

Nepřímá termická desorpce a její využití při čištění kontaminované zeminy

Martin Kozel

Bakalářská práce
2011



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav inženýrství polymerů

akademický rok: 2010/2011

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Ing. Martin KOZEL**
Osobní číslo: **T080393**
Studijní program: **B 2808 Chemie a technologie materiálů**
Studijní obor: **Chemie a technologie materiálů**

Téma práce: **Nepřímá termická desorpce a její využití při čištění kontaminované zeminy.**

Zásady pro vypracování:

1. Prostudujte dostupnou literaturu a informační zdroje vztahující se k zadanému tématu.
2. Proveďte kritické srovnání nalezených informací.
3. Formulujte závěry.



Rozsah bakalářské práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

1. BLYTH, F.G.H. AND FREITAS, M.H.D. A Geology for Engineers. Edtion ed. Amsterdam: Elsevier Butterworth Heinemann, 1984. ISBN 9780713128826
2. MATĚJŮ, V. Kompndium Sanačních Technologii. 1 vyd. Chrudim: Vodní zdroje Ekonitor, 2006. ISBN 8086832155
3. SUTHERSAN, S.S. (Ed.) Remediation Engineering: Design Concepts. 1st ed. Boca Raton: CRC Press, 1997. ISBN 1566701376

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Roman Slavík, Ph.D.

Ústav inženýrství ochrany živ. prostředí

Datum zadání bakalářské práce:

11. února 2011

Termín odevzdání bakalářské práce:

30. května 2011

Ve Zlíně dne 11. února 2011

doc. Ing. Petr Hlaváček, CSc.
děkan



doc. Ing. Roman Čermák, Ph.D.
ředitel ústavu

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby ¹⁾;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen na příslušném ústavu Fakulty technologické UTB ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3 ²⁾;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ odst. 2 a 3 mohu užít své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Ve Zlíně 27.5.2011

.....

¹⁾ zákon č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, § 47 Zveřejňování závěrečných prací:

(1) Vysoká škola nevdělečně zveřejňuje disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce, u kterých proběhla obhajoba, včetně posudků oponentů a výsledku obhajoby prostřednictvím databáze kvalifikačních prací, kterou spravuje. Způsob zveřejnění stanoví vnitřní předpis vysoké školy.

(2) Disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce odevzdané uchazečem k obhajobě musí být též nejméně pět pracovních dnů před konáním obhajoby zveřejněny k nahlížení veřejnosti v místě určeném vnitřním předpisem vysoké školy nebo není-li tak určeno, v místě pracoviště vysoké školy, kde se má konat obhajoba práce. Každý si může ze zveřejněné práce pořizovat na své náklady výpisy, opisy nebo rozmnoženiny.

(3) Platí, že odevzdáním práce autor souhlasí se zveřejněním své práce podle tohoto zákona, bez ohledu na výsledek obhajoby.

²⁾ zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 35 odst. 3:

(3) Do práva autorského také nezasahuje škola nebo školské či vzdělávací zařízení, užije-li nikoli za účelem přímého nebo nepřímého hospodářského nebo obchodního prospěchu k výuce nebo k vlastní potřebě dílo vytvořené žákem nebo studentem ke splnění školních nebo studijních povinností vyplývajících z jeho právního vztahu ke škole nebo školskému či vzdělávacího zařízení (školní dílo).

³⁾ zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 60 Školní dílo:

(1) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení mají za obvyklých podmínek právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla (§ 35 odst. 3). Odpírá-li autor takového díla udělit svolení bez vážného důvodu, mohou se tyto osoby domáhat nahrazení chybějícího projevu jeho vůle u soudu. Ustanovení § 35 odst. 3 zůstává nedotčeno.

(2) Není-li sjednáno jinak, může autor školního díla své dílo užít či poskytnout jinému licenci, není-li to v rozporu s oprávněnými zájmy školy nebo školského či vzdělávacího zařízení.

(3) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení jsou oprávněny požadovat, aby jim autor školního díla z výdělku jím dosaženého v souvislosti s užitím díla či poskytnutím licence podle odstavce 2 přiměřeně přispěl na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložily, a to podle okolností až do jejich skutečné výše; přitom se přihlédne k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

ABSTRAKT

Neustálé zmenšování čistého životního prostoru, různé druhy znečištění planety, přiměly lidstvo více pečovat o svou Zemi. K odstraňování následků lidské činnosti, byly v průběhu posledních 60 let objeveny a vyvinuty různé dekontaminační metody. Existuje jich celá řada založená na biologických nebo fyzikálně chemických principech. V České republice je jednou z velmi často používaných metod termická desorpce. Tato práce představuje odlišnosti technického provedení, odpovídající účelům, pro které jsou používány.

Klíčová slova: desorpce, kontaminace, in situ, ex situ,

ABSTRACT

The continual reduction of net living space, different types of the planet pollution have prompted people to care about Earth. For elimination of consequences of human activity within the last 60 years, were discovered and developed different methods of decontamination. There are many types of biological, physical and chemical principles. The thermal desorption, is one of the most frequently method, used in the Czech Republic. This work presents the diversity of technical implementation, relevant to the purposes for which they are used.

Keywords: desorption, contamination, in situ, ex situ

Především bych chtěl poděkovat rodině, za dlouhodobou podporu při studiích, Ing. Romanu Slavíkovi, Ph.D. za ochotu, toleranci, vstřícnost a cenné rady, které mě pomáhaly při tvorbě bakalářské práce.

Prohlašuji, že odevzdaná verze bakalářské práce a verze elektronická, nahraná do IS/STAG, jsou totožné.

OBSAH

ÚVOD	9
1 ZNEČIŠŤOVÁNÍ	11
1.1 SYSTÉM EVIDENCE KONTAMINOVANÝCH MÍST	11
1.2 STARÉ EKOLOGICKÉ ZÁTĚŽE	12
1.2.1 Přehled lokalit v ČR	13
2 TECHNOLOGIE POUŽITELNÉ K ČIŠTĚNÍ ZEMINY	14
2.1 TECHNOLOGIE „IN SITU“	14
2.1.1 Fyzikálně chemické postupy	15
2.1.2 Biologické postupy.....	20
2.2 TECHNOLOGIE „EX SITU“	23
2.2.1 Fyzikálně chemické postupy	23
2.2.2 Biologické postupy.....	28
3 TERMICKÁ DESORPCE	31
3.1 TERMICKÁ DESORPCE „IN SITU“	31
3.2 TERMICKÁ DESORPCE „EX SITU“	33
3.2.1 Přímá termická desorpce	34
3.2.2 Nepřímá termická desorpce.....	36
3.3 SROVNÁNÍ PŘÍMÉ A NEPŘÍMÉ TERMICKÉ DESORPCE.....	39
3.4 PRAKTICKÉ ZKUŠENOSTI S PROVOZEM.....	41
3.4.1 Nepřímá termická desorpce rtuti – Spolchemie Ústí nad Labem	42
3.4.2 Nepřímá termická desorpce ropných látek - NOLO Ostrava.....	43
3.4.3 Navazující legislativa	44
3.4.4 Úskalí navrhovaných zařízení	45
ZÁVĚR	46
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	47
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	50
SEZNAM OBRÁZKŮ	51
SEZNAM TABULEK	52
SEZNAM PŘÍLOH	53

ÚVOD

Člověk se na této planetě vyvinul podobným způsobem jako řada jiných druhů a tvorů a to přibližně před 3 miliony let, zprvopočátku jako *Homo habilis* (člověk zručný), přibližně po 1,5 milionu let jej vystřídal *Homo erectus* (člověk vzpřímený). Dnešní druh označovaný jako *Homo sapiens* (člověk rozumný) se objevil na Zemi asi před 350 000 lety. V té době byl běžnou součástí přírody, využíval pouze přímo dostupné zdroje. Postupem vývoje a získáváním zkušeností začal objevovat možnosti, které mu Země nabízí. Souběžně s rozvíjícím poznáním se zvyšovala lidská populace.

Při menším počtu obyvatel byl vliv lidské činnosti na přírodu zanedbatelný, ale s nárůstem obyvatel, se lidská činnost začala vzhledem k přírodě projevovat. Zlomovým okamžikem můžeme označit rozvoj hutnictví a chemie. Do té doby byla většina člověkem vyprodukovaných a používaných věcí čistě přírodních a tedy v běžné přírodě snadno odbouratelná, případně zpětně využitelná. Proti tvrzení, že člověk přírodě škodí již od okamžiku, kdy ovládl oheň, protože právě tehdy začal produkovat CO_2 , musím připomenout, že pouhá jedna sopka při své explozi vyprodukuje více CO_2 , než běžné spalování.

Člověk si během svého vývoje osvojil používání různých pracovních nástrojů. Zpočátku to byly předměty, které našel. Postupně si tyto předměty upravoval, zdokonaloval a začal vyrábět, až ovládl zpracování kovů (od nízko tavitelných až po vysokoteplotně tavitelné).

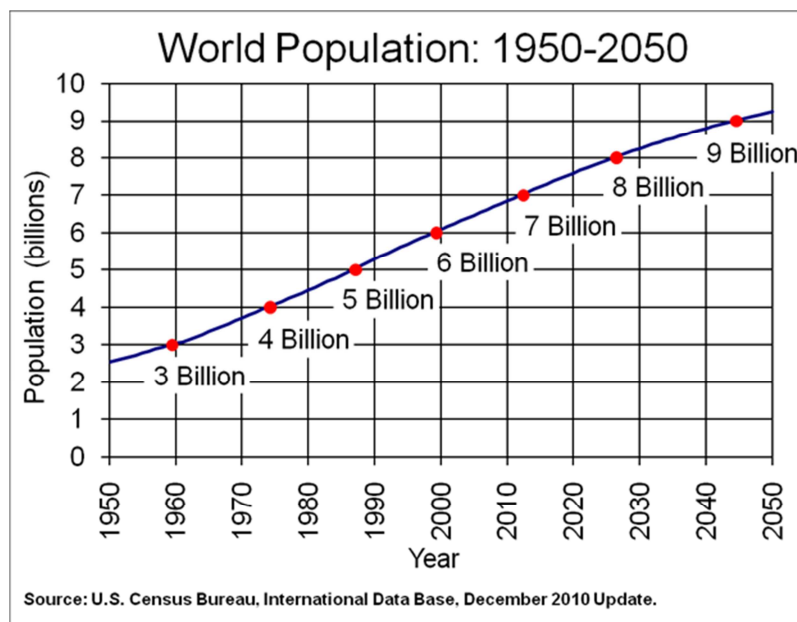
Železo se postupně stalo součástí denního života a to do té míry, že se na počátku 18. století začalo v Británii koksovat uhlí pro lepší zpracování železné rudy. Obrovský rozmach těžby uhlí a rud nastal v 19. století, označovaném také jako Století páry a elektřiny. S rozvojem parních strojů podstatně vzrostla spotřeba uhlí a železa. Pro zpracování železné rudy bylo nutné použití paliv s vysokou výhřevností a vysokou teplotou plamene. Dříve používané dřevěné uhlí při masové výrobě ocelí přestalo být dostatečným palivem. Začalo je nahrazovat vhodnější černé uhlí, které postupem doby začalo být měněno na koks.

Koksování uhlí (též karbonizace nebo pyrolýza) je soubor procesů probíhajících při řízeném ohřevu uhlí za nepřístupu vzduchu. Odpadními produkty byl vznikající dehet, benzol a čpavkové vody. S rozmachem koksárenské výroby vznikaly nové zpracovatelské obory, mimo jiné dehtochemie. K té se ve 2. polovině 19. století připojila petrochemie.

Chemie sebou přinesla nové materiály a nové technologické postupy. S novými možnostmi se začalo rozvíjet zemědělství, byla vyvinuta nová hnojiva, herbicidy, pesticidy na hubení

škůdců. Obstarávání potravin se stalo snazší. Počet obyvatel Země neustále rostl, což sebou neslo potřebu nových výrobních postupů a metod, použití nových materiálů. Neustále se zvyšující populace, zaměřená na spotřebu a pohodlí, zahlcuje denně Zemi svými produkty a odpady. Ty jsou jak průmyslové, tak komunální.

Intenzivní znečišťování Země, jak vyplývá z předchozích řádků, probíhá přibližně posledních 150 let. Globálně se řeší velké množství problémů, nicméně otázka přelidnění naší planety, kdy se za posledních 50 let populace zdvojnásobila, je velmi aktuální. V letošním roce se předpokládá, dosažení počtu obyvatel naší planety, 7 miliard. [1][2] Populační trend s výhledem následujících čtyřiceti let, je patrný z obrázku *Obr 1*.



Obr 1: Růst populace Země

[<http://www.census.gov/ipc/www/idb/worldpopgraph.php>]

Zásadní otázkou je, zda bude Země schopna takového množství obyvatel uživit, a to ve stavu, do kterého ji homo sapiens svým výše uvedeným působením uvedl.

Do popředí tím vystupuje problematika odstraňování již vytvořených ekologických zátěží.

Mezi současná společenská témata patří znečištění Země. Znečištěná je voda, atmosféra a také půda.

Tato práce popisuje odstraňování znečišťujících látek z hornin, s využitím různých, obecně známých metod. Podrobněji se věnuje termické desorpci, zejména nepřímé. Představuje technické možnosti této technologie a návaznosti na platné normy a legislativu.

1 ZNEČIŠŤOVÁNÍ

Co je vlastně znečištění? Definice existuje více a vždy záleží na úhlu pohledu, nicméně v základu se jedná o výskyt látek, které poškozují životní prostředí a lidské zdraví.

Česká republika se vstupem do Evropské unie a podpisem významných mezinárodních dokumentů (Aarhuská úmluva, Protokol o registrech úniků a přenosů znečišťujících látek), zavázala plnit povinnosti v oblasti životního prostředí, vyplývající z těchto dokumentů.

Jedná se zejména o shromažďování informací o životním prostředí, umožnění přístupu k těmto informacím, tvorbu registru úniků a přenosů znečišťujících látek. [3]

V České republice je proto zaveden registr znečišťujících látek [4] V tomto registru jsou uvedeny sledované znečišťující látky. Registr je veřejně dostupný na adrese <http://www.irz.cz/node/20>.

Na základě klasifikace znečišťujících látek se dále hodnotí místa s možným rizikem vzniku kontaminace a také ta s existující kontaminací.

V rámci České republiky máme zavedeny jednak místa potenciálně nebezpečná „systém evidence kontaminovaných míst“ a dále místa, označovaná jako „staré ekologické zátěže“.

Jak se tyto dva druhy od sebe liší?

1.1 Systém evidence kontaminovaných míst

Kvalitativní hodnocení rizik v Systému evidence kontaminovaných míst, vychází z kanadské metodiky AGRA. Jednotlivá rizika jsou hodnocena jako: extrémní, vysoké, střední, nízké, žádné, neznámé. [5][6]

Extrémní – (neakceptovatelné) působení zátěže, je extrémně silné, časově pravidelné nebo také periodicky se opakující. Předpokládá se vážné poškození lidského zdraví. Kontaminace zasahuje saturovanou zónu a spodní vody. V této lokalitě nelze připustit pracovní a výrobní činnost. Dochází k trvalému poškození či likvidaci některých biotopů.

Vysoké – (jistě nadprůměrné) působení zátěže je silné, časově nepravidelné, dočasné. Lokalita je zemědělsky využívána, koncentrace jsou neakceptovatelné při požití, inhalaci či kontaktu s kůží. Kontaminace zasahuje také saturovanou zónu, pravděpodobný je průnik

do spodních vod. Lze připustit dočasný pracovní cyklus s relativně krátkou dobou expozice. Je vysoce pravděpodobné poškození některých biotopů.

Střední – (průměrné) na hranici přípustného limitu. Práce jsou povoleny pouze dočasně s relativně krátkou dobou expozice. Kontaminace zasahuje nesaturovanou zónu, kterou je možno dekontaminovat. Potenciálně mohou být ohroženy, mírně poškozeny (ne zcela zničeny) některé biotopy.

Nízké – (podprůměrné, slabé) srovnatelné s relativními normativy, např. hygienickými limity pro pracovní prostředí. U povrchových vod je znečištění na hranici limitu pro ostatní povrchové vody. Zasahuje nesaturovanou zónu, ale lze je lehce sanovat.

Žádné – (zanedbatelné, neškodné) riziko nulové.

Neznámé – riziko není známo ani se nedá s vysokou pravděpodobností předpokládat.[5][6]

Každý z občanů, ekonomických subjektů má možnost upozornit na místa možné kontaminace, případně na místa již kontaminovaná. V současné době je evidováno cca 5000 kontaminovaných míst. Stále probíhá Projekt Národní inventarizace kontaminovaných míst (NIKM), dnes řešící metodiku pro posuzování a inventarizaci, má být dokončen v roce 2012. Následně bude zahájena část samotné inventarizace, jejíž termín je 2013 – 2015. Předpokládá se, že počet kontaminovaných míst bude násobně vyšší než zmíněných 5000. [5][6][7]

1.2 Staré ekologické zátěže

Rozsáhlý výskyt starých ekologických zátěží (kontaminovaných míst) na území České republiky je jedním z historických pozůstatků, kdy nebyly ochrana životního prostředí a nakládání se závadnými látkami při průmyslové a další výrobě na dostatečné úrovni.

Systematické odstraňování těchto historických – starých ekologických zátěží, začalo ve větší míře až po roce 1990. Za některé z nich, zejména v rámci privatizace, převzal odpovědnost stát. Bylo již vynaloženo přes 31 mld. Kč, přesto se podařilo odstranit pouze zlomek ekologických zátěží. V současné době je v běhu Operační program MŽP (ministerstva životního prostředí) pro období 2007–2013, kde se v rámci odstraňování starých ekologických zátěží, dokončuje inventarizace kontaminovaných lokalit. Současně je možno podá-

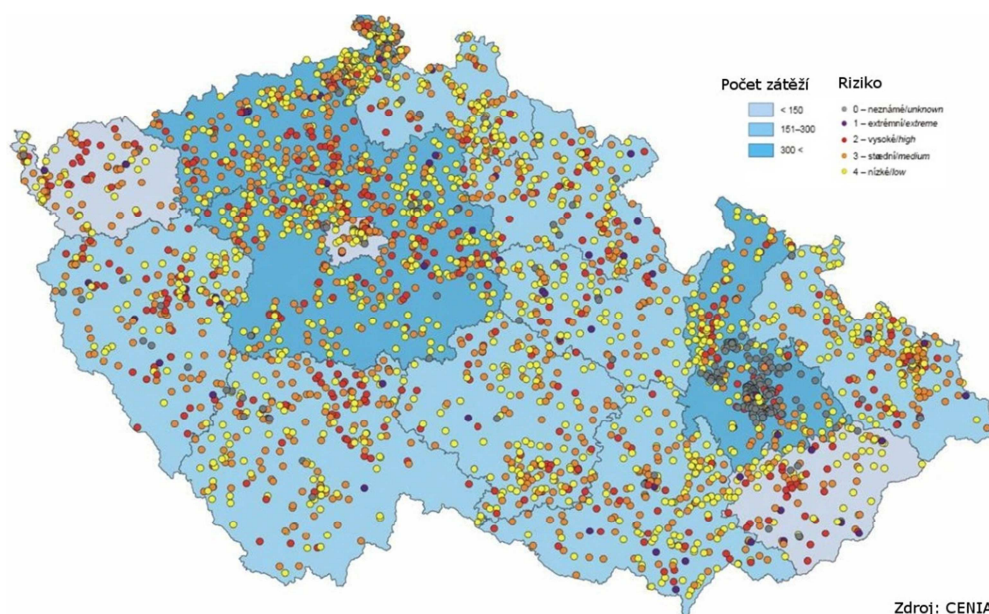
vat žádosti směřující k odstranění závažných (rizikových) starých ekologických zátěží. Dnes je systematicky řešeno odstraňování ekologických zátěží po sovětské armádě. Dle dostupných informací je vedeno 155 lokalit.[8][9] Další ekologické zátěže jsou přidruženy pod jednotlivá ministerstva, dle původu kontaminace. Souběžně běžícími programy jsou likvidace zátěží vedené Ministerstvem průmyslu a obchodu, a to v oblastech postižených hornickou činností a prostorech brownfields (staré opuštěné továrny a jejich areály).[5][7]

1.2.1 Přehled lokalit v ČR

V tabulce *Tab 1* a na mapě ČR *Obr 2* jsou po jednotlivých krajích viditelné, evidované lokality, starých ekologických zátěží. Některé lokality již byly sanovány, u jiných sanační práce probíhají. Na většinu, však teprve rozhodnutí o sanaci a samotné práce čekají.[7]

Tab 1: Výskyt ekologických zátěží [5]

Riziko Risk	Hl. m. Praha Capital City of Prague	Středo- český	Jiho- český	Plzeňský	Karlo- varský	Ústecký	Liberecký	Králové- hradecký	Pardubický	Vysočina	Jiho- moravský	Olomoucký	Zlínský	Moravsko- slezský
0 – neznámé <i>unknown</i>	2	10	8	8	1	49	8	5	6	2	2	175	7	5
1 – extrémní <i>extreme</i>	6	7	4	7	3	7	3	7	6	1	9	4	8	5
2 – vysoké <i>high</i>	6	72	47	43	26	42	18	26	16	27	27	36	27	26
3 – střední <i>medium</i>	17	136	101	70	46	136	49	68	41	82	77	60	30	90
4 – nízké <i>low</i>	30	200	83	63	33	177	71	70	60	83	110	91	46	115
5 – žádné <i>none</i>	6	31	8	12	5	6	9	18	23	6	18	23	6	13



Obr 2: Staré ekologické zátěže [6]

2 TECHNOLOGIE POUŽITELNÉ K ČIŠTĚNÍ ZEMINY

Odstraňování ekologické zátěže musí být efektivní, rychlé a pokud možno finančně nenáročné.

Z těchto důvodů se neustále vyvíjí nové technologie, které tato kritéria splní.

Současným trendem jsou technologie **in situ**, při kterých se dekontaminace provádí přímo ve znečištěné lokalitě, bez převážení kontaminovaného materiálu.

Výhodou technologií **in situ** je ušetření nemalých nákladů spojených s převážením kontaminovaného materiálu desítky až stovky kilometrů daleko k vyčištění.

V případech kdy je nutno kontaminovaný materiál k vyčištění převézt, hovoříme o technologii **ex situ**.

Existují i případy, ve kterých jsou oba druhy technologií kombinovány.

V následující části budou jednotlivé druhy sanačních metod v kostce představeny.[10][11]

2.1 Technologie „in situ“

Tyto technologie, používané pro čištění kontaminované nenasycované zóny a dalších pevných materiálů, zahrnují široké spektrum fyzikálních, chemických a biologických procesů. Aplikují se dle druhu a rozsahu znečištění.

Fyzikální postupy zahrnují odsávání těkavých látek s půdním vzduchem, elektrokinetickou separaci, narušování struktury (rozklad, tříštění) a různé metody tepelného ošetření.

Chemické sanační metody jsou reprezentovány vymýváním kontaminantů z půdy, solidifikací, stabilizací a zejména chemickou oxidací.

Biologické postupy se vyznačují aplikací autochtonních mikroorganismů. Mezi tyto postupy se řadí bioventing, kometabolický bioventing, podporovaná bioremediace a fyto-remediace. [10][11][12]

2.1.1 Fyzikálně chemické postupy

Četnost použití souvisí s jejich technickou a ekonomickou náročností. Některé z následně uvedených metod zatím nebyly v České republice použity.

Mezi nejčastěji používané metody ve volném prostředí patří venting. Často je kombinován s jinými sanačními postupy. Další často používanou technologií je vymývání půdy a to na omezených plochách, převážně v průmyslových areálech. Tyto sanační metody polutanty ze zeminy odstraňují. V případech, kdy jsou polutanty jen velmi těžce odbouratelné, se používá princip uzavření nebo zakrytí polutantů. Tak je zabráněno dalšímu šíření znečišťujících látek. Mezi tyto metody schopné pracovat až do hloubek 35 m, patří například stabilizace a solidifikace.

Mezi velmi nákladné a proto u nás stále nepoužívané technologie patří chemická oxidace a vitřifikace.

Jako doplňkové, podpůrné technologie, se používají metody, které jsou založeny na zvyšování teploty sanované zeminy v kombinaci s ventingem či bioremediací. Cílem je zlepšení podmínek pro odstranění polutantů, zvýšením těkavosti, změnou fyzikálních a chemických vlivů, desorpcí.

Jednou z prvních, již v období druhé světové války, používanou metodou byla elektroosmotická dekontaminace. Byla aplikována německou armádou ke stabilizaci kolejevého lože v Norsku, kdy bylo zapotřebí výrazně snížit vlhkost podloží při stavbě železnice. Z této metody se vyvinula elektrokinetická dekontaminace, která se z důvodů velké finanční náročnosti, v současné době spíše testuje a to převážně v USA a Nizozemí. [10][11][12]

Chemická oxidace

Principem je infiltrace vodného roztoku oxidačního činidla do nesaturevané zóny tak, aby došlo k destrukci přítomných kontaminujících látek. Zásadní vliv pro průběh reakcí je správný výběr oxidačního činidla a vodné prostředí, ve kterém je činidlo dávkováno. V návaznosti na použitým oxidačním činidlem vzniká oxid uhličitý, sloučeniny železa a manganu.

Činidlo, pokud je dávkováno ve vodném roztoku, je infiltrováno pomocí vrtů nebo horizontálních drénů. Jinou alternativou je aplikace nerozpuštěného činidla, či přímé promí-

chávaní s kontaminovanou zeminou. Nejčastěji používaným činidlem je manganistan draselný.

Metoda je použitelná pro sanaci nesaturované, ale rovněž saturované zóny a v podstatě pro jakýkoliv polutant, který je oxidovatelný. Například chlorované etyleny, chlorované alkyly, ropné uhlovodíky, monoaromatické uhlovodíky, polychlorované bifenyly a benzeny, polycyklické aromatické uhlovodíky, výbušniny, organické pesticidy, insekticidy a herbicidy.

Hlavní výhodou je rychlý rozklad polutantů za vzniku látek nezatěžujících životní prostředí. Po sanaci není často nutno manipulovat se vzniklými materiály.

Omezení použitelnosti

Tato metoda může být vůči některým látkám málo účinná, často se oxidační činidlo spotřebovává k oxidaci balastních látek – až 95%, což výrazně prodražuje vlastní sanaci.

[10][11][12]

Elektrokinetická dekontaminace

Metoda vychází z vytvoření stejnosměrného elektrického pole v kontaminované zemině. Následkem elektromagnetického pole dojde k pohybu iontových částic - toxických kovů. Pole je vytvářeno střídavě umístěnými elektrodami ve vrtech, vzdálených mezi sebou do 10 metrů. Elektrody jsou zality elektrolytem, do kterého se působením magnetického pole shlukují ionty polutantů. Následně je elektrolyt odčerpáván a čištěn (tedy jsou z něj odstraněny polutanty).

Metoda je použitelná pouze v prostředí, které vykazuje dostatečnou elektrickou vodivost. Na úrovni testů, je potvrzena funkčnost pro toxické kovy, PCB, PAU a některé ropné produkty.

Omezeními pro tuto metodu jsou jak obecné bezpečnostní předpisy pro práci pod napětím, tak spotřeba přivedené elektrické energie na ohřev zeminy a pohyb nezávadných iontů.

[10][11][12]

Narušování struktury - štěpení

Principem je rozvolňování horninového prostředí tak, aby v horninovém masivu vznikaly uměle nové pukliny. Štěpení se provádí pneumatickým nebo hydraulickým způsobem, případně torpedací. Tvorba trhlin pneumatickým způsobem je založena na impulzním přívodu vysokotlakého vzduchu nebo jiného plynu. U hydraulické metody se čerpá tlaková kapalina do horniny a torpedace je rozrušování hornin pomocí detonací. Smyslem těchto puklin, je snadnější dostupnost kontaminované vrstvy.

Podstatou je odstranění vlivu omezujících faktorů dekontaminace, souvisejících s málo propustnými horninami. Tato metoda se používá již více jak 50 let v těžebním a vodohospodářském prostředí.

Uvedená metoda se používá v kombinaci s dalšími metodami pro podporu zvýšení účinnosti dekontaminace. [10][11][12]

Vymývání půdy

Principem je vpravování vodného roztoku povrchově aktivních látek (PAL, kyseliny, zásady, alkoholy a jiná rozpouštědla) do kontaminované zeminy. Tyto aktivní látky musí být schopny rozpouštět nebo měnit povrchové vlastnosti znečišťujících látek. Polutanty jsou následně vymývány. Roztok je s polutanty čerpán na povrch, recyklován (polutanty jsou extrahovány) a následně opětovně použit.

Vymývání lze použít v místech s dostatečnou propustností a homogenitou zeminy. Případně se používá v kombinaci se štěpením. Bez perfektní znalosti směru a rychlosti proudění podzemních vod nelze tuto metodu spolehlivě používat, protože hrozí zavlčení roztoku do čistých vrstev. Metoda je vhodná pro odstranění těžkých kovů (Pb, Zn, Cu), halogenových uhlovodíků, VOC, monoaromatických uhlovodíků, ropných látek a PAU.

Její použití není vhodné pro kombinace znečišťujících látek, protože příprava univerzálního roztoku, je prakticky nemožná. Dále se nedá použít v nepropustných horninách a při vysoké sorpci polutantů na horninu. [10][11][12]

Venting

Jedná se o jednu z nejzákladnějších metod dekontaminace. Podstatou je vakuové odsávání znečištěného půdního vzduchu z nesaturované zóny. V hornině jsou provedeny vrty, do kterých jsou zavedeny potrubní rozvody odsávacího zařízení. Vzniklý podtlak s sebou strhává těkavé podíly. Vytěžený půdní vzduch je dekontaminován v povrchových jednotkách na zákonné limity.

Hlavní oblastí použití této metody je na odstraňování VOC, chlorovaných rozpouštědel a alifatických uhlovodíků. V neposlední řadě lze tuto metodu použít pro odstranění ropných látek a některých halogenovaných sloučenin.

Omezením této metody je tloušťka znečištěné vrstvy, protože pro vrstvy s tloušťkou pod 1,5m nelze tuto metodu aplikovat. Dalšími omezujícími faktory je vysoká vlhkost půdy a nízká propustnost krycí vrstvy. [10][11][12]

Solidifikace a stabilizace

Jak již bylo dříve zmíněno, v případě solidifikace se jedná o mechanickou přeměnu, realizovanou uzavřením kontaminované horniny do mechanicky odolné, nepropustné a monolitické struktury. Chemické vlastnosti polutantů zůstávají uvnitř nezměněny, ale je zamezeno jejich dalšímu negativnímu působení.

Stabilizace je naopak proces chemický, při kterém dochází k navázání polutantů na činidla a jejich přeměně na nerozpustné látky. Takto stabilizované škodlivé látky již nepředstavují ekologická rizika.

Znečišťujícími látkami, které jsou těmito metodami odstranitelné, mohou být těžké kovy, rozpustné sloučeniny, uhlovodíky, persistentní organické polutanty.

Naopak sulfáty, organické látky mohou proces solidifikace narušovat. Dalším významným omezením je výskyt velkých předmětů a dosažitelná hloubka promíchávání do 35m.

UPOZORNĚNÍ: Při aplikaci solidifikace a stabilizace vznikají často vysoce těkavé podíly, jejichž výskyt a působení (hygiena a nebezpečí výbuchu) je potřeba do technického návrhu zařízení zahrnout. [10][11][12]

Metody tepelného ošetření

Jak vyplývá z názvu, jedná se o ohřev zeminy za účelem dekontaminace. Zvýšená teplota kontaminovaného materiálu podporuje uvolňování polutantů z nosné matrice. Ohřev může být zajišťován různými způsoby, následující výčet představuje obvyklé způsoby ohřevu. [10][11]

Odporové zahřívání

Elektrický proud, procházející mezi elektrodami ohřívá prostředí v zemině. Voda a znečišťující látky přecházejí do plynné fáze a jsou odstraněny vakuovou extrakcí. Zemina mezi elektrodami působí jako elektrický odpor. Tato metoda se používá pro eliminaci organických, těkavých látek.

Po ukončení odtahu vakuovou extrakcí, je nutno použít některou z dalších metod, například biodegradaci a to pro dokončení dekontaminace. Odporový ohřev nelze použít v místech výskytu pozemních kovových konstrukcí. Původně byla tato metoda vyvinuta pro podporu těžby ropy.

Stejný efekt pro čištění zeminy má **vstříkávání vodní páry**, kde místo elektrické energie slouží k ohřevu pára. Ta kromě ohřevu zeminy, vynáší v rámci parní expanze polutanty. Vysrážená voda navíc vytěsňuje znečištění. Metoda byla použita při sanačních pracích koksárny Karolina v Ostravě. Sanace patří svým rozsahem mezi největší projekty na světě.[14]

K ohřevu je možno dále používat **horký vzduch**, podporující vakuovou extrakci těkavých organických polutantů. Jeho teplota dosahuje až 400°C a podporuje desorpci a odtěkání polutantů. Aplikovatelný je pro těkavé polutanty, lehké uhlovodíky v prostředí s nízkým obsahem lehkých látek a malou sorpcí polutantů k pevným částicím. [10][11][15]

Vitrifikace

Principem je elektrické odporové tavení kontaminované zeminy při teplotách 1600 až 2000°C. Tavení probíhá mezi čtyřmi grafitovými tyčemi zaraženými v zemi. Velikost prostoru tavení je až 7m hluboká o průměru 15m. Vzniklá, povrchově uzavřená hmota, v sobě uzavře netěkavé polutanty.

Těkavé polutanty částečně uniknou a částečně jsou teplotou rozloženy. Odcházející polutanty je potřeba zachytit a likvidovat. V České republice se tato metoda zatím nepoužívá, ale vzhledem k její univerzalitě a vysoké účinnosti, lze její rozšíření předpokládat.

Vitrifikace je použitelná k odstranění organických a těkavých anorganických látek. Dále také k solidifikaci netěkavých anorganických látek, hlavně kovů a radionuklidů. Spolehlivě funguje odstraňování pesticidů, herbicidů, polychlorovaných herbicidů, dioxinů, chlorovaných sloučenin a kovů. Technologie je použitelná pro kontaminaci do hloubky.

Vitrifikaci nelze aplikovat v lokalitách, kde je více než 20% stavebních sutí, a v případech, kdy je znečištění spalitelnými organickými látkami větší jak 20%hm. V místě aplikace se dále nesmí vyskytovat podzemní sítě a stavby.

Vzhledem ke vzniku velkého monolitického bloku, bývá další využití území často omezeno. [10][11]

2.1.2 Biologické postupy

Biologické postupy in situ nesaturovaných zón využívají degradační, případně transformační aktivity přirozených (autochtonních) nebo řízeně vnesených (allochtonních) mikroorganismů.

Hlavní výhodou je rozložení nebo transformace polutantů na neškodné látky. Další výhodou jsou nižší náklady než u fyzikálně chemických metod.

Podmínkou pro použitelnost je možný rozklad polutantů biologickým způsobem a v místě dekontaminace nesmí působit inhibiční faktory.

Biologické pochody, probíhající při dekontaminaci v oxidačně redukčních reakcích, se rozdělují na aerobní (je nutná přítomnost kyslíku) a anaerobní (kyslík se reakcí nezúčastňuje).

Častěji používané pochody jsou aerobní, protože jsou podstatně rychlejší. Jejich produktem bývají většinou oxid uhličitý, voda, mikrobiální masa a teplo. V případě aerobních reakcí se teplo uvolňuje. Využití anaerobních pochodů se aplikuje v případech, kdy je polutant již v maximálním oxidačním stupni, tedy aerobní rozklad není možný, nebo pro dočišťování zbytkových kontaminujících látek.

Aerobně, biologicky je rozložitelné velké množství polutantů, jako jsou monoaromatické uhlovodíky, většina ropných uhlovodíků, organické kyseliny, fenoly, n-alkany, alkeny, alkiny.

Pro úspěšné použití bioremediace je důležité zajištění podmínek, ve kterých mikroorganismy využívají svých fyziologických potřeb k odstranění polutantů. Využívají se převážně bakterie, kvasinky, plísňe, houby s hnilobou dřeva a vyšší rostliny. Z uvedených, jsou nejnáze použitelné bakterie (protože jsou všudypřítomné) a vyšší rostliny. [10][11]

Bioventing

Principem je vhánění kyslíku do nesaturované zóny (přetlakově, či podtlakově), za účelem zvýšení koncentrace kyslíku v kontaminované nesaturované zóně - tedy podpora biologického rozkladu.

Potřebné množství vháněného kyslíku je malé, proto se objevují i metody pasivního vhánění kyslíku. Pasivní pohyb je způsoben rozdílem atmosférického tlaku vzduchu a tlaku v podzemí.

Bioventing byl nejdříve používán při sanacích starých zátěží, způsobených zejména leteckým palivem. První pokusy byly provedeny v Nizozemí v roce 1982. První skutečná aplikace byla realizována v USA, kde byla tato metoda aplikována již ve více jak 200 lokalitách.

Bioventing je použitelný pro odbourávání všech aerobně rozložitelných polutantů. Prioritou jsou ropné uhlovodíky a PAU.

Podmínkou pro úspěšnou dekontaminaci je výskyt mikroorganismů, které umí odbourávat přítomný polutant. Mikroorganismy nejsou života bez kyslíku, dostatečné vlhkosti a dostatku potravy, schopny.

V případech, kdy je malá vrstva nesaturované zóny, nízká vlhkost půdy, nízká teplota a hlavně polutant je inhibátorem, může dojít k omezení, případně k neúspěchu dekontaminace. [10][11]

Kometabolický bioventing

Kometabolický bioventing je obdobou ventingu. Rozdílností této metody je přidávání látek, které mohou autochtonní mikroorganismy využít, jako kosubstrát pro biologický rozklad polutantů.

Hlavní význam má tato metoda hlavně při odstraňování chlorovaných rozpouštědel, které se bez přítomnosti kometabolických substrátů nerozkládají. [10][11]

Podporovaná bioremedace

Principem je podpora aktivity autochtonních mikroorganismů roztoky živin. Podpůrnými mechanismy se výrazně zvýší rychlost a účinnost dekontaminace.

Používá se převážně pro odstraňování ropných uhlovodíků, rozpouštědel, organických kyselin, případně i některých kovů.

Pokud je polutant silně vázán na pevné částice, nelze jej spolehlivě odstranit. Dalšími omezujícím faktorem je možná kontaminace podzemních vod.

Stává se, že si mikroorganismy najdou tzv. zkratovou cestu, což omezí ošetřovanou plochu. Tento problém se vyskytuje u všech mikroorganismů, polutant nesmí být inhibiční a nesmí být v místě aplikace nízké teploty, protože následně dochází k neúměrnému prodloužení, případně k úplnému zastavení procesu dekontaminace. [10][11]

Fytoremediace a rhizoremediace

Jak již napovídá název, fytoremediace používá ve svém principu rostliny. Podstatou ovšem nejsou rostliny jako takové, ale organismy v kořenových systémech.

Rhizoremediace také používá rostliny, ale v tomto případě se jedná o rostlinné druhy, geneticky modifikované a připravené pro konkrétní podmínky dané lokality.

Obě tyto metody jsou využívány nejen in situ, ale také pro rekultivaci již vytěženého materiálu. Snahou je využívat rostliny, které jsou odolné vůči vysokým koncentracím kovů, nebo znečišťujících látek a následně je lze využít dalším efektivním způsobem. Například jako biomasu, či technologickou plodinu.

Metody jsou použitelné pro odstraňování organických i anorganických sloučenin.

Protože se jedná o pomalou metodu, může během sanace dojít ke změnám podmínek a tím k zastavení dekontaminace. Metoda trpí obvyklými problémy biologických metod - sucho, inhibiční vlastnosti polutantu, nízké teploty. Rostliny nelze používat jako potraviny, ani jako krmivo. Hrozí rozšíření polutantů do potravinového řetězce.

Biologické metody obecně neodstraňují 100% polutanty, jedná se však o přírodní cestu, která má zcela jistě svou budoucnost.

2.2 Technologie „ex situ“

Ex situ znamená, že čištění probíhá mimo místo vzniku kontaminace. Zahrnuje technologie dekontaminace pevných částí po vytěžení, demolicích, případně vznikajících při technologických procesech.

Opět se dělí na fyzikální, chemické a biologické principy.

Fyzikální procesy jsou založeny převážně na termických pochodech, jako jsou termická desorpce, spalování, vitrifikace.

Chemickými postupy rozumíme převážně solidifikaci a stabilizaci, pro odstranění kovů se používá praní v suspenzích. Například arsen se odstraňuje praním, a to prakticky ve 100% případech dekontaminací.

Biologické postupy jsou zde zastoupeny kompostováním, biostabilizací, bioimobilizací a čištěním půdy na dekontaminačních plochách. [11]

2.2.1 Fyzikálně chemické postupy

Hlavním smyslem těchto metod, je snížení objemu, či hmotnosti zpracovávaných kontaminovaných materiálů. Používají se nejen pro dekontaminaci zeminy, ale také pro stavební sutě, případně pro některé druhy odvodněných kalů.

Chemická extrakce našla významné uplatnění v USA, pro veliké projekty jako je extrakce uranu z půdy, v Japonsku je využívána pro extrakci PCB ze zeminy. V Evropě zatím masové uplatnění nenašla, v rámci pilotních testů byly extrahovány olovo, zinek, měď a anti-mon.

Solidifikace a stabilizace patří mezi zavedené a ověřené metody. Například i UTB se s úspěchem podílelo na vývoji použití asfaltových směsí pro solidifikaci a stabilizaci znečišťujících látek.

Fyzikální mechanická separace slouží k oddělení nejjemnějších frakcí, které jsou nejvíce kontaminovány. Dojde k redukci množství zpracovávaného materiálu, který se následně zpracovává například spalováním, extrakcí, biologicky, praním, případně chemickou oxidací.

Spalování a termická desorpce jsou metody, které jsou v České republice hojně využívány.

Velmi rozšířeno je zejména spalování, které se využívá jednak pro sanace, ale také jako technologie čištění nebezpečných odpadů z technologických procesů a komunálních odpadů.

Termickou desorpci úspěšně používáme k odstranění těžkých kovů, PCDD, PAU (jedná se o látky silně sorbující a biologicky prakticky nerozložitelné). [11][26]

Chemická extrakce

Princip metody je založen na oddělování toxických, či jinak závadných složek z kontaminovaných zemin, kalů a sedimentů v extrakčních jednotkách, hydrocyklonech.

Polutant se rozpouští do běžného extrakčního činidla, ze kterého je následně vyextrahován.

Použití je vhodné pro zeminy, sedimenty a kaly, obsahující známé polutanty. Například PCB, netěkavé halogenové rozpouštědla a odpadní produkty ze zpracování ropy. Úspěšně byla použita pro dekontaminaci syntetických kaučuků, odpadů z dehtů a barev.

V případě této metody jsou omezujícími faktory vlhkost, množství jílu, přítomnost detergentů a emulgátorů.

Rozpouštědla nejsou selektivní, čímž dochází k rozpuštění i běžných organických látek, což ztěžuje následnou extrakci. Dalším neméně podstatným problémem je skutečnost, že rozpouštědla jsou často toxická, takže je nutno zabránit jejich dalšímu šíření.

Metoda u nás zatím nebyla ve větším měřítku nasazena. Hlavním důvodem jsou vysoké investiční a provozní náklady. [11]

Chemická oxidace/redukce

Principem je chemická přeměna polutantů v zemině, kalu nebo sedimentu. Výsledkem konverze je netoxický produkt.

Vhledem k tomu, že se oxidační/redukční činidlo dobře promíchá se zeminou, probíhá účinněji než při metodách in situ. Používanými činidly jsou například ozon, peroxid vodíku, chlornany, manganistan (v případech oxidačních činidel), siřičitan, pyrosiřičitan (pro redukční činidla).

Vysokou účinnost mají tyto metody při odstraňování šestimocného chromu, čištění odpadních vod a desinfekci pitné vody.

Nevýhodou je možný vznik meziproduktů, které jsou toxické, případně vysoká spotřeba činidel při rozkladu balastních látek.

Účinnost procesu je silně potlačena přítomností olejů a vazelín. Pro vysoké koncentrace polutantů, není tato metoda ekonomicky efektivní. Rovněž pořizovací náklady technologie jsou velmi vysoké. [11]

Dehalogenace

Účelem této metody je odstranění halogenů (zejména chloru). Principem je nahrazení, případně celkový rozklad, halogenových funkčních skupin na více těžké látky, které jsou následně odsávány, separovány a likvidovány.

Technologicky se využívá sodíkový proces, dehalogenace glykoláty alkalických kovů, katalytický rozklad v alkalickém prostředí, případně chemická redukce v plynné fázi.

Používáme je pro odstranění polutantů PCB, PCDD, chlorbenzeny, halogenované alifatické látky.

Pozitivem této metody je její rychlost, protože doba reakce se pohybuje řádu v minut.

Omezení funkčnosti nastává při vyšším obsahu jílových složek a vysoké vlhkosti. Technologie je mimořádně investičně, provozně a konstrukčně náročná. [11]

Fyzikálně mechanická separace

Jedná se o čistě mechanickou metodu, při které se z kontaminovaného materiálu odstraňuje balastní a čistý materiál.

Tím dochází ke zvýšení koncentrace kontaminované zeminy, která je následně čištěna dalšími metodami. Lze ji použít na částečně těkavé organické a anorganické látky. [11]

Mechanickou separaci dělíme na tři hlavní druhy:

Gravitační separaci, založenou na rozdílu hustot separovaných látek,

Sítování, u kterého dochází k separaci na sítích různé zrnitosti a

Magnetickou separaci.

Pokud se podaří dokončit vývoj magnetické separace, bude možno tuto metodu používat pro separaci radionuklidů, které jsou mírně magnetické, případně pro oddělení těžkých kovů.

Účinnost mechanické separace snižuje vysoký podíl jílu a vysoká vlhkost, případně malé rozdíly hustot separovaných látek. [11]

Praní půdy a pevných látek

Kontaminovaná zemina se při této metodě vymývá vodou, která může být obohacena povrchově aktivními látkami.

Způsob odstranění polutantů probíhá jejich rozpuštěním nebo tvorbou suspenze pracího roztoku. Jinou možností je částečné nebo úplné odstranění znečišťujících látek, již v průběhu přípravy materiálu, tedy při jeho úpravě.

Vytěžená zemina je zahušťována tak, aby bylo sníženo množství zpracovávané zeminy.

Praní je obvykle doplněno další technologií jako biodegradace, termická desorpce.

Hlavní místo nachází tato metoda při odstraňování kovů (i těžkých), těkavých organických látek a pohonných hmot. Jsou látky, například arsen, pro které je tato metoda jedinou použitelnou.

Pro kontaminaci souběžně více kovy, lze jen obtížně připravit roztok, který by fungoval spolehlivě pro všechny znečišťující složky. [11]

Solidifikace a stabilizace

Princip je stejný jako v případě metod in situ, s tím rozdílem, že se pro převoz materiálu přidávají reakční činidla. V konečném důsledku opět vzniká homogenní, monolitický materiál, který je nepropustný a povrchově netečný k životnímu prostředí.

Převážně se používá pro technologické odpady (kaly z lagun, sedimenty popílku a prachů), nebo v případě, kdy nebylo možno použít solidifikaci in situ.

Mezi látky, které je možno touto technologií odstraňovat patří těžké kovy, rozpustné sloučeniny, uhlovodíky, organokovové sloučeniny, případně pesticidy apod. Jako pojiva se nejčastěji používá cement, popílky, nebo vysokopeční struska.

Některé látky, zejména sulfáty, narušují solidifikaci. V případě přítomnosti mikrokontaminantů hrozí unikání polutantů, protože se obtížně vážou a imobilizují. Návrh technologie je náročný z důvodu častého výskytu těkavých látek. [11]

Spalování

Smyslem je odpaření a následné spálení halogenovaných a jiných těžko rozložitelných organických složek. Teploty zpracování se pohybují od 870 do 1200°C. Pro dosažení těchto vysokých teplot, je většinou potřeba používat pomocná paliva.

Hlavním principem je oxidace nebezpečných látek vzdušným kyslíkem za zvýšené teploty. Teplota je odvislá od typu a druhu likvidovaných polutantů.

Efektivita likvidace odstraňovaných látek je velmi vysoká, překračuje 99,99%. Přesto nesmí být opomenuta důležitá návazná část technologie, kterou je dočištění spalin (filtrace a odstranění kyselin).

Spalování se používá na čištění zemin, kontaminovaných zejména persistentními organickými polutanty, PCB, dioxiny a výbušninami.

Zpracovávané látky mohou poškozovat zařízení (zejména vyzdívku a spalínovody). Bez odpovídajícího koncového stupně čištění spalin se nedá spalovna provozovat. Množství

zpracovávané zeminy a druhy polutantů mají zásadní vliv na pořizovací náklady, které bývají obecně vysoké.

V praxi se používá několik druhů spalování.

V cirkulační spalovací komoře dochází k tvorbě vysoce turbulentních spalovacích zón s teplotou 750 - 900°C, ve kterých dochází k odstranění polutantů.

Dalším druhem spalování je cirkulační fluidní vrstva o teplotě 800 – 1000°C. Vzduch má vysokou rychlost a tím dochází ke vznosu spalovaných částic.

Mobilním typem je infračervené spalování.

Velmi rozšířené jsou rotační pece, jejich vnitřní teplota dosahuje až 1200°C. Tento druh pecí vždy vyžaduje koncový stupeň úpravy spalin.

Vlastní skupinou spaloven je likvidace výbušnin a munice, pro něž se využívají otevřené plochy, které musí být dostatečně vzdálené od obyvatelstva.

Při výbuchu dochází k uvolnění velkého množství znečišťujících látek a je velmi těžké je všechny spolehlivě zachytit. Z důvodu legislativních limitů nemůže být tato metoda používána v řadě zemí. [11][23][24][25][26]

2.2.2 Biologické postupy

Ve většině případů se jedná o aerobní pochody. Kyslík je hlavním akceptorem elektronů.

Pro správnou funkci, je třeba přivádět kyslík. Díky intenzivnímu přívodu kyslíku, jsou tyto metody výrazně rychlejší a účinnější, než anaerobní biodegradace. Jako výkonné členy jsou používány mikroorganismy a to jak autochtonní, tak allochtonní.

Allochtonní mikroorganismy jsou vyšlechtěny vždy pro konkrétní aplikaci, takže často umožňují urychlení rozkladu polutantů. [11]

Ošetřování půdy a ostatních pevných materiálů po vytěžení na dekontaminační ploše

Jak název napovídá, jedná se o dočištění vytěžených materiálů, za vzniku oxidu uhličitého a vody. Používá se pro čištění půd a pevných materiálů (stavební materiál) kontaminované organickými látkami (ropné uhlovodíky, PAU, fenoly, mastné kyseliny, alkoholy).

Nepříjemností jsou vysoké náklady při zřizování dekontaminační plochy, doprava a těžba materiálu. [11]

Kompostování

Kontaminovaný materiál se smíchá s organickým materiálem (štěpka, piliny, kůra, sláma), aby bylo dosaženo vysoké porozity. Proveďte se zakládka do požadovaných tvarů, do kterých je vháněn kyslík. Znečišťující látky se aerobně biologicky rozkládají, případně se sorbují na vznikající huminové látky. Pro zvýšení efektivity a rychlosti dekontaminace, se často přistupuje k častému provětrávání a míchání tak, aby byl ve všech částech ošetřovaného materiálu dostatek kyslíku a mikroorganismů.

Jsou případy, kdy toto provětrávání, či míchání probíhalo i třikrát denně.

Kompostování se používá pro dekontaminaci půd a sedimentů kontaminovaných biologicky rozložitelnými polutanty. Kompostování probíhající v aerobní a termofilní formě snižuje toxicitu a koncentraci výbušnin (TNT, pikrát amonný, PCB a persistentní organické polutanty). K potvrzení možností odstraňování PAU slouží probíhající testy.

Pokud by se pro kompostování použily sedimenty, případně kaly s vysokým obsahem polutantů, hrozí zastavení biologického rozkladu.

Kompostování pro svou aplikaci potřebuje velkou plochu a v průběhu sanace může docházet k nárůstu objemu zpracovávaného materiálu. [11]

Biostabilizace a bioimobilizace

Ve zpracovávaném materiálu jsou připraveny podmínky pro biologickou tvorbu látek (huminy, biopolymery), které na sebe vážou molekuly polutantů. Tím snižují jejich mobilitu a dostupnost. Ve druhém případě dochází ke změnám molekul polutantů, které jsou po přeměně již ve vodě nerozpustné, čímž klesá jejich nebezpečnost a škodlivost.

Tyto metody se používají pro biologicky obtížně rozložitelné látky (persistentní organické látky, kovy). Konkrétně pro eliminaci vlivu PAU, PCB, PCDD, výbušniny, pesticidy, herbicidy, kovy a radionuklidy.

Nasazení těchto metod není možné v případě, že toxicita prostředí je tak vysoká, že dochází k potlačení biologických dějů. [11]

Landfarming

Výraz přeložitelný jako „zemědělství půdy“ znamená opravdu obhospodařování zeminy. Principem je rozprostření kontaminované zeminy do tenké vrstvy, která je pravidelně provzdušňována, kypřena, orána. Tím je dosaženo rozkladu polutantů aerobním biologickým způsobem za přítomnosti dostatečného množství. Jedná se o jednu z nejstarších biologických metod. Masivní nasazení landfarmingu probíhá v USA a Austrálii, ale je používán v celém světě.

Využití nachází při odstraňování kontaminace ropného původu (nafta, oleje, PAU). Majoritně se používá pro úpravu kalů z rafinérií ropy.

Omezením může být potřeba velkých dekontaminačních ploch, které musí být hydrogeologicky zabezpečené. Proces nelze v průběhu příliš regulovat a před zpracováním je třeba ze zeminy odstranit těkavé látky, které by samovolně unikaly do atmosféry. Vrstva, která se obhospodařuje, může mít tloušťku do 35cm. [11]

Biologické suspenzní systémy

Jedná se o řízené ošetřování kontaminované půdy, kalů nebo sedimentů v suspenzním bioreaktoru.

Před aplikací do bioreaktoru je třeba materiál prosát, smísit s vodou. Koncentrace suspenze bývá 10 – 30% hm. Bioreaktor může být míchaná nádoba, případně laguna. V bioreaktoru je zajištěno dostatečné množství odstraňovaných látek, kyslíku, mikroorganismů a minerálních látek. Vzhledem k tomu, že se jedná o řízený proces, je dekontaminace celkově rychlejší a účinnější.

Metoda je vhodná pro vysoce kontaminované zeminy (do stovek gramů/kg). Odstranitelnými látkami jsou výbušniny, ropné uhlovodíky, organická rozpouštědla, PCB, herbicidy a pesticidy.

Omezením je nutná příprava vytěženého materiálu a vysoké provozní náklady. [11][13]

3 TERMICKÁ DESORPCE

Termická desorpce byla z předchozího přehledu používaných technologií vyjmuta záměrně, protože se jí v následujícím textu budeme věnovat podrobněji.

Jedná se o metodu z kategorie fyzikálně chemických.

DEFINICE

Tepelná energie dodaná kontaminovanému materiálu, ohřívá znečišťující látky nad bod varu, čímž urychluje jejich uvolnění z nosné matrice. Uvolněné páry jsou likvidovány spalováním, nebo zachycovány kondenzací.

V případě termické desorpce **in situ**, je ohříván kontaminovaný materiál přímo v místě kontaminace.

V případech termické desorpce **ex situ** je vytěžený a předpřipravený materiál zahříván v zařízeních k tomu určených.

V následujících pasážích budou obě metody popsány podrobněji, včetně představení konkrétních aplikací. [11]

3.1 Termická desorpce „in situ“

Principem metody je ohřev kontaminované zeminy přímo na místě vzniku. Způsob ohřevu se volí podle hloubky kontaminace zeminy.

Kobercové uspořádání

Používá se při hloubce kontaminace do 1 m.

Do zeminy jsou zabudovány ocelové sítě, které prostřednictvím připojených topných tyčí ohřívají zeminu. Pro snížení tepelných ztrát se ohřívání, a tím desorpování, plocha uzavírá (přikrývá). Teplota kolem topných tyčí dosahuje hodnoty až 820°C.

Způsob provedení názorně ukazuje levá část obrázku *Obr 3* – thermal blankets.

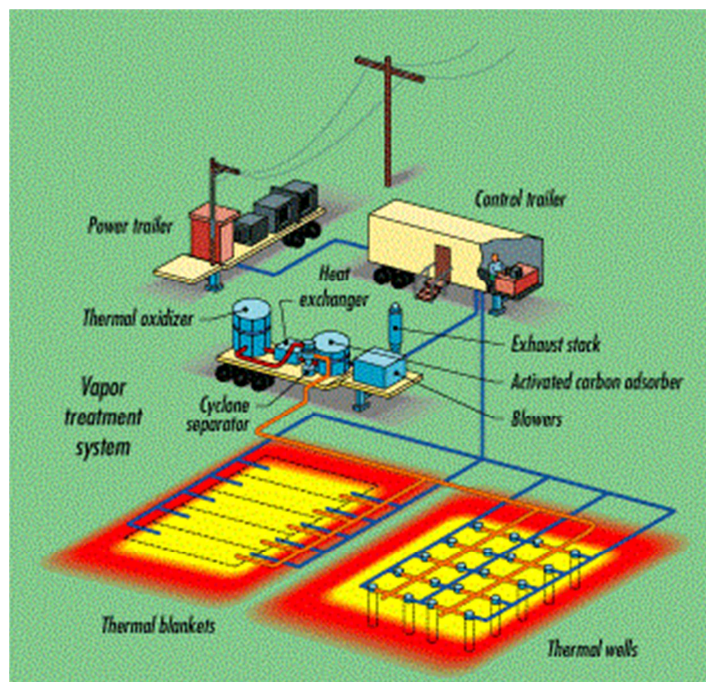
Metoda vrtů

Používá se pro hloubky kontaminace větší jak 1 metr s účinností až do 25 metrů.

Topné tyče pro nahřívání zeminy jsou umísťovány do soustavy vrtů. Prostoru mezikruží vrtu a topné tyče se využívá k odtahu plynů, vznikajících ohřevem kontaminované zeminy. V některých případech je používána i varianta s kombinací vyhřívacích a odsávacích vrtů. Způsob provedení názorně ukazuje pravá část obrázku *Obr 3- thermal wells*.

V takto připravených a provozovaných vrtech dochází ohřevem k odpařování znečišťujících látek, které jsou vakuově odsávány a na povrchu likvidovány.

Vznikající teplo ohřívá vodu přítomnou ve vrtu, což vede k jejímu odpařování. Vznikem páry dochází ke stripování zeminy a rychlejšímu odvodu polutantů. Vlivem tepla dochází rovněž k oxidaci a pyrolýze. Díky těmto všem vlivům je 95 až 99% polutantů rozloženo již v zemině.



Obr 3: Nepřímá termická desorpce „in situ“ [15][16]

Protože je zemina homogenní, dochází také k homogennímu šíření tepla, které zajišťuje vysokou účinnost desorpce v celém objemu zeminy.

Účinnost této technologie se liší podle druhu znečišťujících látek, ale běžně přesahuje hodnotu 99%.

Termická desorpce nachází své místo při odstraňování organického znečištění pod stavebními objekty, v průmyslových areálech s podzemními sítěmi, nebo z hladiny podzemních vod.

Látkami, které lze takto odstranit, jsou například zvětralé uhlovodíky, PCB, PAU, dioxiny a pesticidy.

Metoda je prostorově omezená. Další nevýhodou je nákladnost daná vysokými energetickými nároky. [11][15][16]

3.2 Termická desorpce „ex situ“

Metoda spočívá ve vytěžení zeminy z kontaminované lokality, její mechanické předúpravě, při které je materiál tříděn, zbavován kovových částí, drcen na rovnoměrnou zrnitost a ohříván.

Účelem ohřevu materiálu, je dosažení teploty odpovídající bodu varu znečišťujících látek. Vzniklé páry se výrazně snadněji uvolňují z nosné matrice.

Ohřev zeminy se běžně odehrává v rotační, případně míchané nádobě, zvané desorbér.

Způsob ohřevu desorbéru člení termickou desorpci na dva typy:

V případě přímého ohřevu materiálu v prostoru desorbéru, hovoříme o **přímé termické desorpci**.

Pokud je ohřev kontaminovaného materiálu prováděn zprostředkovaně, přes stěnu desorbéru, hovoříme o **nepřímé termické desorpci**.

Jiným způsobem členění je porovnáváním směru toku vznikajících plynů a toku zpracovávaného materiálu.

Plyny, páry mohou být v protisměru, proti toku zpracovávaného materiálu, pak se jedná o **protiproudící termickou desorpci**, nebo je směr plynů i materiálu totožný. Pak hovoříme o **paralelní / souproudé termické desorpci**.

Dalším hlediskem dělení je provozní teplota. Termická desorpce probíhající při teplotách od 90 do 320°C se označuje jako **nízkoteplotní**, zatímco u **vysokoteplotní** termické desorpce se pracovní teplota pohybuje až do 600°C.

Materiál, který byl sanován termickou desorpcí, si zachovává své mechanické vlastnosti. Proto se většinou používá ke zpětnému zásypu sanované oblasti jako podkladní vrstva. [11]

3.2.1 Přímá termická desorpce

Jak bylo již dříve uvedeno, principem této metody je ohřev kontaminovaného materiálu nad bod varu polutantů, s cílem uvolnit je z kontaminované matrice. Takto uvolněné polutanty se zachycují a následně deaktivují.

Metoda termické desorpce je použitelná pro materiály kontaminované organickými látkami s bodem varu do 600°C. Výkony technologických jednotek určených k dekontaminaci přímou termickou desorpcí se pohybují od 120 až do 800 tun za den.

Úspěšně se aplikuje na odstranění zátěží z koksáren, rafinérií, plynáren a dalších technologií, produkujících PAU, chlorované organické látky, herbicidy, pesticidy, dibenzofurany.

Termická desorpce se vyznačuje jak vysokými výkony, tak i velmi dobrou účinností.

Pro správnou funkci technologie je potřeba pečlivě připravit sanovaný materiál. Po vytěžení z kontaminované lokality se materiál třídí a drtí na požadovanou zrnitost 20 - 50mm.

K tomu se používají vibrační třídiče a rotační drtiče. Zrnitost je jedním ze sledovaných parametrů dávkované zeminy, protože se snižováním zrnitosti roste účinnost dekontaminace.

Dalšími sledovanými parametry jsou vlhkost a obsah polutantů. Pokud dochází k dávkování materiálu s nerovnoměrnými vlastnostmi, je nutno upravovat průběžně provozní parametry technologické jednotky. Každý takovýto zásah, který je hledáním optimálních provozních parametrů, pak snižuje výkonnost jednotky. A to jak kvantitativní, tak i kvalitativní.

Přímá termická desorpce je kontinuální technologický proces, při kterém je kontaminovaný materiál průběžně dávkován do rotačního desorbéru a uvnitř něj ohříván převážně hořáky na zemní plyn.

Desorbér je jedno z nejdůležitějších zařízení celé technologie. Jedná se válec vyrobený z materiálu odolávajícím vysokým teplotám a abrazi. Tvarově desorbér připomíná rotační pec.

Je uložen na ložiscích, obvykle ve sklonu 5°. Úhel sklonu je důležitý pro plynulé vysypávání dekontaminované zeminy. Počet otáček desorbéru je obvykle 10 ot./min.

Rotační čela jsou konstruována tak, aby nedocházelo k nasávání externího vzduchu. Po dostatečném ohřátí zeminy a odpaření polutantů (doba setrvání a teplota ohřevu jsou předmětem odzkoušených provozních parametrů) je zemina dopravována přes chladicí jednotku na mezideponii, kde se provádí měření kvality „vyčištěné“ zeminy.

Ke chlazení dekontaminované zeminy se obvykle využívá sprchování zeminy vodou. Toto sprchování je energeticky velmi výhodné, protože při přímém chlazení dochází k odparu vody a výparné teplo vody je 2,5 MJ/kg K. Pokud bychom chladili zeminu nepřímou, probíhá chlazení jinými principy a pro výpočet se uvažuje měrná tepelná kapacita vody, jejíž hodnota je 4,2 kJ/kg K, tedy šestsetkrát nižší.

Vznik páry však přináší také komplikace, protože vzniklá pára s sebou unáší velké množství prachu, který je nutno před vypuštěním do atmosféry odstranit, většinou filtrací. Protože se jedná o mokrou filtraci je to technologie specifická a náročná na provedení.

Odpařené polutanty jsou v plynné fázi zbavovány pevných podílů na tkaninových, případně keramických filtrech. Následně jsou dopalovány v termické spalovně, která pro dopálení znečišťujících látek pracuje s teplotami 900 až 1200°C.

Vznikající spaliny jsou chlazeny, neutralizovány, filtrovány a nakonec vypuštěny do atmosféry. Tento výstup spalin do atmosféry je monitorován a musí z hlediska obsahu splňovat zákonné limity a podmínky Integrovaného povolení.

Protože desorpce odstraňuje balastní materiál, v tomto případě nosnou matici polutantů, výrazným způsobem se snižuje množství materiálu odváděného do spalovny. V porovnání s metodou klasického spalování materiálů, vychází koncová spalovna plynů menších rozměrů a tím také provozně výhodnější. [11][15][16][18][22]

Velmi dobrá provozní spolehlivost a vysoká výkonnost řadí tuto metodu mezi velmi často používané dekontaminační technologie. Linka přímé termické desorpce *Obr 4*, je postavena například v Toulouse, Francie.



Obr 4: Přímá termická desorpce Toulouse, FR

[<http://www.astecinc.com/index.php>]

Úspěšnou aplikaci máme za sebou také v České republice a to při sanacích Koksovny Karolině v Ostravě. Sanace probíhaly v letech 1998 – 2003. Provozovatelem byla společnost SITA CZ, a.s. Během pěti let bylo dekontaminováno přímou termickou desorpcí cca 490 000 tun zeminy. Celkově se v případě sanací Karoliny jednalo o specifický projekt, který je i ve světovém měřítku jedinečný. [11] Blokové schéma viz příloha č. 1

3.2.2 Nepřímá termická desorpce

Na území České republiky se nachází řada kontaminovaných lokalit. Často není z hlediska legislativy a veřejného mínění možné, aplikovat přímou termickou desorpci, která se již mnohokrát osvědčila.

Dostupná literatura a zkušenosti s odstraňováním ekologických zátěží, často hovoří o možnosti dekontaminace nepřímou termickou desorpcí, která je vůči okolí šetrnější a také investičně a provozně levnější.

Hlavním rozdílem vůči přímé termické desorpci je nepřímý ohřev znečištěného materiálu, ze kterého plyne jiné provedení desorbéru. Většinou se jedná o uzavřenou válcovou nádobu s vnitřním mícháním materiálu. Ohřev bývá zajišťován například přímými plynovými hořáky.

Tato metoda často nevyhoví z hlediska emisních limitů dané lokality. Proto se dnes více přechází na ohřev teplonosným médiem, které je zavedeno do pláště desorbéru. Teplonosné médium bývá ohříváno kotlem, pro který již není technický problém, splnit emisní limity. Technicky dosažitelnou teplotou ohřevu 400°C. Hovoříme o nízkoteplotní termické desorpci.

Další markantním rozdílem je diskontinuálnost dávkování kontaminovaného materiálu do desorbéru. Nedochází totiž k trvalému, plynulému vsypávání kontaminovaného materiálu do desorbéru. Tato diskontinuálnost je způsobena vlastní konstrukcí desorbéru a provozními podmínkami. Často se totiž pro podporu odpařování polutantů pracuje při vakuu a to si vyžaduje uzavřený a těsný desorbér.

Aby se minimalizoval čas plnění desorbéru, je nutné si kontaminovaný materiál připravit v předstihu (do provozního zásobníku). Pak se během velmi krátké doby desorbér naplní, uzavře a pokračuje proces dekontaminace další dávky (šarže).

Z důvodu nižšího teplotního ohřevu a konstrukčně omezené velikosti zařízení, nelze nepřímou termickou desorpci využívat pro vysoce kontaminovaný materiál. Doba dekontaminace by byla neúměrně dlouhá a finančně nákladná.

Proto je před samotnou dekontaminací zeminy nutné odstranit majoritní část vysoce kontaminovaného materiálu. Tento materiál bývá ošetřen jinými metodami, případně průmyslově využit. Tato první fáze spočívá ve vytěžení materiálu z kontaminované lokality (např. kalů), jejich stabilizaci, využití.

Takto připravený materiál může být v případech ropného nebo dehtového znečištění, používán jako palivo. V případě nutnosti, pro zvýšení atraktivity produktu, lze tento materiál případně obohacovat například černouhelným prachem. Tímto způsobem připravené palivo má výhřevnost na úrovni černého uhlí. Protože je stabilizováno a neutralizováno, nebrání nic komerčnímu prodeji například do elektráren.

Po odtěžení kalů, sludge zůstává na místě obvykle hydrogeologický vodní uzávěr, který v dobách používání lokality bránil průsaku polutantů do spodních vod. Tato zemina je silně kontaminována, ale již nebývá komerčně využitelná. Tehdy je použitelná nepřímá termická desorpce.

V případech, kdy není daná lokalita kontaminována ropnými, dehtovými látkami, se zpracovává veškerá kontaminovaná zemina od počátku skrývky.

Zemina je vždy před samotným čištěním připravována. V praxi to znamená, že je třeba zeminu neutralizovat, zrovnoměnit kontaminaci případným promícháváním, snížit vlhkost a dodržet požadovanou zrnitost. Obvykle se počítá s mírou znečištění okolo 10% hm, vlhkostí do 30% a zrnitostí 20 - 50mm. Při překročení jednoho z parametrů může dojít k prodloužení doby dekontaminace.

Pro dosažení požadované zrnitosti, bývají linky vybaveny úpravnou zeminy. Ta je vybavena dopravníky, vibračními sítí, drtičem materiálu (např. rotační - kladivový mlýn) a provozními zásobníky.

Vytěžená zemina je neutralizována převážně vápnem, třízena, větší části jsou rozdrčeny a tzv. podsítné, čili částice pod 50mm jsou dopraveny do desorbéru.

Desorbér je ohříván teplotně odolným olejem, o teplotě cca 400°C, který je zaveden do pláště. Obsah desorbéru je pro zajištění rovnoměrného prohřátí zeminy a uvolnění odpařitelných polutantů, intenzívně promícháván míchacím zařízením s lopatkami.

Na počátku plnění desorbéru je odpařována voda a lehké těkavé aromatické uhlovodíky. Tato část procesu probíhá při mírném podtlaku 95kPa abs a teplotě cca 120°C. Doba trvání cyklu je závislá na množství lehkých těkavých látek a vody.

Poté se desorbér zahřívá na teplotu blízkou 400°C za sníženého tlaku. Podtlak je přímo úměrný snížení tepelné energetické náročnosti - čím je vakuum vyšší, tím je vyšší úspora tepelné energie.

Během ohřevu dochází k uvolnění a odvodu plynů a par. Tyto plyny a páry jsou nejdříve filtrovány na tkaninových filtrech tak, aby nedocházelo k úniku pevných částic dále do zařízení. Výsledkem by bylo zanášení následujících částí technologie, ale také vznik prachových emisí.

Odprášené plyny a páry jsou kondenzovány (zkapalněny) v soustavě chladičů, které zajišťují kondenzaci znečišťujících látek.

Vzniklá kapalinová směs stéká do dělicí nádoby, ve které dojde ke hmotnostnímu rozvrstvení na vodu a další kapalné znečišťující látky.

Voda je čerpána na chemickou čistírnu odpadních vod. Zkondenzované polutanty jsou obvykle shromažďovány a následně likvidovány.

Látky, které nejsou kondenzací zachytitelné (vysoce těkavé - benzen, toluen, xylen), musí být zachycovány na jiných koncových zařízeních. Při menších množstvích jsou použitelné filtry s aktivním uhlím, pro větší koncentrace je obvykle nutno vybudovat koncovou spalovnu.

Protože je mezi kontaminujícími látkami často chlor, používají se převážně spalovny termické a ne katalytické, pro které je příkladně chlor katalytickým jedem, který znehodnotí používaný katalyzátor. Dočištěné plyny a páry jsou vypouštěny do atmosféry.

Po ukončení opařování látek ze zeminy, dochází k ukončení procesu čištění a dekontaminovaná zemina je vysypána do chladícího zařízení. Zemina má po průchodu termickou desorpcí prachovou strukturu. Pro usnadnění další manipulace s dekontaminovanou zeminou, je třeba ji zpětně navlhčit. Nejčastěji používanou metodou je přímé sprchování.

Zvlhčená zemina je skládkována na mezideponii, ze které se pro potvrzení úspěšné dekontaminace provádí odběr vzorků.

Následně je již vyčištěná zemina použitelná pro zpětný závoz vyčištěné lokality.
[11][21][20][25]

3.3 Srovnání přímé a nepřímé termické desorpce

V předchozích odstavcích byly podrobněji představeny oba způsoby termické desorpce.

Metody jsou si svým fyzikálně chemickým základem velmi podobné, přesto se liší ve výkonu zařízení, velikosti, použitelnosti a způsobu obsluhy. Při návrhu obou druhů desorpce je třeba mít na paměti vysoké mechanické namáhání zařízení, podtržené rizikem chemické koroze vlivem zpracovávaných látek. [11][12][15][16][17][18][19][20][21][22][25][26]

Přímá termická desorpce

Výhody přímé termické desorpce

- Vyšší dosažitelná teplota zpracovávaného materiálu a tím použitelnost pro výše vroucí látky.

- Vysoká variabilita použití pro znečišťující látky různého charakteru. Jednodušší konstrukce desorbéru, nemusí zvládat podtlak, vysokým teplotám uvnitř odolává díky vyzdívce.
- Pro zajištění kontinuálního provozu stačí příprava zeminy o stejné kapacitě, jako je samotný desorbér, je tedy menší a levnější.
- Vysoká procesní kapacita v rozsahu od 120 do 800 tun denně.
- Vzhledem k otevřenému plamenu uvnitř desorbéru, není problematické zpracování hořlavých látek z pohledu nebezpečí výbuchu hořlavých plynů a par. Po prvotním odvětrání, již za provozu výbuch nehrozí.

Nevýhody přímé termické desorpce

- Jedná se o investičně i provozně velmi nákladné zařízení.
- Jednotky mají velké množství pomocných, podpůrných částí. Zásadní je čištění koncových plynů ze spalování. Obsahují nespálené, případně nově vzniklé polutanty. Systém dočištění spalin je často složitější a nákladnější než samotná část termické desorpce.
- Koncová spalovna musí pojmout celkové množství vzduchu, který prochází jednotkou, musí totiž dopálit veškerý vzduch procházející linkou termické desorpce.
- Posouzení kvality desorpce je až v rámci mezideponie, čili po průchodu celou desorpční linkou. Výsledek úprav provozních parametrů se pozná až po několika hodinách.
- Z toho vyplývá, že pokud je nestejně kontaminovaný materiál, lze tuto jednotku hůře řídit a je často nutné, vrátit již desorbovanou zeminu k dodatečnému zpracování.
- Během desorpce může docházet k oxidaci polutantů a jejich rozkladu na jiné látky.
- Desorbované polutanty jsou zlikvidovány většinou vysokoteplotní oxidací.

Nepřímá termická desorpce

Výhody nepřímé termické desorpce

- Jedná se o menší zařízení, často budované jako mobilní.

- Míru desorpce polutantů lze kvalifikovaně určovat během termického cyklu. Lze použít automatický systém, který bude na základě snímaných hodnot, průběžně upravovat provozní parametry linky, včetně doby setrvání zeminy v desorbéru.
- Jednodušší dočištění plynů a par vznikajících při desorpci.
- Případná koncová spalovna odpovídá svou kapacitou množství odpařených polutantů. Není třeba spalovat žádný balastní procesní vzduch, z předchozích částí desorpce.
- Desorované polutanty mohou být použity ještě jako druhotné palivo, v případě kovů, je lze opětovně využít.
- Možnost provádět desorpci bez přístupu kyslíku, dochází k vyloučení možnosti oxidace polutantů.

Nevýhody nepřímé termické desorpce

- Menší procesní kapacita jednotek, do 150 tun denně. (v současné době, je v České republice postavena jednotka s vyšší kapacitou, 180 tun denně).
- Velmi náchylná na kvalitu připraveného materiálu k desorpci.
- Při zpracovávání hořlavých látek, je třeba mít na paměti nebezpečí výbuchu hořlavých plynů a par. Tomu musí být přizpůsobena konstrukce. Případně je nutno omezit některé zpracováváné polutanty a jednotka se stává méně účelová.
- Není vhodná pro vysoké obsahy aromatických uhlovodíků.
- Konstrukčně a materiálově náročné zařízení, odolávající vysokém teplotnímu namáhání a chemické - mezikrystalické korozi.

3.4 Praktické zkušenosti s provozem

Příklad velmi významné přímé termické desorpce jsem uvedl již v předchozích odstavcích. Sanace prostoru Karoliny v Ostravě proběhly úspěšně. V současné době je revitalizovaný areál Karolína předmětem řady developerských projektů, budova staré elektrárny a elektrocentrály, hostí řady zajímavých kulturních akcí.

Z hlediska sanačních prací nepřímou termickou desorpcí, jsou v České republice v běhu dva významné projekty. Jedná se o dekontaminaci zeminy zasaženou rtutí v areálu Spol-

chemie v Ústí nad Labem. Druhou aplikací je projekt „Nápravná opatření laguny Ostramo“ v Ostravě – Mariánských Horách. Zde se nepřímá termická desorpce používá k likvidaci zátěže způsobené ropnými látkami.[11]

3.4.1 Nepřímá termická desorpce rtuti – Spolchemie Ústí nad Labem

Jednotka byla dodána německou společností Prozess technik a odpovídá běžně používanému německému modelu. Jednotka funguje se dvěma sériově zapojenými rotačními sušiči (desorbéry), pracující s různou úrovní podtlaků a teplot. Sušiče jsou ohřívány teplotním olejem, který je ohříván plynovou pecí. Výstupní teplota teplotního oleje je 340°C. Teplota prvního sušiče se provozně pohybuje kolem 150°C při atmosférickém tlaku. Zde se odstraňují lehké těkavé podíly a voda. Druhý sušič pracuje při teplotě kolem 300°C a tlaku 5kPa abs. Zde dochází k odpaření drobných znečišťujících aromatických látek a zejména rtuti. Odcházející páry jsou filtrovány na tkaninových rukávových filtrech. Přefiltrované plyny a páry jsou následně chlazeny v kondenzátorech, vzniklý kapalný kondenzát je dekantován v dělicích nádržích, kde je rtuť oddělena a zachycena do speciálních přepravních nádrží a odvezena k dalšímu zpracování jako druhotná surovina. Voda s aromáty je čištěna v chemické čistírně vod, kde je dekontaminována a vypouštěna zpět do oběhu.

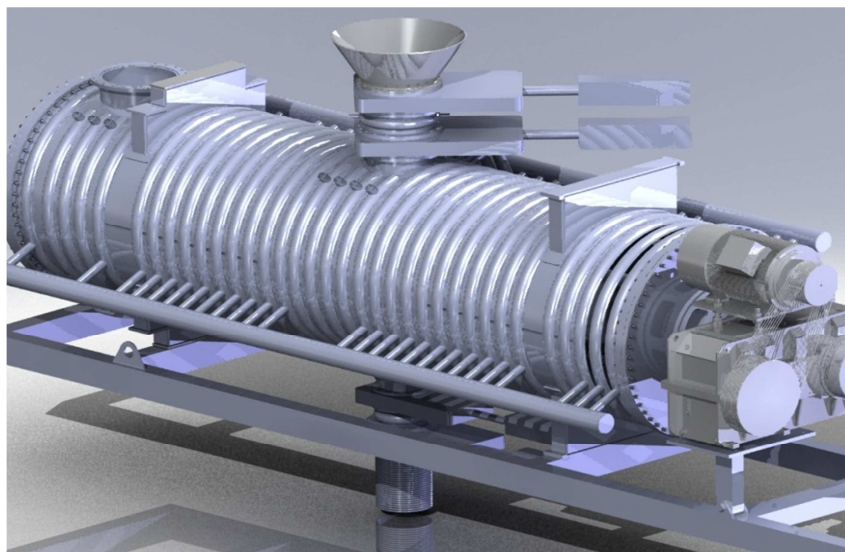
S provozováním jednotky nejsou principiální problémy, setkáváme se zde s výrazným mechanickým opotřebením a teplotním namáháním jednotlivých zařízení. Na této jednotce je vidět, jak je důležité, nepodceňovat žádný detail, při návrhu jednotlivých zařízení. Procesně nejsou s linkou významné problémy, dochází však k mechanickým výpadkům a únavě materiálu, vlivem nedokonalé konstrukce. Zjednodušeně by se přesto dalo konstatovat, že nepřímá termická desorpce je zde použita vhodně a svou účinností splňuje zadání.

Termická desorpce se s úspěchem používá na celém světě, existuje řada firem, které se zabývají komerční, řekněme sériovou výrobou těchto linek. Přesto každý detail má vliv na správný chod technologie a úspěšnost dekontaminace.

3.4.2 Nepřímá termická desorpce ropných látek - NOLO Ostrava

Jednotka byla dodána skupinou českých firem, které použily vlastní konstrukci a vlastní řešení nepřímé termické desorpce. Pro dosažení požadované zpracovatelské kapacity 360 tun denně, jsou v místě dekontaminace instalovány dvě samostatné linky, každá s kapacitou 180 tun denně. Tento výkon patří mezi nejvyšší v Evropě.

Jednotka má na rozdíl od německého modelu, sušiče (desorbéry) instalované paralelně a každý ze sušičů dekontaminuje zeminu v plném rozsahu. Tedy od odstranění vlhkosti až po odstranění uhlovodíků. Sušič je ohříván teplotným olejem o teplotě 400°C, který je zaveden do pultubek, přivařených na plášť. Pro zvýšení výkonu a současně pro inertizaci vnitřního prostoru, je do sušiče zavedena stripovací pára.[20] Sušič je vybaven topnou rotační hřídelí s míchadlem, poháněnou elektromotorem o výkonu 250kW. Z vizualizace je patrné uspořádání sušiče *Obr 5*.



Obr 5: Sušič (desorbér) nepřímé termické desorpce

Požadovaná kapacita je podmíněna projektovaným časem trvání jednoho cyklu 4 hodiny. Provozní teplota zeminy se pohybuje kolem 350°C a tlak je zajišťován soustavou vodo-kružných vývív a při ukončování procesu desorpce je cca 3kPa abs. Odcházející plyny a páry jsou filtrovány na automatických rukávcových filtrech. Čisté plyny a páry kondenzují v soustavě trubkových chladičů. Vzniklá kapalinová směs stéká gravitačně do dělicí nádo-

by, ve které dojde k rozvrstvení na vodu a další ropné kondenzáty. Voda je čerpána na chemickou čistírnu odpadních vod. Ropný kondenzát je shromažďován a odvážen k likvidaci. Výhřevnost tohoto kondenzátu přesahuje 25 MJ/kg, jedná se tedy o výhřevné palivo a je zajímavým alternativním palivem pro spalovny.

Přibližně po 4 hodinách dojde k ukončení procesu a dekontaminovaná zemina je vysypána do chladicí věže, kde je vychlazena pod 80°C. Zemina, která prošla desorpcí, se chová jako prach, tekutý písek. Aby bylo možno dekontaminovanou zeminu skládkovat, je třeba vytvořit větší částice. Proto je zemina následně zvlhčována v rotačním zařízení. Odtud již vychází v podobě kuliček velikosti od 0,5 do 5 cm. Tyto kuličky mají konzistentní tvar a mají vysokou soudržnost a jsou skládkovány na mezideponii, ze které se provádí odběr vzorků, které určí, zda je zemina v souladu s integrovaným povolením a tedy je právně dekontaminována. Již vyčištěná zemina bude použita pro zpětný závoz do vyčištěné lokality. V budoucnu se předpokládá v místě sanací lesopark. Jednotka obsahuje řadu unikátních zařízení, vyvinutých právě pro tuto aplikaci. Zda bude linka úspěšná, ukáže čas.

3.4.3 Navazující legislativa

Každé zařízení, které je navrhováno, podléhá legislativě, platným normám a musí splňovat příslušné bezpečnostní předpisy. Z těchto požadavků vyplývají požadavky na konstrukci a provedení zařízení. Protože se v těchto případech nakládá jednak s nebezpečným odpadem (zákon o odpadech), ale hlavně se zde bavíme o hořlavých látkách, nelze opomenout platnou legislativu. Celé zařízení musí být posuzováno v souladu Evropských direktiv ATEX, u nás přebraných NV 23/2004.

Pokud se v zařízení vyskytují, zpracovávají látky, které patří mezi hořlaviny, musí být provedeno zatřídění a posouzení bezpečnosti z hlediska nebezpečí výbuchu hořlavých plynů a par. Každá z hořlavých látek má stanovenou svou požárně bezpečnostní charakteristiku, ve které jsou stanoveny dolní a horní meze výbušnosti. (v České republice je akreditovanou zkušebnou například Fyzikálně technický zkušební ústav v Radvanicích). Z pohledu bezpečnosti je třeba zajistit koncentraci těchto látek pod dolní mezí, případně nad horní mezí výbušnosti, nebo zajistit udržení přítomnosti kyslíku pod bezpečnou hranicí (obecně pro běžné uhlovodíky 5,5%), nebo zamezit iniciačním zdrojům.



Obr 6: Výbuchový trojúhelník

Těmto podmínkám se říká výbuchový trojúhelník, viz *Obr 6*. Ačkoliv se zemina připravuje, třídí a je vybavena detektory kovů, nelze iniciační zdroje s jistotou odstranit. Proto se musí postupovat ostatními způsoby zajištění bezpečnosti. Diametrálně odlišnou variantou (proti zamezení výbuchu), je možnost navrhnout a konstruovat zařízení odolávající účinkům výbuchu. Odlehčovací zařízení, typu pojistné membrány, ventily jsou v praxi, při této aplikaci konstrukčně nereálné.

Co se týká provozování dekontaminačních jednotek, platí pro ně běžná legislativa, jako pro jakékoliv jiné technologické zařízení. Čili mimo nutnosti vyřízení stavebního povolení, je nutno mít posouzení vlivu na životní prostředí – EIA a vydané Integrované povolení. Ve svém názvu skrývá souhrn legislativních limitů, které je nutno dodržovat pro správný chod technologie. Bylo by přeci nesmyslné, čistit kontaminované lokality za vzniku větších odpadů, než jsou ty likvidované.

3.4.4 Úskalí navrhovaných zařízení

Přestože se vždy před stavbou zařízení takového rozsahu provádějí pilotní testy, nemusí se podařit podchytit všechny aspekty ovlivňující spolehlivost a funkčnost jednotky. Zásadním problémem je neznalost složení kontaminované zeminy. V jednotlivých místech sanované lokality se mohou znečišťující látky diametrálně lišit. Tato různorodost ovlivňuje spolehlivost a výkon jednotek. Je proto nezbytné, věnovat přípravným pracím maximální úsilí, aby se předešlo provozním, případně legislativním problémům.

ZÁVĚR

Snahou této práce bylo představit technické možnosti různých sanačních metod. Následně se podívat na sanace ekologických zátěží z více pohledů než pouze z toho laboratorního a spíše teoretického. Funkčnost jednotlivých metod, je dána jejich podstatou. Komplikace však nastávají až v okamžiku návrhu skutečného, reálného zařízení, které musí splnit řadu legislativních předpisů. A je omezeno konstrukčními a výrobními hranicemi.

První myšlenkou je to, že bychom jako lidstvo, pokud chceme na této planetě přežít, měli být v symbióze s přírodou a ne neustále zkoušet, co vše si můžeme dovolit. Lepší a levnější variantou je problémům předcházet, než je následně složitě odstraňovat.

Druhou skutečností je, že ačkoliv na dekontaminačních metodách pracují nespočetné vědecké týmy, vždy může dle dané lokality a daného znečištění dojít k nepředvídaným dějům. Proto je každá použitelná jednotka vlastně originál, který sice vychází ze základní známé koncepce, ale musí být přizpůsoben konkrétnímu použití v konkrétní lokalitě.

V neposlední řadě je třeba mít na paměti, že sebelepší metoda, s vynikající účinností, může v praxi narazit na reálné technické, konstrukční a legislativní problémy.

Proto je třeba při volbě dekontaminační metody velmi dobře prostudovat dostupné možnosti, nalézt úskalí jednotlivých metod. Mravenčí práce v počátcích příprav, se mnohonásobně vrátí, při návrhu konkrétního zařízení a následně jeho provozování. Často výběr metody dekontaminace ovlivňuje i laická veřejnost, různé hnutí, ale v těchto případech by měla zvítězit profesionalita, odbornost, zkušenosti nad umíněností, případně jinými vlivy.

Nepřímá termická desorpce má své významné místo mezi sanačními metodami. Ve srovnání s přímou termickou desorpcí je více citlivá na odchýlení skutečného materiálu, od předpokládaných, návrhových hodnot. Proti vyšší citlivosti stojí výrazně nižší pořizovací a také provozní náklady. Dnešním trendem je stavět jednotky nepřímé termické desorpce jako mobilní, až kontejnerového typu, kdy by bylo možné, přivést, rychle postavit dekontaminační jednotku, rychle sanovat lokalitu a převést dál. Je otázkou, jestli se tento trend bude rozmáhat, nebo se přejde na jiné sanační metody.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] *U.S. Census Bureau* [online]. 2010-12-20 [cit. 2011-05-14]. Dostupné z WWW: <<http://www.census.gov/ipc/www/worldhis.html>>
- [2] *Population reference bureau* [online]. 2004/5. 2004 [cit. 2011-05-14]. Dostupné z WWW: <http://www.prb.org/pdf/PopHandbook_Eng.pdf>. ISBN 202-483-1100
- [3] *Integrovaný registr znečištění* [online]. MŽP : 2008 [cit. 2011-05-25]. O IRZ. Dostupné z WWW: <http://www.irz.cz/irz/obsah/o-irz.html>
- [4] *Integrovaný registr znečištění* [online]. 2010 [cit. 2011-05-15]. Dostupné z WWW: <<http://www.irz.cz/node/108>>.
- [5] *Statistická ročenka životního prostředí České republiky 2006* [online]. MŽP, CENIA, ČSÚ : [s.n.], 2007 [cit. 2011-05-15]. A.4. Staré ekologické zátěže, s. . Dostupné z WWW: <http://www.mzp.cz/www/dav.nsf/rocenka_06/06_titul.htm>
- [6] *Statistická ročenka životního prostředí České republiky 2009* [online]. MŽP, CENIA, ČSÚ : [s.n.], 2010 [cit. 2011-05-15]. A.4. Staré ekologické zátěže, s. . Dostupné z WWW: <[http://www.cenia.cz/web/www/web-pub2.nsf/\\$pid/CENMSFYXSS4W](http://www.cenia.cz/web/www/web-pub2.nsf/$pid/CENMSFYXSS4W)>.>.
- [7] *CENIA* [online]. CENIA : 2010 [cit. 2011-05-25]. Tiskové zprávy. Dostupné z WWW: <[http://www.cenia.cz/_C125722600533A0B.nsf/\\$pid/mzpmfsfyapuzi](http://www.cenia.cz/_C125722600533A0B.nsf/$pid/mzpmfsfyapuzi)>
- [8] *Ministerstvo životního prostředí* [online]. MŽP : 2010 [cit. 2011-05-24]. Odstraňování starých ekologických zátěží způsobených Sovětskou armádou. Dostupné z WWW: <http://www.mzp.cz/cz/zateze_sovetska_armada>
- [9] *Ministerstvo životního prostředí* [online]. MŽP : 2009 [cit. 2011-05-25]. Lokality po Sovětské armádě na území ČR – pasportizace v roce 2008/2009. Dostupné z WWW: <http://www.mzp.cz/cz/pasportizace_lokalit>
- [10] ČERNÍK, Miroslav, et al. *Chemicky podporované in situ sanační technologie*. 1. Praha : VŠCHT Praha, 2010. 336 s. ISBN 978-80-7080-767-5.
- [11] *Kompendium sanačních technologií*. 1. Chrudim: Vodní zdroje Ekomonitor, spol. s r.o., 2006. 255 s. ISBN 80-86832-15-5.
- [12] S. SUTHERSAN, *Suthan. Remediation Engineering Design Concepts*. Boca Raton : CRC Press LLC, 1999. 280 s. ISBN 0-8493-2168-9.
- [13] BLYTH, F. G. H.; DE FREITAS, M. H. A *Geology for Engineers*. 7. Oxford : Elsevier, 2005. 365 s. ISBN 0-7131-2882-8.

- [14] AECOM [online]. 2006 [cit. 2011-05-25]. Karolina. Dostupné z WWW: <http://www.aecom.com/Where+We+Are/Europe/Countries/Czech+Republic/_projectsList/Karol%C3%ADna>
- [15] *Power Engineering and PEI Magazines* [online]. 1998 [cit. 2011-05-22]. Thermal Desorption Cleans up PCB Sites. Dostupné z WWW: <<http://www.powergenworldwide.com/index/display/articledisplay/44616/articles/power-engineering/volume-102/issue-3/features/thermal-desorption-cleans-up-pcb-sites.html>>
- [16] Vinegar, Harold J. *Thermal desorption cleans up PCB sites.*, Power Engineering, 00325961, Mar98, Sv. 102, Vydání 3
- [17] *Výstavba a provozování termální desorpční jednotky: Oznámení* [online]. Liberec :2010 [cit. 2011-05-28]. Dostupné z WWW: <http://tomcat.cenia.cz/eia/download.jsp?view=eia_cr&id=LBK421&file=oznameniDOC>.
- [18] *Thermal Desorption – A Favorable Treatment Alternatives.* Hazardous Waste Consultant, 1999, Vol. 17 Issue 1, p1.16, 3p
- [19] Vinegar, Harold J.. *Power Engineering*, Mar98, Vol. 102 Issue 3, p43, 3p, 3 Color Photographs, 1 Diagram
- [20] CLIFFORD E. GEORGE, DOUGLAS E. AZWELL, PENELOPE A. ADAMS, GUNDA V. N. RAO, DANIEL E. AVERETT, *Evaluation of steam as a sweep gas in low temperature thermal desorption processes used for contaminated soil clean up*, Waste Management, Volume 15, Issues 5-6, 1995, Pages 407-416, Dostupný také z WWW: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X99800294>>
- [21] VALENTI, Michael. *Cleaning soil without incineration.* Engineering - Mechanical Engineering. 1994, May 1994, s. 50-56. Dostupný také z WWW: <<http://search.proquest.com/docview/230154993?accountid=15518>>.
- [22] WHEATLEY, Andy. Clean and green. *Materials World*. 2005, 10, 13, s. 20-21. Dostupný také z WWW: <<http://search.proquest.com/docview/203557504?accountid=15518>>.
- [23] NAILEN, Richard L. *Cleaning up PCBs won't be easy.* Electrical Apparatus, Mar 2001, 54, 3, 37-41. Dostupný také z WWW: <<http://search.proquest.com/docview/200509920?accountid=15518>>
- [24] CANNING, Kathie. *Technology destroys PCBs*, Pollution Engineering; May 1998; 30, 5; s 11-15 ProQuest Central. Dostupný také z WWW: <<http://search.proquest.com/docview/220984354?accountid=15518>>
- [25] LARSEN, Bruce R. *Remediating MGP brownfields*, Pollution Engineering; May 1997; 29, 5; 66-68, ProQuest Central. Dostupný také z WWW <<http://search.proquest.com/docview/220979422?accountid=15518>>

- [26] HASBACH, Ann. *Chlorinated oxidizer, HCl scrubber expand soil cleanup*, Pollution Engineering; Apr 1997; 29, 4; s 61 ProQuest Central. Dostupný také z WWW <<http://search.proquest.com/docview/220952207?accountid=15518>>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

- PAU Polyaromatické uhlovodíky.
- PCB Polychlorované bifenyly.
- PCDD Polychlorované p-dibenzodioxiny
- TNT Trinitrotoluen
- VOC Těkavé organické látky.

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr 1: Růst populace Země</i>	10
<i>Obr 2: Staré ekologické zátěže [6]</i>	13
<i>Obr 3: Nepřímá termická desorpce „in situ“ [15][16].....</i>	32
<i>Obr 4: Přímá termická desorpce Toulouse, FR [http://www.astecinc.com/index.php]</i>	36
<i>Obr 5: Sušič (desorbér) nepřímé termické desorpce</i>	43
<i>Obr 6: Výbuchový trojúhelník.....</i>	45

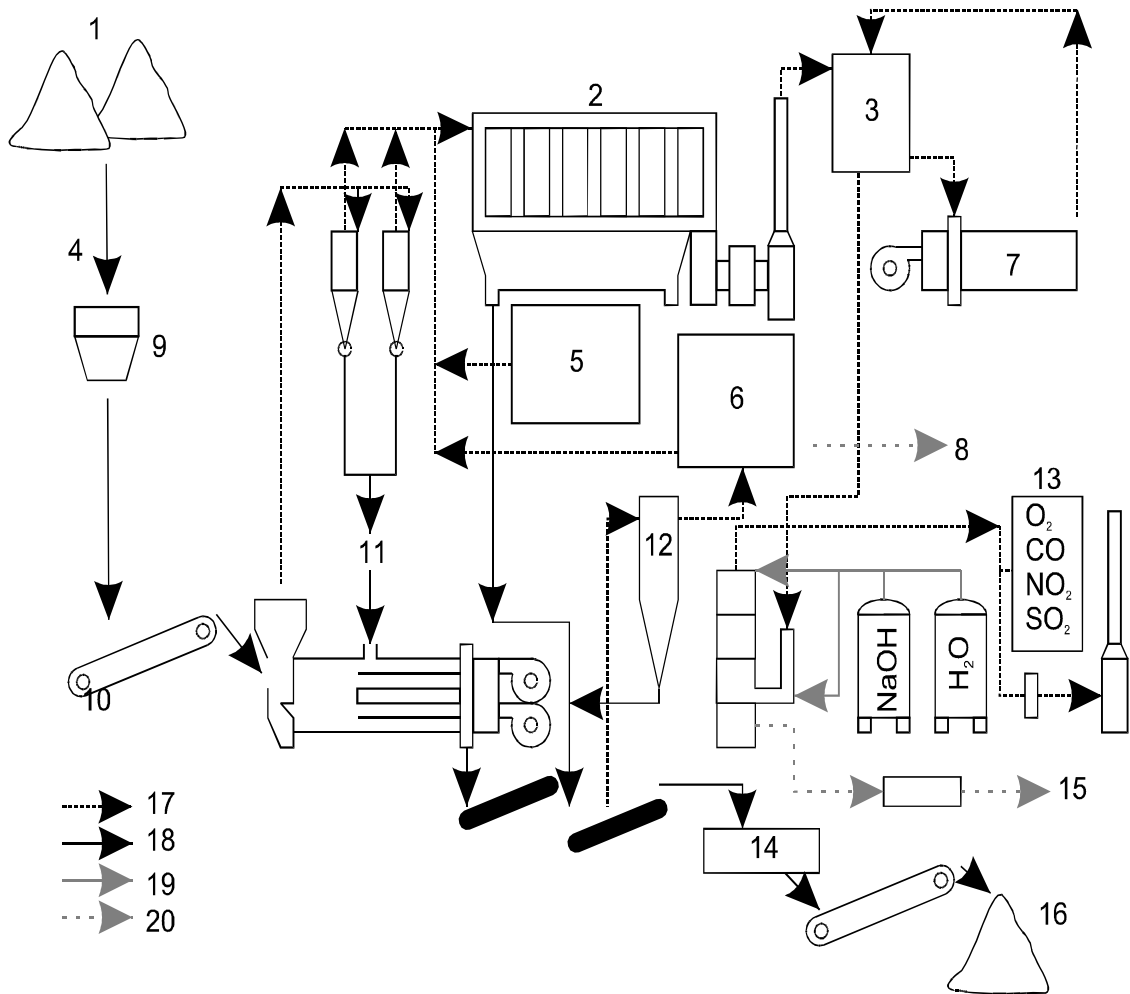
SEZNAM TABULEK

<i>Tab 1: Výskyt ekologických zátěží [5]</i>	13
--	----

SEZNAM PŘÍLOH

P I JEDNOTKA PŘÍMÉ TERMICKÉ DESORPCE

PŘÍLOHA P I: JEDNOTKA PŘÍMÉ TERMICKÉ DESORPCE



Jednotka přímé termické desorpce použitá pro sanace Karolina
(firemní materiál SITA CZ, a.s.)

- | | |
|---------------------------------------|---|
| 1 - kontaminovaná předupravená zemina | 2 - hlavní filtr |
| 3 - výměník tepla | 4 - systém zavážení zeminy |
| 5 - systém dávkování Sorbalitu | 6 - filtr s aktivním uhlím |
| 7 - oxidační komora | 8 - odvoz mimo provoz k likvidaci (využití) |
| 9 - magnetický separátor | 10 - vážní zařízení |
| 11 - rotační desorbér | 12 - mini filtr |
| 13 - monitoring | 14 - chladič zeminy |
| 15 - odvoz mimo provoz k likvidaci | 16 - dekontaminovaná zemina |
| 17 - plynová cesta | 18 - cesta zeminy |
| 19 - roztok | 20 - odpad (vedlejší produkt) |