

Analýza používání sanačních technik jako nápravných opatření na kontaminovaných místech v České republice

Zdeněk SUCHÁNEK^a, Martin KUBAL^b, Tomáš CAJTHAML^c, Ivana KOPECKÁ^c

^a Česká informační agentura životního prostředí, Moskevská 63, 101 00 Praha 10, e-mail: zdenek.suchanek@cenia.cz

^b Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, Fakulta technologie ochrany prostředí, Technická 5, 166 28 Praha 6, e-mail: kubalm@vscht.cz

^c Univerzita Karlova, Přírodovědecká fakulta, Ústav pro životní prostředí, Benátská 2, 128 01 Praha 2, e-mail: tomas.cajthaml@natur.cuni.cz

Souhrn

Analýzou dat o použitých sanačních technikách (ST) obsažených v záznamech Systému evidence kontaminovaných míst (SEKM) byl vytvořen statistický přehled ST využitelný pro budoucí podávání přehledových zpráv o stavu plnění závazků v intencích návrhu Směrnice Evropského parlamentu a Rady o monitorování a odolnosti půdy z července 2023. Použité ST byly charakterizovány z pohledu hlavních odstraňovaných kontaminantů, stavu nápravného opatření (NO) vč. roku ukončení sanace, stávající kategorie priority sanovaného kontaminovaného místa (KM), plochy lokality v m² a odhadu celkových nákladů. V souladu s návrhem směrnice bylo použito členění na 4 druhy ST – fyzikální, biologické, chemické a techniky pro izolaci, zachycení a monitorování, do nichž spadá celkem 22 dílčích ST. Pro všechny druhy ST bylo na 1827 KM se stanovenými NO identifikováno celkem 2131 použití, z toho 1776 (83,3 %) použití spadá do let 2003–2023. Fyzikálních sanačních technik je 627 (29,4 % ze všech), biologických 90 (4,2 %), chemických 618 (29,0 %) a technik pro izolaci, zachycení a monitorování 796 (37,4 %). Pro účely prezentované analýzy dat SEKM byla vypracována metodika výběru záznamů KM podle klíčových slov, tj. názvů sanačních technik, s použitím nástrojů „vyhledávání“ a „filtrování“, které jsou součástí SEKM. Pro potřeby předpokládaného budoucího podávání přehledových zpráv o stavu plnění závazků vyplývajících ze směrnice bude třeba upravit některá nastavení a funkcionality SEKM tak, aby potřebná data, resp. statistiky, byly snadněji zpracovatelné. Každý analyzovaný druh použité ST byl z pohledu stupně jejich rozpracovanosti a uplatnění v praxi v ČR přiřazen do skupiny metod běžných (850 použití), progresivních (89 použití), ve fázi vývoje (1 použití) a ostatních metod a technik (1191 použití).

Klíčová slova: sanační techniky/technologie, terminologie, kontaminovaná místa, nápravná opatření

1. Úvod

Návrh Směrnice Evropského parlamentu a Rady o monitorování a odolnosti půdy¹ z července 2023 obsahuje mj. seznam in situ a ex situ sanačních technik (ST). Poznatky o uplatňování jednotlivých ST co do počtu realizací a změn v jejich uplatňování v čase bude základem pro očekávané podávání přehledových zpráv o stavu plnění závazků vyplývajících ze směrnice. V ČR jsou informace o kontaminovaných místech (KM) soustředěny v Systému evidence kontaminovaných míst (SEKM)² v kompetenci Ministerstva životního prostředí. Záznamy o KM se opírají o odbornou dokumentaci uloženou v Geofondu České geologické služby, o hodnocení odpovědnými zapisovateli a o vyhodnocení potřeby sanace, resp. nápravných opatření nastavenými algoritmy (kategorie priority). Pro vyhledání informací o použité ST není v SEKM nastaven přímý vyhledávací nástroj s číselníkem názvů jednotlivých ST. Využitelná je funkcionality „Filtrování“, kde jedním z přednastavených 82 parametrů je i parametr „Nápravná opatření – sanační metody“. Tento nástroj vyhledává pouze v textech anotací o sanacích v záznamech KM, nikoli v originální odborné dokumentaci. I přesto je možné stav používání ST statisticky vyhodnotit, i když pracně a časově náročně. Pro budoucí podávání

přehledových zpráv o stavu plnění závazků vyplývajících ze směrnice i pro operativnější získávání informací o sanacích státní a veřejnou správou, odbornou i laickou veřejností, v souladu s politikou otevřených dat, je nezbytné stávající systém SEKM doplnit o potřebné nástroje a nastavení. Rešerše použitých ST ze záznamů KM evidovaných v SEKM² využita jako podklad v tomto příspěvku byla připravena v období od října 2023 do února 2024 a slouží pro výběr příkladů hlavních ST používaných v ČR v posledních 20 letech za účelem jejich vyhodnocení a prezentace v edukačním materiálu pro workshop a školení zástupců státní, resp. veřejné správy v rámci projektu TAČR CEVOOH (dílní úkol 2.B.4.1)³.

Poznámka: V českém odborném prostředí se v problematice sanací KM a sanační geologie dominantně používá termín „sanační technologie“, a jen v případech více souvisejících s konstrukčními, stavebními, technickými, měřicími a kontrolními aktivitami také „sanační techniky“. Návrh směrnice o monitorování a odolnosti půdy¹ však používá pouze termín „Remediation techniques“, česky tedy „sanační techniky“.

2. Podklady a metody

2.1 Východiska a podklady pro rešerši dat ze SEKM

Zpracování záznamu do státního informačního systému SEKM a podrobnosti pro práci se systémem jsou stanoveny metodickým pokynem MŽP⁴. Početní stav evidence KM shrnuje tabulka 1, počet záznamů podle stavu NO pak tabulka 2. Počty záznamů jsou vykazovány pro tři různé kombinace stavů. Pro následné vyhledávání záznamů KM z pohledu použitých ST je důležitý počet 1530 záznamů KM, na nichž NO již bylo ukončeno, je přerušeno nebo již bylo zahájeno. Tento počet je maximálním počtem lokalit s evidovanými použitými technikami a představuje 15 % ze všech evidovaných záznamů KM. Pokud připočteme počet 297 dosud nezahájených opatření (z nich část již pravděpodobně byla po posledním inventarizačním odečtu a hromadné aktualizaci záznamů ke konci roku 2021 zahájena), dostaneme počet 1827 KM, pro které byla NO stanovena. Vůči tomuto počtu také můžeme vztahovat data o uplatněných nebo navržených ST.

Tabulka 1: Počty záznamů kontaminovaných míst podle stavů v SEKM

Stav záznamu lokality	Počet záznamů k 30.10. 2023	Počet záznamů k 13. 2. 2024	Počet záznamů k 13. 3. 2024
schváleno	10 082	10 060	10 063
ke schválení	69	88	91
k přijetí	1	1	0
rozpracováno	34	37	32
neaktuální	0	0	0
nepřijato	0	0	0
celkem	10 196	10 186	10 186

Tabulka 2: Stav nápravných opatření podle SEKM k 13. 2. 2024

Stav nápravných opatření	Počet záznamů	%	Počet záznamů	%	Počet záznamů	%	Počet záznamů	%
neznámo	7 364	72,3	7 364	72,3	8 359	82,1	8 656	85,0
NO není nutné	995	9,8	995	9,8				
NO dosud nezahájeno	297	2,9	1 827	17,9	297	2,9	1 530	15,0
NO probíhá	282	2,8			1 446	14,2		
NO ukončeno – vyhovující	1 164	11,4			84	0,8		
NO ukončeno/přerušeno – nevyhovující	84	0,8						
celkem	10 186	100,0	10 186	100,0	10 186	100,0	10 186	100,0

2.2 Metodika výběru záznamů KM podle klíčových slov – názvů sanačních technik

Databáze SEKM poskytuje pro vyhledávání dva základní nástroje – „vyhledávání“ a „filtrování“. V nástroji „vyhledávání“ není bohužel pro ST specializovaná rubrika vytvořena. Tím je znemožněno využití přímého exportu dat ve formátu tabulky (excel) s veškerými údaji a texty v rozsahu tzv. souhrnného formuláře všech relevantních lokalit a možností následného fulltextového vyhledávání v celém rozsahu tabulky. V SEKM je inkorporován (a v analýze byl použit) nástroj „filtrování“, který nabízí mezi 82 parametry i parametr „Nápravná opatření – sanační metody“. V dalším kroku nabízí filtrování podle výrazu nebo textu v poli „hodnota“. Zde je třeba postupně vyhledávat všechny gramatické tvary (pády), což vede ke zvýšeným počtům vyhledaných případů s početnými multiplicitami. Současné použití více filtrovacích parametrů k redukci výsledku nevede. Výsledkem filtrování pro jednotlivý vyhledaný text (název ST ve všech gramatických tvarech) je tabulka záznamů o 7 sloupcích, tedy stručnější, než je struktura souhrnného formuláře (45 sloupců). V následné fázi je třeba tyto seznamy rešeršovaných záznamů překopírovat do excelové tabulky a seznam KM v tabulce očistit od multiplicit pomocí seřídění dle identifikačního čísla záznamu a odmazáním duplicitních záznamů. Pro další práci byla tabulka doplněna 15 zájmovými rubrikami s daty a informacemi potřebnými pro vyhodnocení a výběr použitých ST. Tyto informace byly rešeršovány ze záznamů jednotlivých lokalit v SEKM. Nacházejí se v podobě anotací především v rubrikách „Sanace“ a „Dokumenty“ v náhledu záznamů. Pomocí funkcí tabulkového procesoru Excel „seřadit a filtrovat“ je možno lokality s použitými ST dále rozřadit podle roku dokončení nebo posledního použití dané ST. V naší studii byly lokality rozříděny do tří časových fází – před rokem 1990, 1991 – 2002 a 2003 – 2023. Podle relevance byly nakonec záznamy rozčleněny do tří skupin: KM s uplatněnou ST, KM s navrženou, ale dosud nerealizovanou ST a KM bez uplatnění (bez návrhu ST).

2.3 Seznam kontaminantů vyskytujících se v záznamech SEKM použitých ve studii

V SEKM jsou všechny znečišťující látky na KM pro povrchové vody, podzemní vody a zeminy zařídovány do skupin kontaminantů⁴. V naší studii jsme pro každou lokalitu a médium shrnuli všechny skupiny látek a vyhodnotili četnosti jednotlivých ST. Dle SEKM byly použity a hodnoceny tyto skupiny látek: anorganické ostatní, anorganické více nebezpečné, BTEX (benzen – toluen – ethylbenzen – xylen), CIB (chlorbenzeny a chlorfenoly), CIU (chlorované uhlovodíky), fenoly, freony a halony, herbicidy, kovy, kovy velmi nebezpečné, mikrobiální, NEL (nepolární extrahovatelné látky), organické ostatní, PAU (polycyklické aromatické uhlovodíky), PCB (polychlorované bifenyly), pesticidy, radioaktivita, odpady, PFAS (perfluoroalkylové chemické látky), jiné parametry.

Poznámka: V SEKM jsou někdy uváděny i jednotlivé kontaminanty PCE (tetrachlor, perchlor, tetrachloreten), TCE (trichlor, trichloreten), 1,1 DCEen (dichloreten), 1,2 DCEen (dichlor) skupiny CIU, v níž je také vykazujeme. Ropné uhlovodíky (RU) vykazujeme ve skupině NEL.

2.4 Seznam sanačních technik z návrhu směrnice a jejich výskyt v evidenci KM

V návrhu Směrnice Evropského parlamentu a Rady o monitorování a odolnosti půd¹ je i seznam in situ a ex situ ST. Tabulka 3 shrnuje názvy ST v návrhu směrnice (anglicky modře), překlady do češtiny z návrhu směrnice (červeně jsou označeny ty, které jsou diskutabilní) a termíny/synonyma použité pro ST v SEKM (červeně jsou označeny ty, které se významněji liší od nabízeného překladu v návrhu směrnice).

Názvy ST v české verzi návrhu směrnice (evidentně strojový překlad bez odborné korektury) a podoby termínů a jejich synonym použitých pro ST v záznamech SEKM se v různé míře liší. V dalším projednávání návrhu směrnice vč. české jazykové mutace a v přípravě předpokládané transpozice do českého právního prostředí je překlad terminologie nutno po vhodné odborné diskusi dořešit.

Tabulka 3: ST dle návrhu směrnice a dat v SEKM vč. zjištěných počtů KM s jejich použitím

Český / anglický text návrhu směrnice		Systém evidence kontaminovaných míst (SEKM)		
Druh technik	Název technik	Termíny a synonyma používané v záznamech a dokumentech KM	Počet KM, na nichž byla ST použita	
Fyzikální sanační techniky	a) extrakce par, provzdušňování proudem vzduchu; Vapor extraction, air sparging;	air sparging, venting, air stripping	77	
	b) tepelné ošetření, vstříkování páry , tepelná desorpce, vitrifikace; Heat treatment, steam injection, thermal desorption, vitrification;	termické metody, propařování, vtačování páry	20	
	c) praní a promývání půdy; Soil washing and flushing;	promývání a praní zemin	21	
	d) elektrokinetická extrakce; Electrokinetic extraction;	elektroremediace	1	
	e) odstranění kapalné vrstvy ; Liquid layer removal;	odčerpání / čerpání (kapalné fáze), sčerpání volné fáze, odstranění volné fáze z hladiny podzemních vod, sběr volné fáze	113	
	f) vykopání a vysypání . Dig and dump.	odtěžba, odtěžení, odstranění zeminy, vymístění, demolice, skládkování	395	
Biologické sanační techniky	a) stimulace aerobního nebo anaerobního odbourávání: Stimulation of aerobic or anaerobic degradation	bioremediace, bioremediation ,	bioremediace	59
		biostimulace, biostimulation ,	biostimulace (příklad: biologická reduktivní dechlorace)	1
		bioaugmentace, bioaugmentation ,	bioaugmentace (příklad: biodegradace v kombinaci s kompostováním)	1
		bioventilace, bioventing ,	bioventing	3
	biosparging; biosparging ;	biosparging	2	
	b) fytoextrakce, fytovolatilizace, fytodegradace; Phytoextraction, phytovolatilization, phytodegradation;	-	0	
	c) kompostování, půdní úpravy, landfarming a bioreaktorové systémy; Composting, soil amendments, landfarming, and bioreactor systems;	spolukompostování, bioreaktorové systémy	1	
d) biofiltrace, mokřady pro biologické čištění a tzv. biobeds; Biofiltration, biotreatment wetlands, and biobeds;	kokso-kompostová filtrace, mokřadní systém čištění vod	5		
e) přirozený útlum . Natural attenuation.	přirozená atenuace	18		
Chemické sanační techniky	a) chemická oxidace; Chemical oxidation;	in-situ chemická oxidace, ISCO	49	
	b) chemická redukce a oxidačně-redukční (redoxní) reakce; Chemical reduction and reduction-oxidation (redox) reactions;	in-situ chemická redukce, ISCR, (vč. reduktivní dechlorace)	20	
	c) čerpání a úprava podzemní vody . Pump and treat of groundwater. ¹⁾	sanační čerpání , hydraulická sanace podzemních vod, hydraulická sanace, hydraulická bariéra, dekontaminace podzemních vod, ochranné sanační čerpání, stripping, stripování	549	
Sanační techniky pro izolaci, zachycení a monitorování	a) stahování horní vrstvy , reaktivní bariéry, zapouzdření; Surface capping, reactive barriers, encapsulation;	zakrytí / překrytí povrchu nepropustnou vrstvou , reaktivní bariéry, enkapsulace	7	
	b) chemická stabilizace, solidifikace a imobilizace; Chemical stabilization, solidification and immobilization;	chemická stabilizace, solidifikace a imobilizace	12	
	c) hydrogeologická izolace a zachycení ; Geo-hydrological isolation and containment;	kontainment; ekokontejnment	3	
	d) fytostabilizace; Phyto-stabilisation ;	fyto-stabilizace	0	
	e) kontrola a následná péče prostřednictvím monitorovacích vrtů. Control and aftercare through monitoring wells.	monitorování, monitoring	776	
celkem			2131	

Komentář k tabulce: ¹⁾ V návrhu směrnice¹ je sanační technika „Čerpání a úprava podzemní vody“ zařazena mezi chemické sanační techniky. Tato technika však většinou využívá fyzikální sanační postupy odstraňování kontaminantů (gravitační separace, stripování, sorpce apod.) a měla by tedy být řazena mezi fyzikální sanační techniky. Za chemickou techniku ji lze označit pouze v případě, že k dekontaminaci čerpané vody jsou použity chemické metody jako oxidace, redukce, neutralizace, srážení apod., což podle zkušeností v české praxi je podružný jev. Vyjednání případné (a autory doporučené) změny v návrhu směrnice je v kompetenci MŽP ČR.

2.5 Hodnocení sanačních technik použitých v ČR v posledních cca 40 letech

ST použité v ČR jsou níže ve studii analyzovány postupně podle seznamu navrhované směrnice¹ a jsou charakterizovány z pohledu hlavních odstraňovaných kontaminantů, stavu NO vč. roku ukončení sanace, plochy lokality v m², odhadu celkových nákladů na sanaci a v SEKM vyhodnocené stávající kategorie priority (A/P/N) sanovaného KM. Dělením a charakteristikou ST se v ČR naposledy zabývali Matějů⁵⁻⁷ a Slouka a Beneš⁸. V návaznosti na projekt CEVOOH³ jsou níže vyhodnoceny analyzované použité ST dle stupně rozpracovanosti a uplatnění v praxi ČR. Hodnocení četnosti použití, místa a formy použití (in situ, ex situ), charakteristik sanovaného KM a období realizace umožňuje dělení do 4 skupin:

1. **běžné metody:** sanační čerpání; venting (vč. air-strippingu); bioremediace (vč. bioventingu, bioextrakce, bioaugmentace, biostimulace, biosanace, biostabilizace); přirozená atenuace.
2. **progresivní metody:** in situ chemická oxidace; in situ chemická redukce; termické metody.
3. **metody ve fázi vývoje** (např. nano-remediace, nano-bioremediace).
4. **ostatní metody a techniky** (např. odtěžení, sanační techniky pro izolaci, zachycení a monitorování).

U cca 50 % KM jsou v záznamech SEKM uváděny náklady/odhady nákladů na sanaci. Zahrnují náklady na všechny práce a ST použité na lokalitě, nikoli pouze náklady na aplikaci dané ST. Údaj tak dává v podobě průměrných nákladů pro seznam KM s konkrétní ST určitou představu o velikosti a komplexnosti sanačních aktivit na lokalitě. Pro každou analyzovanou skupinu KM s konkrétní ST byla vypočítána i průměrná plocha KM, která indikuje celkový rozměr sanačního projektu. Pomocí funkce „Seřadit a filtrovat“ v Excelu je možno lokality s použitými ST dále rozdělit dle roku dokončení nebo posledního použití dané techniky na období před rokem 1990, 1991 – 2002 a 2003 – 2023.

3. Experimentální část - analýza uplatnění ST na KM evidovaných v SEKM

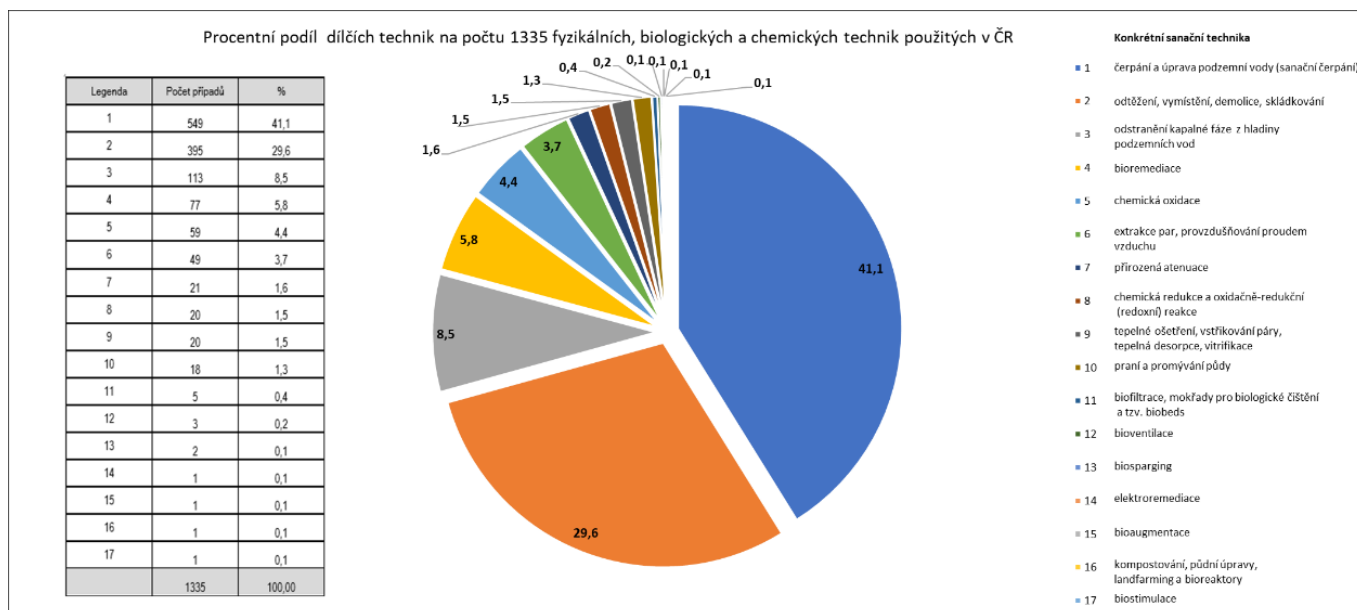
Postupem dle kapitoly 2 byl pro každou ST připraven seznam KM v tabulkovém procesoru Microsoft Excel. Každý řádek (jedno KM) obsahoval mimo identifikační a lokalizační údaje vybrané údaje přínosné pro vyhodnocení použití a významu předmětné ST (nejdůležitější údaje zapsány tučně): **hlavní kontaminant**, **hlavní ST**, **konkrétní použitá ST**, **stav NO vč. roku ukončení sanace**, **aktuálnost – posledních 20 let – ANO/NE**, **stávající kategorie priority (A/P/N)**, **popis v rubrice sanace ANO/NE**; **množství odstraněného kontaminantu**; **objem v m³**; **kontaminovaná plocha v m² (4 kategorie)**; **plocha lokality v m²**; **odhad celkových nákladů**; **fotodokumentace, schémata a mapky**. Pro fyzikální, biologické a chemické techniky bylo vyhodnoceno 17 analýz. Přehled použití ST je uveden v obrázku 1. Názvy uvedených ST jsou pracovní kombinací názvů z návrhu směrnice a termínů z české praxe.

Fyzikální sanační techniky: (1) extrakce par, provzdušňování proudem vzduchu; (2) tepelné ošetření, vtláčování páry, tepelná desorpce, vitrifikace; (3) elektroremediace; (4) odstranění kapalné fáze z hladiny podzemních vod; (5) praní a promývání půdy; (6) odtěžení, vymístění, demolice, skládkování.

Biologické sanační techniky: (7) bioremediace; (8) biostimulace; (9) bioaugmentace; (10) bioventilace; (11) biosparging; (12) kompostování, půdní úpravy, landfarming a bioreaktory; (13) biofiltrace, mokřady pro biologické čištění a tzv. biobeds; (14) přirozená atenuace.

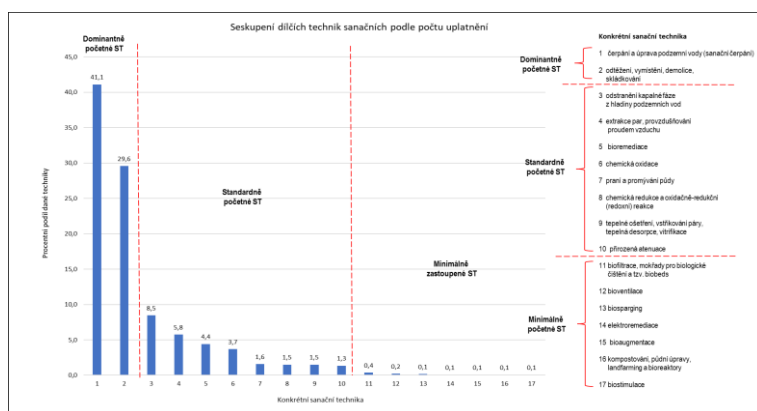
Chemické sanační techniky: (15) chemická oxidace; (16) chemická redukce a oxidačně-redukční (redoxní) reakce; (17) čerpání a úprava podzemní vody (sanační čerpání).

Čtvrtý druh technik, **sanační techniky pro izolaci, zachycení a monitorování**, byl hodnocen odděleně, protože je chápán v praxi jako komplementární technické, konstrukční, stavební, nápravné, nebo kontrolní opatření, nikoliv jako konkurenční technika vůči prvním 3 druhům. Zahrnuje: (a) zakrytí/překrytí povrchu nepropustnou vrstvou, reaktivní bariéry, enkapsulaci; (b) chemickou stabilizaci, solidifikaci a imobilizaci; (c) hydrogeologickou izolaci a zachycení (kontainment / ekokontejnment); (d) fytostabilizaci; (e) monitorování, monitoring.

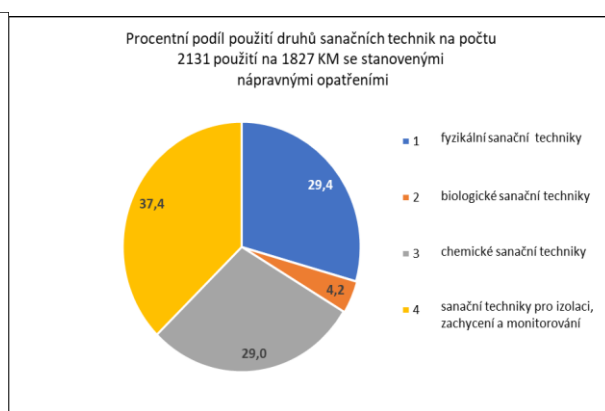


Obrázek 1: Podíl dílčích ST z počtu 1335 fyzikálních, biologických a chemických ST

V obrázku 2 jsou dílčí ST prvních tří druhů seříděny podle velikosti podílu na všech 1335 technikách a jsou seskupeny do tří skupin. Početně **dominantní** jsou dvě ST – čerpání a úprava podzemní vody (dále též sanační čerpání) a odtěžení (vč. demolic, vymístění a skládkování). Dohromady mají 73,5 % podíl na uvedených ST. **Standardní** uplatnění mají ST s podílem od 7,7 do 1,2 % (odstranění kapalných fází; extrakce par, provzdušňování; bioremediace; chemická oxidace; praní a promývání půdy; chemická redukce a oxidačně-redukční reakce; tepelné ošetření, vstříkávání páry; tepelná desorpce, vitifikace; přirozená atenuace). Početně **minimální** uplatnění mají ST s podílem 0,3 až 0,1 % (biofiltrace, mokřady pro biologické čištění a biobeds; bioventilace; biosparging; elektroremediace; bioaugmentace; kompostování, půdní úpravy, landfarming a bioreaktory; biostimulace). Je zajímavé, že презентаčně oblíbené a účinné chemické ST – chemická oxidace a chemická redukce – mají dohromady pouze 4,7% podíl na všech použitých uvedených 3 druhů ST. Pokud srovnáme počty uplatnění skupin fyzikálních, biologických a chemických ST, tak vidíme, že nejvíce je chemických ST (47,0 %) a nejméně biologických ST (6,7 %). Pro všechny fyzikální, biologické, chemické ST a ST techniky pro izolaci, zachycení a monitorování bylo na 1827 KM se stanovenými NO identifikováno celkem 2131 použití, z toho 1773 použití spadá do let 2003 – 2023 (obrázek 3).



Obrázek 2: Seskupení dílčích fyzikálních, biologických a chemických ST podle počtu uplatnění



Obrázek 3: Podíly druhů ST na 2131 případech použití

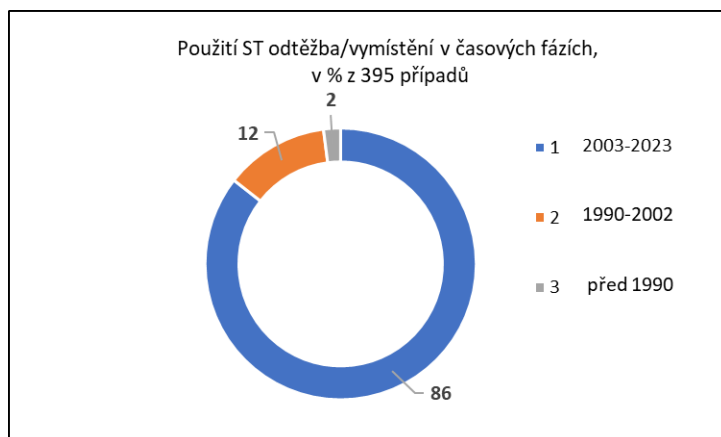
Při interpretaci uvedených dat je třeba mít na paměti, že identifikované použití dané ST je jen u části KM uplatněno jako jediné. Obvykle je totiž na jednom KM použito několik integrovaných sanačních technik řazených sekvenčně (postupně nasazované) nebo paralelně (souběžně využívané)^{6,7}. Také je možno hovořit o integrovaných ST, začleněných jedna do druhé, nebo o sekvenci technologií zapojovaných postupně. Kombinace sanačních technik tak vytváří množství sanačních systémů⁷. V naší statistice se míra integrace projevuje ve větším počtu použití ST (2131) na v SEKM identifikovaném počtu KM (s NO) s použitím nějaké ST. Pro každou z analyzovaných ST jsou v kapitolách níže uvedeny zjištěné počty použití a některé charakteristiky, např. z pohledu hlavních odstraňovaných kontaminantů, stavu NO, stávající kategorie priority (A/P/N) sanovaného KM, plochy lokality v m², odhadu finančních nákladů a uplatnění v časových fázích. V databázi SEKM jsou záznamy KM vyhodnoceny podle Metodického pokynu MŽP⁴. Každé KM je jednoznačně zařazeno do kategorie podle toho, jaký další postup vyžaduje v závislosti na předpokládané či ověřené kontaminaci a na důsledcích či možných důsledcích této kontaminace pro lidské zdraví a životní prostředí. Jsou rozlišovány tři základní kategorie lokalit – lokality kontaminované (A), potenciálně kontaminované (P) anebo nekontaminované (N). Každá z těchto tří základních kategorií je ještě podrobněji členěna. Lokality kategorie A jsou ty, u nichž kontaminace znamená existující a potvrzený problém. U lokalit kategorie P znamená kontaminace problém potenciální, není u nich dostatek informací pro definitivní závěry. Skutečnou závažnost kontaminace musí u této kategorie ověřit průzkum a/nebo analýza rizik. Lokality kategorie N nevyžadují žádný zásah.

3.1 Fyzikální sanační techniky

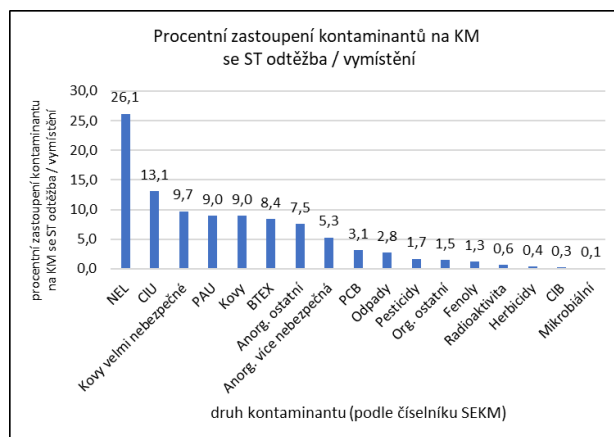
Největší podíl ve skupině fyzikálních ST (627 použití) má odtěžení (odtěžba atd.) – 63 % (resp. 62 % pro 2003–2023). Následují ST odčerpání kapalné fáze (18,0 %, resp. 18,3 % pro 2003 – 2023) a ST extrakce par (venting) – 12,3 % (12,3 % pro 2003 – 2023). Tyto tři ST reprezentují 93,3 % fyzikálních ST (92,5 % pro období 2003 – 2023) a byly dominantně použity v období 2003 – 2023 (546 – tj. 87 %), před rokem 2003 to bylo 81 použití, tj. 13 % ze všech 627 zaznamenaných použití. KM, na nichž byly použity fyzikální ST, mají nejčastěji kategorii priority P (47 %). Výše zmíněné dominantní fyzikální ST jsou níže detailněji popsány, informace a analýzy k ostatním méně často použitým ST v této kategorii (tepelné ošetření; praní a promývání půdy; elektroremediace) budou na vyžádání poskytnuty autory.

3.1.1 odtěžení, odtěžba, vymístění, demolice, skládkování

Tato ST byla použita v 395 případech (63,0 % z fyzikálních ST), z toho v období 2003 – 2023 338krát, v období 1990 – 2003 49krát a v období před rokem 1990 8krát (obrázek 4). Navíc bylo zjištěno 106 případů, kdy použití této ST bylo navrženo nebo doporučeno k aplikaci. ST byla použita na 395 lokalitách s následujícími kontaminanty: NEL, CIU, Kovy velmi nebezpečné, PAU, Kovy, BTEX, Anorg. ostatní, Anorg. více nebezpečná, PCB, Odpady, Pesticidy, Org. ostatní, Fenoly, Radioaktivita, Herbicidy, CIB a Mikrobiální (obrázek 5). Nejčastější jsou kontaminace NEL – 26,1 % z 1113 případů uvedení kontaminantu. NEL společně s CIU jsou kontaminanty v 39,3 % případů. V 167 případech jsou uvedeny celkové náklady všech ST použitých na sanaci daného KM v celkové výši 24,5 mld. Kč. Průměrný náklad je 146 693 681 Kč. Výše nákladů je v rozmezí od 3,5 mld. Kč do 16 tis. Kč. Průměrná plocha sanovaného KM je 1 320 823 m². 94 KM má kat. priority A, 200 kat. P a 101 kat. N. Metoda bývá často kombinovaná s bioremediací on site nebo ex situ, stabilizací a solidifikací či jinou následnou úpravou, jejímž cílem je snížení obsahu či toxicity přítomných kontaminantů či vyjmutí z kategorie „nebezpečný odpad“.



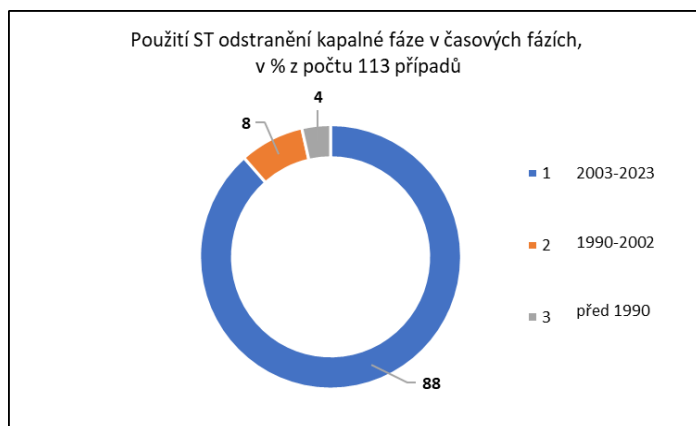
Obrázek 4: Použití ST odtěžba/vymístění v časových fázích



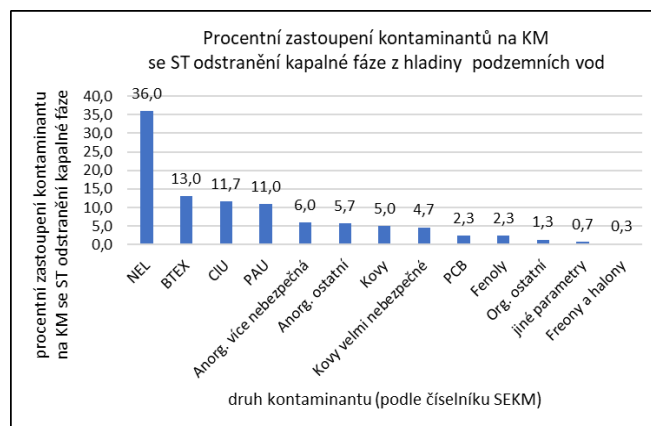
Obrázek 5: Procentní zastoupení z 1113 případů uvedení kontaminantů na 395 KM se ST odtěžba/vymístění

3.1.2 odstranění / odčerpání kapalně fáze z hladiny podzemních vod

Tato ST byla použita ve 113 případech (18,0 % z fyzikálních ST), z toho v období 2003 – 2023 100krát, v období 1990 – 2003 9krát a v období před rokem 1990 4krát (obrázek 6). Použita byla na KM s následujícími kontaminanty: NEL, BTEX, CIU, PAU, Anorg. více nebezpečná, Anorg. ostatní, Kovy, Kovy velmi nebezpečné, PCB, Fenoly, Org. ostatní, Jiné parametry a Freony a halony (obrázek 7). Nejčastější jsou kontaminace NEL – 36,0 % ze 300 případů uvedení kontaminantu. NEL společně s BTEX, CIU a PAU jsou kontaminanty v 71,7 % případů. Za nejčastější typ kapalně / volně fáze tak lze označit produkty vyrobené z ropy (benzín, nafta, letecký petrolej, oleje, mazut a směsi těchto látek). V 57 případech jsou uvedeny celkové náklady všech ST použitých na sanaci daného KM v celkové výši 10,8 mld. Kč. Průměrný náklad je 190 mil. Kč. Výše nákladů je v rozmezí od 0,3 mil Kč do 3,5 mld. Kč. Průměrná plocha sanovaného KM je 14 440 357 m². 41 KM má kategorii priority A, 44 kategorií P a 28 kategorií N.



Obrázek 6: Použití ST odstranění kapalně fáze v časových fázích

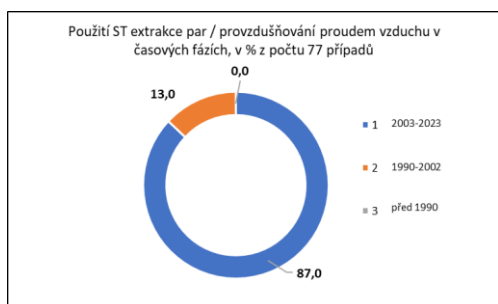


Obrázek 7: Procentní zastoupení z 300 uvedených kontaminantů na 113 KM se ST odstranění kapalně fáze

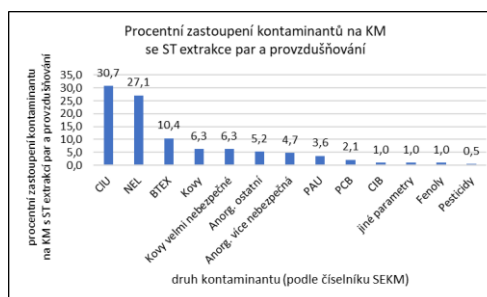
3.1.3 extrakce par, provzdušňování proudem vzduchu

Tato ST, zahrnující i termín venting (vč. air-spargingu) byla použita v 77 případech (12,3 % z fyzikálních ST), z toho 67krát v období 2003 – 2023, 10krát v období 1990–2003 a ani jednou v období před rokem 1990 (obrázek 8). Navíc bylo zjištěno 9 případů, kdy použití této ST bylo navrženo nebo doporučeno k aplikaci (v SEKM nejsou žádné další informace o jejím nasazení). ST byla použita na 77

lokalitách s následujícími kontaminanty: CIU, NEL, BTEX, Kovy, Kovy velmi nebezpečné, Anorg. ostatní, Anorg. více nebezpečná, PAU, PCB, CIB, jiné parametry, Fenoly a Pesticidy (obrázek 9). Nejčastější jsou kontaminace CIU – 30,7 % a NEL – 27,1 % ze 192 případů uvedení kontaminantu. CIU, NEL a BTEX jsou kontaminanty v 68,2 % případů. Technologie ventingu byla v ČR běžná v 90. letech 20. století, později se již používala málo s ohledem na dlouhý čas, který byl obvykle zapotřebí pro dosažení sanačního limitu. Air-sparging využívá v zásadě stejný princip a instalaci jako venting, ale doplňuje ho navíc o systém zatlačovacích vrtů, jejichž prostřednictvím je pod hladinu podzemní vody přiváděn vzduch.³ U 43 případů byl zaznamenán odhad celkových nákladů všech ST použitých na sanaci daného KM, a to v celkové výši 6 884 906 886 Kč. Průměrný náklad je 160 114 113,6 Kč. Výše nákladů je v rozmezí od 60 tis. Kč do 3,5 mld. Kč. Průměrná plocha sanovaného KM je 609 543 m². 31 KM má kategorii priority A, 35 kategorií P a 11 kategorií N.



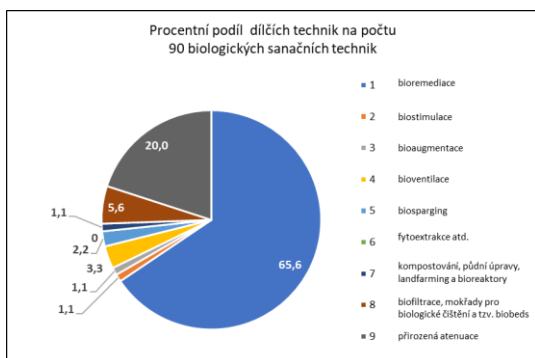
Obrázek 8: Použití ST extrakce par, resp. provzdušňování proudem vzduchu v časových fázích



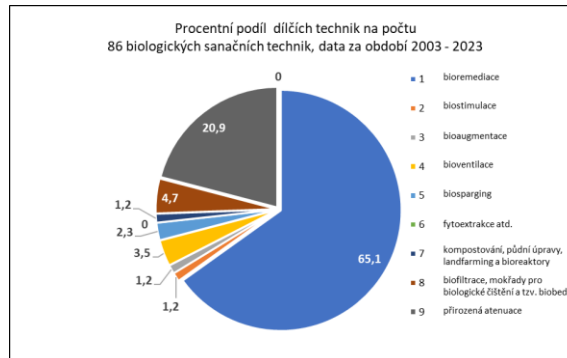
Obrázek 9: Procentní zastoupení ze 192 uvedení kontaminantů na 72 KM se ST extrakce par a provzdušňování

3.2 Biologické sanační techniky

Největší podíl ve skupině biologických ST (90 použití) má ST bioremediace – 65,1 %, pro období 2003 – 2023 je to 65,6 %. Následují ST přirozené atenuace - 20,0 %, resp. 20,9 % ST pro 2003 – 2023, ST biofiltrace (mokřady atd.) – 4,7 %, resp. 5,6 % pro 2003 – 2023 a ST bioventingu – 3,3 %, resp. 3,5 % pro 2003 – 2023. Tyto čtyři ST reprezentují 94,4 % biologických ST, resp. 94,2 % ST pro období 2003 – 2023 (obrázek 10 a 11). Tyto biologické ST byly dominantně použity v období 2003 – 2023 (86 – tj. 95,6 %), před rokem 2003 to byla 4 použití, tj. 4,4 % ze všech 90 zaznamenaných použití. KM, na nichž byly použity biologické ST, mají nejčastěji kat. priority A a P – dohromady 72,2 %. ST **stimulace aerobního nebo anaerobního odbourávání** se skládá z pěti dílčích ST – bioremediace, biostimulace, bioaugmentace, bioventilace a biosparging (viz. podkapitoly 3.2.1 – 3.2.5).



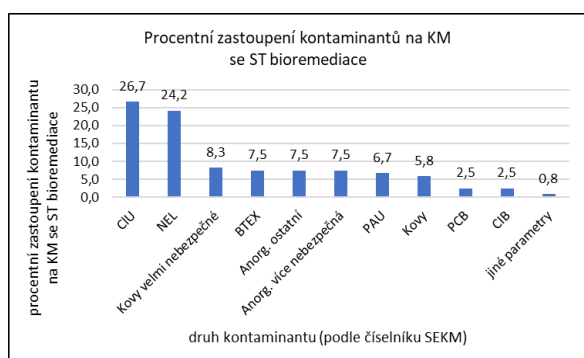
Obrázek 10: Podíly dílčích ST na 90 biologických ST



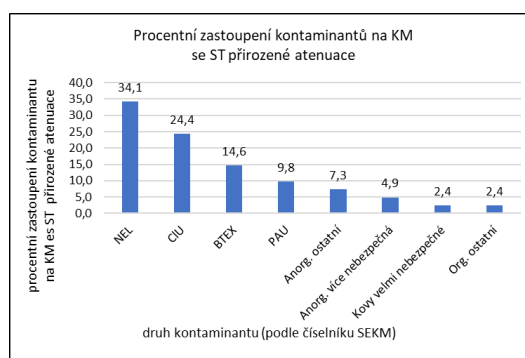
Obrázek 11: Podíly dílčích ST na 86 biologických ST v letech 2003 – 2023

3.2.1 bioremediace

ST technika bioremediace se používá k odstranění nebo detoxikaci ropných látek, aromatických a polyaromatických uhlovodíků a některých chlorovaných látek. V ČR byla použita v 59 případech (65,6 % z biologických ST), z toho v období 2003–2023 56krát, jednou v období 1990 – 2003 a dvakrát v období před rokem. Tato ST byla použita na 59 lokalitách s následujícími kontaminanty: CIU, NEL, Kovy velmi nebezpečné, BTEX, Anorg. ostatní, Anorg. více nebezpečná, PAU, Kovy, PCB, Org. ostatní a jiné parametry (obrázek 12). Nejčastější jsou kontaminace CIU – 26,7 % ze 120 případů uvedení kontaminantu. CIU společně s NEL jsou kontaminanty v 50,8 % případů. V 34 případech jsou uvedeny celkové náklady ST použitých na sanaci daného KM ve výši 2 413 917 795 Kč. Průměrný náklad je 70 997 582 Kč. Výše nákladů je v rozmezí od 0,1 mil. Kč do 416 mil. Kč. Průměrná plocha KM je 256 481 m². 24 KM má kat. priority A, 19 kat. P a 16 kat. N.



Obrázek 12: Procent. zastoupení ze 120 uvedených kontaminantů na 59 KM se ST bioremediace



Obrázek 13: Procent zastoupení ze 41 uvedených kontaminantů na 18 KM se ST přiroz. atenuace

3.2.2 přirozená atenuace

ST je založená na společném působení přirozených dějů, které vedou k úbytku kontaminantu na dané lokalitě a monitorovaný rozklad kontaminantu probíhá prokazatelně tak rychle, že není nutné aktivní technické opatření.³ Referována je v 18 případech (20 % z biologických ST) z období 2003 – 2023, přičemž na 5 lokalitách jde o návrh ST. Použita byla nejčastěji pro kontaminanty typu NEL (34,1 % ze 41 případů uvedení kontaminantu), dále CIU, BTEX, PAU, Anorg. ostatní, Anorg. více nebezpečné, Kovy velmi nebezpečné a Org. ostatní (obrázek 13). NEL, CIU a BTEX jsou kontaminanty v 73,2 % případů. V 9 případech jsou uvedeny celkové náklady všech ST použitých na sanaci daného KM v celkové výši 157,6 mil. Kč. Průměrný náklad je 17,5 mil. Kč. Výše nákladů je v rozmezí od 0,2 mil. Kč do 90 mil. Kč. Průměrná plocha sanovaného KM je 985 723 m². Čtyři KM mají kategorii priority A, 9 kategorií P a 5 kategorií N. V dalších 8 případech je přirozená atenuace součástí monitoringu a vyhodnocení sanace bez označení, že jde o nasazenou ST, 13x pak píše o řízené/podporované/stimulované atenuaci.

3.2.3 bioventilace

ST bioventilace (bioventingu) je založena na odsávání půdního vzduchu z nesaturované zóny systémem mělkých vrtů spolu s dávkováním živin podporujících činnost mikroorganismů³. Je použitelná pro těkavé a semitěkavé kontaminanty (benzín, chlorované ethyleny, BTEX, nafta, letecký petrolej, lehčí aromatické uhlovodíky). Dle analýz byla použita v ČR ve třech případech (3,3 % z biologických ST), z toho v období 2003 – 2023 dvakrát a jedenkrát v období před rokem 1990, a to na lokalitách s kontaminací NEL (3x), BTEX (2x), CIU (1x), Anorg.více nebezpečná (1x), Anorg. Ostatní (1x) a Kovy velmi nebezpečné (1x). Ve všech třech případech jsou uvedeny celkové náklady všech ST použitých na sanaci daného KM v celkové výši 423 258 573 Kč Průměrný náklad je 141 086 191 Kč. Výše nákladů je v rozmezí od 1,9 mil. Kč do 416 mil. Kč. Na KM byly realizovány také metody sanačního čerpání, bioremediace / biodegradace, air-spargingu a promývání. Průměrná plocha sanovaného KM je 1 337 002 m². Jedno KM má kategorii priority A, jedno kategorii P a jedno kategorii N.

3.2.4 biostimulace (příklad: biologická reduktivní dechlorace)

Použití ST biostimulace bylo zaznamenáno v jediné lokalitě s kontaminací podzemních vod CIU. Pro cca jednoměsíční aplikaci kyseliny mléčné, síranu železnatého a přípravkem MPCD Navy byla použita speciální injektážní aparatura pro vtláčení do vrtů. Náklad sanace byl 9 500 000 Kč. Na lokalitě proběhla také odtěžba a sanační čerpání. Plocha sanovaného KM je 2225 m². KM má kategorii priority N, NO bylo ukončeno v roce 2016 splněním sanačních limitů pro podzemní vodu. Tato sanační metoda je obvykle zahrnovaná do sanačních technik bioremediace.

3.2.5 bioaugmentace (příklad: biodegradace v kombinaci s kompostováním)

Použití ST bylo zaznamenáno v jediném případě – na lokalitě dřevozpracujícího průmyslu s kontaminací horninového prostředí/podzemních vod kreosotovým olejem (NEL, PAU). Použitá metoda byla v SEKM také označena za ko-kompostování na biostimulační ploše on site. Náklad sanace byl 95,6 mil. Kč. Na lokalitě proběhla také odtěžba, ošetření kontaminovaného podloží metodou chemické oxidace (ISCO) a ochranné čerpání s čištěním podzemních vod metodou fotooxidace. Plocha sanovaného KM je 150 tis. m². KM má kategorii priority N, NO bylo ukončeno v roce 2023 splněním sanačních limitů. Tato sanační metoda je obvykle zahrnovaná do sanačních technik bioremediace.

3.2.6 biosparging

ST biospargingu byla použita ve dvou případech (2,2 % z biologických ST) a to v období 2003 – 2023. Na lokalitách s kontaminací NEL a PCB byly realizovány také metody sanačního čerpání a odtěžby³. V jednom případě je uveden náklad ST použitých na sanaci KM ve výši 100 tis. Kč. Průměrná plocha sanovaného KM je 1 286 488 m². Jedno KM má kat. priority A, a jedno kat. P.

3.2.7 fytoextrakce, fytovolatilizace, fytodegradace

Použití této ST nemá v SEKM ani jeden záznam. Přísluší do skupiny ST „ve fázi vývoje“.

3.2.8 kompostování, půdní úpravy, landfarming a bioreaktory

Použití uvedených ST bylo zachyceno pouze 1x v podobě **bioreaktoru**. Na KM byly realizovány také metody sanačního čerpání, odtěžby a biodegradace in-situ. Navíc v jednom případě se hovoří o ko-kompostování, ke kterému je referováno výše pod ST bioaugmentace. V několika dalších případech je uváděno použití kompostu jako součásti biologické rekultivace. Příkladem může být „kompostování“ (rozprostření biologicky oživitelné vrstvy při rekultivaci) použité v jednom případě v období 2003 – 2023. ST bioreaktorů byla použita na jediném KM s plochou 3745 m². Kontaminanty jsou BTEX, NEL a PAU. Na lokalitě byly realizovány také metody sanačního čerpání a odtěžby a biodegradace in-situ. KM má kategorii priority A.

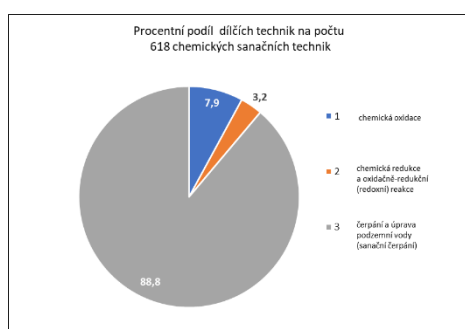
3.2.9 biofiltrace, mokřady pro biologické čištění a tzv. biobeds

ST **biofiltrace a mokřadů** byla použita v pěti případech (5,6 % z biologických ST), z toho v období 2003 – 2023 čtyřikrát a v období před rokem 1990 jedenkrát. Z celkového počtu 29 uvedených kontaminantů šlo o kontaminaci Kovy 5x, Kovy velmi nebezpečnými 5x, PAU 4x, Anorg. ostatní 3x, Anorg. více nebezpečnou 3x, NEL 2x, Pesticidy 2x, Odpady 2x, Org. ostatní 1x, BTEX 1x a CIU x1. Mezi případy nepodchycené v SEKM patří 2 případy použití biofiltru – biologické pračky vzduchu bez souvislosti s konkrétním KM. V prvním případě byl odstraňován aceton z potisku obalů pro masný průmysl, v druhém případě byly odstraňovány deriváty kyseliny stearové z impregnace geotextilií.³ Z výše uvedených 5 užití je ST **mokřady pro biologické čištění** referována ze dvou lokalit, a to z období 2003–2023. Na KM s kontaminací kovy, kovy velmi nebezpečnými, NEL, PAU, CIU a pesticidy

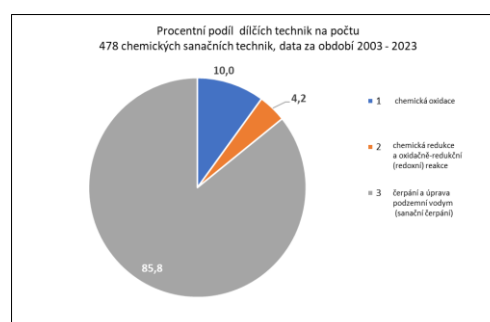
byly realizovány také metody sanačního čerpání, odtěžby, vymístění, překrytí a fytoremediace. Průměrná plocha sanovaného KM je 124 463 m². Jedno KM má kategorii priority A a jedno KM kategorii N. Tato ST je založena na principu filtrace vody skrze vrstvu média tvořeného čistě anorganickým materiálem, jako je kačirek anebo štěrk o různých zrnitostních frakcích, případně směsí anorganického materiálu s organickým. Technologie může být využívána pro širokou škálu kontaminantů a zdrojů vod – přítok odpadních vod ze stokových systémů, zachytávání drenážních vod ze zemědělských oblastí, jímání průsakových vod po těžební činnosti atp.³ Pod názvem „biobeds“ nebyl v SEKM nalezen žádný záznam KM, kde by technologie byla použita. Naopak je v záznamech SEKM uvedena také ST použití kokso-kompostových filtrů v odplyňovacích systémech skládek, která byla identifikována ve třech případech s celkovými náklady všech ST použitých na sanaci daných KM ve výši 77,7 mil. Kč. Průměrný náklad je 25,9 mil. Kč. Výše nákladů je v rozmezí od 6,3 mil. Kč do 49 mil. Kč. Průměrná plocha sanovaného KM je 16 685 m². Všechny 3 KM mají kategorii priority P. Případné přiřazení ke ST biofiltrace je diskutabilní.

3.3 Chemické sanační techniky

Největší podíl ve skupině chemických ST (618 použití) má ST čerpání a úpravy podzemních vod (sanační čerpání) – 549 použití (88,8 %), pro období 2003 – 2023 je to 85,8 %. Následují ST chemické oxidace 49 použití (7,9 %), resp. 10,0 % ST pro období 2003 – 2023 a ST chemické redukce – 20 použití (3,2 %), resp. 4,2 % pro období 2003 – 2023 (obrázek 14 a 15). Tyto chemické ST byly dominantně použity v období 2003 – 2023 (478, tj. 77,3 %), před rokem 2003 to bylo 140 použití, tj. 22,7 % ze všech 618 zaznamenaných použití. KM s použitím chemické ST jsou nejčastěji kategorie P (47,1 %).



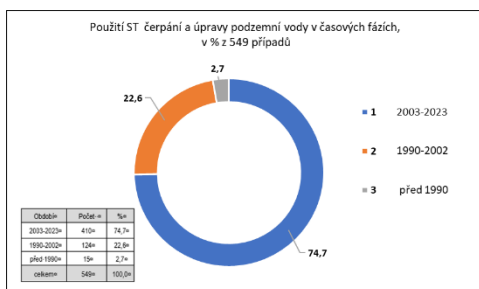
Obrázek 14: Podíly dílčích ST na 618 chemických ST



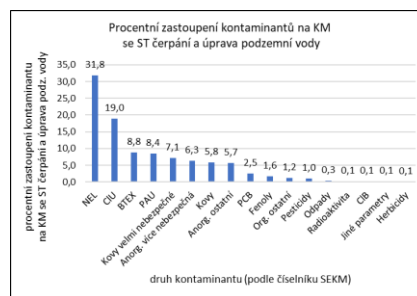
Obrázek 15: Podíly dílčích ST na 478 chemických ST v letech 2003–2023

3.3.1 čerpání a úprava podzemní vody (sanační čerpání)

ST čerpání a úpravy podzemní vody byla použita v 549 případech (90,9 % z chemických ST), z toho v období 2003 – 2023 410krát, v období 1990–2002 124krát a před rokem 1992 15krát (obrázek 16). Tato ST byla použita na 549 lokalitách s kontaminanty: NEL, CIU, BTEX, PAU, Kovy velmi nebezpečné, Anorg. více nebezpečná, Kovy, Anorg. ostatní, PCB, Fenoly, Org. ostatní, Pesticidy, Odpady, Radioaktivita, CIB, Jiné parametry a Herbicidy (obrázek 17). Nejčastější je kontaminace NEL – 31,8 % ze 1361 případů. NEL a CIU společně jsou kontaminanty v 50,8 % případů. Ve 220 případech jsou uvedeny celkové náklady všech ST použitých na daném KM v celkové výši 22 922 822 365 Kč. Průměrný náklad je 104,2 mil. Kč. Výše nákladů je v rozmezí od 3,5 mld. Kč do 50 tis. Kč. Průměrná plocha KM je 822 529 m². 179 KM má kat. priority A, 268 kat. P a 102 kat. N. Jedná se o celou řadu velmi rozšířených nenáročných metod, kdy principem je manipulace a dekontaminace kontaminované podzemní vody obsahující chemické látky (př. průmyslová rozpouštědla, kovy a ropné produkty). Podzemní voda se čerpá ze studní (vrtů) nebo výkopů do nadzemního čistícího systému, který odstraňuje kontaminující látky. Metoda je použitelná pro látky s menší hustotou, než vykazuje voda (zejména produkty z ropy) a látky dobře rozpustné ve vodě.



Obrázek 16: Použití ST čerpání a úprava podzemní vody v časových fázích



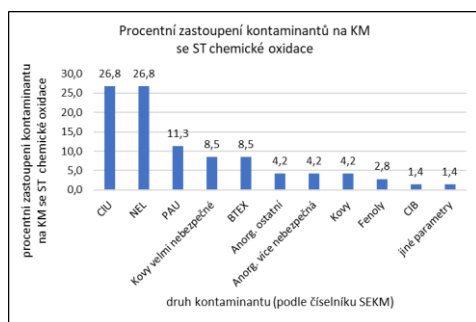
Obrázek 17: Procentní zastoupení z 1361 uvedených kontaminantů na 549 KM se ST čerpání a úprava podzemní vody

3.3.2 chemická oxidace (ISCO)

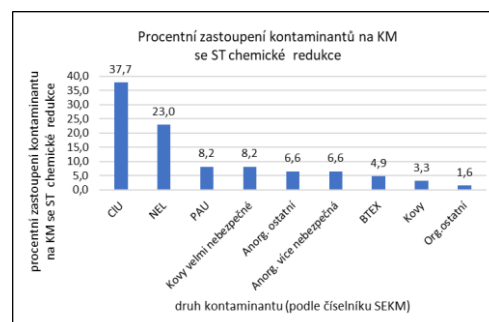
ST chemické oxidace byla použita ve 49 případech (7,9 % z chemických ST), z toho v období 2003 – 2023 48krát a jedenkrát v období 1990 – 2003, a to na lokalitách s následujícími kontaminanty: CIU, NEL, PAU, Kovy velmi nebezpečné, BTEX, Anorg. ostatní, Anorg. více nebezpečná, Kovy, Fenoly, Org. ostatní a jinými parametry (kyanidy) (obrázek 18). Nejčastější jsou kontaminace CIU a NEL – po 26,8 % ze 71 případů uvedení kontaminantu. CIU a NEL společně s PAU jsou kontaminanty v 64,8 % případů. V 32 případech jsou uvedeny celkové náklady všech ST použitých na daném KM v celkové výši 5,7 mld. Kč. Průměrný náklad je 176,9 mil. Kč. Výše nákladů je v rozmezí od 3,5 mld. Kč do 5 mil. Kč. Průměrná plocha sanovaného KM je 710 553 m². 23 KM má kat. priority A, 18 kat. P a 8 kat. N. Principem in situ chemické oxidace je přivedení vodného roztoku silného oxidačního činidla (manganistan, peroxid vodíku, někdy ve formě Fentonova činidla, nově i peroxodvojsíran) do přímého kontaktu s kontaminujícími látkami v horninovém prostředí. Obecně se používá na dekontaminaci oxidovatelných organických látek s dobrou rozpustností ve vodě, nejčastěji na chlorované ethyleny.³

3.3.3 chemická redukce a oxidačně-redukční (redoxní) reakce

ST chemické redukce (atd.) byla použita ve 20 případech (3,2 % z chemických ST) a to pouze v období 2003 – 2023 (v jednom případě byla sanace zahájena před rokem 2003). ST byla použita na 61 KM s následujícími kontaminanty: CIU, NEL, PAU, Kovy velmi nebezpečné, Anorg. ostatní, Anorg. více nebezpečná, BTEX, Kovy a Org. ostatní (obrázek 19). Nejčastější je kontaminace CIU – 37,7 % ze 61 případů uvedení kontaminantu. CIU a NEL společně jsou kontaminanty v 60,7 % případů.



Obrázek 18: Procentní zastoupení ze 71 uvedených kontaminantů na 49 KM se ST chemické oxidace



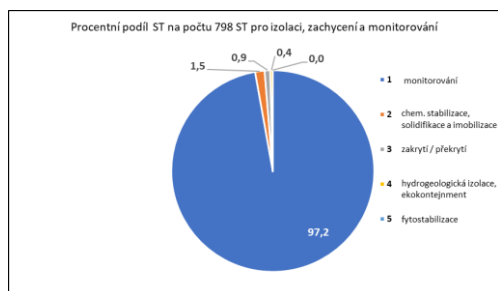
Obrázek 19: Procentní zastoupení z 61 uvedených kontaminantů na 20 KM se ST chemické redukce

V 15 případech jsou uvedeny celkové náklady všech ST použitých na daném KM v celkové výši 485 801 780 Kč. Průměrný náklad je 32 386 785 Kč. Výše nákladů je v rozmezí od 102 mil. Kč do 30 tis. Kč. Průměrná plocha sanovaného KM je 104 904 m². 8 KM má kat. priority A, 5 kat. P a 7 kat. N. Principem metody je přivedení roztoku nebo suspenze silného redukčního činidla do přímého kontaktu s kontaminujícími látkami v horninovém prostředí. Jelikož potřebné reakce probíhají ve vodném

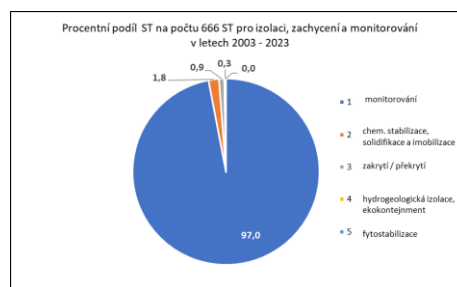
prostředí, je metoda určena v zásadě pro saturovanou zónu. Ve funkci redukčního činidla je nejvíce používáno tzv. elementární nanoželezo, okrajově byl uvažován borohydrid sodný a na lokalitách znečištěných šestimocným chromem byl minimálně jednou použit disiřičitan. Obecně se používá na odstraňování redukovatelných anorganických či organických látek s dobrou rozpustností ve vodě.³

3.4 Sanační techniky pro izolaci, zachycení a monitorování

Největší podíl ve skupině (celkem 796 použití) má technika monitorování (kontrola a následná péče prostřednictvím monitorovacích vrtů) – 776 použití (97,2 %), pro období 2003 – 2023 je to 97 %. Následují ST chemická stabilizace, solidifikace a imobilizace - 10 použití (1,5 %), resp. 1,8 % ST pro období 2003 – 2023, ST zakrytí / překrytí (atd.) – 7 použití (0,88 %), resp. 0,9 % pro období 2003 – 2023 a ST hydrogeologická izolace a zachycení (kontainment / ekokontejnment) – 3 použití (0,4 %), resp. 0,3 % ST pro období 2003–2023. ST fytostabilizace nebyla v záznamech SEKM zjištěna. Podíly těchto dílčích sanačních technik jsou ilustrovány na obrázcích 20 a 21. Tyto ST pro izolaci, zachycení a monitorování byly dominantně použity v období 2003–2023 (666, tj. 83,5 %), před rokem 2003 to bylo 132 použití, tj. 16,5 % ze všech 796 zaznamenaných použití. KM, na nichž byly použity ST pro izolaci, zachycení a monitorování, mají nejčastěji kat. priority P – 472 (59,3 %), následuje kat. N – 171 (21,5 %) a kat. A – 152 (19,1 %). Níže v textu jsou detailně zanalyzovány první 3 zmíněné metody v této kategorii, informace a data k méně častým ST z této skupiny poskytnou autoři na vyžádání.



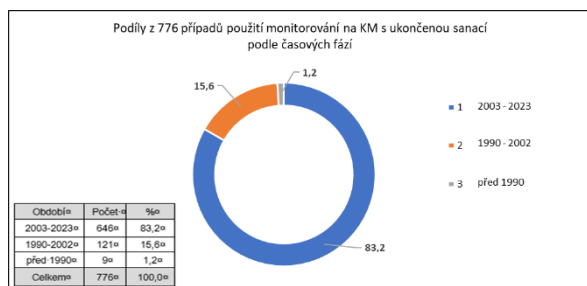
Obrázek 20: Podíly dílčích ST na 796 ST pro izolaci, zachycení a monitorování



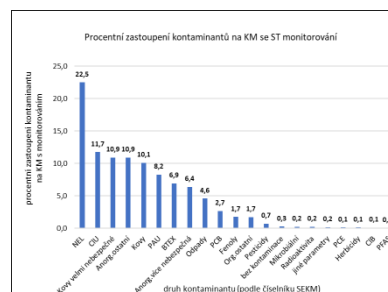
Obrázek 21: Podíly dílčích ST na 666 ST pro izolaci, zachycení a monitorování v letech 2003 – 2023

3.4.1 monitorování / monitoring

ST monitorování byla použita v 776 případech (97,2 % ze 796 ST pro izolaci, zachycení a monitorování), z toho v období 2003 – 2023 646krát, 121krát v období 1990 – 2002 a 9krát v období před rokem 1990 (obrázek 22). Jednalo se o KM se všemi druhy kontaminantů, nejčastěji pak NEL – 22,4 % z 2292 případů uvedení kontaminantu (obrázek 23). 92,3 % z uvedených kontaminantů tvoří NEL, CIU, Kovy velmi nebezpečné, Anorg. ostatní, Kovy, PAU, BTEX, Anorg. více nebezpečná a Odpady. V současnosti dle dat SEKM probíhá monitorování na 589 KM.



Obrázek 22: Použití ST monitorování na evidovaných KM s ukončenou sanací podle let



Obrázek 23: Procentní zastoupení z 2292 uvedených kontaminantů na 776 KM se ST monitorování

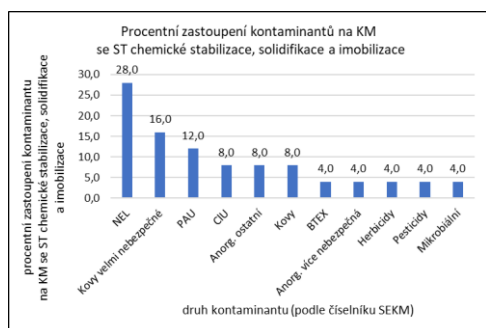
V 285 případech jsou uvedeny celkové náklady všech ST na daném KM v celkové výši 29,3 mld. Kč. Průměrný náklad je 102,7 mil. Kč. Výše nákladů je v rozmezí od 3,5 mld. Kč do 10 tis. Kč. Průměrná plocha sanovaného KM je 4103 m². 144 KM má kat. priority A, 465 kat. P a 167 kat. N. V případě monitoringu je třeba poznamenat, že tento termín a technika se v českém prostředí chápe a používá spíše jako forma procesního, resp. nápravného opatření, ale ne jako „sanační technologie“. V Metodické příručce MŽP⁹ je monitoring definován jako „spojité nebo pravidelně opakované sledování vybraných parametrů, funkcí či změn určitého systému“. Má různé podoby a fáze – např. úvodní / předsanační, provozní / režimní / sanační monitoring, kontrolní a postsanační monitoring. Většina z rešeršovaných forem monitoringu patřila do provozního (atd.) a postsanačního monitoringu. Metodická příručka MŽP¹⁰ člení monitoring na tři druhy: předsanační, sanační a postsanační.

3.4.2 chemická stabilizace, solidifikace a imobilizace

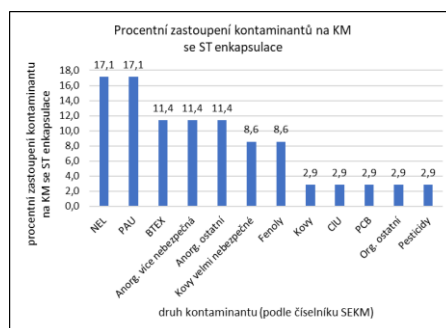
ST chemické stabilizace, solidifikace a imobilizace byla použita ve 10 případech (1,5 % z 796 užití ST pro izolaci, zachycení a monitorování) a to 9krát v období 2003–2023 a jednou před rokem 2003. Tato ST byla použita na 10 lokalitách s následujícími kontaminanty: NEL, Kovy velmi nebezpečné, PAU, CIU, Anorg. ostatní, Kovy, BTEX, Anorg. více nebezpečná, Herbicidy, Pesticidy a Mikrobiální (obrázek 24). Nejčastější je kontaminace NEL – 28,0 % z 25 případů uvedení kontaminantu. NEL, Kovy velmi nebezpečné a PAU společně jsou kontaminanty v 56 % případů. Téměř ve všech případech metoda navazuje na odtěžbu, resp. vymístění. V 7 případech jsou uvedeny celkové náklady všech ST použitých na sanaci daného KM v celkové výši 298 587 664 Kč. Průměrný náklad je 42 655 381 Kč. Výše nákladů je v rozmezí od 79 mil. Kč do 18 mil. Kč. Průměrná plocha sanovaného KM je 12 777 m². 3 KM mají kat. priority A, 3 kat. P a 4 kat. N.

3.4.3 zakrytí / překrytí, reaktivní bariéry, enkapsulace

Tato ST vyhledaná v SEKM pod termínem **enkapsulace** byla použita v 7 případech (0,9 % z 796 užití ST pro zakrytí / překrytí, reaktivní bariéry, enkapsulace), z toho v období 2003 – 2023 to bylo šestkrát a jednou v období 1992 – 2002. Tato ST byla použita na 7 lokalitách s následujícími kontaminanty: NEL, PAU, BTEX, Anorg. více nebezpečná, Anorg. ostatní, Kovy velmi nebezpečné, Fenoly, Kovy, CIU, PCB, Org. ostatní a Pesticidy (obrázek 25). Nejčastější je kontaminace NEL a PAU – po 17,1 % ze 35 případů uvedení kontaminantu. NEL a PAU společně s BTEX, Anorg. více nebezpečná, Anorg. ostatní, Kovy velmi nebezpečné, Fenoly jsou kontaminanty v 85,7 % případů. Metoda enkapsulace se nejčastěji používá pro skládky. Společně s metodou ekocontaineru byla použita na KM SPOLANA v Neratovicích.³ Ve třech případech jsou uvedeny celkové náklady všech ST na daném KM v celkové výši 71 821 771 Kč. Průměrný náklad je 23 940 590 Kč. Výše nákladů je v rozmezí od 40,6 mil. Kč do 6,3 mil. Kč. Průměrná plocha KM je 1 170 261 m². 3 KM mají kat. priority A, 3 kat. P a jedno kat. N.



Obrázek 24: Procentní zastoupení 25 uvedených kontaminantů na 10 KM se ST pro chemickou stabilizaci, solidifikaci a imobilizaci



Obrázek 25: Procentní zastoupení ze 35 uvedených kontaminantů na 7 KM se ST enkapsulace

4. Výsledky a diskuse

4.1 Statistika použití ST vs. výskyt skupin kontaminantů na KM

V SEKM jsou zjistitelné počty uvedení kontaminantu, resp. skupin kontaminantů v záznamech jednotlivých KM, k 13. 3. 2024 se jedná o 33 028 uvedení. Srovnání počtů uvedení skupin kontaminantů ve všech záznamech SEKM s počty uvedení skupin kontaminantů na KM s NO a uplatněnými ST (celkem 5791) v členění na jednotlivé skupiny kontaminantů je v tabulkách 4 a 5 a na obrázku 26. Jak vyplývá z uvedených dat, tvoří počet uvedení skupin kontaminantů z analýzy ST na KM s NO 17,5 % z počtu uvedení skupin kontaminantů v záznamech SEKM (5791 z 33 028 uvedení).

Tabulka 4: Počty a podíly uvedení skupin kontaminantů ve všech záznamech SEKM a počty a podíly uvedení skupin kontaminantů na KM s NO a uplatněnými ST

Skupina kontaminantů	Počet uvedení skupin kontaminantů v záznamech SEKM	%	Počet uvedení skupin kontaminantů z analýzy ST na KM s NO	%
Anorganické ostatní	5762	17,4	474	8,2
Anorganické více nebezpečné	2086	6,3	350	6,0
BTEX (benzen – toluen – ethylbenzen – xylen)	694	2,1	484	8,4
CIB (chlorbenzeny a chlorfenoly)	19	0,1	9	0,2
CIU (chlorované uhlovodíky)	1182	3,6	883	15,2
Fenoly	165	0,5	93	1,6
Freony a halony	12	0,0	1	0,0
Herbicidy	192	0,6	12	0,2
Kovy	5686	17,2	464	8,0
Kovy velmi nebezpečné	5746	17,4	523	9,0
Mikrobiální	341	1,0	8	0,1
NEL (nepolární extrahovatelné látky)	4094	12,4	1528	26,4
Organické ostatní	455	1,4	89	1,5
PAU (polycyklické aromatické uhlovodíky)	978	3,0	498	8,6
PCB (polychlorované bifenyly)	698	2,1	151	2,6
Pesticidy	363	1,1	54	0,9
Radioaktivita	38	0,1	14	0,2
Odpady	4463	13,5	143	2,5
PFAS (perfluoroalkylové chemické látky)	0	0,0	1	0,0
Jiné parametry	54	0,2	12	0,2
Celkem	33 028	100,0	5791	100,0

Níže uvádíme srovnání počtů a podílů zjištěných ST pro jednotlivé skupiny kontaminantů (tabulka 5). Podíly počtů uvedení skupin kontaminantů pro data z naší provedené analýzy ST a pro data za celý datový obsah SEKM se významně liší, což je možné interpretovat z pohledu zastoupení skupin kontaminantů na KM s použitými jednotlivými sanačními technikami a také z pohledu uplatnění konkrétních ST na odstranění nejčastěji identifikovaných skupin kontaminantů.

Nejvíce identifikovaných skupin kontaminantů má ST odstranění kapalné fáze z hladiny podzemních vod (300 skupin kontaminantů, tj. 5,2 % z celkem 5791 uvedení), ST odtěžení, vymístění atd. (1113, tj. 19,2 %); ST čerpání a úpravy podzemní vody (1361, tj. 23,5 %) a ST monitorování (2292, tj. 39,6 %). Celkem tyto 4 ST představují 87,5 % všech zjištěných uvedení skupin kontaminantů.

Z pohledu uplatnění konkrétních ST na odstranění nejčastěji identifikovaných skupin kontaminantů zjišťujeme, že zatímco ve všech záznamech SEKM jsou nejčastější skupiny kontaminantů Anorg. ostatní (17,4 %), Kovy velmi nebezpečné (17,4 %), Kovy (17,2 %), Odpady (13,5 %) a NEL (12,4 %) (sumárně 78 %), tak ve skupině KM s uplatněním ST jsou nečastější skupiny kontaminantů NEL (26,4 %), CIU (15,2 %), Kovy velmi nebezpečné (9,0 %), PAU (8,6 %) BTEX (8,4 %) Anorg. ostatní (8,2 %), Kovy (8,0 %) a Anorg. více nebezpečné (6,0 %) (sumárně cca 90 %) (viz tabulky 4 a 5).

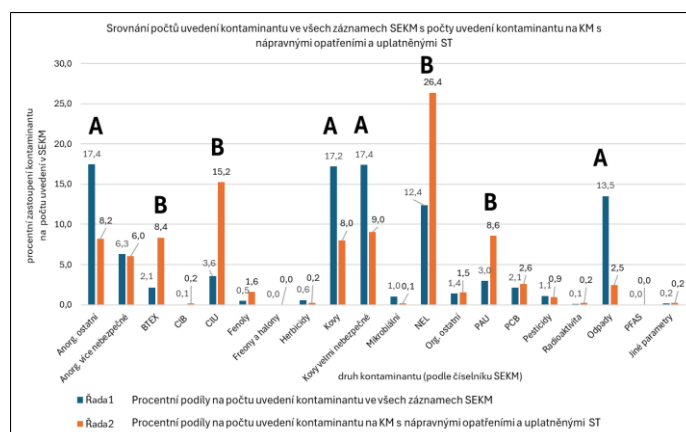
Pokud srovnáme podíly pěti nejčastějších skupin kontaminantů identifikovaných ve všech záznamech SEKM (78 %) s podíly stejných skupin kontaminantů na KM s uplatněním ST, tak ty mají podíl pouze 54,1 %. Lze to interpretovat tak, že na sanovaných KM s vysokým stupněm poznání jsou oproti celku KM SEKM nadprůměrně často (mimo dominantní NEL) identifikovány i následující zbyvajících skupiny kontaminantů – CIU, BTEX, PAU a Anorg. více nebezpečné. K obdobnému rozřídění dojdeme interpretací poměrů procentních podílů skupin kontaminantů z jejich uvedení v SEKM vs v analýze ST (tabulka 5), kde jsou poměry SEKM/Anal. ST a Anal. ST/SEKM barevně rozříděny podle tříd pod 1,00, 1,00 – 1,99, 2,00 – 2,99 a nad 3,0.

Pro celou skupinu SEKM jsou typické převažující skupiny kontaminantů Mikrobiální a Odpady (podružněji Herbicidy, Anorg. ostatní, Freony a halony, Kovy) a to nad poměry ve skupině z analýzy ST. Pro skupinu KM s použitými ST jsou naopak typické převažující skupiny kontaminantů CIU, BTEX a CIU (podružněji PAU, CIB, NEL a Radioaktivita). To odpovídá skutečnosti, že mezi nedostatečně prozkoumanými a nesanovanými KM převažují KM typu skládek a malých průmyslových a zemědělských kontaminací, oproti prioritně v minulosti i současnosti sanovaným KM s průmyslovým znečištěním chemickými látkami (především ropnými uhlovodíky).

Tabulka 5: Srovnání mezi podíly uvedení kontaminantu v záznamech SEKM a na KM s NO a uplatněnými ST v členění pro skupiny kontaminantů

Skupina kontaminantů	% z uvedení kontaminantu ve všech záznamech SEKM	% z uvedení kontaminantu z analýzy ST	poměr % SEKM/ST	poměr % ST/SEKM
Anorg. ostatní	17,4	8,2	2,1	0,5
Anorg. více nebezpečné	6,3	6,0	1,0	1,0
BTEX	2,1	8,4	0,3	4,0
CIB	0,1	0,2	0,4	2,7
CIU	3,6	15,2	0,2	4,3
Fenoly	0,5	1,6	0,3	3,2
Freony a halony	0,0	0,0	2,1	0,5
Herbicidy	0,6	0,2	2,8	0,4
Kovy	17,2	8,0	2,1	0,5
Kovy velmi nebezpečné	17,4	9,0	1,9	0,5
Mikrobiální	1,0	0,1	7,5	0,1
NEL	12,4	26,4	0,5	2,1
Org. ostatní	1,4	1,5	0,9	1,1
PAU	3,0	8,6	0,3	2,9
PCB	2,1	2,6	0,8	1,2
Pesticidy	1,1	0,9	1,2	0,8
Radioaktivita	0,1	0,2	0,5	2,1
Odpady	13,5	2,5	5,5	0,2
PFAS	0,0	0,0	0,0	0,0
Jiné parametry	0,2	0,2	0,8	1,3
Celkem	100,0	100,0		

V obrázku 26 jsou rozdíly v podílech nejpočetnějších skupin kontaminantů označeny písmeny A (vyšší zastoupení v SEKM než v analýze ST) a B (vyšší zastoupení v analýze ST než v SEKM).



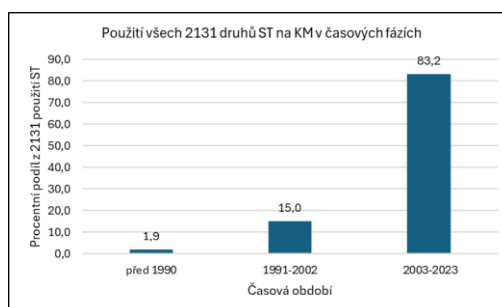
Obrázek 26: Srovnání počtů uvedení kontaminantu ve všech záznamech SEKM s počty uvedení kontaminantu na KM s NO a uplatněnými ST

Na 10 186 KM evidovaných v SEKM bylo zjištěno 33 028 uvedení skupin kontaminantů (průměr 3,2 skupin kontaminantů/KM). Z celkového počtu evidovaných 10 186 KM jsme studovali skupinu 1827 KM, pro které byla NO stanovena. Ve zbývajících skupině 8316 KM jsou lokality, kde NO jsou teprve plánována nebo nejsou zapotřebí. Poznatky o kontaminaci jsou u části těchto KM známy z provedených studií a rizikových analýz, ale jsou jen rámcové, průzkum nebyl dokončen nebo sanační projekt nebyl zahájen.

Ve skupině 1827 KM se stanovenými NO bylo zjištěno 5791 uvedení skupin kontaminantů, což představuje identifikaci v průměru 3,2 skupin kontaminantů na jednom KM. Tyto shodné průměrné hodnoty identifikace skupin kontaminantů na KM za celý SEKM a ve skupině se stanovenými NO naznačují, že spektrum vytipovaných kontaminantů u KM bez dostatečného průzkumu či analýz rizik se po provedení sanace příliš nemění, což dokládá dobrou expertní úroveň pořizovatelů dat do SEKM.

4.2 Časová analýza uplatnění jednotlivých ST na KM evidovaných v SEKM

Pro druhy ST i jednotlivé ST techniky jsme výše v kapitole 3 zaznamenali použití ST v časových fázích – před rokem 1990, v době od 1991 do 2002 a v době od 2003 do 2023. Souhrnné vyhodnocení je uvedeno v obrázku 27.



Obrázek 27: Použití všech 2131 druhů ST na KM v časových fázích

Z celkem 40 použití ST v období před rokem 1990 připadá 15 (37,5 %) na sanační čerpání, 9 (22,5 %) na monitoring a 8 (20 %) na odtěžbu. Rovněž v období 1991 – 2002 (celkem 319 ST) jsou tyto tři ST nejčastější – sanační čerpání 124 (38,9 %), monitoring 121 (37,9 %) a odtěžba 49 (15,4 %).

Pro období 2003 – 2023 je podíl jednotlivých ST uveden v tabulce 6. Nejčastěji použité ST (90,8 % ze všech v tomto období) jsou žlutě zvýrazněny. Mimo tři ST (sanační čerpání, monitoring a odtěžba), které byly dominantní již v předcházejících obdobích se častěji nebo nově uplatňují ST odstranění kapalné

fáze z hladiny podzemních vod, ST bioremediace a ST chemické oxidace. To plně koresponduje s expertním hodnocením uplatňování sanačních metod s postupem času za posledních cca 40 let, kdy se k tzv. běžným sanačním metodám (sanační čerpání, venting, bioremediace, přirozená atenuace) v posledních 20 letech intenzivněji nasazují tzv. progresivní metody (chemická oxidace, chemická redukce, termické metody).^{3,7}

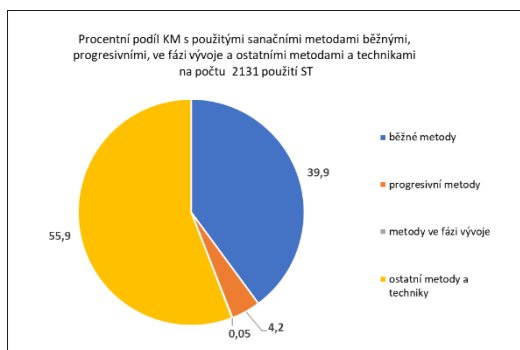
Tabulka 6: Počty a podíly druhů ST na 1772 ST použitých v období 2003 – 2023

Č. ST	Sanační technika	Počet	%
1	extrakce par, provzdušňování proudem vzduchu	67	3,8
2	tepelné ošetření, vstřikování páry, tepelná desorpce, vitrifikace	20	1,1
3	praní a promývání půdy	20	1,1
4	elektroremediace	1	0,1
5	odstranění kapalné fáze z hladiny podzemních vod	100	5,6
6	odtěžení, vymístění, demolice, skládkování	338	19,1
7	bioremediace	56	3,2
8	biostimulace	1	0,1
9	bioaugmentace	1	0,1
10	bioventilace	2	0,1
11	biosparging	2	0,1
12	kompostování, bioreaktorové systémy	1	0,1
13	biofiltrace, mokřady pro biologické čištění a tzv. biobeds	4	0,2
14	přirozená atenuace	18	1,0
15	chemická oxidace	48	2,7
16	chemická redukce a oxidačně-redukční (redoxní) reakce	20	1,1
17	čerpání a úprava podzemní vody (sanační čerpání)	410	23,1
18	zakrytí / překrytí, reaktivní bariéry, enkapsulace	6	0,3
19	chemická stabilizace, solidifikace a imobilizace	9	0,5
20	kontainment; ekokontejnment	2	0,1
21	fyto-stabilizace	0	0,0
22	monitorování, monitoring	646	36,5
Celkem		1772	100,0

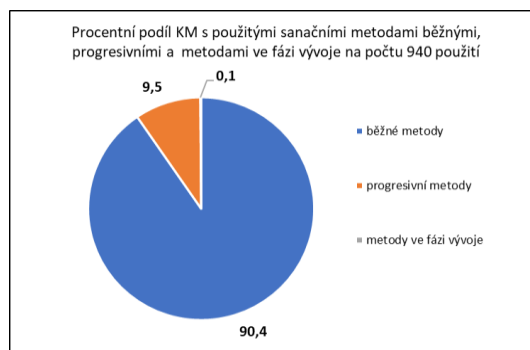
Pro zařazení sanovaných KM do časových fází byly použity údaje o dokončení sanací na dané lokalitě. Tato časová analýza má však jistou nepřesnost, spočívající v nedostatku informací v záznamech SEKM o skutečném zahájení sanačních prací. Je velmi pravděpodobné, že část sanačních prací byla zahájena již v předcházející fázi, ale je vykázána podle dokončení až ve fázi následující.

4.3 Sanační metody z pohledu stupně rozpracovanosti a uplatnění v praxi ČR

Z pohledu stupně rozpracovanosti a uplatnění v praxi ČR byl každý analyzovaný druh použité ST (z 2131 použití) přiřazen do některé ze skupiny: běžných metod (celkem 850 použití), progresivních metod (celkem 89 použití), metod ve fázi vývoje (jedno použití) a ostatních metod a technik (1191 použití) (obrázek 28). V uvedeném členění početně dominuje skupina ostatních metod a technik (cca 56 %) a v ní pak technika monitorování tvoří 36,4 % ze všech metod a technik. Pokud se zaměříme na vlastní sanační metody (techniky, resp. technologie), bude poměr mezi třemi skupinami uplatněných metod odlišný (obrázek 29).



Obrázek 28: Procentní podíly KM s použitými metodami běžnými, progresivními, ve fázi vývoje a ostatními metodami a technikami na počtu 2131 použití ST



Obrázek 29: Procentní podíly KM s použitými metodami běžnými, progresivními a metodami ve fázi vývoje na celkovém počtu 940 použití

Běžné metody – sanační čerpání, venting, bioremediace a přirozená atenuace – se velmi pravděpodobně budou stále v nezmenšené míře uplatňovat na KM připravovaných k sanaci, neboť na řadu budou přicházet lokality s nižší prioritou (riziky) a obvykle s méně komplikovanými poměry a intenzitou znečištění. Nicméně, ve zmenšující se skupině zbývajících KM s vysokou kategorií priorit a s komplexními a komplikovanými sanačními podmínkami se budou také intenzivně uplatňovat progresivní metody - in situ chemická oxidace, in situ chemická redukce a termické metody. Metody ve fázi vývoje budou možná používány jen pro speciální případy, kdy budou výhodnější než metody běžné a progresivní nebo budou předmětem pilotních či výzkumných projektů.

4.4 ST a metody z pohledu druhů kontaminantů, místa uplatnění, počtů, nákladů a sanovaných ploch

Z přehledu 22 analyzovaných ST (tabulka 7) můžeme usuzovat na obecnější charakteristiky uplatňování jednotlivých technik, resp. metod a na obvyklé parametry KM a sanačních projektů. Typické odstraňované kontaminanty (skupiny kontaminantů) jsou zde uvedeny pro celé KM sanované s použitím dané metody / ST, která je však obvykle zacílena jen na část z nich. Ze SEKM (a z v něm zanesených anotací) není možno přímo extrahovat přesnější informace o vztahu mezi metodou / ST a zacíleným kontaminantem. To je možné pouze studiem archivní dokumentace uložené (a většinou nedigitalizované) v Geofondu České geologické služby. Počet skupin kontaminantů identifikovaných pro danou metodu / ST koresponduje s počtem KM, na nichž byla metoda / technika použita, s tím, že je obvykle 2krát až 3krát větší.

Z přehledu průměrných nákladů na sanaci celých lokalit všemi aplikovanými metodami / ST nelze přímo usuzovat na nákladovost nasazení dané metody / techniky. Nicméně lze najít souvislost některých z nich s vysokými průměrnými náklady na sanaci KM. V tabulce 7 je těchto 7 případů s náklady vyššími, než je průměr průměrných nákladů (113 mil. Kč) barevně označeno. Jsou to metody / techniky extrakce par a provzdušňování proudem vzduchu, praní a promývání půdy, odstranění kapalné fáze z hladiny podzemních vod; odtěžení / vymístění, bioventilace, chemické oxidace a hydrogeologické izolace a zachycení (ekokontejnment). Ve všech těchto případech jde o aplikaci in situ, u 4 z nich i případně o nasazení ex situ.

Průměrné plochy sanovaných KM vykazované pro KM s použitím jednotlivých metod / ST mají velký rozptyl – od jednotek tis. m² po 14 mil. m². Pro studované metody / ST byly v tabulce 7 barevně odznačeny případy převyšující průměr průměrných ploch (1131 tis. m²): extrakce par a provzdušňování proudem vzduchu; praní a promývání půdy; odstranění kapalné fáze z hladiny podzemních vod; odtěžení / vymístění; bioventilace; biosparging; zakrytí / překrytí / reaktivní bariéry / enkapsulace. Čtyři případy z uvedených 6 případů nadprůměrných ploch korespondují se čtyřmi případy ze 7 případů nadprůměrných nákladů, což odpovídá očekávanému růstu nákladů s plochou sanovaného KM.

Tabulka 7: Přehled druhů kontaminantů, místa uplatnění, počtů, nákladů a sanovaných ploch

Sanační technika ¹	Skupina sanačních metod ³	Typické odstraňované kontaminanty (skupiny kontaminantů) ² na KM sanovaných s použitím dané metody / techniky	Počet skupin kontaminantů	Místo a forma použití ST	Četnost použití - počet KM	Průměrný san. náklad v mil. Kč	Průměrná plocha san. KM v tis. m ²
1	běžné	CIU, NEL, BTEX	192	<i>in situ</i> , výjimečně <i>ex situ</i>	77	160	610
2	progresivní	CIU, NEL, BTEX, PAU	58	<i>in situ</i> i <i>ex situ</i>	20	100	174
3	běžné	NEL, BTEX, CIU, PAU	61	<i>in situ</i> i <i>ex situ</i>	21	457	1200
4	ve vývoji	CIU, NEL	2	<i>in situ</i>	1	29	49
5	běžné	NEL, BTEX, CIU, PAU	300	<i>in situ</i>	113	190	14 000
6	ostatní	NEL, CIU, Kovy velmi nebezpečné, PAU, Kovy, BTEX, Anorg. ostatní	1113	<i>in situ</i> , <i>on site</i> , <i>ex situ</i>	395	147	1300
7	běžné	CIU, NEL	120	<i>in situ</i> i <i>ex situ</i>	59	71	256
8	běžné	CIU	1	<i>in situ</i>	1	9,5	2,2
9	běžné	NEL, PAU	2	<i>on site</i>	1	95,6	150
10	běžné	NEL, BTEX, CIU	9	<i>in situ</i>	3	141	1300
11	běžné	NEL a PCB	2	<i>in situ</i> , výjimečně <i>ex situ</i>	2	0,1	1300
12	běžné	BTEX, NEL, PAU	3	<i>in situ</i> , výjimečně <i>ex situ</i>	1	0	3,7
13	běžné	kovy, kovy velmi nebezpečné, PAU, anorg. ostatní, anorg. více nebezpečné, NEL a pesticidy	29	<i>in situ</i>	5	0	124
14	běžné	NEL, CIU, BTEX	41	<i>in situ</i>	18	17,5	985
15	progresivní	CIU, NEL, PAU	71	<i>in situ</i>	49	177	711
16	progresivní	CIU, NEL	61	<i>in situ</i>	20	32	105
17	běžné	NEL, CIU	1361	<i>in situ</i>	549	104	823
a	ostatní	NEL, PAU, BTEX, anorg. více nebezpečná, anorg. ostatní, kovy velmi nebezpečné, fenoly	35	<i>in situ</i>	7	24	1200
b	ostatní	NEL, kovy velmi nebezpečné, PAU	25	<i>in situ</i> i <i>ex situ</i>	10	43	13
c	ostatní	NEL, BTEX, CIU, PAU, PCB, anorg. ostatní, anorg. více nebezpečné, kovy, kovy velmi nebezpečné, org. ostatní a pesticidy	13	<i>in situ</i> , výjimečně <i>ex situ</i>	3	251	565
d	ve vývoji		0		0	0	0
e	ostatní	NEL, CIU, kovy velmi nebezpečné, anorg. ostatní, kovy, PAU, BTEX, anorg. více nebezpečná, odpady	2292	<i>in situ</i> , <i>on site</i>	776	103	4,1
Celkem			5791		2131	2151,7	24875,0
Průměr						113,2	1130,7

Vysvětlivky: Sanační technika: 1 - extrakce par, provzdušňování proudem vzduchu; 2 - tepelné ošetření, vstříkávání páry, tepelná desorpce, vitrifikace; 3 - praní a promývání půdy; 4 - elektroremediace; 5 - odstranění kapalně fáze z hladiny podzemních vod; 6 - odtěžení, vymístění, demolice, skládkování; 7 - bioremediace; 8 - biostimulace; 9 - bioaugmentace; 10 - bioventilace; 11 - biosparging; 12 - kompostování, půdní úpravy, landfarming a bioreaktory; 13 - biofiltrace, mokřady pro biologické čištění a tzv. biobeds; 14 - přirozená atenuace; 15 - chemická oxidace; 16 - chemická redukce a oxidačně-redukční (redoxní) reakce; 17 - čerpání a úprava podzemní vody (sanační čerpání); a) - zakrytí / překrytí, reaktivní bariéry, enkapsulace; b) - chemická stabilizace, solidifikace a imobilizace; c) - hydrogeologická izolace a zachycení (kontainment / ekokontejnment); d) - fytostabilizace; e) - monitorování, monitoring.

4.5 Kategorie priority KM s uplatněnými ST

Studovaná KM s uplatněnými (nebo navrhovanými) ST jsou v systému SEKM vyhodnocována vícekritériálním algoritmem a zařizována do kategorie priority (A/P/N). Pro jednotlivé studované ST i skupiny ST jsou kategorie priority KM v kapitolách výše statisticky vyhodnoceny. Tyto údaje ozřejmují, jak velká část sanovaných KM je ve stadiu přípravy nebo provádění sanace (kat. A), ve fázích průzkumu nebo plánování průzkumu, resp. analýzy rizik (kat. P) nebo že na KM není třeba zásah (kat. N). Do kat. N však spadají i četná KM, na nichž již byla sanace úspěšně provedena a na lokalitu je poté nahlíženo jako na nekontaminovanou. V nastavení SEKM nelze bohužel tyto případy statisticky odlišit od KM kat. N, u nichž se po prozkoumání vyhodnotilo, že nevyžadují žádný zásah. U jednotlivých KM je však rozlišení mezi N = „sanované KM“ a N = „zásah není nutný“ možné po prostudování záznamů nebo dokumentace. Přehled zařazení s KM s uplatněním ST je uveden v tabulce 8.

Tabulka 8: Přehled podílu kategorií priorit u KM s uplatněním ST (Zdroj: SEKM)

Kategorie priority KM s uplatněnou ST	Počet KM				% podíl	
	Fyzikální ST	Biologické ST	Chemické ST	ST pro izolaci, zachycení a monitorování	celkem	celkem
A	182	32	210	152	576	27,0
P	294	33	291	472	1090	51,1
N	151	25	117	171	465	21,8
Celkem	627	90	618	796	2131	100,0

5 Závěr

Analýzou dat o použitých sanačních technikách obsažených v záznamech Systému evidence kontaminovaných míst (SEKM) byl vytvořen statistický přehled o sanačních technikách aplikovaných v České republice, jako podklad využitelný pro budoucí podávání přehledových zpráv o stavu plnění závazků vyplývajících ze směrnice v intencích návrhu Směrnice Evropského parlamentu a Rady o monitorování a odolnosti půdy z července 2023.

Použité ST jsou pro potřeby podávání přehledových zpráv charakterizovány z pohledu hlavních odstraňovaných kontaminantů, stavu nápravného opatření vč. roku ukončení sanace, stávající kategorie priority (A/P/N) sanovaného KM, plochy lokality v m² a odhadu celkových nákladů.

V souladu s návrhem směrnice bylo použito členění na 4 druhy ST – fyzikální, biologické, chemické ST a techniky pro izolaci, zachycení a monitorování, do nichž spadá celkem 22 dílčích sanačních technik. Bylo identifikováno použití 627 (29,4 % ze všech) fyzikálních ST, 90 (4,2 %) biologických ST, 618 (29,0 %) chemických ST a 796 (37,4 %) technik pro izolaci, zachycení a monitorování. Pro všechny fyzikální, biologické, chemické ST a ST techniky pro izolaci, zachycení a monitorování bylo na 1827 KM se stanovenými nápravnými opatřeními identifikováno celkem 2131 použití, z toho 1776 (83,3 %) použití spadá do let 2003 – 2023.

Pro potřeby předpokládaného budoucího podávání přehledových zpráv o plnění navrhované směrnice EU o monitorování a odolnosti půdy bude potřeba upravit některá nastavení a funkcionality SEKM tak, aby potřebná data, resp. statistiky byly snadněji zpracovatelné. Ve stávajícím nastavení filtračních, vyhledávacích a exportní nástrojů SEKM si podrobná rešerše typů ST vyžádala několikaměsíční rešeršní práci. Stávající pracovní překlad názvů ST v návrhu směrnice v řadě případů neodpovídá spektru termínů používaných v praxi v České republice^{11, 12}. V zájmu konsolidace české terminologie ST (metod, technologií) by měla urychleně proběhnout podrobná odborná terminologická diskuse, nejlépe v rámci některých z tematických odborných konferencí.

Seznam vybraných zkratk

KM	kontaminované místo
NO	nápravné opatření
SEKM	Systém evidence kontaminovaných míst
ST	sanační technika
Seznam zkratk kontaminantů – viz podkapitola 2.3	

Poděkování

Příspěvek byl vypracován v projektu SS02030008 Centrum environmentálního výzkumu: Odpadové a oběhové hospodářství a environmentální bezpečnost v Programu Prostředí pro život TA ČR a MŽP.

Zdroje a literatura

1. Evropská komise: Návrh Směrnice Evropského parlamentu a Rady o monitorování a odolnosti půdy (právní rámec pro monitorování půdy). COM(2023) 416 final, 2023/0232 (COD). Dostupné z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/HIS/?uri=COM%3A2023%3A416%3AFIN>
2. SEKM – Systém evidence kontaminovaných míst. MŽP. Dostupné z: <https://www.sekm.cz/>
3. Cajthaml T., Innemanová P., Kopecká I., Kubal M., Suchánek Z., Šereš M.: WP 2.B Kontaminace horninového prostředí. Souhrnná výzkumná zpráva 2.B.4.1. Interní publikace projektu, Centrum environmentálního výzkumu – Odpadové a oběhové hospodářství a environmentální bezpečnost (CEVOOH), Projekt TAČR SS02030008, Praha, 2023, 1 – 41. Dostupné z: <https://cevooh.cz/wp-content/uploads/2024/02/V96.pdf>
4. Ministerstvo životního prostředí: Metodický pokyn MŽP pro práci se systémem SEKM 3. Věstník MŽP, ročník XXXI, leden 2021, částka 1, Metodické pokyny a dokumenty, 1–11. Dostupné z: [https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/metodiky_ekologicke_zateze/\\$FILE/OFDN-metodicky_pokyn_pro_praci_sekm.zip](https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/metodiky_ekologicke_zateze/$FILE/OFDN-metodicky_pokyn_pro_praci_sekm.zip)
5. Matějů V. et al.: Kompendium sanačních technologií. Vodní zdroje Ekomonitor spol. s.r.o., Chrudim, 2006, ISBN: 80-86832-15-5, 1 – 260.
6. Matějů V.: Náprava ekologických škod. 1. část Základní pojmy a principy sanačních technologií. Prezentace v rámci projektu OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost, 2012. Dostupné z: https://is.muni.cz/el/1431/podzim2012/ENV008/um/Cast_1_2012.pdf
7. Matějů, V.: Integrované sanační technologie. Vodní zdroje Ekomonitor spol. s.r.o., Chrudim, 2016. ISBN978-80-86832-91-3. 1 – 267.
8. Slouka, J., Beneš, P.: Základy remediace kontaminovaného horninového prostředí. Vodní zdroje Ekomonitor spol. s.r.o., Chrudim, 2016. ISBN: 978-80-86832-97-5, 1 – 96.
9. Ministerstvo životního prostředí: Metodická příručka ZÁKLADNÍ PRINCIPY HYDROGEOLOGIE. MŽP, 2010: 1-37. Dostupné z: [https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/metodiky_ekologicke_zateze/\\$FILE/OES-Hg_prirucka_TT-20100801.pdf](https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/metodiky_ekologicke_zateze/$FILE/OES-Hg_prirucka_TT-20100801.pdf)
10. Ministerstvo životního prostředí: Metodická příručka pro použití reduktivních technologií in situ při sanaci kontaminovaných míst. MŽP 2007: 1 - 79. al. Dostupné z: [https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/metodiky_ekologicke_zateze/\\$FILE/MP_reduktivni_technologie_def.pdf](https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/metodiky_ekologicke_zateze/$FILE/MP_reduktivni_technologie_def.pdf)
11. Suchánek Z.: Návrh směrnice o monitorování a odolnosti půdy a problém terminologie sanačních technik. Odpadové fórum, CEMC, Praha, 4/2024, 10 – 11.
12. Suchánek Z.: Terminologie sanačních technik a technologií. Sborník konference Sanační technologie XXVI, Uherské Hradiště. Vodní zdroje Ekomonitor, 2024, 16 – 22.

Analysis of the use of remediation techniques as remedial measures at contaminated sites in the Czech Republic

Zdeněk SUCHÁNEK^a, Martin KUBAL^b, Tomáš CAJTHAML^c, Ivana KOPECKÁ^c

^a Czech Environmental Information Agency, Moskevská 63, 101 00 Prague 10, Czech Republic, e-mail: zdenek.suchanek@cenia.cz

^b University of Chemistry and Technology Prague, Faculty of Environmental Technology, Technická 5, 166 28 Prague 6, Czech Republic, e-mail: kubalm@vscht.cz

^c Charles University, Faculty of Science, Institute for Environmental Studies, Benátská 2, 128 01 Praha 2, Czech Republic, e-mail: tomas.cajthaml@natur.cuni.cz

Summary

By analysing the data on used remediation techniques contained in the records of the Contaminated Sites Registration System (SEKM), a statistical overview of remediation techniques was created that can be used for future EU reporting for the purposes of the proposal for the Directive of the European Parliament and the Council on soil monitoring and resilience from July 2023. Used remediation techniques were characterized from the point of view of the main contaminants to be removed, the state of remedial measures incl. the year of completion of remediation, the existing priority category of the remediated contaminated site, the area of the site in m² and the estimate of total costs. In accordance with the draft directive, a division into 4 types of remediation techniques was used – physical, biological, chemical remediation techniques and remediation techniques for isolation, containment and monitoring, which include a total of 22 partial remediation techniques. For all 4 types of remediation techniques, a total of 2,131 uses were identified at 1,827 contaminated sites with prescribed remedial measures, of which 1,776 (83.3%) uses fall between 2003 and 2023. There are 627 physical remediation techniques (29.4% of all), biological 90 (4.2%), chemical 618 (29.0%) and isolation, containment and monitoring techniques 796 (37.4%). For the purposes of the presented SEKM data analysis, a methodology was developed for selecting KM records according to keywords - the names of remediation techniques, using two basic tools - "search" and "filtering". For the needs of the expected future reporting on the fulfilment of the proposed directive, it will be necessary to adjust some settings and functionalities of SEKM so that the necessary data, or statistics were easier to process. From the point of view of the degree of their development and application in the practice in the Czech Republic, each analysed type of remediation technique was assigned to the group of common methods (850 uses), progressive methods (89 uses), methods in the development phase (one use) and other methods and techniques (1191 use).

Keywords: remedial techniques/technologies, terminology, contaminated sites, corrective remedial measures