodisíran sodný (Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>8</sub> )
ČOV	- čistírna odpadních vod
BČOV	- pokročilé bioreaktory pro čištění odpadních vod
SNIP	- systém nízkonákladové stimulace aerobních bioremediačních procesů
HCH	- hexachlorcyklohexan
HCB	- hexachlorbenzen
TCE	- trichlorethylen

# 1 Úvod

Tato práce se věnuje sanačním metodám používaným v České republice, se zvláštním zřetelem na sanační metody inovativní. V práci jsou uvedeny příklady sanačních metod, které jsou v současnosti již používány a jejich funkce je ověřena. Zvláště je práce zaměřena na metody, které jsou ve stádiu výzkumu, případně na metody, u kterých probíhají provozní testy. Úkolem této práce je seznámit čtenáře se stávajícími metodami a také kriticky zhodnotit metody, u kterých není zcela ověřena jejich účinnost nebo efektivita. Sanační metody jsou využívány zejména na místech staré ekologické zátěže. Starou ekologickou zátěží rozumíme lokalitu, která byla znečištěná průmyslovým provozem v době před privatizací a znečištění na této lokalitě přetrvává. V současnosti je evidováno více než 16 tisíc kontaminovaných lokalit (Ministerstvo životního prostředí 2024). Nejzávažnější lokality, jsou lokality znečištěné látkami, které jsou již při nízkých koncentracích toxické, mutagenní či karcinogenní. V takových případech roste snaha o odstranění znečištění, a to co možná nejefektivněji a nejšetrněji k životnímu prostředí. Pro úspěšné odstranění kontaminantů z prostředí je důležitá volba správné sanační metody případně kombinace sanačních metod. Jako nejspolehlivější metody se jeví metody fyzikální a chemické, které jsou na druhou stranu značně nákladné a na některých lokalitách neproveditelné z technologických důvodů. Alternativou jsou sanační metody biologické, kde dochází k zapojení zejména mikroorganismů. Při srovnání s metodami fyzikálně-chemickými jsou metody biologické levnější a šetrnější k životnímu prostředí, současně bývají často méně spolehlivé. Inovativní metody nabízejí nové technologie, které mohou nejen zlepšit efektivitu nebo být šetrnější k životnímu prostředí, ale také mohou umožnit dekontaminaci na lokalitách, kde to dosud nebylo možné (Slouka, Beneš 2016). Práce vznikla v rámci řešení projektu SS02030008 – Centrum environmentálního výzkumu: Odpadové a oběhové hospodářství a environmentální bezpečnost (2021-2026), koordinovaném agenturou CENIA.

## 2 Stávající sanační metody

Stávající metody, jsou metody, které se běžně používají při dekontaminaci prostředí. Metody, u kterých existují záznamy o jejich provozních aplikacích a jsou součástí běžné komerční nabídky sanačních společností. Od metod inovativních jsou metody stávající dále odlišeny dobou své existence. Metody inovativní definuji, jako metody vyvinuté nejpozději před v roce 2000. Existuje několik druhů stávajících sanačních technologií. Všechny sanační technologie jsou závislé na aktivním zásahu člověka. Jedinou výjimkou je metoda přirozené atenuace, kdy dochází pouze k monitorování přirozených procesů v kontaminovaném prostředí. Kontaminovaná matrice je při

sanaci vystavována vlivu chemických činidel, fyzikálním vlivům nebo vlivům biologických agens. Zvláštním způsobem je podpora již přítomných mikroorganismů tzv. biostimulace. Obecně jsou metody se zapojením biologické složky nazývány bioremediace. S ohledem na místo provedení se metody dělí na metody in situ a ex situ. Do kategorie in situ řadíme technologie prováděné přímo v místě znečištění a do kategorie ex situ patří technologie prováděné po odtěžení znečištěné matrice mimo místo znečištění. Dále se objevuje také anglický termín on site, který znamená, že je kontaminovaná matrice odtěžena, ale její sanace probíhá na lokaci kontaminace. Níže jsou uvedeny popisy principů vybraných stávajících sanačních metod.

## 2.1 Sanační čerpání

Sanační čerpání je označení pro řadu kombinací metod, které spočívají v odčerpávání kontaminovaných kapalin z prostředí kontaminace a v jejich následném čištění. Čištění probíhá například adsorpcí na aktivním uhlí, filtrací nebo strippingem vzduchem. Tato metoda je využitelná pro volné těkavé látky, jako jsou například ropné látky (Huang, Shang 2007). Sanační čerpání zařazujeme mezi in situ technologie, zatímco technologie používané při čištění odčerpané kapaliny se řadí do kategorie ex situ případně on site. Samotné sanační čerpání je nejstarší a nejzákladnější sanační metoda pro odstranění nežádoucích látek. Používala se například při hloubení studní, kdy byly ze studny odčerpávány nežádoucí a cizorodé látky, které se do studny dostali při hloubení nebo při povodních. Pro úspěch této metody je důležité znát hydrogeologické poměry kontaminované lokality a parametry saturované zóny, pro výpočet snížení hladiny podzemní vody při určité intenzitě čerpání. Dále je žádoucí znát rozsah a povahu kontaminujícího mraku v podzemní vodě. Deprese podzemní vody v důsledku sanačního čerpání musí pokrýt celou šířku kontaminujícího mraku ve směru proudění podzemní vody, aby bylo zamezeno nekontrolovatelnému odtoku kontaminované vody (Matějů et al. 2006).

## 2.2 Stripping

Principem této technologie je přechod těkavých látek z kapalně fáze do fáze plynné. Přechod je podporován zvýšením plochy kontaktu kapalina – plyn, a to například rozstříkáváním kapaliny nebo probubláváním plynu v kapalině. Kapalinou je nejčastěji znečištěná voda a plynem je vzduch. Filtrací vzduchu je možné kontaminanty nakonec úplně separovat (Matějů et al. 2006). Metoda je použitelná pro separaci anorganických (radon, sulfan, amoniak) nebo organických těkavých či částečně těkavých látek. Obecně organické látky s hodnotou Henryho konstanty větší než  $0,1 \text{ kPa}\cdot\text{m}^3\cdot\text{mol}^{-1}$  jsou odstranitelné touto metodou (FRTR 2024).

### 2.3 Venting

Jedná se o jednu z nejpoužívanějších sanačních metod pro nenasaturovanou zónu. Tato metoda spočívá v odsávání vzduchu z kontaminované zeminy v důsledku podtlaku vyvolaného vakuovou stanicí. Půdní vzduch obsahující kontaminanty je odsáván nejčastěji z vertikálních vrtů a je hnán směrem k dekontaminační stanici, nacházející se na povrchu (Frankovská 2010). Tato metoda je proveditelná in situ a také ex situ. Venting je ideální metodou pro odstraňování těkavých organických látek (TOL), jako jsou například BTEX, chlorovaná rozpouštědla nebo ropné látky. Možné je i odstranění částečně těkavých látek, jako jsou například některé halogenové sloučeniny, PAU, ketony, fenoly apod (Matějů et al. 2006)

### 2.4 In situ chemická oxidace (ISCO)

Jedná se o novější metodu, která je v této době považována za standardní a je součástí komerční nabídky některých sanačních firem. Princip spočívá v infiltraci roztoku oxidačního činidla do kontaminované nenasaturované zóny. Při kontaktu oxidačního činidla s kontaminantem dochází k oxidační chemické reakci a k destrukci kontaminantu (Siegrist et al. 2011). Produkty těchto oxidačních chemických reakcí jsou nejčastěji oxid uhličitý, voda, sloučeniny železa a oxidy manganu. Jedná se o látky vyskytující se běžně v přírodě. Obecně je tuto metodu možné použít pro sanaci saturované i nenasaturované zóny a pro jakýkoliv oxidovatelný kontaminant, pokud je produktem látka netoxická nebo alespoň méně toxická než oxidovaný kontaminant. Jakožto oxidační činidlo může být použita celá řada látek. Mezi nejběžnější se řadí manganistany alkalických kovů, peroxid vodíku nebo peroxid vodíku ve směsi se sloučeninami dvojmocného železa (Fentonovo činidlo) a také ozon (Matějů et al. 2006).

### 2.5 In situ chemická redukce za použití nulamocného železa

Podobně jako metoda chemické oxidace, metoda chemické redukce za použití nulamocného železa spočívá v kontaktu kontaminované kapaliny se silným, v tomto případě, redukčním činidlem, což vede k destrukci kontaminantů. Nejčastěji používané redukční činidlo je nulamocné železo používané ve formě nanočástic (nZVI), pro větší plochu kontaktu mezi částicí a kontaminovanou kapalinou. Tato metoda dokáže odstranit poměrně širokou škálu kontaminantů, včetně těžkých kovů, chlorovaných organických látek a v některých případech také dusíkaté sloučeniny (Dolfing et al. 2007). Tato metoda byla v poslední době poměrně často zkoumána a její praktická účinnost byla dokázána. Například příspěvek z konference Sanační technologie 2022 (Lacina et al. 2022) dokazuje účinnost nZVI při odstraňování karcinogenního šestimocného chromu ze saturované zóny. Jiná studie poukazuje na nedostatky této metody. Nejen z ekonomického hlediska, ale také z hlediska selektivity a udržitelnosti materiálu nZVI (Fan et al. 2016).

## 2.6 Termická desorpce

Tuto metodu řadíme do kategorie ex situ. Kontaminovaný materiál je odtěžen a následně vystaven vysokým teplotám ve specializovaném zařízení. Při vysokých teplotách dochází k desorpci (uvolnění) kontaminantů z kontaminované matrice a přecházejí do plynného stavu, ve kterém jsou následně odsávány. Tato metoda může být použita pro odstranění široké škály kontaminantů s bodem varu do 600 °C. Například polycyklické aromatické uhlovodíky, kreozotem, fenoly, PCB, herbicidy, pesticidy a další. Mechanické vlastnosti dekontaminovaného materiálu nejsou příliš ovlivněny a je možné vrátit materiál na původní lokaci (Matějíř 2006). Vysoká teplota má značný vliv na jiné vlastnosti půdy. Kromě mechanických vlastností, které jsou přece jen mírně ovlivněny změnou zrnitosti, jsou ovlivněny zejména organické složky půdy. Výskyt společenstev organismů je snížen již při teplotách pod 220 °C. Při vyšších teplotách dramaticky stoupá pH, organická hmota mineralizuje a zrnitost půdy se mění na primárně písčitou (O'Brien et al. 2018).

## 2.7 Vitifikace

Metoda vitifikace je řazena mezi termické sanační metody a může být prováděna in situ i ex situ. Metoda spočívá ve vystavení kontaminované půdy teplotám 1400-2000 °C. Při takto vysokých teplotách se půda zformuje do stabilního skleněného nebo sklo-keramického materiálu. Vyšší stabilita zabrání migraci toxických kontaminantů a vysoké teploty odstraní organické látky. Tento proces snižuje objem materiálu, což usnadňuje skladování nebo zbavování se odpadu z dekontaminace. Velkou nevýhodou této metody je energetická náročnost a tudíž cena. Proto je tato metoda volena hlavně v případech, kdy nelze využít levnější sanační metody. V případě in situ použití je potřeba brát v potaz vodivost prostředí, protože pro ohřívání kontaminované půdy je použit elektrický proud přivedený pomocí elektrod vsazených v zemi. S ohledem na složení kontaminované půdy je možné využít výsledný sklo-keramický materiál na výrobu například skla (Trifunović 2021).

## 2.8 Bariéry

Bariéra v kontextu in situ sanačních technologií znamená podzemní zóna bránící průniku a šíření kontaminantů do prostředí. Tato metoda je dlouhodobě udržitelná s nízkými nároky na obsluhu a energii. Bariéry se dle funkce dělí na bariéry nepropustné, drenážní a propustné reaktivní (Matějíř 2006). Nepropustné a drenážní bariéry se nevyužívají k odstraňování kontaminantů ale spíše k podpůrným funkcím. Pomocí těchto bariér není možné zcela odklonit tok podzemní kontaminované vody v daném směru, kvůli heterogenitě prostředí a problematice podzemní konstrukce (Yihdego 2016).

### 2.8.1 Nepropustné bariéry

Nepropustné bariéry pasivně brání průchodu znečišťujících látek do okolního prostředí a tím izolují místo kontaminace. Tyto bariéry se používají zejména tam, kde sanační metody neumožňují dostatečné odstranění kontaminace. Dále je možné nepropustné bariéry použít pro zvýšení efektivity jiné sanační metody nebo pro odklonění podzemní vody od místa kontaminace (Cao et al. 2021). Pro efektivní aplikaci nepropustné bariéry je potřebná volba materiálu bariéry s ohledem na druh kontaminantu a na propustnost okolního prostředí. Obecně zjednodušeně platí, že materiál bariéry musí mít nižší Darcyho koeficient propustnosti  $k_f$  [ $m \cdot s^{-1}$ ], než okolní prostředí (Matějů et al. 2006)

### 2.8.2 Drenážní bariéry

Drenážní bariéry fungují jako kolektor podzemní vody v podobě podzemní stěny nebo drenážního žebra. Součástí bariéry obvykle bývá čerpací systém. Používá se k zvýšení výtěžnosti přirozených kolektorů prostředí a umožňuje integraci průtoků proměnlivých geologických vrstev (Matějů 2006). Příklad konkrétního použití může být kolekce kontaminované podzemní vody v okolí neizolovaného návozu zeminy pro terénní úpravy. Kontaminovaná voda zachycené drenážní bariérou je následně odčerpána z prostředí. Vzhledem k heterogenitě horninového prostředí je náročné zcela zamezit migraci kontaminantů, ale tato metoda je vhodná pro omezení migrace a pozdržení kontaminace, dokud nebude dostupná sanační metoda pro úplné odstranění kontaminace (Operacz et al. 2019).

### 2.8.3 Reakční bariéry

Technologie reakčních bariér spočívá v umístění reaktivního média do toku kontaminované podzemní vody tak, aby kontaminanty přicházely do kontaktu s reakčním médiem, a aby byly kontaminanty odstraněny nebo transformovány do prostředím přijatelných forem. Reakční médium může být permanentní nebo vyměnitelné. Na rozdíl od nepropustných a drenážních bariér reakční bariéry nejsou bariérou pro podzemní vodu, ale pro kontaminanty v ní se nacházejících. Propustná reakční bariéra je navržena tak, aby byla její propustnost vyšší než propustnost okolí, tudíž podzemní voda volící cestu nejnižšího odporu kontinuálně protéká reakční bariérou. Reakční bariéry do jisté míry nahrazují „pump-and-treat“ metody, které spočívají ve vyčerpání kontaminované podzemní vody na povrch a v následném odstranění kontaminantů ex situ sanačními metodami (Thiruvenkatachari et al. 2008). Výhodami reakčních bariér jsou nízké náklady na obsluhu, efektivita, a dlouhodobá účinnost (Wilkin et al. 2014). Při konstrukci propustné reakční bariéry musí být dodrženo především úplné zachycení toku kontaminované podzemní vody, pokud by část toku neprocházela přes bariéru, dekontaminace by nemohla být

úspěšná. Dále by měla být bariéra postavena kolmo na tok kontaminované podzemní vody pro využití co největší části plochy bariéry. Tato metoda se ukázala být efektivní pro sanace podzemních vod zejména na místech, kde nejsou použitelné tradiční „pump-and-treat“ nebo bioremediační metody. Například na místech pomalého vymývání těžkých kovů ze zdroje kontaminace nebo na místech kontaminace polycyklickými aromatickými uhlovodíky s nízkou dostupností pro mikroorganismy. Úspěch aplikace propustných reakčních bariér záleží z velké části na porozumění geologie zvodní v místě kontaminace (Roehl 2005).

## 2.9 Bioremediace

Jedná se o metody využívající původních nebo také vnesených mikroorganismů, které rozkládají nebo transformují kontaminanty na neškodné látky. Při každé aplikaci bioremediační metody musí být dodrženy základní podmínky nejen co se týče biologické rozložitelnosti a přístupnosti kontaminantů, ale také co se týče základních fyziologických funkcí nezbytných pro rozložení kontaminantu. Další podmínkou pro aplikaci bioremediačních metod je dostatek konečných akceptorů elektronů. V případě nízké aktivity mikroorganismů je možná inokulace půdy původními bakteriálními kmeny (bioaugmentace).

Pokud se jedná o metody in situ, původní mikroorganismy jsou podporovány například zapouštěním roztoků se živinami pro mikroorganismy, nebo je podporována desorpce kontaminantů pro zlepšení jejich přístupu pro mikroorganismy. V případě metod ex situ jsou odtěžené materiály zbavovány kontaminantů na dekontaminačních plochách. Příkladem ex situ bioremediace je kompostování s příměsí biologických materiálů, biostabilizace, bioimobilizace nebo landfarming. Bioremediační metody se mohou dělit podle druhu oxidačně redukčních reakcí a typu konečného akceptoru elektronů. Aerobní metody probíhají za přístupu kyslíku, kdy je konečným akceptorem elektronů kyslík, zatímco anaerobní metody probíhají bez přístupu kyslíku a konečným akceptorem elektronů je jiný iont (například železitý nebo dusičnanový). Vzhledem k výhodám aerobních procesů jsou anaerobní procesy používány pouze v případech, kdy to jiným způsobem nejde nebo je jiný způsob příliš nákladný.

Bioremediačními metodami je, při přístupu kyslíku, rozložitelné poměrně velké množství běžných kontaminantů. Například fenoly, polycyklické a monocyklické aromatické uhlovodíky, n-alkany, alkeny, alkiny, fenoly, organická rozpouštědla a mnoho dalších. Mezi organismy, které je možné využít při bioremediaci řadíme především bakterie, kvasinky, plísně a vyšší rostliny (fytoremediace). V praxi jsou využívány převážně bakterie a vyšší rostliny (Matějů et al. 2006)

### 2.9.1 Bioventing

Bioventing zařazujeme mezi in situ bioremediační metody, kdy je do nesaturované zóny dopravován kyslík, který slouží pro zlepšení podmínek pro biologický rozklad přítomných kontaminantů. Existuje také alternativní metoda s názvem kometabolický bioventing, při kterém jsou do nesaturované zóny přiváděny kromě kyslíku také látky, které mohou původní mikroorganismy využít jako kosubstrát pro rozklad přítomných kontaminantů. Touto metodou je možné odstranit všechny aerobně rozložitelné kontaminanty s nižším rozdělovacím koeficientem oktanol-voda než  $5 \cdot 10^3$  (Matějů et al. 2006). Jedná se například o ropné uhlovodíky, aceton, benzen, toluen, ethylbenzen, xylen, naftalen a polycyklické aromatické uhlovodíky, jako je například fenanthren (Frutos et al. 2010)

### 2.9.2 Kompostování

Jedná se o ex situ bioremediační metodu, která spočívá ve smíchání znečištěného materiálu (nejčastěji zemina nesaturované zóny) s vylehčeným organickým odpadem (dřevní štěpka, větve, sláma, piliny, kůra) a vystavění podlouhlých zakládek s profilem lichoběžníku z této směsi. Je potřebné také upravit hmotnostní poměr prvků C:N (30:1), který je ideální pro termofilní rozklad kontaminantů. Kontaminanty jsou biologicky rozkládány za přítomnosti kyslíku, tudíž je nutné do zakládky přivádět kyslík nebo zakládku mechanicky provzdušňovat (překopávat). Kompostování může při správném provedení odstranit kontaminanty jako jsou například polychlorované bifenyly (PCB) a některé persistentní organické polutanty (POPs) (Matějů 2006). Příspěvek z konference Sanační technologie 2023 dokazuje, že metoda kompostování je schopna odstranit polycyklické aromatické uhlovodíky (PAU). Příspěvek uvádí, že bylo odstraněno 85 % všech PAU z kontaminované zeminy a například benzo(a)anthracen byl odstraněn z 90 % (Červinka et al. 2023). Další studie dokazuje, že metoda kompostování je schopna odstranění také ropných uhlovodíků (Tran et al. 2021).

### 2.9.3 Umělé mokřady

Sanace pomocí umělých mokřadních systémů využívá přirozené biologické procesy k odstranění kontaminantů z podzemních vod. Jedná se ex situ metodu, kdy kontaminovaná voda protéká komplexním mokřadním systémem za působení řady abiotických (sorpce, usazování, srážení) i biotických (aerobní a anaerobní biodegradace, fytoakumulace, rhizoakumulace) procesů. Tato metoda může být použita pro odstranění těžkých kovů, výbušnin, dusičnanů, fosforu, síranů nebo chlorovaných ethylenů (Kassenga et al. 2004). Například vyšší rostliny z rodů *Phragmites*, *Typha*, *Juncus*, *Spartina*, a *Scirpus* jsou schopné fytoakumulace (akumulace kontaminantů v nadzemní



části rostliny), jejich kořeny slouží jako aktivní zóna pro mikrobiální degradaci organických kontaminantů a současně zadržují anorganických kontaminantů.

#### **2.9.4 Fytoremediace a rhizoremediace**

Fytoremediace spočívá ve využití druhů vyšších rostlin při degradaci, extrakci nebo imobilizaci kontaminujících látek. Prakticky není možné chápat dekontaminaci pomocí fytoremediace jako zásluhu pouze samotných vyšších rostlin, nýbrž vždy ve spolupráci s mikroorganismy žijící v oblasti kořenů (rhizosféře) vyšších rostlin. Tato metoda je nejčastěji používána in situ ačkoliv je možné ji využít také na dekontaminaci vytěženého materiálu.

Tato metoda je použitelná pro odstranění organických i anorganických kontaminantů, za použití přirozených mechanismů rostlin. V případě těžkých kovů jsou uplatňovány mechanismy pro příjem stopových prvků, které jsou pro rostliny životně důležité. V případě organických látek hrají roli rostlinné detoxikační mechanismy. Ideálním druhem rostliny pro fytoremediaci je druh, který dokáže tolerovat silně znečištěné prostředí daným kontaminantem a samotný kontaminant akumuluje ve svých nadzemních částech, které se dají sklídit a, v ideálním případě, následně využít jako energetické nebo technologické plodiny (Matějů et al. 2006).

Je zřejmé, že fytoremediace a rhizoremediace je využitelná při dekontaminaci půd a vod. Zajímavé je ale využití fytoremediace při dekontaminaci vzduchu, jehož kontrola je značně obtížnější než u půdy a vody. Rostliny absorbují prachové částice pomocí listů a výhonků a akumuluje je ve své fylosféře, kde jsou stabilizovány a imobilizovány mezi vrstvami rostlinného vosku. Rostlinné mikroorganismy hrají roli v metabolizaci oxidu uhličitého, oxidu siřičitého a oxidech dusíku (Lee et al. 2020).

### **3 Inovativní sanační metody**

V této kapitole je nejprve nutné definovat slovo inovativní v kontextu sanačních metod. Inovativní metoda je metoda, která není v běžné komerční nabídce českých dekontaminačních firem a byla vyvinutá nejpozději v roce 2000. V případě této práce se jedná o metody vyvíjené a prezentované sanačními firmami v České republice. Inovativní může být také kombinace sanačních metod, nebo v případě například metod chemické oxidace/redukce, mohou být použita inovativní oxidační/redukční činidla. Níže je uveden výběr inovativních sanačních metod, které byly nalezeny v časopisu Waste Forum a ve sbornících z konferencí Sanační technologie a Inovativní sanační technologie ve výzkumu a praxi organizovaných společností Vodní zdroje Ekomonitor, spol. s.r.o. Více informací o metodice vyhledávání inovativních sanačních metod je uvedeno v kapitole 4.

### **3.1 Reduktivní dehalogenace za použití slitiny hliníku a niklu jako redukčního činidla**

Samotná reduktivní dehalogenace je běžně používaná metoda. Jako redukční činidlo se nejčastěji používá nulamocné železo, které je aplikováno ve formě nanočástic (nZVI). Inovativním prvkem u této metody je redukční činidlo sestávající ze slitiny hliníku a niklu (Raneyho slitina), jejíž redukční vlastnosti se projevují v zásaditém prostředí (Weidlich et al. 2010). Tato slitina má oproti nZVI několik výhod – jednou výhodou je vysoká rezistivita proti oxidaci vzdušným kyslíkem. Dále je možná efektivní regenerace slitiny pro další použití a použitím slitiny je možné redukovat širší spektrum látek. Existuje také laboratorní test porovnávající reduktivní vlastnosti komerčně dostupné Raneyho slitiny Ni-Al (50:50 hm%) a mechano-chemicky aktivované směsi elementárního niklu a hliníku. Komerčně dostupná Raneyho slitina měla lepší výsledky při testování redukce 4-chlorfenolu na fenol ve vodném prostředí. Během 4 hodin bylo redukováno 85–95 % kontaminantu (Hegedüs et al. 2019). Dále je dokázána schopnost redukovat 1,2 - dichlorbenzen, hexachlorbenzen a směs různých polychlorovaných bifenyly (PCB) (Weidlich, Lacina 2019).

### **3.2 Reduktivní dechlorace podpořená stejnosměrným proudem**

Značnou nevýhodou poměrně hojně využívané reduktivní dechlorace s použitím nZVI je cena materiálu. I přes vysokou cenu se jedná o efektivní metodu pro odstraňování kontaminantů a je žádoucí tuto metodu optimalizovat. V tomto případě je reduktivní dechlorace podpořena stejnosměrným proudem což způsobuje řadu jevů s pozitivním efektem na průběh dekontaminace. Elektrický proud výrazně zlepšuje migrační schopnost nZVI v elektrickém poli a dochází k eliminaci agregace částic nZVI změnou zeta potenciálu. Dále dochází dotací elektronů ke konzervaci povrchu částic nZVI, čímž jsou částice chráněny před rychlou oxidací a značně se prodlužuje doba aktivity částic nZVI. Díky těmto jevům je možné pro dosažení stejného efektu použít značně menší množství nZVI, což použití této metody výrazně zlevní. Tato metoda je také patentově chráněna (Hrabal et al. 2013).

### **3.3 ISCO – kombinace činidel MFČ a PDS**

In situ chemická oxidace (ISCO) za použití například modifikovaného Fentonova činidla (MFČ) je běžně používaná sanační metoda. Inovativní je v tomto případě kombinace činidel MFČ a PDS (peroxodisíran sodný,  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_8$ ). Laboratorní a pilotní testy prokázali, že použitím této kombinace činidel dojde k oxidaci značně rychleji než při aplikaci činidel samostatně (Waska et al. 2021). Dále je možné, že se činidla vzájemně podporují a dále tak zvyšují efektivitu sanace (Siegrist et al. 2011).

### 3.4 Heterogenní fotokatalýza pro odstranění léčiv

Tato metoda spočívá v sérii oxidačních a redukčních reakcí na povrchu katalyzátoru a řadíme ji mezi pokročilé oxidační procesy (Wang et al. 2022). Tyto procesy jsou založeny na generaci aktivního hydroxylového radikálu, jehož redoxní potenciál je 2,8 V. Systém heterogenní katalýzy je složen ze tří částí: katalyzátoru, UV zářivky a oxidovadla ( $O_2$ ,  $H_2O$ ). Když na částice rozptýlené v kontaminované matrici dopadá UV záření o vyhovující vlnové délce, dochází k absorpci na povrchu katalyzátoru. Nakonec na povrchu katalyzátoru dochází ke vzniku kladných a záporných nábojů, dvojic elektron-díra a k tvorbě reaktivních radikálů. Katalyzátory jsou sulfidy a oxidy přechodných kovů, nejčastěji oxid titaničitý ( $TiO_2$ ). Jeho časté použití je důsledkem unikátních vlastností, jako je termická a chemická stabilita a vysoká aktivita v oblasti vlnových délek 300-390 nm (Barceló, Petrovic 2008). Metoda heterogenní fotokatalýzy se ukázala jako účinná při odstraňování léčiv diklofenak a naproxen z vodního prostředí. Použitím 0,5g/l  $TiO_2$  a zářením o vlnové délce 365 nm bylo odstraněno více než 90 % obou druhů léčiv, což mělo i experimentálně ověřený pozitivní dopad na řasu *Parochlorella*, která zastupuje producenty vodních ekosystémů (Trousil et al. 2015). Odstranění dalších druhů léčiv dokazuje příspěvek z časopisu Waste Forum, kdy byla metoda vyhodnocena jako efektivní pro odstranění endokrinních disruptorů z podzemních vod (Mašín 2015).

### 3.5 Pasivní skimer

Jedná se o sanační metodu, která spočívá ve sběru organické fáze z hladiny podzemní vody v sanačních vrtech. Zařízení zajišťující sběr je nazváno pasivní skimer, fungující obdobně jako skimer v plaveckém bazéně. Jedná se o jednoduché technologické zařízení skládající se z membránové části a zásobníku. Skimer plave na hladině a hydrofobní-oleofilní membrána selektivně propouští volnou organickou fází a brání protékání vody. Oddělená organická fáze se hromadí v zásobníku, který musí být po naplnění manuálně vyprázdněn. Konstrukce zařízení mu umožňuje práci i v agresivním prostředí, jako je nízké pH, vysoká salinita nebo přítomnost toluenu. V rámci této metody proběhlo pilotní i provozní nasazení a metoda se ukázala jako velmi efektivní v poměru odstraněné kontaminace látkami BTEX (90 % toluen) a jednoduchosti provozu (Pluhař et al. 2013).

### 3.6 Technologie SNIP

Technologie SNIP znamená systém nízkonákladové stimulace aerobních bioremediačních procesů. Technologie spočívá v aplikaci látek s vysokým potenciálem uvolňovat kyslík, jako jsou například kapalné či tuhé peroxidy do kontaminovaného horninového prostředí. Cílem aplikace těchto alternativních zdrojů kyslíku je synergie oxidačních efektů vedoucích k přímému odstranění

kontaminantů přímo v bodě aplikace a stimulaci aerobních metabolických procesů mikroorganismů s bioremediačním potenciálem v širším okolí. Výsledkem je nízkonákladová intenzifikace bioremediačních procesů, které jsou schopné odstranit organické i anorganické kontaminanty, jako jsou například ropné uhlovodíky, BTEX, PAU, chlorované uhlovodíky nebo ftaláty. Inovativní řešení cílí na snížení provozních nákladů, optimalizaci samotného dekontaminačního procesu a zjednodušení obsluhy zařízení. Experimentální test ověřil funkčnost této metody při simulované kontaminaci ropnými uhlovodíky, kdy bylo odstraněno přibližně 66 % kontaminantů (Beneš et al. 2019).

### **3.7 Technologie BČOV**

Technologie BČOV znamená pokročilé bioreaktory pro čištění odpadních vod. Byl vyvinut inovativní stavebnicový modul bioreaktoru. Velikou roli hrají nanovláknové nosiče, na kterých je uchyceno biofilmové mikrobiální konsorcium, schopné rozkládat zejména sloučeniny síry a dusíku nacházejících se v odpadních vodách. Zásadní inovací je princip oživení vlastního reaktoru, a to jak při zahájení, tak i v průběhu provozu. Snížení náběhového času bioreaktoru, který je obvykle poměrně dlouhý, dojde ke snížení času, kdy není bioreaktor ve stavu maximálního výkonu. Předem připravené nanovláknové nosiče s mikrobiálním konsorciem řeší tak nejen dlouhý náběhový čas bioreaktoru, ale také mnoho dalších problémů spojených s provozem bioreaktoru jako je například přemnožení nežádoucích mikroorganismů apod. Díky vyměnitelné biologické náplni může být modul BČOV použit také při dočišťování odpadních vod po průchodu ČOV, intenzifikaci čistírenských procesů nebo k dekontaminaci specifického znečištění, se kterým si konvenční čistírenská technologie není schopna poradit nebo které negativně ovlivňuje aktivitu aktivního kalu. Při testování technologie BČOV byla potvrzena vysoká denitrifikační aktivita a zároveň schopnost využívat redukované sloučeniny síry přirozeně se vyskytující v testovaném typu odpadních vod. Kolonizační testy probíhali na třech konfiguracích nanovláknových nosičů. Schopnost mikroorganismů osídlit nosiče z kvantitativního hlediska dopadla nejlépe při planární konfiguraci nosiče. Co se týče osídlování z hlediska kvalitativního, všechny konfigurace vykazovali osídlené mikroorganismy v dobrém fyziologickém stavu (Beneš et al. 2019).

### **3.8 Elektrogeochemická obnova funkce reduktivních reakčních bariér**

Tato technologie není samostatnou sanační metodou, ale umožňuje obnovu funkce metody stávající, pomocí aplikace stejnosměrného proudu do horninového prostředí. Tato technologie byla testována na lokaci se skutečnou kontaminací a již provedeným sanačním zákrokem, který spočíval v aplikaci reduktivní reakční bariéry. Konkrétní reakční bariéra obsahuje železné jádro, které bylo, v době testování této technologie, již 10 let nainstalováno v podzemí v místě

kontaminace. Železné jádro bylo postihnuto selektivním rozpouštěním na povrchu železných špon a v místech koroze se nacházela konsorcia rekrystalizovaných hydroxidů železa, které způsobila omezení funkce reakční bariéry. Na železné jádro byl přiveden stejnosměrný elektrický proud pomocí ocelové tyče sloužící jako katoda, která byla na místo zaražena bouracím kladivem, zatímco výměnné ocelové tyče sloužící jako anody byly zaraženy do zvodně v okolí bariéry. Po zahájení působení elektrického proudu došlo v relativně krátké době k navození vhodných podmínek, pro průběh reduktivní dehalogenace chlorovaných uhlovodíků (CIU). Účinnost odbourávání CIU se po zahájení zvýšila ze 4 % na 90-99 %. Důležitou součástí je přítomnost sulfát redukujících bakterií, které silně ovlivňují chemismus podzemní vody. Proběhl také monitoring environmentálních dopadů této technologie, který ukázal že v důsledku zásahu byla konstatována dormance kontaminant rozkládajících mikroorganismů. Lze ale přepokládat jejich znovuoživení po ukončení aplikace popsané technologie (Beneš et al. 2018).

### **3.9 Tepelně podporovaná anaerobní bioremediace**

Nevýhodou bioremediace je nízká efektivita, která je způsobena řadou environmentálních vlivů jako je například nízká aktivita mikroorganismů nebo nedostupnost kontaminantů. Tepelná podpora má za cíl odstranit tyto nevýhody a optimalizovat teplotní poměry, v kterých dochází k maximálním rychlostem biodegradace a zároveň ke zlepšení dostupnosti kontaminantu pro mikroorganismy. Na českém území byl proveden poloprovozní test na dvou reálně znečištěných lokalitách chlorovanými uhlovodíky, kterému přecházela řada laboratorních testů pro určení optimální teploty. Teplota byla určena v rozmezí 20-30 °C. Před začátkem testu měla kontaminovaná podzemní voda teplotu 12-13 °C a maximální naměřená teplota v průběhu testu byla 40 °C. Kromě zvýšení teploty kontaminované vody byla do místa kontaminace dodána také syrovátka, která byla použita jako snadno fermentovatelný organický substrát. Po přidání syrovátky byl pozorován značný pokles biodiverzity mikroorganismů (Matturro et al. 2016). V případě pouhého zahřívání kontaminované podzemní vody, biodiverzita značně vzrostla v důsledku zpřístupnění kontaminantu a konečných akceptorů elektronů (Westphal et al. 2017). V případě zvýšení teploty a současného přidavku syrovátkového substrátu byla pozorována změna v mikrobiálních komunitách. Byl stimulován růst populací bakterií, které jsou schopny efektivně metabolizovat cukry a jiné zdroje uhlíku. Výsledky testů prokázali zvýšení celkové mikrobiální biomasy a značné zvýšení dechlorace chlorovaných uhlovodíků (Němeček et al. 2018).

### 3.10 Nanomateriál CeO<sub>2</sub> pro odstranění chlorovaných pesticidů

Využití nanomateriálů pro sanaci je v dnešní době již poměrně běžná metoda. Nejčastěji jsou používány nanočástice nulamocného železa nZVI. Vzhledem k tomu, že se objevují zmínky o negativním vlivu nZVI na půdní bakterie vlivem tzv. oxidačního stresu je žádoucí zvážit využití alternativních nanomateriálů (Saccà et al. 2014). Testovaným nanomateriálem je oxid ceričitý CeO<sub>2</sub>, který by mohl mít nižší negativní dopad na půdní bakterie za srovnatelného výsledku dekontaminace. Jeho dekontaminační schopnost byla testována na uměle vytvořené kontaminaci chlorovanými pesticidy. Do půdy byly nasazena také naklíčená semena salátu (*Lactuca sativa*) pro testování inhibice růstu kořene v důsledku sanačního zásahu. V minulosti byly již provedeny testy vlivu nano částic oxidu ceričitého nCeO<sub>2</sub> na růst rostlin, které naznačovali spíše neutrální efekt. Výsledky finálního testu však naznačují negativní ovlivnění růstu salátu. Účinnost odstranění pesticidů HCH, HCB a PCB byla po týdenním působení průměrně vždy nad 50 % (Kobetičová et al. 2015).

### 3.11 Technologie MNB Ozone

Technologie je založená na aplikaci mikro/nano bublin ozonu do kontaminované podzemní vody. Ozon je extrémně silné oxidační činidlo se standartním potenciálem +2,07 V. Při oxidaci látek ozonem probíhají dva reakční mechanismy: přímá reakce s ozonem (méně významná) a reakce se silně reaktivním OH radikálem, který vzniká rozkladem ozonu ve vodě. Důležitý je také vliv ostatních složek roztoku, kterými jsou především anionty CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, Cl<sup>-</sup> i organické látky. Obzvláště anionty prokazatelně velice rychle reagují s OH radikály. Z toho vyplývá, že složení vody silně ovlivňuje efektivitu nasazení ozonu a je vhodné vždy provést předběžné laboratorní testy. Klíčovým je účinné převedení plynu, obsahující ozon, do vody. K tomu je využita Venturiho trubice, která umožňuje efektivní rozpuštění plynu ve vodě a také vytváří směs mikro/nano bublin, které slouží jako zdroj ozonu přímo v kontaminovaném místě. Na území bývalého areálu společnosti KOVO Velká Hleďsebe u Mariánských lázní byl proveden pilotní test této metody, spočívající v odstranění trichlorethylenu (TCE) z podzemní vody. Mariánské lázně jsou známou lázeňskou oblastí a v okolí se nacházejí zdroje pitné vody (Ministerstvo životního prostředí 2024). Byl vytvořen uzavřený čerpadlový systém, který nasával kontaminovanou podzemní vodu z hlavního vrtu. Čerpaná podzemní voda byla injektována plynem (strippování). Nejprve plynem bez přídavku ozonu a po uběhnutí určitého času (200 min) byl spuštěn generátor ozonu. Přibližně v tomto čase byl pozorován výrazný úbytek koncentrace TCE. Což dokazuje, že dekontaminace probíhá oxidací pomocí ozonu.

Pilotní test je považován za úspěšný a výsledkem je nová ověřená technologie „MNB ozone“ včetně kompletní metodiky jejího použití. Postup je patentován pod číslem 304318 (ze dne

15.1.2014). Technologii je možné volit jako alternativu k ostatním in situ technologiím, a to pak zejména v místech se zvýšenou ochranou podzemních vod, jako jsou lázeňské oblasti nebo zdroje pitné vody (Kubricht et al. 2015).

### **3.12 Mikrovlnná termická desorpce**

Sanační metoda termické desorpce se řadí mezi již zavedené metody a je založena na ohřevu kontaminovaného materiálu, čímž dojde k vypaření a desorpci kontaminantů. Samotná termická desorpce je popsána v kapitole 2.6, kde jsou zmíněny některé nevýhody této metody s ohledem na ovlivnění dekontaminovaného materiálu v důsledku vysokých teplot. Další nevýhodou této metody je vysoká energetická náročnost, i tak je tato metoda využívána, protože je poměrně univerzální a je možné ji použít pro dekontaminaci znečištěných zemín a stavebních materiálů. Firma Dekonta, a. s. zabývající se vývojem a realizací této technologie pomocí modulárního zatěsněného boxu, který je při dekontaminaci naplněn kontaminovaným materiálem. Materiál je do boxu plněn ve vrstvách, mezi které jsou aplikována topná tělesa. Střecha boxu je vybavena ventingovým rozvodem, který zajišťuje odsávání par obsahujících odpařené kontaminanty. Byly provedeny provozní testy, které testovaly účinnost mikrovlnného ohřevu s využitím dvou 6 kW generátorů umístěných paralelně. Mikrovlny byly aplikovány vlnovodem v šamotu postupně v různých pozicích vsádky. Testována byla schopnost odstranění polycyklických aromatických uhlovodíků. Termická desorpce pomocí mikrovlnného ohřevu byla shledána jako energeticky efektivní sanační metoda pro odstranění kontaminantů z materiálů interagujících s mikrovlnami, jako jsou například zeminy a stavební materiály. Konstrukce navržená firmou Dekonta, a.s. vyniká svou mobilitou, kompaktností a při dostupnosti zdroje energie svou efektivitou (Kroužek et al. 2023).

## **4 Metodika vyhledávání**

Inovativní metody sanace byly vyhledávány ze tří zdrojů. Hlavním zdrojem byly sborníky z konferencí Sanační technologie a Inovativní sanační technologie ve výzkumu a praxi organizované společností Vodní zdroje Ekomonitor spol. s.r.o. Dalším zdrojem pro vyhledávání inovativních metod byl elektronický recenzovaný časopis Waste Forum jehož autorem je České ekologické manažerské centrum. Pro dohledání informací o metodách nebo kontaminovaných lokacích byl použit informační systém SEKM 3.

### **4.1 Sborníky z konferencí**

Sborníky jsou souborem příspěvků prezentovaných na konferencích Sanační technologie a Inovativní sanační technologie ve výzkumu a praxi. Nejprve proběhlo vytipování potenciálně

vhodných příspěvků nahlížením do obsahu konference. Následovalo naskenování vytipovaných příspěvků z fyzických kopií sborníků, zapůjčených od České informační agentury životního prostředí (CENIA). Po přečtení naskenovaných příspěvků byly identifikovány metody a rozděleny do kategorií podle stádia provozu, a to na metody ve fázi výzkumu, pilotních testů a ve fázi provozních testů. Identifikace metod spočívala v určení názvu metody, určení příslušných kontaminantů a kontaminované matrice. Výsledkem práce byla tabulka obsahující základní informace o autorovi a sanační metodě. Tato tabulka byla následně použita pro výběr inovativních metod popsaných výše v této práci a je uvedena v přílohové části. Každý název metody byl přeložen do anglického jazyka a následně byla hledána zmínka o této metodě v odborných článcích. Z případných zmínek bylo zjištěno, zda se jedná o metodu inovativní dle výše uvedené definice či nikoliv. Zmínky byly vyhledávány také v nabídkách společností nabízejících sanační práce, kompendiu sanačních metod a v atlasu sanačních metod.

## **4.2 WASTE FORUM**

Waste forum je otevřený elektronický recenzovaný časopis. V časopisu jsou prezentovány původní vědecké práce související s ekologií. Témata článků v tomto časopise jsou různorodější než témata na konferencích, a vyhledávání článků týkajících se sanace je obtížnější. Prohlédnuty byly ročníky 2010–2023, a to obdobně jako sborníky z konferencí. Nejprve proběhlo vytipování potenciálně vhodných příspěvků z obsahů jednotlivých ročníků, které byly následně důkladněji prostudovány. Vhodné metody byly poté zaznamenány do souhrnné tabulky, která sloužila pro výběr inovativních sanačních metod uvedených výše v této práci a je uvedena v přílohové části.

## **4.3 Systém SEKM**

Systém SEKM je celým názvem Systém evidence kontaminovaných míst a je zřízený ministerstvem životního prostředí. Systém obsahuje přes 16 000 záznamů o kontaminovaných místech. Informace nacházející se v systému jsou velice rozsáhlé a aktuální. Zahrnují komplexní data o geologii, hydrologii, historii, kontaminaci a případně provedené sanaci dané lokality. Součástí systému je také interaktivní mapa České republiky s vyznačením evidovaných lokalit. V této práci sloužil systém SEKM zejména pro zjišťování podrobnějších informací o proběhlé či probíhající sanaci, o použité sanační metodě a o výsledku sanace.

# **5 Výsledky a diskuse**

Způsobem popsaným v kapitole 4 bylo vybráno několik sanačních metod, které jsou považovány za inovativní a ty jsou zaznamenány v souhrnné tabulce 1. Provozní testy jsou prováděny na znečištěných lokacích na reálně znečištěném materiálu, zatímco stádium výzkumu značí testy



prováděné v laboratorním prostředí na znečištění vytvořeném uměle. Nejprínosnějším zdrojem inovativních sanačních metod byly sborníky z konference Sanační technologie.

Nejčastěji se objevující sanační metodou byla in situ chemická oxidace (ISCO). Inovativní oxidační činidla a jejich kombinace jsou tudíž velmi perspektivní a žádané. V budoucnu by měla být věnována speciální pozornost různým kombinacím a zejména vzájemným interakcím mezi oxidačními činidly. Kromě kombinace činidel MFČ a PDS byla nalezena zmínka o kombinaci činidel persulfát (PS) a peroxid vápenatý (CP) testované v Číně (Qian et al. 2015).

In situ chemická redukce je další velmi často zmiňovanou metodou, do které patří zmíněná reduktivní dechlorace. Velmi často používané činidlo nZVI dokazuje svou vysokou účinnost, ale také se objevují zmínky o jeho nevýhodách, mezi které se řadí vysoká cena, nízká udržitelnost a možný negativní vliv na okolní ekosystémy. V tomto případě je vhodné se zaměřit na snížení ceny, snížení potřebného množství činidla anebo náhradou činidla jiným materiálem. Často zmiňovanou metodou je podpora nZVI stejnosměrným proudem, která značně snižuje množství potřebného činidla a šetří tak prostředky vynaložené na sanační práce. Jako velice perspektivní se jeví redukční činidlo složené ze slitiny hliníku a niklu, které navíc zavádí možnost recyklace činidla (Bendová et al. 2022). Byla testována také dechlorace pesticidů pomocí nového nanomateriálu oxidu ceričitého, který prokázal potenciál při odstraňování chlorovaných pesticidů, avšak test probíhal v malém měřítku a pro uplatnění tohoto materiálu je třeba dalšího výzkumu.

Fyzikálně chemické technologie jako je například heterogenní fotokatalýza jsou ve světě poměrně běžné. Možnosti odstraňování kontaminantů jsou velice rozsáhlé v závislosti na použitém katalyzátoru (Wang et al. 2022). Zprávy o výsledcích pokusů o odstranění konkrétních kontaminantů, které obsahuje tato práce, jsou velice přínosné pro rozšíření vědomostí o této komplexní technologii. Mezi světové novinky v oblasti této technologie patří solárně řízené katalyzátory, jako jsou například kovo-organicky strukturované nano komposity nebo plazmonové polovodiče. Zatímco oxid titaničitý je stále považován za spolehlivou volbu při reálných kontaminacích (Younis a Kim 2022).

Inovací, o které nebylo možné najít žádnou zmínku ve světové literatuře je technologie pasivního skimeru. Jednoduchost, nízké nároky na provoz a nízký negativní vliv na okolní prostředí je směr, kterým se v tomto odvětví chceme pohybovat. Nevýhodou jsou snad jen omezené možnosti využití této technologie.

Účinnost metod in situ bioremediace výrazně závisí na předem daných podmínkách na místě kontaminace. Metody podpory původních mikroorganismů s bioremediačním potenciálem jsou jedny z nejčastějších bioremediačních metod. Tato práce prezentuje případy inovace jak aerobní

bioremediace, tak anaerobní bioremediace. Nové způsoby, jak dodat kyslík mikroorganismům provádějícím aerobní rozklad kontaminantů jsou vítanou inovací, obzvláště pak pokud jsou tím sníženy náklady na sanaci. Anaerobní bioremediace je používána zejména v případech, kdy nejde použít aerobní. Fakt, že tepelná podpora pomáhá řešit takovéto případy, může umožnit řešení kontaminace na místech, kde to doposud nebylo možné. Studie z Kanady naznačuje využití obnovitelných zdrojů energie pro tepelnou podporu bioremediace. Geotermální energie je pro tuto úlohu ideální a oproti konvenčním zdrojům energie přináší mnoho výhod z hlediska úspory nákladů na sanaci (Kaur et al. 2021). Úspora energie je jedním z primárních cílů mnoha inovací. Při teplené desorpci je možné odstranit širokou škálu kontaminantů, avšak za cenu vysokého množství teplené energie. Firma Dekonta a. s. v posledních letech pracuje na prakticky využitelném teplotně desorpčním modulu, kdy ohřev probíhá pomocí mikrovlnného záření. Ohřev pomocí mikrovln je i ve světě vnímán jako udržitelnější a efektivnější způsob ohřevu, kterému doposud chybělo otestování ve větším měřítku (Falciglia et al. 2018).

Technologie, která umožňuje lépe využít již investované prostředky do konkrétního sanačního zásahu, přímo šetří prostředky a materiál, které by byly případně použity na další sanační zákrok. Technologie obnovy reaktivních bariér slouží pro výrazné zvýšení efektivity metody reakčních bariér a potenciálně může ušetřit velké množství prostředků pro sanaci.

Pro dekontaminaci zejména odpadních vod jsou používány bioreaktory. Tato práce obsahuje inovativní metodu, která pomáhá výrazně zefektivnit sanaci pomocí bioreaktoru, a to pomocí využití nanovláken. Technologie nanovláken je specialitou Technické univerzity v Liberci, ale byla nalezena zmínka také z univerzity v USA. Jsou zmíněny nanonosiče založené na dextranu používané v bioreaktorech produkujících proteiny a enzymy, které jsou následně využívány v biomedicíně. I v tomto případě nanonosiče pomáhají snížit náklady a omezují kontaminaci bioreaktorů nežádoucími mikroorganismy (Anton et al. 2010).

Vývoj sanačních metod do jisté míry závisí nejen na povaze kontaminace na daném území, ale také na území samotném. Území České republiky skýtá mnohé zdroje pitné vody. V takovýchto lokalitách, a především v lázeňských oblastech bohatých na léčebné minerální prameny, je na šetrnost jakýchkoliv zásahů kladen velký důraz. Inovativní technologie schopné pracovat přímo na místě kontaminace v takových podmínkách, a to bez negativních vlivů na okolní prostředí, jsou v případě našeho území nedocenitelné. V oblasti sanace pitné vody na místě kontaminace byla nalezena zmínka ze světové literatury o zde nezmíněné metodě využívající fotosyntézu peroxidu vodíku. Tato metoda se stejně jako technologie MNB ozone jeví jako perspektivní. Problémem je nejistota efektivity a nedostatečné testování ve větším měřítku reálné kontaminace (Chu et al. 2022). Testování na reálně znečištěných lokalitách je velice přínosné. Technologie MNB ozone byla

testována na reálně znečištěné lokaci, což je velký krok směrem k využití této metody v širším měřítku.

Při hledání zmínek o výše uvedených inovativních sanačních metodách, byly mimo popsanou metodiku nalezeny další perspektivní sanační metody, kterými disponují tuzemské firmy a je možné se jimi zabývat v budoucích pracích na toto téma. Jedná se o on site termickou desorpci a o elektrokoagulaci.

Tabulka 1. Souhrnná tabulka vybraných inovativních sanačních metod

Inovativní metoda	Stádium	Kontaminanty (kontaminovaná matrice)	Zmínky
Reduktivní dechlorace (čínidlo slitina Al-Ni)	výzkum	aromatické halogeny, PCB	Wastefroum a Sanační technologie 2019
Reduktivní dechlorace podpořená stejnosměrným proudem	provozní test	chlorované uhlovodíky	Sanační technologie 2013
ISCO – kombinace činidel MFČ a PDS	provozní test	BTEX, naftalen, ropné uhlovodíky	Sanační technologie 2021
Heterogenní fotokatalýza pro odstranění léčiv	výzkum	léčiva (diklofenak a naproxen)	Inovativní sanační technologie ve výzkumu a praxi 2015 a Waste Forum
Pasivní skimer	provozní test	BTEX (toluen)	Sanační technologie 2013
Technologie SNIP	výzkum	BTEX, PAU, chlorované uhlovodíky, ftaláty	Sanační technologie 2019
Technologie BČOV	výzkum	sloučeniny S a N	Sanační technologie 2019
Elektrogeochemická obnova funkce reduktivních reakčních bariér	provozní test	chlorované uhlovodíky	Sanační technologie 2019
Tepelně podporovaná anaerobní bioremediace	provozní test	chlorované uhlovodíky	Sanační technologie 2018
Nanomateriál CeO <sub>2</sub>	výzkum	chlorované pesticidy	Sanační technologie 2015
Technologie MNB ozone	provozní test	Trichlorethylen TCB	Sanační technologie 2015
Mikrovlnná termická desorpce	provozní test	PAU	Sanační technologie 2023

## 6 Závěr

Jedním z výstupů projektu, jehož součástí je i tato bakalářská práce, bude manuál pro potřebu státní správy. Tento aktualizovaný přehled bude vodítkem, jak nahlížet na nabídku inovativních sanačních metod, kterou disponují tuzemské firmy. To je hlavním důvodem pro volbu metodiky, která se specializuje na metody dostupné pouze v České republice. Inovativní sanační metody výše uvedené mají primárně za cíl snížení nákladů na sanaci, případně na zvýšení účinnosti, udržitelnost nebo snížení negativního dopadu na okolní prostředí. Ve většině případů se těchto cílů podařilo dosáhnout. Avšak v případě nového nanomateriálu  $\text{CeO}_2$  byly laboratorní testy provedeny v malém měřítku pomocí metodiky, kterou hodnotím jako neprůkaznou. Tudíž je třeba dalšího výzkumu pro využití tohoto nanomateriálu. Oproti tomu redukční činidlo na bázi slitiny hliníku a niklu vykazuje zvýšení účinnosti oproti masivně používanému nZVI. Možnost recyklace činidla je velkým krokem směrem k udržitelnosti této metody. Česká republika disponuje mnoha inovacemi v poli sanačních technologií a značnou mírou přispívá k vývoji inovativních sanačních metod, které výrazně zlepšují životní prostředí a s tím spojenou naši životní úroveň.

## Seznam literatury

ANTON, Edmund et al., 2010. *Dextran-based Nanocarriers as Efficient Media Delivery Vehicles to Cell Production Bioreactors*. Nano Biomedicine and Engineering. Vol. 2, No. 2, str. 126–132. DOI [10.5101/nbe.v2i2.p126-132](https://doi.org/10.5101/nbe.v2i2.p126-132).

BARCELÓ, Damià a PETROVIC, Mira, 2008. *Emerging Contaminants from Industrial and Municipal Waste: Removal technologies*. Berlin: Springer-Verlag, ISBN 978-3-540-79209-3

BENEŠ, Petr et al., 2018. *Kombinované sanační technologie jako konkurenceschopný a prakticky použitelný nástroj*. Sanační technologie 2018

BENEŠ, Petr et al., 2019. *Praktické uplatnění výsledků výzkumu v praxi aneb od myšlenky k technologii*. Sanační technologie 2019

BENDOVÁ, Helena et al., 2022. *Application of Raney Al-Ni Alloy for Simple Hydrodehalogenation of Diclofenac and Other Halogenated Biocidal Contaminants in Alkaline Aqueous Solution under Ambient Conditions*. Materials. Vol. 15, No. 11, DOI [10.3390/ma15113939](https://doi.org/10.3390/ma15113939).

BHATIA, Misha a GOYAL, Dinesh, 2014. *Analyzing remediation potential of wastewater through wetland plants: A review*. Environmental Progress & Sustainable Energy. Vol. 33, No. 1, str. 9–27. DOI [10.1002/ep.11822](https://doi.org/10.1002/ep.11822).

CAO, Benyi et al., 2021. *Vertical Barriers for Land Contamination Containment: A Review*. International Journal of Environmental Research and Public Health. Vol. 18, No. 23, str. 1-10. DOI [10.3390/ijerph182312643](https://doi.org/10.3390/ijerph182312643).

ČERVINKA, Radek et al., 2023. *Sanace území kontaminovaného historickým provozem impregnace dřeva v oblasti vodního zdroje Česká Lípa*. Sanační technologie 2023

DOLFING, Jan, EEKERT, Miriam van, SEECH, Alan, VOGAN, John a MUELLER, Jim. 2007. *In Situ Chemical Reduction (ISCR) Technologies: Significance of Low Eh Reactions*. Soil and Sediment Contamination: An International Journal, vol. 17. str. 63–74. DOI <https://doi.org/10.1080/15320380701741438>

FAN, Dimin, O'CARROLL, Denis M., ELLIOTT, Daniel.W., XIONG, Zhong., TRATNYEK, Paul.G., JOHNSON, Richard.L. a GARCIA, Ariel.N., 2016. *Selectivity of Nano Zerovalent Iron*

- in *In Situ Chemical Reduction: Challenges and Improvements*. Remediation, vol. 26. str. 27-40.  
DOI <https://doi.org/10.1002/rem.21481>
- FRANKOVSKÁ, Jana, 2010. *Atlas sanačných metod environmentálních zátěží*. Štátní geologický ústav Dionýza Štúra. ISBN 978-80-89343-39-3
- FRTR, 2024: Federal Remediation Technologies Roundtable. Dostupné z: <https://www.frtr.gov>
- FRUTOS, F. Javier García et al., 2010. *Bioventing remediation and ecotoxicity evaluation of phenanthrene-contaminated soil*. Journal of Hazardous Materials. Vol. 183, No. 1, str. 806–813.  
DOI [10.1016/j.jhazmat.2010.07.098](https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2010.07.098).
- HEGEDÜS, Michal, LACINA, Petr, WEIDLICH, Tomáš, PLOTĚNÝ, Miroslav, LEV, Jaroslav, 2019. *Využitie zliatin a zmesí kovov zo systému ni-al pre efektívne a rýchle odstránovanie halogenovaných aromatických látok z kontaminovaných vôd*. Sanační technologie 2019.
- HRABAL, Jaroslav et al., 2013. *Možností využití stejnosměrného proudu pro sanaci horninového prostředí*. Sanační technologie 2013
- HUANG, Ju-Chang a SHANG, Chii, 2007. *Air Stripping*. ResearchGate. ISBN 978-1-58829-361-9. DOI [10.1007/978-1-59745-029-4\\_2](https://doi.org/10.1007/978-1-59745-029-4_2).
- KASSENGA, Gabriel R. et al., 2004 *Hydrogen thresholds as indicators of dehalorespiration in constructed treatment wetlands*. Environ. Sci. Technol., Vol. 38, str. 1024–1030,  
DOI <https://doi.org/10.1021/es0348391>
- KAUR, Gurpreet, KROL, Magdalena a BRAR, Satinder Kaur, 2021. *Geothermal heating: Is it a boon or a bane for bioremediation?* Environmental Pollution. Vol. 287, str. 9-10  
DOI [10.1016/j.envpol.2021.117609](https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.117609).
- KOBETIČOVÁ, Klára, POŠTULKA, Václav, BARTŮNĚK, Vilém, 2015. *Efektivita aplikace nanomateriálu CeO<sub>2</sub> do půdy kontaminované chlorovanými pesticidy*. Sanační technologie 2015
- KROUŽEK, Jiří et al., 2023. *Inovativní úsporná aplikace procesu termické desorpce pro recyklaci nebezpečných materiálů*. Sanační technologie 2023
- KUBRICHT, Jiří, ŠVÁB, Marek, KNYTL, Vladislav, 2015. *Sanace bývalého areálu KOVO Velká Hleďsebe*. Sanační technologie 2015
- LACINA, Petr et al., 2022. *Návrh a realizace sanace staré ekologické zátěže v oblasti průmyslového areálu kontaminované šestimocným chromem*. Sanační technologie 2022

- LEE, Bernice Xin Yi, HADIBARATA, Tony a YUNIARTO, Adhi, 2020. *Phytoremediation Mechanisms in Air Pollution Control: a Review*. *Water, Air, & Soil Pollution*. Vol. 231, No. 8, str. 437. DOI [10.1007/s11270-020-04813-6](https://doi.org/10.1007/s11270-020-04813-6).
- MATĚJŮ, Vít et al., 2006. *Kompendium sanačnických technologií*. Vodní zdroje Ekomonitor spol. s.r.o. vol 1. str. 10-195. ISBN: 80-86832-15-5.
- MAŠÍN, Pavel, 2015. *Praktická aplikace fotochemických a fotokatalytických procesů při dekontaminaci vod*. *Waste Forum*. No. 2, str 116, ISSN: 1804-0195
- MATTURRO, Bruna, UBALDI, Carla a ROSSETTI, Simona, 2016. *Microbiome Dynamics of a Polychlorobiphenyl (PCB) Historically Contaminated Marine Sediment under Conditions Promoting Reductive Dechlorination*. *Frontiers in Microbiology*. Vol. 7. DOI [10.3389/fmicb.2016.01502](https://doi.org/10.3389/fmicb.2016.01502).
- MINISTERSTVO ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ, 2024. *Systém evidence kontaminovaných míst SEKM3*. Dostupné z <https://www.sekm.cz/portal/>
- NĚMEČEK, Jan et al., 2018. *Thermally enhanced in situ bioremediation of groundwater contaminated with chlorinated solvents – A field test*. *Science of The Total Environment*. Vol. 622–623, s. 743–755. DOI [10.1016/j.scitotenv.2017.12.047](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.12.047).
- OPERACZ, Agnieszka et al. 2019. *Untypical Draining Barriers Efficiency as a Method of Pollutants Limiting in the Groundwater Reservoir*. *Journal of Ecological Engineering*. Vol 20, No 3, str. 67–76, DOI <https://doi.org/10.12911/22998993/99735>
- PLUHÁŘ, Tomáš et al., 2013. *Použití nových technologických postupů při sanacích horninového prostředí*. *Sanační technologie 2013*
- QIAN, Yajie et al., 2015. *Performance of  $\alpha$ -methylnaphthalene degradation by dual oxidant of persulfate/calcium peroxide: Implication for ISCO*. *Chemical Engineering Journal*. Vol. 279, str. 538–546. DOI [10.1016/j.cej.2015.05.053](https://doi.org/10.1016/j.cej.2015.05.053).
- TROUSIL, Vojtěch et al. 2015, *Odstranění naproxenu a diklofenaku pomocí heterogenní fotokatalýzy*. *Inovativní sanační technologie ve výzkumu a praxi VIII 14. – 15. října 2015*. ISSN 1804-9966
- SACCÀ, Maria Ludovica et al., 2014. *Molecular Stress Responses to Nano-Sized Zero-Valent Iron (nZVI) Particles in the Soil Bacterium *Pseudomonas stutzeri**. *PLOS ONE*. Vol. 9, No. 2, str. 6. DOI [10.1371/journal.pone.0089677](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0089677).

- SIEGRIST, Robert. L., CRIMI, Michelle a BROWN, Richard. A. 2011. *In Situ Chemical Oxidation: Technology Description and Status*. Environmental Remediation Technology, vol 3. str. 1-32. Springer, New York, ISBN 978-1-4419-7826-4
- SLOUKA, Jiří a BENEŠ, Petr, 2016. *Základy remediace*. Vodní zdroje Ekomonitor spol. s.r.o. ISBN 978-80-86832-97-5.
- TRAN, Huu-Tuan et al., 2021. *Aerobic composting remediation of petroleum hydrocarbon-contaminated soil. Current and future perspectives*. Science of The Total Environment. Vol. 753. DOI [10.1016/j.scitotenv.2020.142250](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142250).
- WEIDLICH, Tomáš, KREJČOVÁ, Anna a PROKEŠ, Lubomír, 2010. *Study of dehalogenation of halogenoanilines using Raney Al-Ni alloy in aqueous medium at room temperature*. Chemical Monthly. vol. 141, No 9, str. 1015-1020. ISSN 0026-9247.
- WEIDLICH, Tomáš a LACINA, Petr, 2019. *Degradation of hazardous waste containing polychlorinated benzenes and biphenyls (PCBs) using hydrodechlorination at room temperature and ambient pressure*. Waste Forum, No 2, str. 64-70, ISSN: 1804-0195
- O'BRIEN, Peter L. et al., 2018. *Thermal remediation alters soil properties – a review*. Journal of Environmental Management. Vol. 206, str. 826–835. DOI [10.1016/j.jenvman.2017.11.052](https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.11.052).
- ROEHL, Karl Ernst et al., 2005. *Chapter 1 - Permeable reactive barriers*. In: ROEHL, K. E. et al. (ed.), *Trace Metals and other Contaminants in the Environment*, s. 1–25. Elsevier. Long-term Performance of Permeable Reactive Barriers. DOI [10.1016/S0927-5215\(05\)80005-0](https://doi.org/10.1016/S0927-5215(05)80005-0).
- THAKUR, Alok Kumar et al., 2020. *A review on design, material selection, mechanism, and modelling of permeable reactive barrier for community-scale groundwater treatment*. Environmental Technology & Innovation. Vol. 19, str. 3-5. DOI [10.1016/j.eti.2020.100917](https://doi.org/10.1016/j.eti.2020.100917).
- THIRUVENKATACHARI, Ramesh et al. 2008. *Permeable reactive barrier for groundwater remediation*. Journal of Industrial and Engineering Chemistry. Vol. 14, No. 2, str. 145–156. DOI [10.1016/j.jiec.2007.10.001](https://doi.org/10.1016/j.jiec.2007.10.001).
- TRIFUNOVIĆ, Vanja, 2021. *Vitrification as a method of soil remediation*. Zastita Materijala. Vol. 62, No. 3, str. 166–179. DOI [10.5937/zasmat2103166T](https://doi.org/10.5937/zasmat2103166T).
- WANG, Huijie et al., 2022. *A review on heterogeneous photocatalysis for environmental remediation: From semiconductors to modification strategies*. Chinese Journal of Catalysis. Vol. 43, No. 2, str. 178–214. DOI [10.1016/S1872-2067\(21\)63910-4](https://doi.org/10.1016/S1872-2067(21)63910-4).



WASKA, Karel et al., 2021. *Nové perspektivy sanací v prostředí petrochemického průmyslu*. Sanační technologie 2021

WESTPHAL, Anke et al., 2017. *Aquifer heat storage: abundance and diversity of the microbial community with acetate at increased temperatures*. Environmental Earth Sciences. Vol. 76, No. 2, str. 66. DOI [10.1007/s12665-016-6356-0](https://doi.org/10.1007/s12665-016-6356-0).

WILKIN, Richard T. et al., 2014. *Fifteen-year assessment of a permeable reactive barrier for treatment of chromate and trichloroethylene in groundwater*. Science of The Total Environment. Vol. 468–469, str. 186–194. DOI [10.1016/j.scitotenv.2013.08.056](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.08.056).

YIHDEGO, Yohannes, 2016. *Evaluation of Flow Reduction due to Hydraulic Barrier Engineering Structure: Case of Urban Area Flood, Contamination and Pollution Risk Assessment*. Geotechnical and Geological Engineering. Vol. 34, No. 5, str. 1643–1654. DOI [10.1007/s10706-016-0071-1](https://doi.org/10.1007/s10706-016-0071-1).

YOUNIS, Sherif A. a KIM, Ki-Hyun, 2020. *Heterogeneous Photocatalysis Scalability for Environmental Remediation: Opportunities and Challenges*. Catalysts. Vol. 10, No. 10, str. 6. DOI [10.3390/catal10101109](https://doi.org/10.3390/catal10101109).

## Přílohová část

Tabulka 2. Celkový seznam sanačních metod vytežených ze sborníků z konferencí Sanační technologie a Inovativní sanační technologie ve výzkumu a praxi

Zdroj	Název článku	Autor	Firma	Testovaná metoda	Typ kontaminace	Kontaminovaná matrice
Sanační technologie XXII 2019	In situ anaerobní bioremediace chlorovaných uhlovodíků – zkušenosti z provozních aplikací a směry dalšího vývoje	Jan Němeček et al.	ENACON s.r.o., DEKONTA, a.s.	In situ anaerobní bioremediace (ISB)	Chlorované uhlovodíky	-
Sanační technologie XXII 2019	Reverzní osmóza pro zakoncentrování estrogenů před jejich analytickým stanovením – matematický popis procesu	Michal Bittner, et al.	-	Reverzní osmóza	Endokrinní disruptory	Voda
Sanační technologie XXII 2019	Využitie zliatin a zmesí kovov zo systému Ni-Al pre efektívne a rýchle odstraňovanie halogenovaných aromatických látok z kontaminovaných vôd	Michal Hegedüs, et al.	GEOtest, a.s., ASIO, spol. s.r.o.	Hydrogenace s použitím slitin ze systému Ni-Al	Halogenové aromatické látky	voda
Sanační technologie XXII 2019	Sorpce niklu a zinku na zeolity syntetizované z perlitu	Tomáš Binčík, et al.	-	Sorpce Niklu a Zinku pomocí zeolitů	Těžké kovy	Roztok Ni a Zi
Sanační technologie XXIII 2021	Siderofory a jejich environmentální aplikace	Zuzana Rošková, et al.	-	Využití sideroforů pro dekontaminaci těžkými kovy nebo rozklad organických látek	Těžké kovy	Půda
Sanační technologie XXIV 2022	Aktuální hrozby zatížení prostředí pesticidy a dalšími mikropolutanty a kombinace technologií vedoucí k jejich odstranění	Martina Siglová, et al.	EPS biotechnology, s.r.o.,	spojení chemické oxidace pomocí peroxidu vodíku s biodegradací	pesticidy	voda
Inovační sanační technologie ve výzkumu a praxi IX 2016	Sorpce vybraných těžkých kovů z dekontaminačních roztoků pomocí různých typů sorbentů	Monika Chlupáčková, et al.	Centrum výzkumu Řež	sorpce pomocí chelatačního sorbentu nebo katexu	těžké kovy	dekontaminační roztok

Zdroj	Název článku	Autor	Firma	Testovaná metoda	Typ kontaminace	Kontaminovaná matrice
Inovační sanační technologie ve výzkumu a praxi IX 2016	Využití nově syntetizovaného amocharu ke stabilizaci a sorpci kovů a metaloidů	Petr Ouředníček, et al.	Ústav chemických procesů AV ČR, v. v. i.	sorpce pomocí AMOcharu	těžké kovy	voda i půda
Inovační sanační technologie ve výzkumu a praxi IX 2016	Odstraňovanie Antimónu z banskej vody pomocou kontrolovanej kryštalizácie sekundárných Sb minerálných fáz	Peter Sekula, et al.	Slovenské Národné Múzeum	Kontrolovaná krystalizace	antimon, arsen	bánská voda
Inovační sanační technologie ve výzkumu a praxi IX 2016	Vliv teploty a výběru promývacího média na odstranění ropných kontaminantů z půdy	Antonín Bervic, et al.	-	promývání	ropné látky	půda
Inovační sanační technologie ve výzkumu a praxi IX 2016	Chemická stabilizace kovů a metaloidů pomocí Mg-Fe podvojných vrstevnatých hydroxidů a směsných oxidů	Barbora Hudcová, et al.	-	chem. Stabilizace kovů	těžké kovy	půdní výluh
Inovační sanační technologie ve výzkumu a praxi VIII 2015	Odstraňování kyanidu z modelových vod	Jana Muselíková, et al.	-	mikrobiální biodegradace	kyanidy	voda
Inovační sanační technologie ve výzkumu a praxi VIII 2015	Fotokatalytická oxidace biologicky obtížně odbouratelných organických látek obsažených v nadbilančních vodách ze skládek komunálního odpadu	Marek Smolný, et al.	-	Fotokatalytická oxidace	organické látky - skládkové vody	voda
Inovační sanační technologie ve výzkumu a praxi VIII 2015	Odstranění naproxenu a diklofenaku pomocí heterogenní fotokatalýzy	Vojtěch Trousil, et al.	-	heterogenní fotokatalýza	léčiva (naproxen a diklofenak)	roztok léčiv
Inovační sanační technologie ve výzkumu a praxi VIII 2015	Degradace chlorovaných uhlovodíků vlivem peroxodisíranu sodného aktivovaného stejnosměrným elektrickým proudem	Petra Vachová, et al.	-	ISCO (PDS) aktivované stejnosměrným proudem	Chlorované uhlovodíky	vodný roztok
Inovační sanační technologie ve výzkumu a praxi VIII 2015	Odstraňování Cesia a Stroncium z roztoků kyseliny borité pomocí zeolitu (Klinoptilolitu)	Pavel Kůs, et al.	Centrum výzkumu Řež	adsorpce na zeolitu (Klinoptilolitu)	Cesium a Stroncium	kapalinné radioaktivní odpady
Inovační sanační technologie ve výzkumu a praxi VIII 2015	Efektivita aplikace nanomateriálu CeO <sub>2</sub> do půdy kontaminované chlorovanými pesticidy	Klára Kobetičová, et al.	-	degradace chlorovaných pesticidů aplikací nanomateriálu CeO <sub>2</sub>	chlorované pesticidy	půda

Zdroj	Název článku	Autor	Firma	Testovaná metoda	Typ kontaminace	Kontaminovaná matrice
Inovační sanační technologie ve výzkumu a praxi VIII 2015	Pokročilé remediační techniky podporované elektrickým proudem	Petr Bendeš, et al.	EPS, s. r. o.	aplikace oxidačního činidla, stejnosměrný proud, bioremediace	uhlovodíky C10-C40	půda
Inovační sanační technologie ve výzkumu a praxi VIII 2015	Využití reduktivní dehalogenace pro jednoduchý rozklad aromatických chlorderivátů s následnou biodegradací vznikajících produktů	Tomáš Weidlich, Petr Lacina	Geotest Brno, a. s.	reduktivní dehalogenace	halogenové aromatické látky	-
Inovační sanační technologie ve výzkumu a praxi VIII 2015	Membránové separační metody v praxi	Marek Šír, et al.	-	membránové separační procesy	skládkový výluh	voda
Sanační technologie XXV 2023	Odstraňování zasolených průsakových vod pomocí membránové destilace	Marek Šír, et al.	-	membránová destilace (DCMD)	CaSO <sub>4</sub> - zasolené průsakové vody	roztok CaSO <sub>4</sub>
Sanační technologie XX 2017	Reduktivní dehalogenace polutantů elementárním železem - co to je či není ?	Vít Matějů, Robin Kyelt	ABITEC, s.r.o.	Reduktivní dehalogenace polutantů elementárním železem	halogeny	voda
Sanační technologie XX 2017	Metoda in-situ bigeochemické transformace chlorovaných uhlovodíků	Jan Němeček et al.	Slovenské Národné Múzeum	in-situ bigeochemické transformace	CIU	-
Sanační technologie XX 2017	Enzymatická degradace polutantů "in situ" technologie třetího tisíciletí v minimalizaci odpadů	Oto Sova	BOOS - Biologická substance	enzymatická degradace	PCB, ropné látky, fenoly, kresoly, nitrity a nitráty	voda, horniny, pevné látky
Sanační technologie XVI 2013	Solubilizace ropných uhlovodíků pomocí kvasinkových biosurfaktantů	Marek Šír, et al.	EPS, s.r.o.	Solubilizace ropných uhlovodíků pomocí kvasinkových biosurfaktantů	ropné uhlovodíky	vodný roztok
Sanační technologie XV 2012	Nano-bio-rem kombinovaná sanační technologie k sanaci znečištění chromem	Jan Němeček et al.	ENACON s.r.o., DEKONTA, a.s.	bioredukce, redukce pomocí nZVI	Chrom	směs voda-zemina

Zdroj	Název článku	Autor	Firma	Testovaná metoda	Typ kontaminace	Kontaminovaná matrice
Sanační technologie XV 2012	Porovnání účinnosti odstranění azobarviva sumfix supra blue BRF 150 % tetrasubstituovaným fosfoniovými a amoniovými iontovými kapalinami	Jana Martinková, et al.	-	odstranění rozpuštěného barviva pomocí iontových kapalin	azobarvivum Sumfix Supra Blue BRF 150 %	modelové odpadní vody
Sanační technologie XV 2012	Čištění a předúprava procesních a odpadních vod z výroby papíru elektrochemickým fentonovým procesem	Barbora Vystrčilová, et al.	-	elektrochemický fentonův proces	vysoké hodnoty CHSK, TOC a zbarvení	procesní voda
Sanační technologie XIX 2016	Tepelně podporovaná anaerobní biodegradace chlorovaných ethylenů v podzemní vodě - poznatky z laboratorních testů	Vladislav Knytl, et al.	DEKONTA, a.s., ENACON s.r.o.	tepelně podporovaná anaerobní biologická dechlorace	CIE	podzemní voda
Sanační technologie XIII 2010	Vlåtnosti nanoželezné suspenze modifikované řepkovým olejem	Štěpánka Klímková, et al.	-	reduktivní dechlorace nZVI + řepkový olej	CIE	roztok
Inovativní sanační technologie ve výzkumu a praxi V 2012	Dekolorizace procesních a odpadních papírenských vod nepřímou elektrooxidací	Barbora Horňáková, et al.	-	nepřímá elektrooxidace	barvivo C.I. Basic Yellow 90	voda
Inovativní sanační technologie ve výzkumu a praxi V 2012	Využití biopopola zo slamy pšenice obyčejnej na imobilizáciu kyslých herbicidov v poľnohospodárskych podach	Edgar Hiller, Veronika Tatarková	-	využití biopopelu pro imobilizaci herbicidu MCPA	herbicid MCPA	půda
Inovativní sanační technologie ve výzkumu a praxi V 2012	Použití reverzní osmózy a nanofiltrace pro odstranění fluoridů z kontaminovaných podzemních vod	Martin Bystrianský, et al.	-	reverzní osmóza + nanofiltrace	fluoridy	podzemí voda
Sanační technologie XXII 2019	Využitie podporovanej atenuácie na predčisťovanie banských vôd z vybraných lokalít slovenska	Ondřej Brachtýr et al.	-	Podporovaná atenuace	kovy	voda
Sanační technologie XXII 2019	Porovnání účinnosti aplikovaných činidel v rámci pilotní terénní zkoušky na lokalitě kontaminované chlorovanými etheny	Kristýna Šimoníková, et al.	GEOtest, a.s.	in situ Aplikovaná činidla (syrovátka, nanočástice nulamocného železa - nZVI)	Chlorované etheny (CIE)	Saturovaná zóna

Zdroj	Název článku	Autor	Firma	Testovaná metoda	Typ kontaminace	Kontaminovaná matrice
Sanační technologie XXII 2019	In situ sanační aplikace optimalizovaného nZVI s elektrochemickou podporou na lokalitě kontaminované chlorovanými uhlovodíky	Jaroslav Nosek, et al.	NANO IRON, s.r.o.	nZVI s označením STAR DC	chlorovanými uhlovodíky (CIU)	Nesaturovaná zóna, budovy
Sanační technologie XXII 2019	Praktické uplatnění výsledků výzkumu v praxi aneb od myšlenky k technologii	Petr Beneš, et al.	EPS biotechnology, s.r.o., EPS Slovensko, s.r.o.	SNIP	ropné uhlovodíky, BTEX, PAU, CIU, MTBE, ftaláty odpadní vody, sloučeniny S a N	nesaturovaná zóna
Sanační technologie XXII 2019	Praktické uplatnění výsledků výzkumu v praxi aneb od myšlenky k technologii	Petr Beneš, et al.	EPS biotechnology, s.r.o., EPS Slovensko, s.r.o.	BČOV		voda
Sanační technologie XXIII 2021	Prieskum a návrh sanácie environmentálnej záťaže Pezinok – Rudné bane – Odkaliská	Peter Šottník, et al.	Ekologické laboratória spol. s r.o., Dekonta Slovensko, spol. s r.o.	Provzdušnění bánských vod	Těžké kovy	voda
Sanační technologie XXI 2018	Návrh in situ sanace pro lokalitu znečištěnou chromem	Slavomír Mikita, et al.	GEOtest, a.s.,	nZVI	Chrom	saturovaná i nesaturovaná zóna
Sanační technologie XXI 2018	Odstranění kovů z důlních vod biologickou metodou	Miloslav Slezák, Jiří Palarčík	-	odstranění kovů z vody biologickou imobilizací	Těžké kovy	voda
Sanační technologie XXI 2018	Tepelně podporovaná anaerobní bioremediace chlorovaných uhlovodíků v podzemní vodě – poznatky z poloprovozních zkoušek	Jan Němeček, et al.	ENACON s.r.o., DEKONTA, a.s.	in-situ anaerobní bioremediace	CIU	saturovaná i nesaturovaná zóna
Sanační technologie XXI 2018	Geochemický model vývoje změn chemismu podzemní vody při odstraňování šestimocného chromu pomocí působení stejnosměrného elektrického pole v prostředí reaktivní kolony vyplněné železnými pilinami	Vendula Ambrožová, et al.	MEGA a.s.,	působení stejnosměrného elektrického pole	šestimocný Chrom	Saturovaná zóna

Zdroj	Název článku	Autor	Firma	Testovaná metoda	Typ kontaminace	Kontaminovaná matrice
Sanační technologie XXIV 2022	Využitie syntetického zeolitu pri úprave kyslých bankských vôd na lokalite Smolník	Peter Šottník, et al.	GEOtest, a.s., Ekologické laboratória spol. s r.o.	využití syntetického zeolitu	Těžké kovy	Bánská voda
Sanační technologie XXIV 2022	Biodegradace zeminy znečištěné ropnými uhlovodíky s nízkou mikrobiální respirační aktivitou	Robin Kyclt, et al.	ABITEC, s.r.o.,	zvýšení intenzity mikrobiální biodegradace	ropné uhlovodíky, aromatické uhlovodíky, PAU	zemina
Sanační technologie XXIV 2022	Mokřadní čistírny důlních vod – začneme požívat tuto efektivní technologii?	Zdeněk Vilhelm, et al.	EPS biotechnology, s.r.o., DIAMO, s. p.	atenuace koncentrace kontaminantů jako přirozený proces mokřadních systémů	železo, mangan	důlní vody
Inovační sanační technologie ve výzkumu a praxi IX 2016	Odstranění nesteroidních anirevmatik z povrchových a odpadních vod pomocí heterogenní fotokatalýzy	Vojtěch Trousil, et al.	-	heterogenní fotokatalýza	antirevmatika, léčiva	povrchové vody, odpadní vody
Inovační sanační technologie ve výzkumu a praxi IX 2016	Využití srážecích metod při úpravě průsakových vod ze skládek komunálního odpadu	Michal Kulhavý, et al.	-	srážecí metody	dušík, uhlík, těžké kovy	odpadní skládková voda
Inovační sanační technologie ve výzkumu a praxi VIII 2015	Možnosti finálnej sanácie bankských a povrchových vod na opustenom Sb ložisku Poproč	Peter Sekula, et al.	EL spol s.r.o.	kombinaci sedimentační nádrže a sorpce na FeO špony	antimon, arsen	banska voda a povrchová voda
Sanační technologie XVIII 2015	Bezpečnost a řízení in situ chemické oxidace v prostředí aktivního petrochemického provozu	Karel Waska, et al.	EPS, s.r.o.	ISCO (MFČ)	Benzen, Naftalen, NEL	saturovaní i nesaturovaná zóna
Sanační technologie XVIII 2015	Sanace bývalého areálu KOVO Velká Hleďsebe	Jiří Kubricht, et al.	DEKONTA a.s.	MNB ozone	CIU, ropné látky, BTEX, MTBE	saturovaná i nesaturovaná zóna, budovy
Sanační technologie XVIII 2015	Problematika využití mikrovlnného ohřevu v sanačních technologiích	Jiří Kroužek, et al.	-	Mikrovlnný ohřev	perzistentní organické polutanty, chlorované uhlovodíky	saturovaní i nesaturovaná zóna

Zdroj	Název článku	Autor	Firma	Testovaná metoda	Typ kontaminace	Kontaminovaná matrice
Sanační technologie XXV 2023	Aplikace řízené in-situ chemické redukce pro sanaci zdrojové kontaminace podzemní vody šestimocným Chromem a Niklem	Jiří Kamas, et al.	EPS biotechnology, s.r.o., Vodní zdroje Ekomonitor spol s.r.o.	ISCR (HCl + FeSO <sub>4</sub> )	Chrom a Nikl	Podzemní voda
Sanační technologie XXV 2023	Inovativní úsporná aplikace procesu termické desorpce pro recyklaci nebezpečných materiálů	Jiří Kroužek, et al.	DEKONTA a.s.	termická desorpce (mikrovlnný ohřev)	PAU, ropné uhlovodíky	zemina
Sanační technologie XVII 2014	Optimalizace chemicky podporovaných metod in situ reduktivní dehalogenace chlorovaných ethylenů	Jaroslav Hrabal	MEGA a.s.,	nZVI podpora stejnosměrným proudem	CIE	Podzemní voda
Sanační technologie XVII 2014	Využití surfaktantůk intenzifikaci sanace horninového prostředí kontaminovaného chlorovanými uhlovodíky - výsledky pilotního odzkoušení	Petr Kozubek, et al.	ENACON s.r.o., DEKONTA, a.s.	intenzifikace sanačního čerpání pomocí surfaktanrů	CIU	podzemní voda
Sanační technologie XVII 2014	Srovnání oxidace kyanidů pomocí ferátů, fentonova činidla a aktivovaného persiranu sodného	Vojtěch Dvořák, et al.	GEOtest, a.s.	ISCO	kyanidy	podzemní voda
Sanační technologie XVI 2013	Biologická in situ redukce trinitrotoluenu a dalších nitroaromatických látek	Radka Velebová, et al.	DEKONTA a.s., ENACO, s.r.o.	biologická in-situ redukce	trinitrotoluen (TNT)	zemina i voda
Sanační technologie XVI 2013	Provozní ověření zvýšení reaktivity železných nanočástic elektrickým proudem	Martina Sodomková, et al.	MEGA a.s.,	nZVI + elektrický proud	CIE	Podzemní voda
Sanační technologie XVI 2013	Pilotní odzkoušení nanoželeza k sanaci znečištění chromem	Jan Němeček, et al.	ENACON s.r.o., DEKONTA, a.s.	nZVI (NANOFER25)	chrom	saturovaná zóna
Sanační technologie XVI 2013	Použití nových technologických postupů při sanacích horninového prostředí	Tomáš Pluhař, et al.	AQUATEST a.s.	pasivní skimer	BTEX	podzemní voda



Zdroj	Název článku	Autor	Firma	Testovaná metoda	Typ kontaminace	Kontaminovaná matrice
Sanační technologie XVI 2013	Biolúhovanie ťažkých kovov z kontaminovaných pod vybranými druhmi bakterií rodu Pseudomonas	Katrina Peťková, et al.	-	biolouhování	těžké kovy	voda
Sanační technologie XV 2012	Realizace technologie MBBR pro čištění podzemních vod s obsahem fenolů a kresolů	Tomáš Lederer, et al.	AQUATEST a.s., PRO-AQUA CZ, s.r.o.	Moving Bed Biofilm Reactor (MBBR)	fenoly, kresoly	podzemní voda
Sanační technologie XIX 2016	Automatizovaný cirkulační systém sanace podzemních vod	Jan Němeček, et al.	ENACON s.r.o., PRO-AQUA CZ, s.r.o.	biologická reduktivní dechlorace - automatizace	CIU	podzemní voda
Sanační technologie XIX 2016	Technické aspekty sanace lokality s vertikální stratifikací chlorovaných ethylenů v horninovém prostředí	Jaroslav Hrabal, Dagmar Bartošová	MEGA a.s., Vodní zdroje Ekomonitor spol. s.r.o.	mikrobiálně/chemicky asistovaná reduktivní dehalogenace CIE + nZVI	CIE	podzemní voda
Sanační technologie XIX 2016	Unipetrol, a.s. Litvínov - prezentace pilotního pokusu ISCO a průběžných výsledků z plošné aplikace v antropogenně silně ovlivněném prostředí	Richard Hampl, Zbyněk Moravec	AQUATEST, a.s.	ISCO	BTEX, NEL, ropné látky C10-C11	saturovaná zóna, podzemní voda
Sanační technologie XIX 2016	Využití reverzní osmózy pro čištění skládkových vod	Antonín Bervic, et al.	-	reverzní osmóza	anorganické soli, chloridy, sodík, draslík, amoniak (skládkový výluh)	voda
Sanační technologie XIX 2016	Aplikace různě modifikovaných forem nZVI při in-situ sanaci podzemních vod kontaminovaných chlorovanými etheny	Petr Lacina, et al.	GEOtest, a.s.	nZVI + biosurfaktanty	CIE	Podzemní voda
Sanační technologie XIV 2011	Využití celulozických mikroorganismů pro intenzifikaci procesu kompostování a bioremediačního kompostování	Jitka Hrdinová, et al.	EPS, s.r.o.	intenzifikace kompostování pomocí celulozických mikroorganismů	ropné látky	zemina
Sanační technologie XIII 2010	Karlovy Vary - Tuhnice- Pilotní pokus in-situ dehalogenace CIU	Lenka Honteschlagerová, Pavel Špaček	CHEMCOMEX Praha, a.s.	reduktivní dehalogenace nZVI	CIU	saturovaná zóna

Zdroj	Název článku	Autor	Firma	Testovaná metoda	Typ kontaminace	Kontaminovaná matrice
Sanační technologie XIII 2010	Využití ligninocelulózových odpadů pro vylehčení zemin při biodegradacích NEL a PAU ex-situ	Tomáš Lederer	AQUATEST a.s.	podpoření biodegradace přídavkem ligninocelulózových odpadů	NEL, PAU	zemina
inovativní sanační technologie ve výzkumu a praxi V 2012	Využití pokoročilých oxidačních procesů pro dekontaminace silně znečištěných podzemních vod	Pavel Krystyník, et al.	Dekonta a.s.	fotoindukovaná degradace	PAU	Podzemní voda
Sanační technologie XXII 2019	Geochemické aspekty nasazení elektrochemické podpory reduktivní dechlorace chlorovaných uhlovodíků	Jaroslav Hrabal, Vendula Cencarová	MEGA a.s.	Elektrochemická podpora reduktivní dehalogenace CIE	halogeny	saturovaná zóna
Sanační technologie XXII 2019	Dekontaminácia horninového prostredia okolia havárie produktovodu v slovnaft, a. s.	Ľubica Durdiaková et al.	VÚRUP, a. s.	Hydraulická metoda sanace	Ropné látky	Podzemní voda
Sanační technologie XXIII 2021	Nové perspektivy sanací v prostředí petrochemického průmyslu	Karel Waska, et al.	EPS biotechnology, s.r.o., EPS Slovensko, s.r.o.	ISCO (PDS/MFČ)	ropné uhlovodíky, VFRL, směs BTEX, naftalen	Nesaturovaná zóna
Sanační technologie XXIII 2021	Může být biotechnologie prakticky použitelným nástrojem pro eliminaci pesticidů z vod?	Martina Siglová, et al.	EPS biotechnology, s.r.o., ALS Czech Republic, s.r.o.	Biologický rozklad pesticidů	chloracetanili dové pesticidy	voda i půda
Sanační technologie XXIII 2021	Sanační zásah na lokalitě hlavního závodu společnosti Paramo, a.s.	Petr Kubizňák	Vodní zdroje Ekomonitor spol. s r.o.	Odtěžba kontaminované půdy + filtrace kontaminované vody přes uhlíkové a fibroilové filtry	ropné látky	saturovaná i nesaturovaná zóna
Sanační technologie XXIII 2021	Sanace saturované zóny v oblasti staré galvanovny bývalého podniku Jihlavan, s. p.	Vendula Cencarová	MEGA a.s.	nZVI (NANOFER 25DS), geochemická bariéra	CIU, převážně PCE a TCE a šestimocný chrom	saturovaná zóna
Sanační technologie XXIII 2021	Sanace nesaturované zóny staré galvanovny bývalého podniku Jihlavan, s. p.	Dagmar Bartošová	Vodní zdroje Ekomonitor spol. s r.o.,	Venting	CIU	Nesaturovaná zóna

Zdroj	Název článku	Autor	Firma	Testovaná metoda	Typ kontaminace	Kontaminovaná matrice
Sanační technologie XXIII 2021	Nápravná opatření k odvrácení škod způsobených vlivem staré ekologické zátěže bývalé skládky Vlčí důl v k. ú. Zásmyky na podzemních a povrchových vodách	Hana Jambriřhová	Vodní zdroje Ekomonitor, s.r.o.,	Kompletní technické zabezpečení (enkapsulace) a rekultivace.	fenoly , látky BTEX, polyaromatické uhlovodíky, uhlovodíky C10-C40	saturovaná i nesaturovaná zóna
Sanační technologie XXI 2018	Kombinované sanační technologie jako konkurenceschopný a prakticky použitelný nástroj	Petr Beneš, et al.	EPS biotechnology, s.r.o.,	ISCO (MFČ)-elektrodialýza-bioremediace; Elektrogeochemická obnova funkce reduktivních reakčních bariér; PAL a ISCO,	fenoly, benzen a naftalen; ftaláty (DEHP – diethylhexylftalát)	saturovaná i nesaturovaná zóna
Sanační technologie XXI 2018	Technické aspekty sanace staré ekologické zátěže Milevsko (odstranění skládky s obsahem zemin kontaminovaných PCB)	Roman Hadacz, Petr Lacina	GEOtest, a.s.,	fibroilový sorbent, kolony s nanouhlikem	ropné látky (mazut, LTO), PCB, PAU	saturovaná i nesaturovaná zóna
Sanační technologie XXIV 2022	Sanační práce v areálu společnosti Jihočeská plynárenská, a.s. v Českých Budějovicích	Petr Řežábek, Romana Jurnečková	GEOtest, a.s.,	promývání horninového prostředí anionaktivními tenzidy (PAL) a chemické oxidace in situ (ISCO).	NEL, BTEX, PAU, fenoly	podzemní voda, nesaturovaná zóna
Sanační technologie XXIV 2022	Návrh a realizace sanace staré ekologické zátěže v oblasti průmyslového areálu kontaminované šestimocným chromem	Petr Lacina, et al.	GEOtest, a.s.,	tlakové aplikace nZVI.	šestimocný Chrom	saturovaná i nesaturovaná zóna, budovy
Sanační technologie XVIII 2015	Sanace bývalého areálu KOVO Velká Hleďsebe	Jiří Kubricht, et al.	DEKONTA a.s.	in-situ biologická reduktivní dechlorace, filtrace přes aktivní uhlí	CIU, ropné látky, BTEX, MTBE	saturovaná i nesaturovaná zóna, budovy
Sanační technologie XVIII 2015	Prezentace praktického využití aplikace NPAL a modifikovaného Fentonova činidla MFČ (metoda ISCO)	Richard Hampl, et al.	AQUATEST, a. s.	NPAL, ISCO (MFČ)	NEL, BTEX	saturovaná i nesaturovaná zóna, podzemní voda
Sanační technologie XXV 2023	Využití mokřadního systému jako účinné technologie čištění důlních vod	Petr Beneš, et al.	EPS biotechnology, s.r.o., DIAMO, s.p.	biotechnologický systém (BtS)	mangan, síran, železo	důlní vody

Zdroj	Název článku	Autor	Firma	Testovaná metoda	Typ kontaminace	Kontaminovaná matrice
Sanační technologie XXV 2023	In situ chemická oxidace v nesaturované zóně pod budovou laboratoře	Robin Kyelt, et al.	ABITEC, s.r.o.	ISCO	1,1,1-trichlorethan, TCE, xylen	Nesaturovaná zóna
Sanační technologie XXV 2023	Hodnotenie účinnosti použitých sanačných metód při odstraňování zvyškového znečištění na lokalitě MZV produktovodu	Lubica Durdiaková, et al.	VÚRUP, a. s.	ISCO - direct push (MFČ), sanační čerpání, biodegradace	ropné látky, NEL	saturovaná i nesaturovaná zóna, podzemní voda
Sanační technologie XXV 2023	Sanace území kontaminovaného historickým provozem impregnace dřeva v oblasti vodního zdroje Česká Lípa	Radek Červinka, et al.	DEKONTA a.s., MEGA a.s.	in-situ ko-kompostování, ISCO (MFČ)	PAU, těžké kovy, ropné látky	Nesaturovaná zóna
Sanační technologie XVII 2014	Praktické využití in situ reduktivní dehalogenace chlorovaných ethylenů pro sanaci horninového prostředí konkrétní lokality	Dagmar Bartošová	Vodní zdroje Ekomonitor spol. s.r.o.	reduktivní dehalogenace (nZVI) + geochemická reaktivní bariéra	CIE, těžké kovy	podzemní voda
Sanační technologie XV 2012	Podpora sanace zemin kontaminovaných PAU promýváním surfaktanty	Ladislav Sýkora	AECOM CZ, s.r.o.	promývání surfaktanty	PAU, naftalen, benzo[a]pyren	saturovaná zóna
Sanační technologie XIV 2011	Sanace chlorovaných uhlovodíků reduktivními technologiemi ve slabě propustných horninách	Jaroslav Hrabal	MEGA a.s.	reduktivní dehalogenace (nZVI) + laktát sodný	CIU	saturovaná a nesaturovaná zóna
Sanační technologie XIV 2011	Sanace letiště Hradčany, metodika a výsledky prokazování dosažení sanačních limitů	Stanislava Prokšová, et al.	AECOM CZ, s.r.o.	venting + bioventing	NEL, BTEX, CIU	saturovaná a nesaturovaná zóna
Sanační technologie XIV 2011	Zpracování matečných louhů po krystalizaci kamence v procesu sanace horninového prostředí po chemické těžbě uranu	Jiří Charvát, Pavel Kolář	DIAMO, s.p.	zpracování matečných louhů (ZML)	zbytkové technologické roztoky (rozpuštěný uran)	podzemní voda
Sanační technologie XIII 2010	Sanace skládky Lukavice v okrese Chrudim před dokončením	Jan Kašpar	Vodní zdroje Ekomonitor spol. s.r.o.	sanace ex-situ	NEL	saturovaná i nesaturovaná zóna