



European Union Network for the Implementation
and Enforcement of Environmental Law



Working Group
Contamination

Pranie znečistených zemín

Soil Washing

Závěrečná správa

Dátum vydania: 31. január 2023

Číslo správy: 2022/10 SW

Preklad: Ing. Alena Vengrinová, SAŽP
Ing. Katarína Paluchová, SAŽP

Odborný konzultant: RNDr. Jaroslav Schwarz, ENVIGEO a.s.

Úvod o IMPEL

Sieť Európskej únie pre implementáciu a presadzovanie práva životného prostredia IMPEL (z angl. *The European Union Network for the Implementation and Enforcement of Environmental Law* je medzinárodné neziskové združenie environmentálnych orgánov členských štátov EÚ, prístupujúcich a kandidátskych krajín Európskej únie a krajín Európskeho hospodárskeho priestoru (*European Economic Area – EEA*). Združenie je registrované v Belgicku a jeho sídlo sa nachádza v Bruseli.

Združenie IMPEL bolo založené v roku 1992 ako neformálna sieť európskych regulačných orgánov a orgánov zaoberajúcich sa vykonávaním a presadzovaním práva v oblasti životného prostredia. Cieľom je vytvoriť v Európskom spoločenstve potrebný impulz na dosiahnutie pokroku pri zabezpečovaní účinnejšieho uplatňovania právnych predpisov v oblasti životného prostredia. Podstatou činnosti IMPEL je zvyšovanie povedomia, budovania kapacít a výmeny informácií a skúseností v oblasti implementácie, presadzovania a medzinárodnej spolupráce pri presadzovaní, ako aj propagácie a podpory praktickej vykonateľnosti a vymožitelnosti európskych právnych predpisov v oblasti životného prostredia.

Počas predchádzajúcich rokov sa IMPEL vypracovala na významnú, všeobecne známu organizáciu, ktorá sa spomína vo viacerých legislatívnych a politických dokumentoch EÚ, napr. v 7. environmentálnom akčnom programe a v odporúčaní na minimálne kritériá pre inšpekcie životného prostredia.

Vďaka odborným znalostiam a skúsenostiam účastníkov v rámci IMPEL je toto združenie jedinečne kvalifikované na prácu na technických a regulačných aspektoch právnych predpisov EÚ v oblasti životného prostredia.

Informácie o združení IMPEL sú dostupné na web stránke: www.impel.eu

Navrhovaná citácia:

Falconi M. et al. (2023), Soil Washing (SW) report. IMPEL, COMMON FORUM, EIONET, NICOLE report no 2022/10 SW, 120 strán. Brussels, ISBN 978-2-931225-30-1

Názov správy: Pranie znečistených zemín (<i>Soil Washing</i>)	Číslo správy: 2022/10 SW																																																						
Správa prijatá na Valnom zhromaždení IMPEL: Schválenie písomným postupom 14. februára 2023	Celkový počet strán: 277 Správa: 33 strán Prílohy: 87 strán																																																						
Projektoví manažéri: <table border="0"> <tr> <td>Marco Falconi (IT)</td> <td>IMPEL</td> <td>ISPRA</td> </tr> <tr> <td>Dietmar Müller-Grabherr (AT)</td> <td>Common Forum</td> <td>Umweltbundesamt AT</td> </tr> <tr> <td>Frank Swartjes (NL)</td> <td>EIONET WG Contamination</td> <td>RIVM</td> </tr> <tr> <td>Wouter Gevaerts (NL)</td> <td>NICOLE</td> <td>Arcadis</td> </tr> </table> Autori: <table border="0"> <tr> <td>Iustina Boaja (RO)</td> <td></td> <td>Romanian Geological Survey</td> </tr> <tr> <td>Massimiliano Confalonieri (IT)</td> <td>IMPEL</td> <td>ARPA Lombardia</td> </tr> <tr> <td>Nazare Couto (PT)</td> <td></td> <td>CENSE</td> </tr> <tr> <td>Marco Falconi (IT)</td> <td>IMPEL</td> <td>ISPRA</td> </tr> <tr> <td>Gokberk Kara (TR)</td> <td></td> <td>RSK</td> </tr> <tr> <td>Kurt Morgan (SW)</td> <td></td> <td>KIBAG</td> </tr> <tr> <td>Dietmar Müller-Grabherr (AT)</td> <td>Common Forum</td> <td>Umweltbundesamt AT</td> </tr> <tr> <td>Andrea Sconocchia (IT)</td> <td>IMPEL</td> <td>ARPA Umbria</td> </tr> <tr> <td>Frank Swartjes (NL)</td> <td>EIONET</td> <td>RIVM</td> </tr> <tr> <td>Reto Tietz (SW)</td> <td>IMPEL</td> <td>FOMI</td> </tr> </table> Prispievatelia do prílohy 1: <table border="0"> <tr> <td>Alessia Arelli (IT)</td> <td>ISPRA</td> </tr> <tr> <td>Paola Canepa (IT)</td> <td>ARPA Lombardia</td> </tr> <tr> <td>Massimiliano Confalonieri (IT)</td> <td>ARPA Lombardia</td> </tr> <tr> <td>ENVIT (SI)</td> <td>ENVIT</td> </tr> <tr> <td>Beatrice Melillo (IT)</td> <td>ARPA Lombardia</td> </tr> <tr> <td>Alessandro Teani (IT)</td> <td>AMBIENTHESIS</td> </tr> </table>		Marco Falconi (IT)	IMPEL	ISPRA	Dietmar Müller-Grabherr (AT)	Common Forum	Umweltbundesamt AT	Frank Swartjes (NL)	EIONET WG Contamination	RIVM	Wouter Gevaerts (NL)	NICOLE	Arcadis	Iustina Boaja (RO)		Romanian Geological Survey	Massimiliano Confalonieri (IT)	IMPEL	ARPA Lombardia	Nazare Couto (PT)		CENSE	Marco Falconi (IT)	IMPEL	ISPRA	Gokberk Kara (TR)		RSK	Kurt Morgan (SW)		KIBAG	Dietmar Müller-Grabherr (AT)	Common Forum	Umweltbundesamt AT	Andrea Sconocchia (IT)	IMPEL	ARPA Umbria	Frank Swartjes (NL)	EIONET	RIVM	Reto Tietz (SW)	IMPEL	FOMI	Alessia Arelli (IT)	ISPRA	Paola Canepa (IT)	ARPA Lombardia	Massimiliano Confalonieri (IT)	ARPA Lombardia	ENVIT (SI)	ENVIT	Beatrice Melillo (IT)	ARPA Lombardia	Alessandro Teani (IT)	AMBIENTHESIS
Marco Falconi (IT)	IMPEL	ISPRA																																																					
Dietmar Müller-Grabherr (AT)	Common Forum	Umweltbundesamt AT																																																					
Frank Swartjes (NL)	EIONET WG Contamination	RIVM																																																					
Wouter Gevaerts (NL)	NICOLE	Arcadis																																																					
Iustina Boaja (RO)		Romanian Geological Survey																																																					
Massimiliano Confalonieri (IT)	IMPEL	ARPA Lombardia																																																					
Nazare Couto (PT)		CENSE																																																					
Marco Falconi (IT)	IMPEL	ISPRA																																																					
Gokberk Kara (TR)		RSK																																																					
Kurt Morgan (SW)		KIBAG																																																					
Dietmar Müller-Grabherr (AT)	Common Forum	Umweltbundesamt AT																																																					
Andrea Sconocchia (IT)	IMPEL	ARPA Umbria																																																					
Frank Swartjes (NL)	EIONET	RIVM																																																					
Reto Tietz (SW)	IMPEL	FOMI																																																					
Alessia Arelli (IT)	ISPRA																																																						
Paola Canepa (IT)	ARPA Lombardia																																																						
Massimiliano Confalonieri (IT)	ARPA Lombardia																																																						
ENVIT (SI)	ENVIT																																																						
Beatrice Melillo (IT)	ARPA Lombardia																																																						
Alessandro Teani (IT)	AMBIENTHESIS																																																						
Zhrnutie <i>Kľúčové slová</i> Pranie zemín, udržateľná sanácia, horninové prostredie a pôda, podzemná voda, pôdna politika, sanácia, životné prostredie, nulový záber pôdy, znečistenie, znečistené lokality, znečistené územie, monitorovanie, terénne skúšky. <i>Cieľové skupiny</i> Príslušné orgány pre schvaľovanie/aplikáciu/monitorovanie sanačných metód, priemyselní prevádzkovatelia, orgány ochrany životného prostredia, orgány ochrany prírody, inšpektoráty životného prostredia, monitorovacie a výskumné inštitúcie, technické univerzity, environmentálne združenia, mimovládne organizácie, poisťovne a združenia, environmentálni poradcovia. Združenie IMPEL v rámci svojho pracovného programu na rok 2020 vytvorila projekt týkajúci sa posúdenia použiteľnosti sanačných metód (2020/09). Projekt „Sanácia vody a pôdy“ vychádza z definícií a postupov sanácie a zameriava sa na technickú stránku sanačných technológií. Konečným cieľom projektu je vytvoriť dokument poskytujúci kritériá pre posúdenie návrhu sanačnej technológie, posúdiť jej vhodnosť, popísať postup pri terénnych skúškach a samotnej sanácii.																																																							

Príloha 1 obsahuje niekoľko prípadových štúdií, ktoré môžu pomôcť čitateľom pripraviť sa na problémy, s ktorými sa môžu stretnúť, a tiež zistiť, či sa prezentované riešenie môže použiť na ich lokalite. Pritom zostáva v platnosti, že každá znečistená lokalita sa líši od ostatných a vždy je potrebný špecifický prístup pre danú lokalitu.

Cieľom projektu „Sanácia vody a pôdy“ na roky 2020 – 2021 bolo sústrediť sa na dve sanačné technológie, viacfázovú extrakciu a pranie znečistenej zeminy.

Projekt „Sanácia vody a pôdy“ má za cieľ podporiť použitie *in situ* a *on-site* sanačných technológií pre pôdu, horninové prostredie a podzemnú vodu, na úkor bežne používaných technológií *Dig & Dump* (odstránenie znečistenej zeminy a jej sanácia *ex situ*) a *Pump&Treat* (sanačné čerpanie a čistenie podzemnej vody), ktoré nie sú trvalo udržateľné v strednodobom horizonte. Pôda, horninové prostredie a voda sú prírodnými zdrojmi, a pokiaľ je to technicky možné, mala by sa dosiahnuť ich obnova a nie plytvanie.

PodĎakovanie

Správu odborne posúdil širší projektový tím IMPEL a skupina expertov IMPEL pre vodu a pôdu, členovia Common Forum pre znečistené územie, NICOLE, pracovná skupina EIONET pre znečistenie a skupina externých posudzovateľov.

Upozornenie

Táto publikácia bola spracovaná v rámci projektu IMPEL (*European Union Network for the Implementation and Enforcement of Environmental Law*) projektu s názvom „Sanácia vody a pôdy“ (*Water & Land Remediation*), s podporou skupiny partnerov, ktorí sa zaujímajú o manažment znečistenej pôdy. Dokument, ktorý napísal a zhodnotil tím autorov, má slúžiť ako primárny zdroj informácií na premostenie a rozšírenie poznatkov medzi európskymi krajinami a regiónmi. Zameriava sa na podporu spoločného chápania potenciálu špecifickej sanačnej metódy/techniky.

Uvedený obsah vychádza z príslušnej bibliografie, skúseností autorov a zozbieraných prípadových štúdií. Dokument nemusí byť vyčerpávajúci vo všetkých prípadoch, v ktorých bola alebo bude táto sanačná technika použitá. Prípadové štúdie (viď. príloha) sú uznanými dobrovoľnými príspevkami. Kolektív autorov nemal za úlohu vyhodnocovať a overovať správy o prípadových štúdiách.

Niektoré krajiny, regióny alebo miestne orgány môžu zaviesť osobitné právne predpisy, metodické pokyny alebo usmernenia, ktoré stanovujú uplatňovanie metódy a jej použiteľnosť.

Tento dokument NIE JE metodickou príručkou pre uvedenú sanačnú techniku a tiež nie je referenčným dokumentom (*BREF – BAT reference document*) pre najlepšie dostupné techniky (*BAT - best available techniques*). Pedologická, geologická a hydrogeologická charakteristika prostredia znečistených území v Európe vykazuje veľkú variabilitu. Preto je pre úspech pri sanácii znečistených území kľúčový návrh a realizácia, ktoré sú prispôbené konkrétnej lokalite. Takže každé uvedené odporúčanie sa môže buď uplatniť, čiastočne uplatniť alebo aj neuplatniť. V každom prípade autori, prispievatelia a zapojené inštitúcie nenesú za to zodpovednosť.

Názory vyjadrené v tomto dokumente sa nemusia stotožňovať s názormi jednotlivých zúčastnených členov. IMPEL a jeho skupina partnerov dôrazne odporúčajú, aby jednotlivci/organizácie, ktorí majú záujem o zavedenie metódy v praxi, využili služby skúsených odborníkov v oblasti životného prostredia.

Marco Falconi – IMPEL

Dietmar Müller Grabherr – COMMON FORUM on Contaminated Land in Europe

Frank Swartjes – EEA EIONET WG Contamination

Wouter Gevaerts – NICOLE

Slovník pojmov

POJEM	DEFINÍCIA	ZDROJ	Kapitola/ článok
referenčné miesto	miesto (napr. pôda alebo podzemná voda), v ktorom sa merajú hodnotiace kritériá, ktoré nesmú byť prekročené	STN EN ISO 11074	3.4.5
kontrola dodržiavania cieľových hodnôt sanácie v referenčnom mieste	prieskum alebo program priebežnej kontroly, skúšky alebo monitorovania s cieľom potvrdiť, že sanácia bola riadne vykonaná (napr. že všetky znečisťujúce látky boli odstránené) a/alebo že bolo prijaté opatrenie založené na izolácii, ktoré bude naďalej fungovať na stanovenej úrovni	STN EN ISO 11074	6.1.5
znečisťujúca látka / kontaminant ¹	látka (látky) alebo činidlo (čínidlá) prítomné v pôde v dôsledku ľudskej činnosti	STN EN ISO 11074	3.4.6
znečistené územie ²	územie, na ktorom je prítomné znečistenie	STN EN ISO 11074	2.3.5
znečistenie / kontaminácia	látka (látky) alebo činidlo (čínidlá) prítomné v pôde v dôsledku ľudskej činnosti	STN EN ISO 11074	2.3.6
účinnosť ³	(sanačná metóda) miera schopnosti sanačnej metódy dosiahnuť požadovanú účinnosť	STN EN ISO 11074	6.1.6
emisia	priame alebo nepriame uvoľnenie látok, vibrácií, tepla alebo hluku z bodového zdroja alebo z plošných zdrojov zariadenia do ovzdušia, vody alebo pôdy	Smernica 2010/75/EÚ	článok 3 (4)
norma kvality životného prostredia	súbor požiadaviek stanovených v právnych predpisoch Únie, ktoré musí dané životné prostredie alebo jeho určitá časť v danom čase spĺňať	Smernica 2010/75/EÚ	článok 3 (6)
Henryho konštanta	rozdeľovací koeficient medzi pôdnym vzduchom a vodou	STN EN ISO 11074	3.3.12
metóda sanácie in-situ ⁴	metóda sanácie aplikovaná priamo na mieste (napr. na pôdu, podzemnú vodu) bez vyťaženia znečistenej zeminy alebo odčerpania podzemnej vody	STN EN ISO 11074	6.2.3
lúhovanie	rozpúšťanie a pohyb rozpustených látok vodou	STN EN ISO 11074	3.3.15
znečisťujúca látka	látka (látky) alebo činidlo (čínidlá) prítomné v pôde (alebo podzemnej vode), ktoré vzhľadom na svoje vlastnosti, množstvo alebo koncentráciu spôsobujú nepriaznivý vplyv na funkciu pôdy	STN EN ISO 11074	3.4.18
znečisťovanie	priame alebo nepriame zavedenie látok, vibrácií, tepla alebo hluku do ovzdušia, vody alebo pôdy v dôsledku ľudskej činnosti, ktoré môže byť škodlivé pre ľudské zdravie alebo kvalitu životného prostredia, spôsobiť poškodenie hmotného majetku, alebo znehodnotiť či narušiť harmóniu životného prostredia a iné legitímne využívanie životného prostredia	Smernica 2010/75/EÚ	článok 3 (2)
cieľ sanácie	všeobecný termín pre akýkoľvek cieľ vrátane tých, ktoré súvisia s technickými (napr. zvyškové znečistenie, technické parametre), administratívnymi a právnymi požiadavkami	STN EN ISO 11074	6.1.19

¹ U tejto definícii nie je predpoklad, že vyplýva z prítomnosti znečistenia.

² U tejto definícii nie je predpoklad, že vyplýva z prítomnosti znečistenia.

³ V prípade metódy založenej na procese možno účinnosť vyjadriť v podobe dosiahnutých zvyškových koncentrácií znečisťujúcich látok.

⁴ Poznámka: ISO CD 241212 navrhuje ako synonymum „in-situ (remediation) technique“ (in-situ (sanačná) technika) [Poznámka 1 k položke: Takéto sanačné zariadenie je zriadené na mieste a činnosť spracovania znečisťujúcej látky je zameraná na priamu aplikáciu do horninového prostredia.] ISO CD 24212 3.1

POJEM	DEFINÍCIA	ZDROJ	Kapitola/ článok
<i>stratégia sanácie⁵</i>	<i>kombinácia sanačných metód a súvisiacich prác, ktoré spĺňajú stanovené ciele súvisiace so znečistením (napr. zvyškové koncentrácie znečisťujúcich látok) a iné ciele (napr. technické) a prekonajú obmedzenia špecifické pre danú lokalitu</i>	<i>STN EN ISO 11074</i>	<i>6.1.20</i>
<i>cieľová hodnota sanácie</i>	<i>označenie účinnosti, ktorá sa má sanáciou dosiahnuť, zvyčajne definovaná ako cieľ súvisiaci so znečistením vo forme zvyškovej koncentrácie</i>	<i>STN EN ISO 11074</i>	<i>6.1.21</i>
<i>pásmo nasýtenia</i>	<i>časť horninového prostredia, v ktorej sú všetky póry celkom vyplnené vodou</i>	<i>STN EN ISO 11074</i>	<i>3.2.6</i>
<i>pôda</i>	<i>vrchná vrstva zemskej kôry, ktorá sa nachádza medzi podložíom a povrchom; pôda sa skladá z minerálnych častíc, organickej hmoty, vody, vzduchu a živých organizmov</i>	<i>Smernica 2010/75/EÚ</i>	<i>článok 3 (21)</i>
<i>pôdny vzduch</i>	<i>vzduch, ktorý spolu s vodou vyplnína pôdne póry</i>	<i>STN EN ISO 11074</i>	<i>2.1.13</i>
<i>pásmo prevzdušnenia</i>	<i>časť pôdneho prostredia, v ktorej je časť pórov vyplnená vzduchom</i>	<i>STN EN ISO 11074</i>	<i>3.2.8</i>

⁵ Výber metód môže byť obmedzený rôznymi faktormi špecifickými pre danú lokalitu, ako sú topografia, geológia, hydrogeológia, náchylnosť na záplavy a klíma.

OBSAH

1 ÚVOD	9
1.1 Základné údaje o praní znečistených zemín	9
1.2 Využitelnosť sanačnej techniky SW	11
1.3 Implementácia sanačnej techniky SW	11
2 OPIS SANAČNEJ TECHNIKY	13
2.1 Rozsah	13
2.2 Zariadenie na pranie znečistených zemín	14
2.3 Čistenie a recirkulácia odpadovej vody	15
3 ŠTÚDIA USKUTOČNITEĽNOSTI	17
3.1 Výhody a nevýhody prania znečistených zemín (SW)	17
3.1.1 Výhody sanačnej techniky prania znečistených zemín (SW)	17
3.1.2 Nevýhody sanačnej techniky prania znečistených zemín (SW)	18
3.2 Fázy štúdie uskutočniteľnosti prania znečistených zemín (SW)	18
3.2.1 Požadované údaje	18
3.2.2 Použitelnosť sanačnej techniky pre rôzne znečisťujúce látky	19
3.2.3 Upraviteľné materiály	20
3.2.4 Legislatívne požiadavky	20
4 TERÉNNÉ SKÚŠKY	21
4.1 Skúšky upraviteľnosti	21
4.1.1 Posúdenie lokality (rešeršná štúdia)	22
4.1.2 Laboratórne skúšky	22
4.1.3 Poloprevádzková (pilotná) skúška	23
4.1.4 Vyhodnotenie skúšok upraviteľnosti pre potreby sanácie	23
5 MONITOROVANIE PRIEBEHU SANÁCIE	26
5.1 Úvod	26
5.2 Záverečná správa zo sanácie	26
5.3 Typy prevádzkového monitorovania	26
5.3.1 Prevádzkovo-technologická fáza	27
5.3.2 Potvrdenie úspešnosti sanácie	27
5.4 Hodnotenie a kontrola kvality	28
6 ZÁVER	29
ZDROJE	31

1 ÚVOD

IMPEL, Sieť Európskej únie pre implementáciu a presadzovanie práva životného prostredia, vypracovala v rámci projektu „Sanácia vody a pôdy“ (*Water & Land Remediation*), sériu usmernení zameraných na najbežnejšie a najpoužívanejšie techniky sanácie pôdy a podzemnej vody. V týchto príručkách sú zhrnuté najnovšie a najaktuálnejšie informácie o týchto sanačných technikách, ktoré by mohli pomôcť rôznym zainteresovaným stranám, ako sú vlastníci lokalít, okolitá komunita, projektoví manažéri, dodávatelia, kontrolné orgány a ďalší odborníci z praxe, pochopiť všetky informácie vyplývajúce z každého projektu sanácie. Využíva informácie poskytnuté od zúčastnených prispievateľov, získané z recenzovaných vedeckých zdrojov a oficiálnych správ.

V tomto usmernení sú zhromaždené najnovšie poznatky o jednej z najpoužívanejších sanačných techník, t. j. o praní znečistených zemín⁶ (**Soil Washing - SW**).

1.1 Základné údaje o praní znečistených zemín

Pranie znečistených zemín (SW)⁷ je sanačná technika na báze využitia vody pre fyzikálnu (a chemickú) úpravu zemín s cieľom odstrániť nežiaduce znečisťujúce látky a je možné ju považovať za široko používanú sanačnú techniku na veľkých znečistených lokalitách. Ak odstraňovanie anorganických zlúčenín z upravovaného materiálu nie je účinné, do vody sa môžu pridávať pH kondicionéry, upravujúce hodnotu pH prostredia (spravidla silné kyseliny a zásady, zvyčajne HCl a NaOH).

V severnom Taliansku sa táto sanačná technika použila na významných znečistených územiach, ako je milánska lokalita Santa Giulia a lokality národného záujmu v Sesto San Giovanni (Acciaierie Falck) a Brescia (závod Caffaro).

Pojem „pranie znečistených zemín“ sa vhodnejšie používa na označenie úpravárenských operácií s použitím vody, ktoré sa používajú po vyťažení znečistenej zeminy a realizujú sa **ex-situ**. Naproti tomu pojmom „vymývanie zemín“ sa prednostne označuje extrakcia znečisťujúcich látok z horninového prostredia a pôdy pomocou vody alebo iných vhodných roztokov, vykonávaná na mieste (t. j. bez jej odťaženia), **in-situ**.

Proces **vymývania zemín (Soil Flushing - SF)** zahŕňa prechod čistej vody alebo vodného roztoku cez zeminu v jej prirodzenom uložení (pomocou infiltrácie alebo injektáže) a následnú extrakciu sanačného roztoku z vodonosnej vrstvy s cieľom jej potenciálneho opätovného použitia.

Naopak, proces prania znečistených zemín (SW) odstraňuje znečisťujúce látky zo zemín jedným alebo kombináciou nasledujúcich spôsobov:

- Rozpustením alebo suspendovaním znečisťujúcich látok vo pracovnom roztoku (čo sa dá udržať chemickou úpravou pH počas určitej doby) – „chemické pranie zeminy“.
- Ich koncentrovaním do menšieho objemu zeminy prostredníctvom separácie podľa veľkosti častíc (napr. sitovaním), gravitačnej separácie a atrície – „fyzikálne pranie zeminy“.

Počas prania znečistených zemín majú znečisťujúce látky tendenciu viazať sa chemicky alebo fyzikálne na silt, íl a organické látky v zemine. Silt a íl sú zase premiešané so zrnami piesku a štrku. Pri praní zeminy sa oddeľuje znečistená jemnozrnná frakcia zeminy (silt a íl) od hrubozrnnnej frakcie (piesok a štrk). Po skončení sa menší objem zeminy, ktorý obsahuje jemnozrnné frakcie, môže ďalej spracovať alebo zlikvidovať v súlade s národnými predpismi. Čistá (hrubozrnná) frakcia zeminy, získaná práním

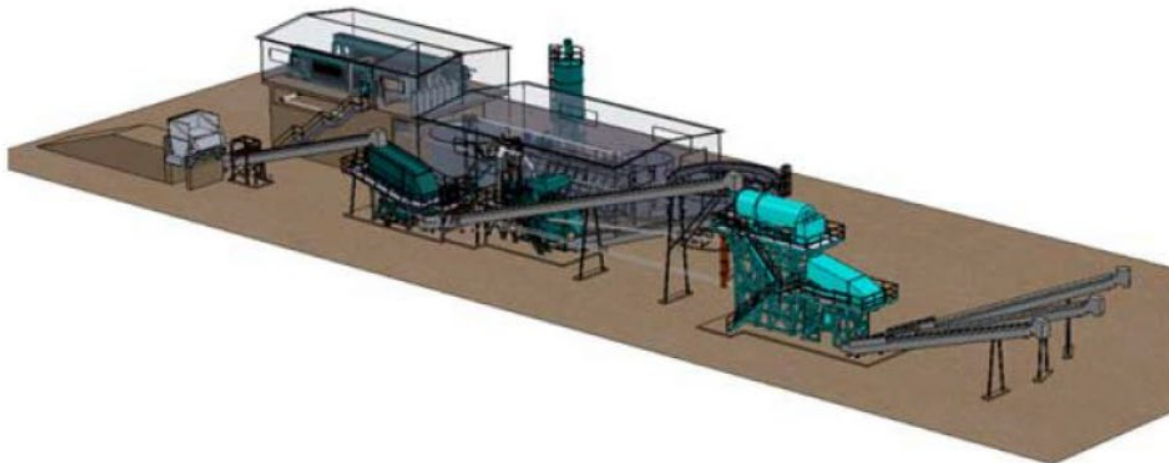
⁶ Anglický termín „soil“ zahŕňa pôdny profil a časť horninového prostredia, tvorenú nespevnenými, spravidla kvartérnymi sedimentárnymi horninami. V odbornom texte sa termín „soil“ zvykne prekladať ako „horninové prostredie a pôda“. Vo väčšine prípadov je ako akceptovateľný ekvivalent použiteľný aj technický termín „zemina“, či „zeminy“ (pozn. prekl.).

⁷ Alternatívne názvy podľa Atlasu sanačných metód environmentálnych záťaží (Frankovská, Slaninka, Kordík a kol., 2010) sú „vymývanie alebo prepieranie pevných materiálov“.

zeminy (piesok a štrk), sa môže opätovne použiť na mieste, napr. na zásyp výkopov, avšak iba v prípade, že spĺňa požadované kvalitatívne normy dané legislatívnymi predpismi. Hlavným cieľom úpravy pomocou tejto metódy je znížiť objem znečistenej zeminy pre ďalšie nakladanie s odpadom (napr. spaľovanie pri vysokej teplote alebo ukladanie na skládky odpadu) a získať druhotné suroviny. Počas prania zemín homogenizácia zeminy vo vodnom prostredí umožňuje optimalizovať kontakt medzi extrakčnými činidlami a znečisťujúcimi látkami v zemi. Účinnosť spracovania sa tak dá ľahšie monitorovať a čas kontaktu sa počas prania zeminy (SW) v porovnaní s vymývaním zeminy (SF in-situ) skraca.

Typická technologická linka na pranie zemín je znázornená na obrázku 1.1. Zariadenie sa skladá z niekoľkých modulárnych komponentov, ktoré sa dajú prepravovať a umiestniť na rovný, spevnený terén (obrázok 1.2).

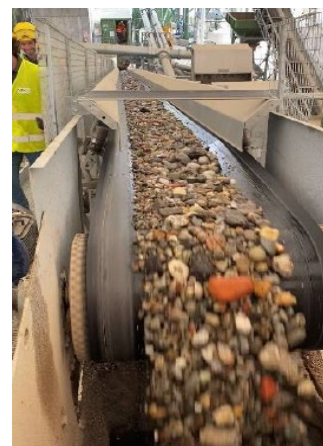
Prvky technologického zariadenia pozostávajú z vyvýšenej násypky, dopravníkových pásov (obrázok 1.3), za ktorými nasleduje skupina mokrých triediacich sít na rôzne frakcie piesku a štrku, bubnová práčka, séria hydrocyklónov a okruh úpravy vody s dvoma filtračnými lisami na odvodnenie kalu. Je potrebné však poznamenať, že pre každý z týchto technologických segmentov existujú alternatívy a že zloženie technológie a konfigurácia pracného zariadenia sa určia až na základe fyzikálnych a chemických vlastností pôdy/horninového prostredia (zemín) a konkrétnej znečisťujúcej látky v danej lokalite.



Obrázok 1.1- Zariadenie na pranie znečistených zemín



Obrázok 1.2- Plocha nakládky znečistenej zeminy



Obrázok 1.3- Dopravníkový pás pre pranie zeminy

1.2 Využitelnost sanačnej techniky SW

Sanačná technika SW je obzvlášť účinná pri sanácii zemín obsahujúcich prevažne hrubozrnné frakcie, ako sú štrky, piesky a kamenité suty, a je relatívne menej účinná, ak prevládajú jemnozrnné frakcie, ako sú silt, íl a/alebo pôdna organická hmota (najlepšiu účinnosť má sanačná technika u zemín s vyššou hydraulickou vodivosťou). Táto sanačná technika má nízku účinnosť, ak sa znečisťujúce látky silne adsorbujú na pôdne častice, vzhľadom na to, že tento proces nie je vždy schopný úplne odstrániť znečisťujúce látky z pôdy.

Vzhľadom na druh znečisťujúcich látok sa sanačná technika môže použiť na úpravu zemín obsahujúcich širokú škálu organických a anorganických znečisťujúcich látok, vrátane uhľovodíkov ropného pôvodu, ťažkých kovov, PCB, fytochemikálií, polycyklických aromatických uhľovodíkov, vybraných prchavých organických látok, pesticídov a kyanidov.

Existuje však rad faktorov, ktoré môžu obmedziť použiteľnosť a účinnosť metódy, medzi ktoré môžu patriť:

- Zložité komplexy znečisťujúcich látok (napr. organokovové zlúčeniny), ktoré sťažujú výber vhodného pracieho roztoku.
- Vysoký obsah humínových látok v pôde môže vyžadovať jej predúpravu.
- Môže byť zložité odstrániť organické látky adsorbované na ílovitých časticiach.

Sanačná technika môže byť obzvlášť vhodná pri sanácii znečistenej zeminy spojenej s rozsiahlymi stavebnými projektmi, kde sú už náklady na odťaženie zeminy zahrnuté v projekte a kde sa čisté frakcie zeminy opätovne použijú na stavenisku do stavebných konštrukcií stavby.

1.3 Implementácia sanačnej techniky SW

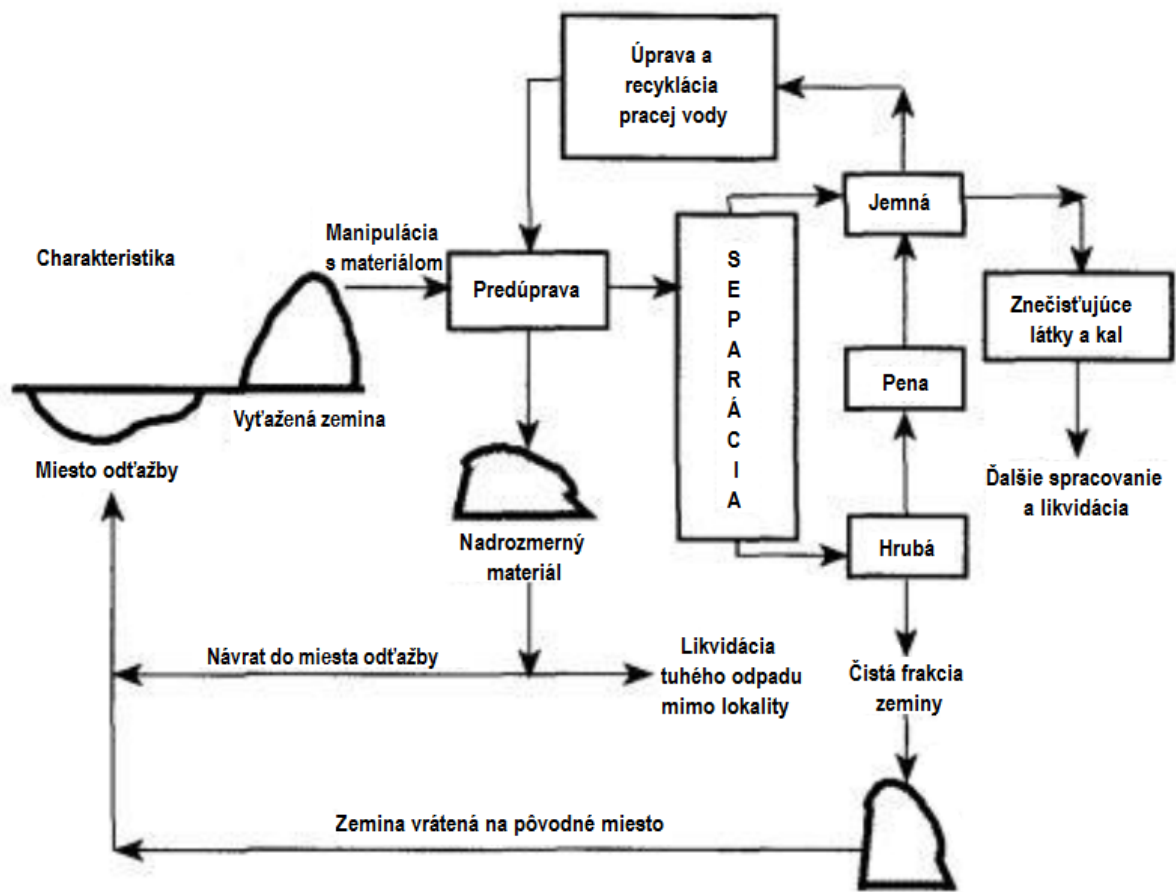
Pranie znečistených zemín (SW) sa vo všeobecnosti považuje za metódu s transferom médií. Znečistené vody vznikajúce pri sanačnej technike sa upravujú pomocou technológie (technológií) vhodnej pre dané znečisťujúce látky.

Trvanie procesu je zvyčajne krátkodobé až strednodobé.

Realizácia sanačnej techniky SW môže zahŕňať nasledujúce kroky:

- odťaženie a dočasné uskladnenie znečistenej zeminy;
- predúprava zeminy sitovaním s cieľom odstrániť hrubozrnné frakcie a antropogénne materiály;
- pranie zeminy vodou alebo vodným roztokom na oddelenie frakcií so znečisťujúcimi látkami;
- úprava pracej (technologickej) vody;
- získanie hrubozrnné frakcie na mieste (in-situ) pre zásypy a terénne úpravy.

Tieto kroky sú schematicky znázornené na obrázku 1.4.



Obrázok 1.4- Schematický proces prania znečistených zemín (zdroj: US EPA 1996)

2 OPIS SANAČNEJ TECHNIKY

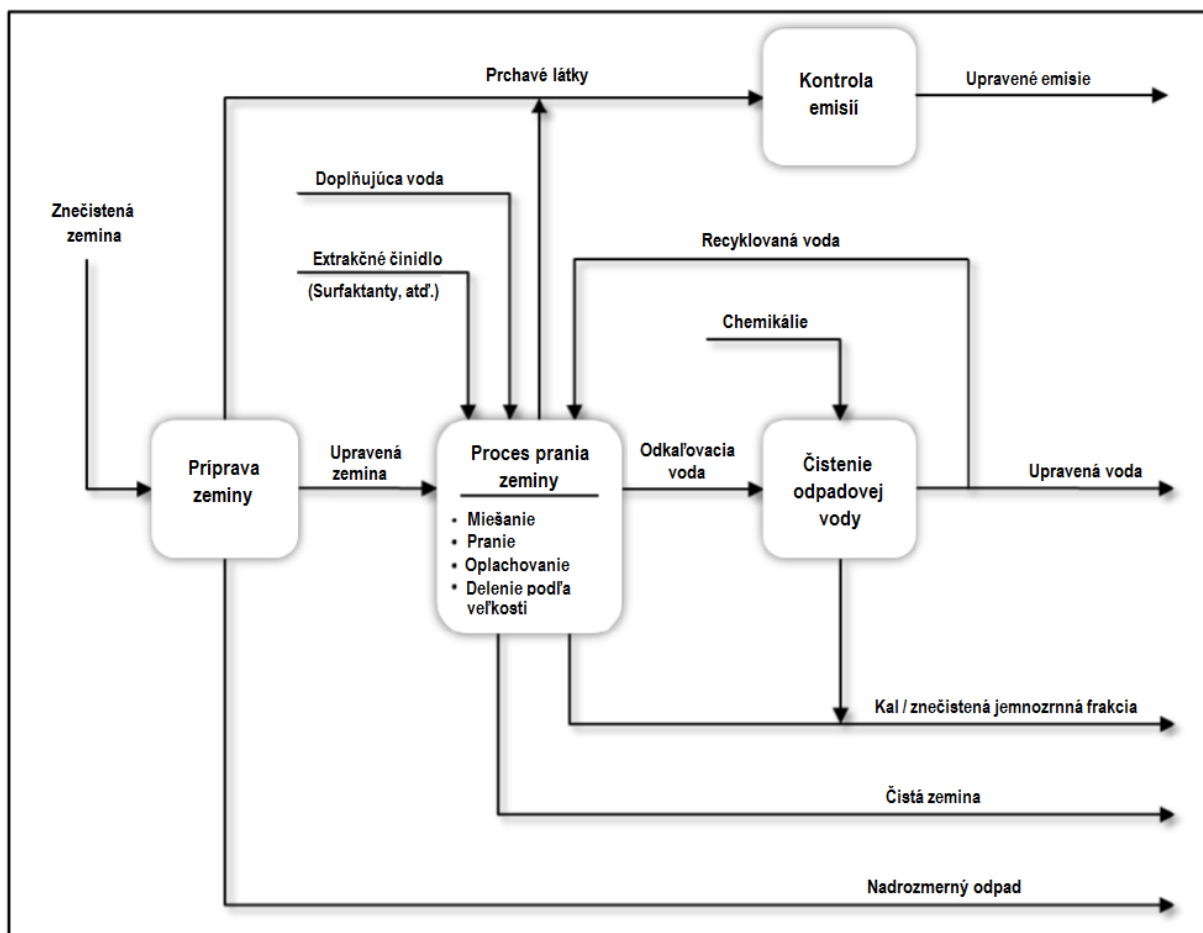
2.1 Rozsah

Sanačná technika prania znečistených zemín (SW) je relatívne jednoduchá a v podstate zahŕňa separáciu jemnozrnej a hrubozrnej frakcie znečistenej zeminy za pomoci vody alebo vodného roztoku. Na optimalizáciu účinnosti techniky je však možné navrhnuť a prispôbiť technologické procesy, s prihliadnutím na konkrétnu zmes znečisťujúcich látok a zrnitosťný typ zeminy.

Sanačná technika SW sa v podstate zameriava na zníženie objemu vyťaženej znečistenej zeminy prostredníctvom separácie jemnozrnej frakcie (v ktorej sú koncentrované znečisťujúce látky) od hrubozrnej frakcie, ktorú možno späťne použiť.

Separáciou a odstránením znečistenej jemnozrnej frakcie sa môže zvyšná hrubozrnná frakcia, pokiaľ spĺňa požadované normy, použiť na:

- späťné zásypy sanačných výkopov;
- zásypy a terénne úpravy na iných miestach;
- terénne úpravy a výplň ťažobní a lomov.



Obrázok 2.1- Schéma procesu prania znečistených zemín (CRC CARE National Remediation Framework, 2018 - [2])

Sanačná technika sa zvyčajne realizuje ex-situ. Používajú sa štandardné úpravárenské zariadenia, ktoré sa bežne používajú v priemysle nerastných surovín pri úprave nerastov.

2.2 Zariadenie na pranie znečistených zemín

Zariadenie používané pri tejto sanačnej technike zvyčajne umožňuje tieto fázy: príprava zeminy a predbežné triedenie, fyzikálna separácia (mechanické sitovanie, hydrodynamické triedenie, gravitačné triedenie, flotácia s pomocou peničov, magnetická separácia, elektrostatická separácia, atričné čistenie, atď.), chemická separácia, premývanie zeminy (na odstránenie extrakčných činidiel) a čistenie odpadovej vody.

Typické pracie zariadenie sa skladá z rôznych častí, ktoré sa vzťahujú na tieto procesy:

- **Príprava zeminy a predbežné triedenie:** tento proces zahŕňa mechanické triedenie (sitovanie) na odstránenie veľkých častíc ($\varnothing > 50$ mm), ako je stavebná suť, kusy skál a okruhliaky, pomocou vibračného sita vybaveného separátorom železa. Táto nadsitná frakcia spravidla nie je znečistená a preto sa posieľa na drvenie a následné zhodnotenie na lokalite.
- **Premývanie kameniva:** materiál sa dopravuje na spodok naklonenej nádrže a na vrch sa dopravuje pomocou dvoch rotujúcich hriadeľov vybavených lopatkami (šnekov) na uľahčenie jeho dezintegrácie. Silt a íl sa odstraňujú vodou pridávanou do hornej časti nádrže. Nečistoty a jemné častice sa odplavujú vodou na dno nádrže. Môže sa upravovať hodnota pH vody, aby sa uľahčila rozpustnosť anorganických zlúčenín, najmä kovov.
- **Sitovanie:** hrubozrnný materiál ($2 \text{ mm} < \varnothing < 50 \text{ mm}$) prechádza z hornej časti práčky na vibračné sitá, ktoré oddeľujú zvyšný jemnozrnný materiál. Nadsitná frakcia sa potom ďalej premýva, aby sa odstránili posledné zvyšky jemnozrnej frakcie ($\varnothing < 2$ mm, piesok, silt, íl), ktorá sa hromadí sa na dne vibračného triediča.
- **Regenerácia piesku:** pracia voda obsahujúca jemné frakcie v znose sa zhromažďuje v nádrži za vibračným sitom a následne sa prečerpáva do hydrocyklónu. V hydrocyklóne odstredivá sila oddeľuje vodu so siltom a ílom od piesku; voda so siltom a ílom prúdi hore hydrocyklónom, zatiaľ čo piesok vychádza z dna hydrocyklónu. Mokry piesok prechádza cez dávkovač, ktorý upravuje hustotu zmesi (60 – 80 % pevných častíc) a vstupuje do atričného bubna (trecej premývačky). Toto zariadenie vďaka miešacím lopatkám odstraňuje ílovité frakcie a všetky nečistoty zachytené na pieskových zrnách. Piesok vychádzajúci zo zariadenia sa suší pomocou vibračnej sušičky. Suchý piesok zmiešaný s upraveným hrubozrnným materiálom sa ukladá na skladovacie plochy.
- **Čistenie odpadovej vody:** pracie zariadenie (technologická linka SW) zvyčajne dokáže spracovať až 200 t/hod zeminy. Pranie sa zvyčajne vykonáva len pomocou vody; ak však odstránenie anorganických zlúčenín zo spracovávanej zeminy nie je účinné, môžu sa pridať reagenty upravujúce hodnotu pH (silné kyseliny a zásady, zvyčajne HCl a NaOH). Na konci zariadenia sa obvykle nachádza časť na mechanické odvodňovanie vzniknutého kalu (jemnozrnná frakcia) a časť na úpravu a recirkuláciu pracej vody. Riadenie kvality vody v priebehu spracovania je veľmi dôležité, pretože voda sa recykluje. Efektívne hospodárenie s vodou nielenže znižuje celkové množstvo vody spotrebovanej počas spracovania, ale tiež zabezpečuje, aby akékoľvek znečisťujúce látky, ktoré sa do vody dostanú počas spracovania, nespôsobili opätovné znečistenie. [1]



Obrázok 2.2- Technologická linka prania zemin (autor fotografií: Massimiliano Confalonieri)

Plnohodnotné pracie zariadenia môžu byť prenosné alebo stacionárne. Prenosné zariadenie môže spracovávať zeminu priamo na znečistenej lokalite (on-site), čím sa ušetrí náklady na prepravu zeminu do najbližšieho stacionárneho zariadenia. So získaním potrebných povolení a s mobilizáciou a demobilizáciou prenosného zariadenia však môžu byť spojené vysoké náklady a dlhší čas prípravných prác, a preto použitie prenosného zariadenia nemusí byť efektívne, pokiaľ nie je potrebné dekontaminovať veľký objem zeminu.

2.3 Čistenie a recirkulácia odpadovej vody

Technologická jednotka čistenia a recirkulácie odpadovej vody zohráva dôležitú úlohu pri sanačnej technike prania znečistenej zeminu (SW) a môže sa skladať zo segmentov, ako napríklad:

- sedimentačná nádrž (alebo klarifikátor): v ktorej dochádza k separácii kalu a čistej vody. Pred sedimentáciou sa vykonajú príslušné úpravy s dávkovaním chemikálií na čistenie vody;
- odmasťovacia nádrž⁸: na oddelenie suspendovaných organických znečisťujúcich látok od kalovej vody, ktorá opúšťa sedimentačnú nádrž;
- chemicko-fyzikálna úpravňa: na čistenie vody, ktorá odchádza z odmasťovacej nádrže (ORL);
- pieskový filter, aktívne uhlie alebo iónovo-výmenná filtračná časť: pre vodu, ktorá opúšťa chemicko-fyzikálnu úpravňu;
- zásobná nádrž: v ktorej sa voda po úprave sústreďuje pre jej opätovné použitie v rámci zariadenia na pranie zeminy;
- homogenizačná (alebo zahusťovacia) nádrž: v ktorej sa kal vystupujúci zo sedimentačnej nádrže homogenizuje;
- doskový filtračný lis (kalolis): v ktorom prebieha ďalšia separácia pevných častíc od kvapalín, pričom sa znečisťujúce látky koncentrujú na lise a relatívna vlhkosť sa zníži na najnižšiu dosiahnuteľnú hodnotu.



Obrázok 2.3- Celkový pohľad na pracie zariadenie (predná strana), zariadenie na spracovanie kalu (na ľavej strane) a príjmaciu halu (vzadu). Autor fotografií: Benjamin Faigle – Züblin Umwelttechnik GmbH

⁸ tiež ako odlučovač ropných látok (ORL), ak znečisťujúcou látkou sú minerálne oleje (pozn. prekl.)

3 ŠTÚDIA USKUTOČNITEĽNOSTI

Pranie znečistených zemín ex-situ (SW) je fyzikálnou alebo chemickou sanačnou technikou, ktorá oddeľuje znečistené a neznečistené zložky (frakcie) zemín využitím fyzikálnych rozdielov medzi nimi, ako je veľkosť častíc, tvar, hmotnosť a/alebo ich povrchové vlastnosti. Výsledkom prania znečistenej zeminy je, že sa znečistenie koncentruje do menšej časti z celkového objemu znečistenej zeminy (spravidla do jemnozrnej frakcie), ktorú možno jednoduchšie zlikvidovať alebo ďalej spracovať (napr. solidifikáciou alebo stabilizáciou). Čistá frakcia upravenej zeminy, ktorá obsahuje väčšie častice, ako je piesok a štrk, sa potom môže opätovne použiť, napríklad na terénne úpravy na lokalite (za predpokladu, že koncentrácie spĺňajú cieľové hodnoty sanácie).

Sanačnú techniku je možné použiť na spracovanie širokého spektra anorganických a organických znečisťujúcich látok vrátane ťažkých kovov, rádionuklidov, výbušnín, kyanidov, polycyklických aromatických zlúčenín, pesticídov, PCB a PFAS.

Existuje množstvo faktorov, ktoré by sa mali zohľadniť pri výbere tejto sanačnej techniky. Medzi kľúčové faktory, ktoré často rozhodujú o uskutočniteľnosti využitia sanačnej techniky praním (SW), patria:

- Či znečistený materiál obsahuje podstatný podiel hrubozrnného materiálu, ktorý možno oddeliť ako čistú frakciu vhodnú na opätovné využitie alebo menej nákladnú likvidáciu.
- Či je možné odseparovaný jemnozrnný znečistený materiál (kal) odvodniť a zneškodniť.
- Či relatívne objemy a náklady na likvidáciu výslednej hrubej alebo čistej frakcie a jemnej alebo znečistenej frakcie umožňujú, aby bol proces ekonomicky únosný.
- Budú príslušné kontrolné orgány akceptovať metódu prania znečistených zemín ako efektívny spôsob sanácie?
- Môže sa dekontaminovaná zemina opätovne použiť? Umožní koncentrácia anorganických látok a zvyškových organických látok opätovné použitie prepranej zeminy ako zásypového materiálu na lokalite alebo na inej lokalite, alebo bude potrebná ďalšia úprava (napr. stabilizácia) alebo uloženie na skládke?
- Je pravdepodobné, že ďalšie zainteresované strany (napr. miestna samospráva alebo verejnosť) budú súhlasiť s použitím metódy sanácie, najmä tie zainteresované strany, ktoré môžu mať významný vplyv na to, či sa sanačná technika na lokalite použije? Nachádzajú sa v blízkosti citlivé lokality, ktoré by vylučovali použitie navrhovanej metódy?
- Existuje časový limit a môže aplikácia tejto sanačnej techniky tento časový limit splniť?
- Je očakávaná výška nákladov na sanáciu prijateľná?

V kapitole 3.1 sa uvádza stručný prehľad niektorých výhod a obmedzení sanačnej techniky SW. Nejde o úplný zoznam všetkých relevantných faktorov techniky, ale má poskytnúť stručný prehľad tých faktorov, ktoré je potrebné vziať do úvahy. Kapitola 3.2 pokračuje ďalej jednotlivými časťami štúdie uskutočniteľnosti, ako sú požiadavky na údaje, fyzikálne vlastnosti a chemické zloženie horninového prostredia a pôdy (zemín).

3.1 Výhody a nevýhody prania znečistených zemín (SW)

3.1.1 Výhody sanačnej techniky prania znečistených zemín (SW)

- Sanačná technika SW môže byť použiteľná pre organické aj anorganické látky v tom istom sanačnom zariadení.
- Vo všeobecnosti sa zo zariadenia nevypúšťajú žiadne látky do ovzdušia ani odpadové vody, čo uľahčuje povoloňacie procesy v porovnaní s inými sanačnými zariadeniami. Vďaka tejto vlastnosti by mala byť táto sanačná technika výhodná aj pre zainteresované miestne komunity.

- Pranie znečistenej zeminy je jednou z mála alternatív trvalej sanácie horninového prostredia a pôdy znečistenej kovmi a rádionuklidmi. Je tiež jednou z mála alternatívnych metód trvalej sanácie na separáciu kovov zo zeminy [3], pri ktorej sa používajú fyzikálne alebo chemické procesy.
- Väčšina technologických zariadení na pranie znečistenej zeminy (SW) dokáže spracovať široký rozsah vstupných koncentrácií znečisťujúcich látok.
- V závislosti od vlastností horninového prostredia a pôdy môže sanačná technika umožniť návrat čistých hrubozrnných frakcií späť na lokalitu pri nízkych nákladoch [4].

3.1.2 Nevýhody sanačnej techniky prania znečistených zemín (SW)

- Po sanácii ostáva (relatívne malý) objem znečisteného materiálu a pracej vody, ktorý sa musí ďalej spracovať alebo zlikvidovať.
- Sanačná technika nemusí byť z hľadiska nákladov efektívna a to v prípade pôdy s obsahom siltu/ílu vyšším ako 30 až 50 % (viac informácií je možné nájsť v kapitole 3).
- Vysoký obsah humínových látok v pôde, zložitá zmes znečisťujúcich látok a veľmi premenlivé koncentrácie vstupujúcich znečisťujúcich látok môžu komplikovať proces úpravy.
- Ako pri každej technológii ex-situ, aj tu existujú priestorové požiadavky na umiestnenie sanačného zariadenia [4].

3.2 Fázy štúdie uskutočniteľnosti prania znečistených zemín (SW)

3.2.1 Požadované údaje

Úspešná implementácia a návrh sanácie SW závisí od nasledujúcich kľúčových fyzikálno-chemických charakteristík znečistenej zeminy:

- Fyzikálne vlastnosti sanovaných zemín.
- Chemické zloženie zemín.
- Chemické zloženie a koncentrácie znečisťujúcich látok v zeminách.

Na počiatočné posúdenie toho, či môže byť sanačná technika vhodnou alternatívou sanácie, je potrebné získať niekoľko kľúčových údajov. Tieto zahŕňajú:

- Zrnitostné zloženie (optimálna veľkosť zrn je 0,24 až 2 mm, pričom by nemal byť prítomný veľký podiel ílu alebo siltu).
- Typ zeminy (najvhodnejšie sú hrubozrnné materiály).
- Fyzikálna forma / tvar častíc.
- Manipulačné vlastnosti a obsah vlhkosti.
- Typ(y) a koncentrácia(e) znečisťujúcej látky(ok).
- Štruktúra.
- Obsah organických látok.
- Kationová výmenná kapacita.
- pH.
- Pufračná kapacita.

3.2.1.1 Fyzikálne vlastnosti zemín

Fyzikálne vlastnosti zemín musia byť charakterizované správnym spôsobom. Medzi dôležité faktory patria:

- Potreba charakterizovať zrnitostné zloženie zemín a jeho variabilitu: hrubozrnný materiál (štrk alebo piesok) bude pravdepodobne viac vhodný pre sanačnú techniku prania, pričom

jemnejšie frakcie sa počas procesu oddelia a pravdepodobne budú vyžadovať ďalšie spracovanie.

- Heterogenita zemín: rozdielna veľkosť zŕn a prítomnosť väčších kusov materiálu (napríklad stavebného odpadu) môže ovplyvniť distribúciu pracej vody v znečistenej zemine.
- Priepustnosť a plasticita materiálu tiež môžu ovplyvniť distribúciu pracej vody v znečistenej zemine.
- Obsah vody, ktorý môže byť vysoký, pokiaľ sa má sanovať zemina z pásma nasýtenia pod hladinou podzemnej vody (alebo sediment z povrchového toku).

Ďalšími faktormi na správne pochopenie fyzikálnych vlastností zemín (zo vzoriek z vrtného jadra) sú pomer siltu a ílu (v závislosti od znečisťujúcich látok môže byť silt upraviteľný) a mineralogické vlastnosti ílu (najmä prítomnosť napúčavých ílov).

3.2.1.2 Chemické zloženie zemín

Zloženie upravovaného materiálu musí byť dobre špecifikované. Medzi dôležité faktory patria:

- Distribúcia znečisťujúcich látok v zemine na lokalite a potreba vymedziť a odstrániť znečistenie, ktoré presahuje určité (limitné) koncentrácie, pričom je potrebné poznamenať, že znečistenie môže byť nerovnomerné z hľadiska jeho rozsahu a výskytu.
- Maximálna prípustná (limitná) koncentrácia a kolísanie koncentrácie znečisťujúcich látok v upravovanej zemine. Ak sa uplatňujú veľmi prísne kritériá sanácie⁹, môže byť potrebných niekoľko kôl prania alebo môže byť potrebné ďalšie následné spracovanie alebo odťaženie väčšieho množstva zeminy z lokality.
- Humínové kyseliny a organický materiál. Znečisťujúce látky majú tendenciu sorbovať sa na organickú hmotu, takže ak má zemina vysoký obsah organických látok, je pravdepodobné, že bude menej vhodná na úpravu práním.
- Maximálne prípustné obsahy a výskyt rôzneho materiálu, ako sú plastové fólie, oceľ, kameň alebo azbest, a potreba vylúčenia neprijateľného materiálu. Zemina sa pred práním spravidla upravuje sitovaním, aby sa odstránil nadrozmerný alebo škodlivý materiál.
- Obsah soli, ktorý sa môže vyskytnúť, ak sa majú prepierať sedimenty v slanej vode, a či sa môže výsledný produkt slaného odpadu zneškodniť.

3.2.1.3 Nakladanie s odpadom

V priebehu procesu vzniká odpadový materiál, ktorý je potrebné ďalej spracovať a/alebo zlikvidovať. Ide napríklad o:

- nadrozmerný materiál vytriedený v priebehu sitovania;
- dekontaminovaný materiál (ktorý však nespĺňa cieľové hodnoty sanácie);
- jemnozrnný materiál obsahujúci vyššie koncentrácie znečisťujúcich látok a vodu;
- použité médiá z technologických zariadení na úpravu vody;
- použité osobné ochranné prostriedky a súvisiaci spotrebný materiál.

3.2.2 Použiteľnosť sanačnej techniky pre rôzne znečisťujúce látky

Pranie znečistených zemín sa zvyčajne používa na sanáciu:

- hrubozrnného materiálu, ktorý obsahuje vyššie koncentrácie znečisťujúcich látok a vodu;
- ťažkých kovov;
- ropných uhľovodíkov;

⁹ cieľové hodnoty sanácie

- niektorých prchavých organických zlúčenín [5].

V závislosti od podmienok lokality a zrnitosti typu zeminy na lokalite (viď. kapitola 4) však môže byť sanačná technika účinná aj pri sanácii nasledujúcich znečisťujúcich látok:

- polychlórované bifenyly;
- polycyklické aromatické uhľovodíky;
- kyseliny;
- výbušniny;
- rádionuklidy, pesticídy a herbicídy;
- kyanidy [6];
- PFAS [7].

3.2.3 Upraviteľné materiály

Sanačná technika SW je najvhodnejšia pre sanáciu hrubozrnej alebo piesčitej zeminy, ktorej obsah ílu a siltu je nižší ako približne 30 %. Táto sanačná technika môže byť vhodná aj pre zeminy s prevládajúcou jemnozrnnou frakciou, je však pravdepodobné, že po ukončení procesu sanácie bude potrebné zlikvidovať značné množstvá odpadového materiálu, alebo sa bude vyžadovať ďalšia úprava, čo by mohlo znížiť efektívnosť finančných nákladov [7].

Pre porovnanie, pranie znečistenej zeminy s chemickou extrakciou nemusí podliehať takýmto obmedzeniam (z hľadiska obsahu jemnozrnej frakcie), pretože znečisťujúce látky je možné vylúhovať aj z relatívne jemnozrnného materiálu.

3.2.4 Legislatívne požiadavky

Pred realizáciou sanácie by mala prebehnúť konzultácia s povolovacími orgánmi, najmä orgánmi zodpovednými za ochranu životného prostredia, územné plánovanie a udeľovanie povolení pre spracovateľské zariadenia, aby sa určili konkrétne požiadavky týkajúce sa vydania potrebných súhlasov, povolení, licencií a kontrol.

4 TERÉNNÉ SKÚŠKY

Pranie znečistených zemín (*Soil Washing* - SW) je fyzikálna a chemická technológia (sanačná technika), ktorá oddeľuje znečistené a neznečistené zložky zeminy s využitím fyzikálnych rozdielov medzi nimi, ako sú veľkosť častíc, tvar, hmotnosť a/alebo povrchové vlastnosti.

Pri uplatňovaní tejto sanačnej techniky existujú štyri hlavné fázy:

- príprava zeminy a sitovanie;
- fyzikálna separácia;
- chemická extrakcia;
- úprava odpadovej vody [3].

Sanačná technika SW sa zriedkavo používa samostatne, pretože jemnozrnná zemina a odpadová voda si po ukončení procesu prania obvykle vyžadujú ďalšiu úpravu. Zatiaľ čo odpadová voda sa spravidla upravuje pomocou štandardných priemyselných postupov, kaly vzniknuté počas úpravy odpadovej vody si môžu vyžadovať úpravu alternatívnou sanačnou metódou, ako je solidifikácia/stabilizácia, bioremediácia, chemické čistenie (napr. proces rozkladu na báze katalyzátora) alebo tepelná úprava. Na obrázku 2.1 je zobrazený vývojový diagram procesu prania znečistených zemín (SW).

4.1 Skúšky upraviteľnosti

Pranie znečistených zemín (SW) je v zásade sanačná technika založená na fyzikálnych a/alebo chemických procesoch na zníženie objemu/minimalizáciu odpadu.

Ak existujú pochybnosti, či sa metódou dosiahne požadovaný výsledok z hľadiska sanácie zeminy, alebo existujú iné faktory, pre ktoré nie je isté, či bude pranie zemín účinné, môže sa vykonať skúška upraviteľnosti zemín¹⁰ na zistenie použiteľnosti a účinnosti prania zemín v podmienkach prevládajúcich na lokalite, ktorá sa má sanovať.

Návrh skúšky upraviteľnosti (poloprevádzkových skúšok) si môže vyžadovať účasť viacerých technických odborníkov vrátane odborníkov na životné prostredie, chemických inžinierov, strojných inžinierov a odborníkov na kvalitu ovzdušia, aby sa zabezpečilo, že skúškou sa získajú údaje na vypracovanie vhodnej realizačnej stratégie.

Ďalšie požadované informácie možno určiť na základe preštudovania dostupnej literatúry a na základe informácií o prípadových štúdiách aplikovateľnosti sanačnej techniky prania znečistených zemín.

Skúšky sa vo všeobecnosti môžu uskutočniť v troch etapách:

- **Posúdenie lokality (rešeršná štúdia):** určiť, či je pranie zemín pre danú lokalitu vhodným riešením.
- **Laboratórne skúšky:** posúdiť účinnosť metódy pre konkrétne podmienky lokality a koncentrácie znečisťujúcich látok. Laboratórne skúšky vo všeobecnosti umožňujú vybrať vhodné komponenty sanačnej techniky, prispôbiť konfiguráciu technológie prania a vybrať extrakčné prísady. V súlade s tým sa po ukončení tejto etapy zvyčajne môže navrhnúť plán prác sanácie.
- **Pilotná (terénna) skúška:** určiť špecifické prevádzkové parametre a výkonnostné kritériá a poskytnúť dostatočné informácie, ktoré umožnia vypracovania projektu sanácie.
Vyhodnotenie skúšok upraviteľnosti pre potreby sanácie: Systematicky vykonávané, dobre zdokumentované skúšky upraviteľnosti (poloprevádzkové skúšky) sú dôležitou súčasťou prípravy sanácie.

¹⁰ Skúškami upraviteľnosti (spracovateľnosti) sa chápe skúška fyzikálno-chemického spracovania zeminy s ohľadom na jej dezintegráciu a rozdelenie na želané zrnitostné frakcie na danom technologickom zariadení (pozn. prekl.)

Údaje z každej etapy prác by mali byť spoločne posúdené a vyhodnotené odborným konzultantom a dodávateľom sanácie, pričom by sa mala vypracovať prognóza výsledkov, ktoré sa dosiahnu pri plnej prevádzke a stanoviť tak požiadavky na realizáciu [7].

4.1.1 Posúdenie lokality (rešeršná štúdia)

Posúdenie lokality (rešeršná alebo archívna štúdia) je zamerané na celkové zhodnotenie použiteľnosti sanačnej techniky vzhľadom na pomery lokality. V mnohých prípadoch môže tejto fáze predchádzať odber a analýza niekoľkých vzoriek zeminy v niektorej etape geologického prieskumu, na určenie vhodných materiálov pre skúšky upraviteľnosti.

Realizovateľnosť sanačnej techniky prania znečistených zemín (SW) sa zvyčajne posudzuje na základe predchádzajúcich etáp geologického prieskumu znečisteného územia, kde údaje z vrtovej dokumentujú geologickú stavbu územia a vo výsledkoch laboratórnych rozborov sa uvádzajú koncentrácie znečisťujúcich látok. Malo by byť známe aj zrnitostné zloženie zemín a obmedzenia týkajúce sa zneškodnenia koncentrovanej jemnozrnnej frakcie, čo budú pravdepodobne rozhodujúce faktory pri určovaní, či bude pranie zemín uskutočniteľné. Ak však nie sú k dispozícii dostatočné údaje na posúdenie potenciálu prania znečistených zemín, môžu sa zrealizovať dodatočné laboratórne skúšky s použitím zeminy a premývacej vody v nádobách. Tieto predbežné skúšky malého rozsahu sa obvykle dajú vykonať v priebehu niekoľkých hodín.

4.1.2 Laboratórne skúšky

Cieľom laboratórnych skúšok je posúdiť, či sa sanačnou technikou SW dajú splniť ciele sanácie a či je technika použiteľná na konkrétny typ materiálu v konkrétnych podmienkach lokality.

Laboratórne skúšky vo všeobecnosti zahŕňajú laboratórne analýzy, ktoré umožňujú vypočítať hmotnostnú bilanciu a posúdiť koncentrácie znečisťujúcich látok v prepieranej zemine, resp. jej frakciách. Výsledky by mali umožniť odhadnúť množstvo zeminy, ktoré bude dostatočne vyčistené, aby splnilo ciele sanácie (t. j. mieru účinnosti sanačnej techniky).

Z údajov získaných v druhej fáze skúšok by sa malo dať:

- Posúdiť, aké chemikálie/reagenty budú potrebné na odstraňovanie znečisťujúcich látok zo zemín (napr. kyseliny alebo povrchovo aktívne látky), ktoré môžu ovplyvniť požiadavky na zneškodnenie zvyšného odpadového materiálu. Dá sa odpadový materiál spracovať?
- Posúdiť koncentrácie znečisťujúcich látok v čistej frakcii zeminy dosiahnutej po praní (s cieľom určiť, či možno splniť navrhované ciele sanácie) a percentuálny podiel zeminy, ktorý spĺňa cieľové hodnoty sanácie.
- Posúdiť koncentrácie znečisťujúcich látok v koncentrovanej (jemnozrnnej) frakcii odpadovej zeminy po praní (s cieľom určiť požiadavky na odvodnenie a zneškodnenie alebo ďalšie spracovanie). Je potrebné zohľadniť variabilitu koncentrácií znečisťujúcich látok, pretože vymývanie bude mať za následok zvýšené koncentrácie v odpadovom materiáli. Bude sanačná technika efektívna z pohľadu finančných nákladov?
- Aká je pravdepodobná vodná bilancia – do akej miery je možné vodu recyklovať a do akej miery je potrebné ju dopĺňať? Bude sa v recyklovanej vode hromadiť množstvo rozpustných solí? Aký je pravdepodobne najúčinnejší pomer zeminy a premývacej vody?

Laboratórne analýzy sú nákladnejšie ako rešeršná štúdia a ich plánovanie a realizácia spravidla trvá niekoľko týždňov. Cieľom týchto skúšok je presnejšie zhodnotiť fyzikálne a chemické parametre skúmanej lokality. Informácie získané v druhej fáze testovania sú zvyčajne dostatočné na to, aby umožnili vypracovanie plánu prác sanácie [5].

Tabuľka 2.1- Fyzikálne skúšky na charakteristiku zemín v prípravnej fáze sanácie

Parameter	Opis testovania	Štandardná analytická metóda	Odkaz
Zrnitostná analýza / sitová analýza	Sitová analýza za sucha, alebo za mokra, hustomerné metódy na jemnozrnný podiel	ASTM D422 ASTM D7928 (STN EN 1997-2, Eurokód 7, časť 5.5.6)	4
Katiónová výmenná kapacita	Octan amónny, octan sodný, chlorid bárnatý	Metóda 9080 Metóda 9081 (STN ISO 13536)	5,6

4.1.3 Poloprevádzková (pilotná) skúška

Ak sa v priebehu laboratórnych analýz nezískajú dostatočné údaje na vypracovanie projektu sanácie, môže sa zrealizovať tretia fáza prípravy sanácie s cieľom získať informácie potrebné na navrhnutie sanačnej metódy, špecifickej pre podmienky danej lokality.

Terénne (poloprevádzkové) skúšky obvykle zahŕňajú odskúšanie celej sanačnej techniky v malom rozsahu. Určité množstvo zeminy, ktorá sa má sanovať, sa môže odviezť do existujúceho technologického zariadenia na pranie zemín a odskúšať pranie s rôznymi chemickými zmesami a za rôznych prevádzkových podmienok, na posúdenie ich účinnosti.

Náklady na túto fázu testovania sú relatívne vysoké (porovnateľné s celkovým procesom sanácie), preto by sa na začiatku mali stanoviť jasné ciele, aké údaje je potrebné získať. Po ukončení tejto fázy skúšok sanácie by malo byť možné stanoviť v plnom rozsahu požiadavky na realizáciu, časový harmonogram sanačných prác a lepší odhad výšky finančných nákladov.

4.1.4 Vyhodnotenie skúšok upraviteľnosti pre potreby sanácie

Systematicky vykonávané, dobre zdokumentované skúšky upraviteľnosti (poloprevádzkové skúšky) sú dôležitou súčasťou prípravy sanácie. V tejto kapitole je opísaný všeobecný prístup, ktorý by mali dodržiavať projektoví manažéri sanácie, budúci investori, objednávateľia a dodávateľia v priebehu všetkých fáz testovania sanácie. Tento prístup zahŕňa:

Skúšky vo všeobecnosti môžu prebiehať v troch fázach:

Plánovanie:

- Stanovenie kvalitatívnych cieľov.
- Výber zmluvného zariadenia/technológie prania.
- Stanovenie plánu prác.
- Príprava projektu.
- Príprava plánu odberov vzoriek a laboratórnych analýz.
- Príprava plánu bezpečnosti a ochrany zdravia pri práci.

Realizácia:

- Dodržiavanie požiadaviek miestnych komunít.
- Dodržiavanie legislatívnych požiadaviek.
- Vykonanie skúšky.
- Zhromažďovanie údajov.

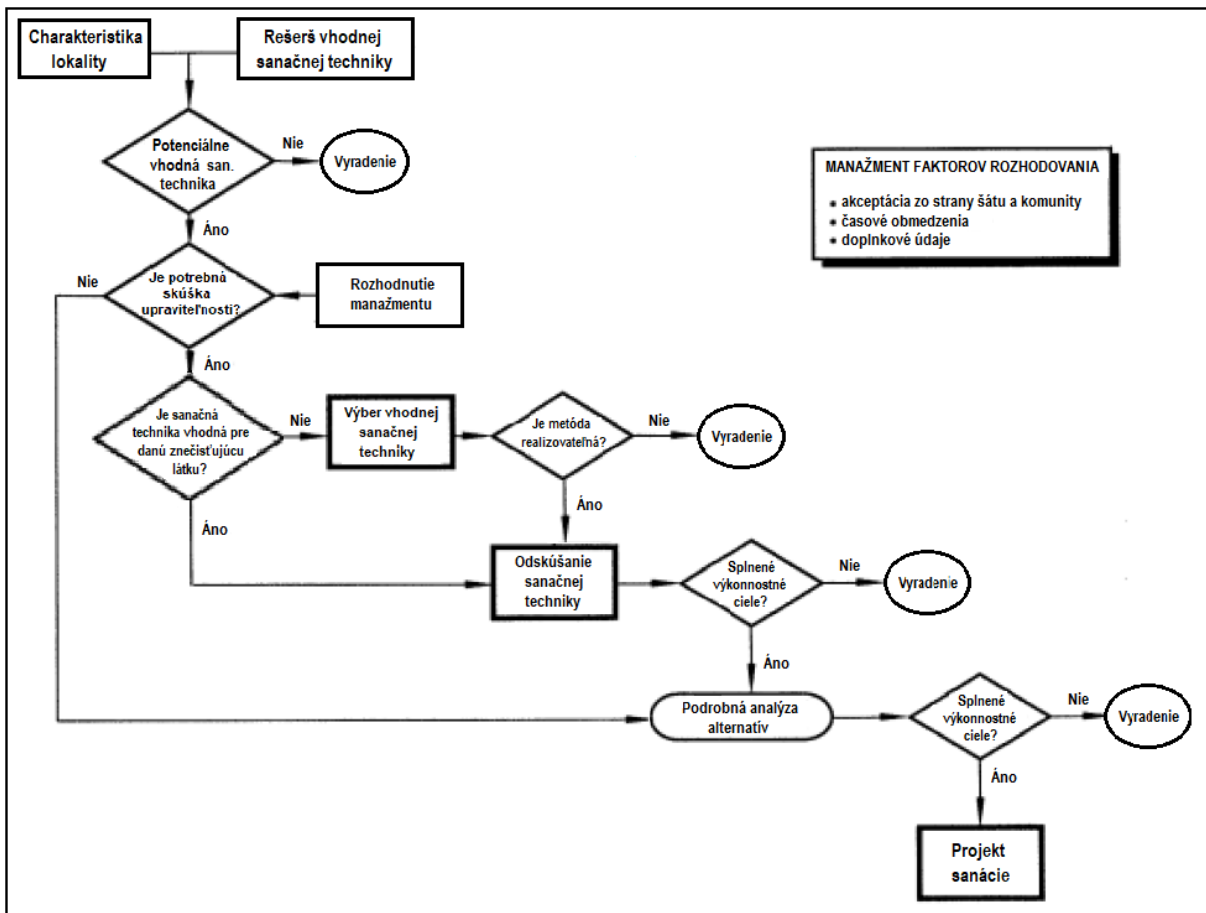
Vyhodnotenie:

- Vyhodnotenie údajov.
- Spracovanie správy.

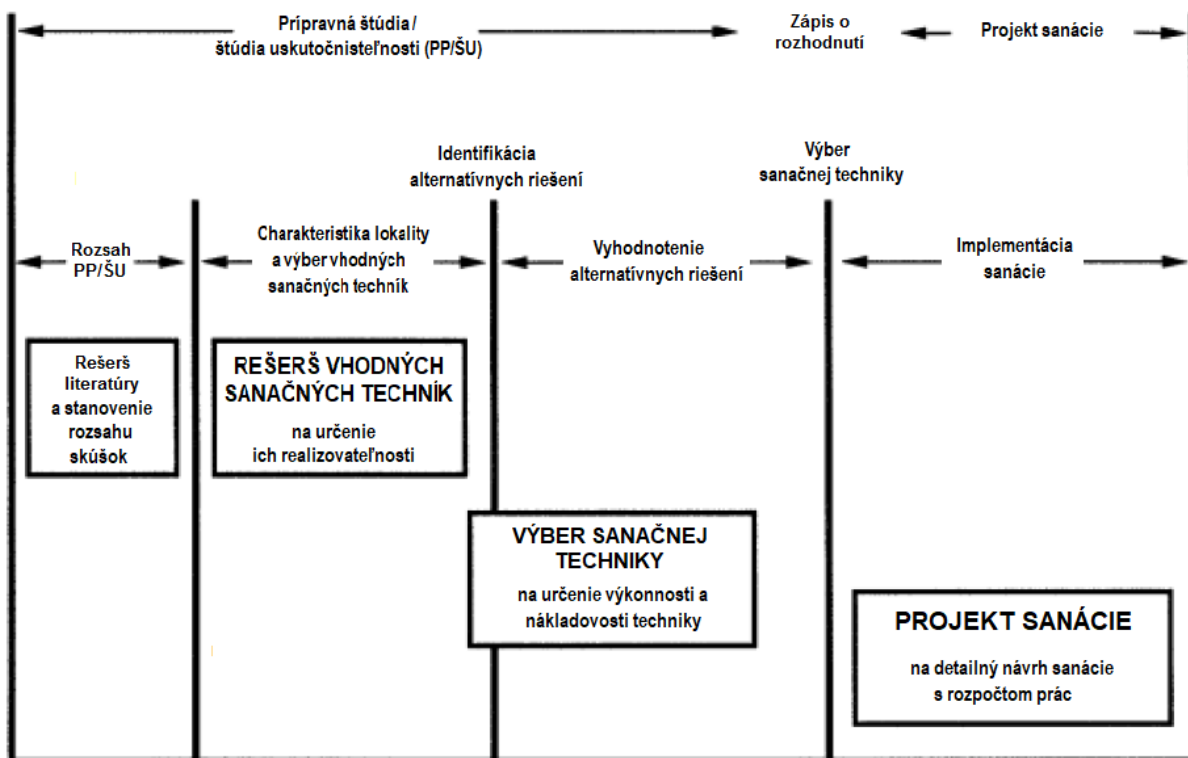
Skúšku upraviteľnosti pre konkrétnu lokalitu často zahŕňajú viacero úrovní testovania. Účinnosť sa môže zvýšiť tým, že sa táto možnosť zohľadní už v počiatočných fázach plánovania skúšky. Plán prác, projekt a ďalšie podporné dokumenty by mali obsahovať všetky predpokladané činnosti.

Existujú tri úrovne alebo stupne skúšok: rešerš vhodných sanačných techník, výber sanačnej techniky a odskúšanie sanačnej techniky. V jednotlivých prípadoch môžu byť potrebné niektoré alebo aj všetky tri úrovne. Potreba a požadovaná úroveň skúšok uskutočniteľnosti sanácie predstavujú manažérske rozhodnutia, pri ktorých sa čas a náklady potrebné na realizáciu skúšok porovnávajú s rizikami spojenými s rozhodnutím (napr. výber nevhodnej alternatívy sanácie). Tieto rozhodnutia sú založené na množstve a kvalite dostupných údajov a na ďalších rozhodovacích faktoroch (napr. akceptácia sanácia zo strany štátu a komunity alebo nové údaje o lokalite).

Vývojový diagram viacúrovňového prístupu na obrázku 4.1 sleduje postupné preskúvanie údajov s rozhodovacími uzlami a faktormi, ktoré sa majú zvážiť. Technológie sa vo všeobecnosti hodnotia najprv na úrovni rešerše vhodných sanačných techník a postupuje sa cez výber sanačnej techniky až k odskúšaniu sanačnej techniky. Výber sanačnej techniky však môže vstúpiť do procesu výberu na akejkoľvek úrovni prípravy sanácie, na základe dostupných údajov o technike a faktoroch, ktoré sú špecifické pre danú lokalitu. Napríklad technika, ktorá bola úspešne použitá na lokalite s podobnými podmienkami a znečisťujúcimi látkami, nemusí vyžadovať predchádzajúcu rešerš na určenie, či bude sanačná technika efektívna. Preto sa môže prejsť priamo na odskúšanie sanačnej techniky s cieľom overiť, či je možné dosiahnuť ciele sanácie, a vytvoriť tak predbežný odhad finančných nákladov. Štúdia uskutočniteľnosti na nejakej úrovni bude potrebná, aby sa overilo, že sanačná technika môže dosiahnuť cieľové hodnoty sanácie na danej lokalite, aj keď predchádzajúce štúdie alebo realizácia sanácie sa vykonávali na lokalite s podobnými podmienkami. Na obrázku 4.2 je znázornený vzájomný vzťah troch úrovní skúšok k príprave sanácie/štúdiu uskutočniteľnosti.



Obrázok 4.1- Viacúrovňový vývojový diagram výberu a odskúšania vhodnej sanačnej techniky



Obrázok 4.2- Pranie znečistených zemín, úloha skúšok v príprave sanácie

Pred vykonaním skúšok sa musia stanoviť ciele jednotlivých úrovni skúšok. Ciele skúšok pri sanačnej technike pranie znečistených zemín vychádzajú zo špecifických požiadaviek v prípravnej štúdii / štúdii uskutočniteľnosti. Metodický pokyn na spracovanie prípravných štúdií a štúdií uskutočniteľnosti podľa CERCLA¹¹ (*Guidance for Conducting Remedial Investigations and Feasibility Studies Under CERCLA*) uvádza deväť hodnotiacich kritérií; [12] skúšky upraviteľnosti poskytujú údaje až pre sedem z týchto kritérií. Tých sedem kritérií je:

- Celková ochrana zdravia ľudí a životného prostredia.
- Súlad s platnými alebo relevantnými a vhodnými požiadavkami.
- Zníženie toxicity, mobility alebo celkového množstva znečistenia prostredníctvom sanácie.
- Krátkodobá účinnosť.
- Realizovateľnosť.
- Dlhodobá účinnosť a udržateľnosť.
- Náklady.

Prvé štyri z uvedených hodnotiacich kritérií sa týkajú stupňa zníženia znečisťujúcich látok v zemine, ktoré sa dajú dosiahnuť praním zeminy.

- Aké budú zvyškové koncentrácie znečisťujúcich látok?
- Budú zvyškové hodnoty znečisťujúcich látok dostatočne nízke na to, aby spĺňali hodnoty stanovené platnými alebo relevantnými požiadavkami?
- Aké sú koncentrácie znečisťujúcich látok a fyzikálne a chemické rozdiely medzi neupravenými a prnými frakciami zemín (t. j. znížila sa toxicita, mobilita a množstvo znečisťujúcich látok)? Štvrté kritérium, krátkodobá účinnosť, sa zaoberá rizikami, ktoré predstavuje sanačná technika počas realizácie sanácie [6,8].

¹¹ CERCLA - The Comprehensive Environmental Response, Compensation, and Liability Act, alter. „Superfund“ (Zákon o všeobecnej environmentálnej zodpovednosti, kompenzáciách a o environmentálnom dlhu), federálny zákon USA

5 MONITOROVANIE PRIEBEHU SANÁCIE

5.1 Úvod

Ide o krátkodobú až strednodobú sanačnú techniku (vykonávanú v časovom horizonte niekoľkých týždňov až mesiacov). Dĺžka trvania a účinnosť sanácie závisí od veľkosti technologického zariadenia a dosiahnuteľnej rýchlosti spracovania [13]. Po charakterizácii lokality a rozhodovaní o podmienkach, ktoré sa majú dodržať, sa monitorovaním posúdi postup sanácie a rozhodne sa o ukončení sanácie, pokiaľ boli splnené cieľové hodnoty sanácie.

5.2 Záverečná správa zo sanácie

Záverečná správa zo sanácie (s vyhodnotením nákladov) popisuje priebeh aplikácie sanačnej techniky, t. j. pranie znečistenej zeminy. Vo všeobecnosti by záverečná správa mala obsahovať informácie o lokalite, popis sanačnej techniky, účinnosť sanácie a finančné náklady. Konkrétne by účinnosť systému sanácie mala zahŕňať [4]:

- cieľové hodnoty sanácie;
- údaje o účinnosti sanácie (vrátane vzorkovacích/analytických metód, frekvencie/miest odberu vzoriek, súhrnu prevádzkových údajov o skúšobnej prevádzke, súhrnu prevádzkových údajov o plnej prevádzke);
- hodnotenie údajov o účinnosti;
- úplnosť údajov o účinnosti;
- kvalitu údajov o účinnosti.

Pranie znečistenej zeminy je sanačná technika ex-situ zameraná na zníženie objemu znečisteného výkopového materiálu, ktorý si vyžaduje ďalšiu úpravu alebo likvidáciu. Náklady na pranie zeminy závisia od viacerých faktorov vrátane veľkosti potrebného technologického zariadenia, požadovaných konečných hodnôt koncentrácie v zemine, povahy znečisťujúcich látok, zrnitostného zloženia zeminy (najmä percentuálneho podielu siltu a ílu), požiadaviek na prípravu lokality a objemu zeminy, ktorú treba upravovať [13,14]. Nákladovú efektívnosť procesu zvýši zemina s nízkym obsahom siltu a ílu a prací roztok bez prísad (len voda).

5.3 Typy prevádzkového monitorovania

Účinnosť sanácie by sa mala posudzovať na základe integrovaného prístupu. Výhodou sanačnej techniky prania znečistených zemín je, že proces je flexibilný a môže sa modifikovať v rôznych krokoch s cieľom maximalizovať jeho účinnosť. Napriek tomu, že východiskovým bodom pri navrhovaní prania znečistených zemín pre konkrétnu kontaminovanú lokalitu bude odber a vyhodnotenie vzoriek, či pilotných skúšok, výkonnosť technológie prania v plnej prevádzke môže byť zložitejšia, a preto si vyžaduje priebežné modifikácie.

Čím podrobnejší a štruktúrovanejší je plán prevádzkového monitorovania, tým väčšia je možnosť jeho optimalizácie v priebehu procesu sanácie.

Pred aplikáciou sanačnej techniky prania znečistených zemín môžu byť hodnotené nasledujúce parametre:

- druhy a koncentrácie znečisťujúcich látok;
- zrnitostné zloženie znečistených zemín;
- vymývateľnosť znečisťujúcich látok zo zeminy pracím roztokom;
- iné chemické vlastnosti zeminy (napr. pH, koncentrácie iónov, napr. chloridov, sodíka, vápnika, horčíka, síranov, uhličitanov, železa, sulfidov, atď.);
- kationová výmenná kapacita zemín;

- pufračná kapacita pre kyseliny;
- obsah organických látok;
- mineralógia (najmä: obsah ílových minerálov);
- vlhkosť zeminy (spočiatku ovplyvňuje intenzitu vymývania);
- správanie sa znečisťujúcich látok pri rôznych hodnotách pH;
- redox potenciály.

5.3.1 Prevádzkovo-technologická fáza

Podľa [14] medzi parametre charakterizujúce odpadovú frakciu z prania patria:

- zrnitostné zloženie frakcie a kationová výmenná kapacita;
- typ, fyzikálna forma, manipulačné vlastnosti a obsah vlhkosti (konzistencia frakcie);
- znečisťujúce látky: organické a/alebo anorganické látky vrátane druhu, koncentrácie, prchavosti, rozdeľovacieho koeficientu, humínových kyselín;
- pH, pufračná kapacitu.

Nepresná charakteristika zemín znečisteného územia môže ovplyvniť účinnosť procesu. Ak sa napríklad zeminy na lokalite odlišujú od materiálu testovaného v pilotných skúškach, podiel jemnozrnnej frakcie sa môže líšiť od očakávaného podielu a môžu sa objaviť ďalšie znečisťujúce látky [2]. Účinnosť procesu môže do veľkej miery ovplyvniť aj výber vhodného pracieho roztoku a jeho schopnosť podporovať odstraňovanie znečisťujúcich látok. Pracie príslady, ak nie sú vhodne zvolené pre konkrétny prípad [14], môžu narušiť proces prania a zvýšiť tým finančné náklady. Napriek tomu, že pracie príslady sú navrhnuté pre konkrétnu lokalitu, zeminu a podmienky znečistenia (napr. chelatačné činidlá, rozpúšťadlá, povrchovo aktívne látky), pri monitorovaní priebehu sanácie môže byť potrebné upraviť/predefinovať optimálne zloženie pracieho roztoku zamerané na rozpustnosť, mobilizáciu, vyzrážanie a komplexáciu organických a/alebo anorganických chemických zložiek [14]. Takže zmeny napr. znečisťujúcich látok a koncentrácie vo vstupnej surovine môžu ovplyvniť účinnosť procesu a vyžadovať si jeho úpravu.

V priebehu prevádzky a počas navyšovania kapacity môžu byť náklady a účinnosť ovplyvňované priepustnosťou zeminy, použitím pracej vody, dávkovaním aditív, povahou a formou znečisťujúcej látky v jemnozrnnej frakcii, nákladmi na likvidáciu alebo ďalšie spracovanie jemnozrnnej frakcie, identifikáciou znečisťujúcich látok a ich koncentráciou v pracej vode [14]. Do úvahy by sa malo brať aj uvoľňovanie prchavých organických znečisťujúcich látok (VOC) alebo chemické reakcie príslad v pracej vode a neidentifikovaných znečisťujúcich látok alebo samotná mineralógia materiálu, ktoré môžu viesť k fugitívnym emisiám pri plnej prevádzke [14].

5.3.2 Potvrdenie úspešnosti sanácie

Sanácia je účinná, keď sú splnené vopred stanovené cieľové hodnoty. V konkrétnom prípade sanačnej techniky prania zemín by sa mali brať do úvahy rôzne materiálové toky: nadrozmerný materiál, hrubozrnný materiál (štrky a piesky, odseparované počas úpravy), jemnozrnná frakcia obsahujúca koncentrované znečisťujúce látky a technologická voda [14]. Pri materiálových tokoch, kde sú prítomné znečisťujúce látky (napr. jemnozrnná frakcia) by sa malo rozhodnúť, či je potrebná ich následná úprava alebo likvidácia podľa vopred definovaných parametrov.

Prací roztok sa môže recyklovať a opätovne použiť v procese prania znečistenej zeminy alebo sa môže upraviť (neutralizovať) a následne vypúšťať (s nižšími, resp. vyššími požiadavkami na jeho kvalitu). V pracom roztoku môžu byť prítomné znečisťujúce látky, iné prvky/zlúčeniny a časť hmoty vstupnej suroviny (napr. soli) a môže obsahovať aj nejaký hrubozrnný piesok (s alebo bez zvyškov znečistenia), jemnozrnnú frakciu, organické humínové zlúčeniny, rozpustené soli (prítomné v pôvodnej zemine) spôsobujúce zmeny hodnoty pH, ťažké kovy v roztoku [14]. To všetko môže ovplyvniť účinnosť procesu

a predstavovať ďalšie problémy pri úprave pracieho roztoku, čo ovplyvňuje účinnosť jeho recyklácie alebo čistenia.

Jemnozrná frakcia sa môže odvodniť a odvodnený kal následne uložiť, alebo ďalej spracovať (s využitím efektu zmenšenia celkového množstva znečistenej hmoty, čím sa zabezpečí nákladovo efektívny proces, keďže je potrebné spracovať len časť v porovnaní s celkovou hmotnosťou zeminy).

Pilotné skúšky, doplnené o priebežné sledovanie účinnosti prania, pomôžu regulovať výsledné množstvo konečných produktov. Napríklad, ak prací roztok nie je dostatočne účinný pri odstraňovaní znečisťujúcich látok, bude potrebných viacero pracích cyklov, čo povedie k väčšiemu upravovanému objemu pracieho roztoku. Ak obsahuje zemina vyšší podiel jemnozrnej frakcie, bude potrebné zlikvidovať väčší objem odpadového materiálu alebo bude potrebné ďalej ho upravovať.

Po spracovaní zeminy by sa mali rešpektovať vopred stanovené požiadavky na spôsob nakladania so spracovaným materiálom (hrubozrnnou frakciou), z hľadiska miesta jeho uloženia, či použitia, napr. na zásypy na mieste výkopu, či zásypu neznečistenou frakciou na inom mieste alebo vykonania ďalšieho kroku sanácie.

5.4 Hodnotenie a kontrola kvality

Hodnotenie a kontrola kvality (*Quality Assessment and Quality Control – QA/QC*) by sa mali uplatňovať už od prípravy sanácie a spracovanie projektu, počas aplikácie sanačnej techniky a jej priebežnej optimalizácie a pri odbere vzoriek a laboratórnych analýzach [15].

Program QA/QC by mal zohľadňovať aspoň nasledujúce body:

- Zodpovednosť; na zabezpečovaní kvality sa podieľajú všetci, od vrcholového manažmentu až po jednotlivcov, ktorí sa zúčastňujú na každej fáze činnosti.
- Školenie a osvedčenie; iba riadne školenie a osvedčenie môžu zabezpečiť, aby sa zozbierané údaje získavali a interpretovali správne.
- Dokumentácia; musia sa vypracovať a zaviesť štandardné pracovné postupy na zber a interpretáciu údajov.
- Kalibrácia prístrojov; na zabezpečenie správneho zberu údajov a porovnateľnosti v rámci laboratória a medzi laboratóriami sú nevyhnutné kalibračné normy a postupy [16].

QA/QC vzorky by mali poskytovať informácie o variabilite a použiteľnosti operatívnych výsledkov (viď. predchádzajúce kapitoly).

V laboratóriu by hodnotenie a kontrola kvality (QA/QC) mala zahŕňať duplicitné vzorky, vzorky na hodnotenie účinnosti prania, fixované vzorky, požadové vzorky alebo iné vzorky QA/QC, ak je to vhodné (napr. vzorky pracej vody pred jej použitím, kontrolné vzorky nepreparatej zeminy). Typy a počty vzoriek QA/QC, ktoré sú potrebné na získanie prehľadu o chybách a spoľahlivosti údajov, súvisia s cieľmi odberu vzoriek (napr. pre monitorovanie lokality alebo pre kontrolu dosiahnutia cieľových hodnôt sanácie) a zodpovedajúcimi cieľmi QA/QC.

Laboratórny program QA/QC je preto dôležitou súčasťou systému riadenia, ktorý by sa mal používať na prevenciu, zisťovanie a nápravu problémov v procese merania a/alebo na preukázanie dosiahnutia požiadaviek štatistických štandardov (povolenej odchýlky). Cieľom programu QA/QC je obmedziť chyby analytických meraní na úroveň prijateľnú pre používateľa údajov a zabezpečiť, aby analytické výsledky mali s vysokou pravdepodobnosťou prijateľnú kvalitu.

Hlavnými kľúčovými krokmi pri zavádzaní QA/QC sú:

- definovanie povolenej odchýlky;
- kontrola dodržiavania kvality s cieľom udržať mieru výskytu chýb na prijateľnej úrovni;
- hodnotenie dodržiavania kvality, či analytický proces funguje v rámci prijateľných limitov;
- podávanie správ a audit kvality údajov v rámci laboratória [16].

6 ZÁVER

Pranie znečistených zemín (*Soil Washing* - SW) je sanačná technika spracovania odpadu, ktorá sa používa po vyťažení znečistenej zeminy. Jej použitie je podmienené granulometriou (zrnitosným zložením) výkopového materiálu, typom znečisťujúcich látok a ich distribúciou v rôznych zrnitosných frakciách.

Sanačná technika prania znečistených zemín je realizovateľná buď na mieste (*on-site*) v prípade väčších stavebných a sanačných projektov, alebo *ex-situ* v existujúcich pracích zariadeniach pri menších alebo zložitejších prípadoch. U technologických zariadení situovaných na mieste sanácie, ktoré spracúvajú veľké objemy výkopovej zeminy a vykonávajú zhodnocovanie recyklovaného kameniva vo vyššej miere, je možné znížiť objem prepravy, čím sa zlepší nákladovosť prevádzky.

Cieľom sanačnej techniky prania zemín je rozdeliť na frakcie a vyčistiť znečistený vyťažený materiál, aby sa získalo recyklovateľné kamenivo a/alebo aby sa znečistené frakcie mohli likvidovať menej nákladným spôsobom. Vo všeobecnosti sa môžu touto metódou odstrániť znečisťujúce látky z hrubozrnných frakcií alebo aspoň znížiť mieru ich znečistenia, čo má za následok koncentrovanie znečisťujúcich látok v technologickvej (pracej) vode a/alebo v jemnozrnných frakciách (kal).

V závislosti od právnych predpisov o odpadoch sa po ukončení procesu prania môžu znečisťujúce látky vo výslednej frakcii imobilizovať (napr. solidifikácia), aby bolo možné dosiahnuť limitné hodnoty pre ich uloženie na skládku odpadu.

Pranie znečistených zemín je zriedkavo jedinou sanačnou technikou, používanou na sanáciu, pretože čiastkové produkty prania (rozdelené frakcie) zvyčajne putujú do ďalších zariadení (ako sú zariadenia na termické spracovanie zeminy alebo skládky). Zneškodňovanie uvedeného odpadu v súlade s právnymi predpismi je povinnou súčasťou úspešnej likvidácie a spracovania prostredníctvom pracieho zariadenia.

Kľúčové faktory, ktoré určujú účinnosť sanačnej techniky SW, sú:

- Distribúcia znečistenia v rôznych zrnitosných frakciách zeminy: čím väčší je podiel štrku a piesku, tým vhodnejší je znečistený vyťažený materiál na pranie. Pomocou mokrých mechanických procesov (praním) možno hrubozrnné frakcie zbaviť väčšiny znečisťujúcich látok. Tieto hrubozrnné frakcie sa potom môžu recyklovať ako stavebný materiál. Jemnozrnné frakcie siltu a ílu sa oddeľujú v procese prania pôdy sedimentáciou a následne sa odvodňujú pomocou kalolisov. Tieto frakcie majú zvyčajne vysoký obsah znečisťujúcich látok. V prípade organických znečisťujúcich látok umožňuje mineralizáciu znečisťujúcich látok tepelné spracovanie jemnozrnej frakcie alebo jej použitie ako alternatívnej suroviny v cementárskom priemysle. V prípade prítomnosti relevantných neorganických znečisťujúcich látok môže byť pred uložením na vhodnú skládku potrebná imobilizácia (solidifikácia).
- Znečistenie znečisťujúcimi látkami vo forme častíc (zrn): Častice spôsobujúce znečistenie by mali mať fyzikálne vlastnosti čo najviac odlišné od vlastností hmoty zeminy. Tým sa zabezpečí zreteľná separácia mokrým mechanickým procesom. Úprava praním zeminy sa stáva zložitejšou, ak majú cudzie častice podobné vlastnosti ako sú vlastnosti zeminy alebo s ňou tvoria konglomeráty, ktoré sa ťažko triedia. Aby bolo pranie zemín úspešné, znečisťujúce látky by sa mali čo v najväčšej miere rozpustiť, alebo naviazať na jemnozrnnú frakciu. Tento proces možno podporiť použitím aditív. Ak sa znečisťujúce látky držia v hrubozrnej frakcii alebo sa do nej dokonca rozptýlia, pranie zemín nemusí byť vhodnou metódou.

Hlavné výhody metódy sú:

- Ak sú splnené vyššie uvedené požiadavky na pranie zemín, premyté hrubé frakcie sa môžu takmer úplne recyklovať.

- Zníženie množstva odpadu určeného na skládkovanie alebo tepelné spracovanie a recyklácia vyčistenej frakcie zvyčajne vedú k dobrej ekologickej rovnováhe procesu.
- V prípade technologických zariadení situovaných priamo na mieste sa môže výrazne znížiť preprava, čo môže mať v závislosti od energie potrebnej na vybudovanie zariadenia v mieste sanácie tiež pozitívny vplyv na ekologickú rovnováhu sanácie.
- Vďaka flexibilnej technológii spracovania a širokej škále aditív možno spracovať veľký rozsah znečisťujúcich látok a ich zmesí.
- Recirkulácia pri úprave a recyklácii vody môže minimalizovať spotrebu vody.

Nevýhody a obmedzenia metódy sú:

- Nejde o sanačnú techniku ako takú, ale je to technika úpravy zeminy premývaním (praním) a triedením na frakcie. To znamená, že materiál sa musí odťažiť a následne prať v zariadení priamo na mieste (*on-site*) alebo *ex-situ*.
- Sanačná technika sa neodporúča v prípade prevažne jemnozrnného odťaženého materiálu, pretože ten je možné len ťažko zbaviť znečisťujúcich látok a vznikajú tým len málo recyklovateľné frakcie. Jednou z výnimiek je jemnozrnný materiál znečistený Cr⁶⁺.
- Počas procesu sa znečisťujúce látky koncentrujú v jemnozrnných frakciách, ktoré sú zvyčajne finančne nákladné na likvidáciu a to v termických desorpčných zariadeniach alebo na skládkach.

Pranie znečistených zemín je účinná sanačná technika spracovania odpadového materiálu (znečistenej zeminy), ktorá slúži na očistenie hrubozrnného odťaženého materiálu od znečisťujúcich častíc a škodlivín, aby bolo možné recyklovať hrubozrnné frakcie (štrk a piesok) spravidla bez obmedzení.

Hoci ide o pomerne jednoduchý proces spracovania, úspešné projekty a zariadenia na spracovanie si vyžadujú široké odborné vedomosti a skúsenosti. Účinnosť a efektívnosť závisia od dôkladného pochopenia rôznych komponentov zariadení na spracovanie nerastných surovín (kameniva), návrhu technológie procesu, pôdoznalectva a vlastností znečisťujúcich látok, ktoré sa majú upravovať.

ZDROJE

- [1] Understanding Soil Washing, September 2007, CLAIRE Technical Bulletin, TB
- [2] CRC for Contamination Assessment and Remediation of the Environment, 2018, National Remediation Framework - Technology guide: Soil washing,
- [3] DERMONT, BERGERON, MERCIER & RICHER-LAFLECHE, 2008, Soil washing for metal removal: A review of physical/chemical technologies and field applications, *Journal of Hazardous Materials*, Vol. 152(1), pp 1-31.
- [4] Technical and Regulatory Guidelines for Soil Washing, Interstate Technology and Regulatory Cooperation Work Group Metals in Soils Work Team Soil Washing Project, 1997 USA
- [5] FRTR, 2014, *Remediation technologies screening matrix and reference guide (V4): Issue 4.19 Soil Washing* [Online]: United States Federal Remediation Technologies Roundtable. Available: <https://frtr.gov/matrix2/section4/4-19.html> [Accessed 10 June 2014].
- [6] US DOD, 2013, *United Facilities Guide Specification: Soil washing through separation/solubilization*, UFGS-02-54-23, United States Department of Defence, Washington, DC.
- [7] QUINNAN, MORELL, NAGLE & MAYNARD, 2022, Ex situ soil washing to remove PFAS adsorbed to soils from source zones, *Remediation –The Journal of Environmental Clean Up Costs, Technologies, & Techniques*, Vol. 32(3), pp 151-166. [8] US EPA, 1991, *Guide for conducting treatability studies under CERCLA: Soil washing (interim guidance)*, EPA/540/2-91/020A, United States Environmental Protection Agency, Cincinnati, OH.
- [9] https://www.qu.edu.qa/static_file/qu/colleges/engineering/civil/documents/Lab%20Manuals/Geotechnical_Laboratory_Manual.pdf
- [10] <https://www.epa.gov/sites/default/files/2015-12/documents/9080.pdf>
- [11] <https://www.epa.gov/sites/default/files/2015-12/documents/9081.pdf>
- [12] US EPA, 1993, Innovative Site Remediation Technology Soil Washing/Soil Flushing Volume 3, EPA/542/B-93/012
- [13] USEPA. 1996b. Soil Screening Guidance: Technical Background Document. Office of Emergency and Remedial Response, Washington, DC. EPA/540/R95/128USEPA. (1993).
- [14] Innovative Site Remediation Technology, Vol 3: Soil Washing/Soil Flushing. 1993. *United States Environmental Protection Agency*. Ed. William C. Anderson, 1993.
- [15] Remedial Treatment for Contaminated Land, Vol IX: In-situ methods of remediation. *Construction Industry Research and Information Association*. Special Publication 109, 1995.
- [16] Innovative Site Remediation Technology, Design and Application, Volume 3, Liquid Extraction Technologies, Soil Washing, Soil Flushing, Solvent/Chemical, US EPA, 1998.