

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ

KATEDRA GEOENVIRONMENTÁLNÍCH VĚD



**Technologie in situ a ex situ pro odstranění ropných
látek z kontaminovaných zemin**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Vedoucí práce: Ing. Andrea Juanola Freixas

Autor práce: Kristýna Martinková

Rok vydání: 2013

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Katedra geoenvironmentálních věd

Fakulta životního prostředí

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Martinková Kristýna

Aplikovaná ekologie

Název práce

Technologie in situ a ex situ pro odstranění ropných látek z kontaminovaných zemín

Anglický název

In situ and ex situ technologies for decontamination of soil polluted by oil products

Cíle práce

Cílem bakalářské práce je vypracovat literární rešerši shrnující hlavní metody in situ a ex situ pro odstraňování ropného znečištění z kontaminovaných zemín, dále pak v rámci vlastní experimentální části ověřit vybranou biologickou metodu dekontaminace.

Metodika

Studentka na základě literárních zdrojů českých i zahraničních shrne a popíše principy základních i moderních technologií in situ a ex situ pro odstraňování ropného znečištění v kontaminovaných zemínách, uvede jejich výhody a nevýhody včetně ekonomických i ekologických aspektů. Zvláštní pozornost bude věnovat metodám biologickým, na které se zaměří i ve vlastní části BP, kde experimentálně ověří vybranou biologickou metodu a zhodnotí její účinnost a případné použití v praxi. Práce bude rozdělena do těchto částí: 1) Úvod a cíle práce, 2) Ropa a životní prostředí, 3) Technologie in situ (biologické, fyzikální a chemické), 4) Technologie ex situ (biologické, fyzikální, chemické), 5) Vlastní část - metodika, 6) Výsledky, 7) Diskuze, 8) Závěr a doporučení.

Harmonogram zpracování

- V. - VII. 2012 vyhledávání literárních zdrojů
- VIII. - XII. 2012 zpracování literární rešerše
- XI. 2012 zahájení experimentu
- XII. 2012 předložení literární rešerše
- I. 2013 konzultace, oprava literární rešerše, zápočet ZS
- II. 2012 ukončení experimentu
- II. - III. 2013 vyhodnocení výsledků vlastní části
- III. 2013 předložení kompletní BP k finální opravě, konzultace
- IV. 2013 odevzdání BP, zápočet LS

Rozsah textové části

40 stran, jinak dle potřeby

Klíčová slova

ropné látky, dekontaminace, biologická dekontaminace, NEL

Doporučené zdroje informací

- BURKHARD J. et al, 2006: Kompendium sanačních technologií. Ekomonitor. Chrudim.
ČERNÍK M., 2011: Chemicky podporované in situ sanační technologie. VŠCHT. Praha.
HADAČ E., 1987: Ekologické katastrofy. Horizont. Praha.
PAŠEK J., 1996: Uhlíkaté suroviny. VŠCHT. Praha.
CARMODY O., FROST R., XI Y., KOKOT S., 2006: Adsorption of hydrocarbons on organo-clays - Implications for oil spill remediation. Journal of Colloid and Interface Science, Volume 305, Issue 1, pp 17-24.
LESINSKY D., VEVERKA M., 2008: Ecotoxicity of hydrocarbon - Contaminated soil remediated by vermicompost tea. CODIS 2008
NAMKOONG W., HWANG E.-Y., PARK J.-S., CHOI J.-Y., 2002: Bioremediation of diesel-contaminated soil with composting. Environmental Pollution. Volume 119, Issue 1, pp 23-31.
MARQUEZ-ROCHA F., HERNANDEZ-RODRIGUEZ V., LAMELA T., 2000: Biodegradation of diesel oil in soil by a microbial consortium. Water, Air and Soil Pollution, Volume 128, 313-320.
BALBA M.T., AL-AWADHI N., AL-DAHER R., 1998: Bioremediation of oil-contaminated soil: microbiological methods for feasibility assessment and field evaluation. Journal of Microbiological Methods. Volume 32, Issue 2, pp 155-164.

Vedoucí práce

Juanola Freixas Andrea, Ing.

doc. RNDr. Michael Komárek, Ph.D.
Vedoucí katedry



prof. Ing. Petr Sklenář, CSc.
Děkan fakulty

V Praze dne 12.6.2012

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracovala samostatně, pod vedením Ing. Andrey Juanola Freixas. Další informace mi poskytla Ing. Věra Šťastná, PKÚ, s.p., středisko Hodonín. Všechny literární prameny, a to i publikace a informace dostupné na internetu, ze kterých jsem čerpala, jsem uvedla v seznamu literatury.

V Lanškrouně 10. 4. 2013

.....

Martinková

Poděkování:

Ráda bych vyjádřila poděkování Ing. Andrey J. Friexas za cenná doporučení a trpělivost při konzultacích. Rovněž děkuji Ing. Věře Šťastné za věcné připomínky. Stejně tak bych chtěla poděkovat i rodině za vytvoření podmínek pro napsání této práce.

V Lanškrouně 10. 4. 2013

.....

Abstrakt:

Bakalářská práce je zaměřena na technologie používané pro odstraňování ropy z kontaminované zeminy. Podrobněji jsou popsány jednotlivé metody in situ a ex situ, výhody a nevýhody základních i moderních technologií včetně posouzení z ekonomického a ekologického hlediska. Zvláštní pozornost je věnována biologickým postupům. Stručně uvádí přehled lokalit znečištěné ropou v České republice i ve světě. Zabývá se kontaminací vod a zemin.

Součástí práce je experimentální ověření využití vermikultur pro dekontaminaci půd znečištěných ropnými uhlovodíky při sledování poklesu koncentrací NEL. Experiment, v rámci kterého se ověřovalo, probíhal 99 dní. Byla monitorována teplota, vlhkost a sledovány hodnoty pH.

Experimentem byl zaznamenán pokles hodnot koncentrací NEL z původních 1400 g/kg na 950 g/kg vhodnost použití vybrané biologické metody pro odstraňování ropy z půdy.

Klíčová slova: ropné látky, dekontaminace, biologická dekontaminace, NEL

Abstract:

The thesis is focused on the technology used for the removal of oil from contaminated soil. The various methods of in situ and ex situ are described in detail, advantages and disadvantages of both basic and modern technologies, including an assessment of the economic and ecological terms. Particular attention is devoted to biological processes. Brief introduction of places contaminated with oil in the Czech Republic and in the world. It deals with the contamination of water and soil. Part of this work is a scientific research that validates the vermiculture for decontamination of soils contaminated with petroleum hydrocarbons at concentrations decreased monitoring NEL. The experiment took 99 days, temperature, humidity and pH were monitored.

The experiment was a decrease in the concentration value of the original NEL 1400 g/kg to 950 g/kg suitability of selected biological methods for removing oil from the soil.

Key words: petroleum products, decontamination, biological decontamination, NEL

Obsah

| | |
|--|----|
| 1. Úvod..... | 9 |
| 2. Cíle práce | 11 |
| 3. Ropné látky v životním prostředí | 12 |
| 3.1 Kontaminace vody | 14 |
| 3.2 Kontaminace půdy | 17 |
| 3.3 Lokality v ČR | 20 |
| 3.4 Lokality ve světě..... | 25 |
| 4. Technologie sanace kontaminovaného prostředí..... | 28 |
| 4.1 Technologie in situ | 29 |
| 4.1.1 Fyzikální a chemické metody..... | 29 |
| 4.1.1.1 Chemická oxidace | 29 |
| 4.1.1.2 Elektrokinetická dekontaminace | 30 |
| 4.1.1.3 Štěpení..... | 32 |
| 4.1.1.4 Promývání zemin | 32 |
| 4.1.1.5 Venting | 33 |
| 4.1.1.6 Solidifikace | 34 |
| 4.1.1.7 Vitrifikace | 35 |
| 4.1.2 Biologické metody..... | 36 |
| 4.1.2.1 Bioventing | 37 |
| 4.1.2.2 Bioremediace | 38 |
| 4.1.2.3 Fytoremediace..... | 39 |
| 4.2 Technologie ex situ | 39 |
| 4.2.1 Fyzikální a chemické metody..... | 40 |
| 4.2.1.1 Chemická extrakce | 41 |
| 4.2.1.2 Dehalogenace..... | 42 |

| | | |
|---------|---|----|
| 4.2.1.3 | Praní půdy..... | 42 |
| 4.2.1.4 | Fyzikálně mechanická separace..... | 43 |
| 4.2.1.5 | Solidifikace..... | 44 |
| 4.2.1.6 | Termická desorpce..... | 44 |
| 4.2.2 | Biologické metody..... | 45 |
| 4.2.2.1 | Kompostování..... | 45 |
| 4.2.2.2 | Biostabilizace..... | 46 |
| 4.2.2.3 | Landfarming..... | 46 |
| 5. | Ekonomické hodnocení sanačních technologií..... | 48 |
| 6. | Experimentální část..... | 51 |
| 6.1 | Metodika vlastní části..... | 51 |
| 6.2 | Založení experimentu..... | 51 |
| 6.3 | Odběr vzorků..... | 53 |
| 6.4 | Sledování teploty..... | 53 |
| 6.5 | Sledování vlhkosti..... | 54 |
| 6.6 | Stanovení koncentrace NEL..... | 55 |
| 6.7 | Výsledky..... | 55 |
| 6.8 | Závěr a doporučení vlastní části..... | 58 |
| 7. | Diskuse..... | 59 |
| 8. | Závěr..... | 60 |
| 9. | Seznam použitých zkratk:..... | 62 |
| 10. | Literatura a použité zdroje:..... | 63 |
| 11. | Přílohy..... | I |

1. Úvod

Svět se neustále zdokonaluje, robotizuje, automatizuje. Mílovými kroky se žene pomyslně výš a dál. Dnešní uspěchaná doba nahrává lidem, upřednostňujícím jen svoji osobu a své potřeby a zájem o okolí zůstává v pozadí, zřídka se ohlíží na prostředí. Okolím jsou myšleny, nejen vztahy lidí, ale i vztahy k přírodě a s přírodou spjaty.

Člověk je obklopen mikroprostředím, které je bezprostředně nejbližší. O nic méně důležité je makroprostředí, kde vyrůstáme a chceme se cítit dobře.

Nevšímavost, laxnost a mnohdy i lhostejnost lidí vedou k nedozírným následkům, jak finančním, tak přírodním. Katastrofy poznamenávají život flóry a fauny i na desítky let. Budoucí generace poté zůstává ochuzena na dlouhý čas o celou řadu přírodních úkazů. Stává se, že i přes veškeré snahy dojde k obnově prostředí omezeně, někdy vůbec.

Vše je v rukou člověka, jehož neuvážené a zbrklé kroky vedou k znevážení krás a bohatství, které příroda nabízí.

Nebezpečí číhá na každém kroku a všichni víme, že vážné problémy všude ve světě způsobují především látky, které se dostávají do vod a půdy jinými cestami než odpady, a to zejména haváriemi v zařízeních, kde se látky zpracovávají, skladují nebo dopravují. K úniku nebezpečných látek dochází v důsledku vymývání, únikem ze skládek tuhých i ostatních odpadů, rovněž tak atmosférickými srážkami ze znečištěného ovzduší nebo i vodní erozí.

Jedno z nejzávažnějších znečištění způsobují ropné látky. Zvláště nebezpečné je znečištění přímo surovou ropou. Vyskytuje se v ní vysoký obsah aromatických uhlovodíků, které se pokládají za biologicky nejškodlivější.

Patříme mezi státy bez moří a oceánů, takže se nás bezprostředně netýkají obrazy, s kterými se v médiích denně setkáváme, jako jsou havárie tankerů, havárie ropovodů. Likvidace následků takových příhod je velmi náročná a nákladná. S ropnými haváriemi je to jako s mnoha jinými věcmi v životě. Jeden gram prevence má větší cenu než tuna nápravných opatření. K ropným haváriím se přistupuje jako k nečekaným událostem, přestože taková vůbec nejsou. Hlavní a důležitou příčinou havárií a úniků ropných látek je lidský faktor.

Nemusíme chodit za hranice naší vlasti. I u nás najdeme místa, kde je již v nenávratnu život živé i neživé přírody. Po odsunu vojsk sovětské armády zůstala místa, která budou trvat několik desítek let než se odborníkům z ekologie podaří odstranit následky úniku ropy do vody a půdy. Šetrnost vůči biosféře se stává jedním z hlavních kritérií ekonomické i společenské efektivity nových technologií. S použitím jednotlivých technologií v praxi jsem přišla do kontaktu při týdenní exkurzi ve firmě PKÚ v Hodoníně. Tato společnost se zabývá jednak aktivitami, spojenými s těžbou a průzkumem ropy na území České republiky a zároveň se zabývá odstraňováním ropných látek z půdy. Získala jsem zde spoustu cenných informací a zajímavé fotografie z ropných vrtů. Poznala možné postupy a metody sanace půdy, které firma PKÚ využívá. Zde jsem si uvědomila, kolik úsilí a vynaložené snahy, nehledě na výši investovaných finančních prostředků, se musí vynaložit při napravování škod na životním prostředí způsobenou lidskou činností.

Další zajímavostí byla návštěva v Lužici ve firmě pana Ing. Petra Filipa, který se zabývá vermikompostováním. Pro výzkumné šetření mě poskytl biologický materiál, sdělil mi své poznatky a zkušenosti s chovem kalifornských žížal. Výsledky použití živých organismů k dekontaminaci půdy dávají podněty pro další výzkum a bádání.

Ochrana životního prostředí je výzvou pro nás všechny. Země musí být uchována pro společný domov lidí a ostatních organismů. V současné době vstupuje Země do dějin lidstva. Dosud byla místem, co nese historické epochy, kde se odehrávaly války, byla tím, kde se rozvinul život, a musí být místem, kde lidé budou mít svůj domov.

2. Cíle práce

Hlavním cílem práce je:

- vypracovat literární rešerši shrnující hlavní metody in situ a ex situ pro odstraňování ropného znečištění z kontaminovaných zemin.

Dílčím cílem práce je:

- experimentálně ověřit použití vybrané biologické metody pro dekontaminaci půdy.

3. Ropné látky v životním prostředí

Ropa obsahuje tisíce organických sloučenin různé struktury. Naprosto převažující strukturální skupinou jsou uhlovodíky. Další dvě významné strukturální skupiny obsažené v ropě jsou heteroslučeniny a vysokomolekulární sloučeniny (Blažek, 2006).

Dle Blažka (2006) patří uhlovodíky mezi organické sloučeniny, skládající se z uhlíku a vodíku. Dají se rozdělit do několika strukturálních tříd: alkany, cykloalkany a aromáty.

Ropa a ropné látky unikají do životního prostředí zejména při haváriích. K haváriím dochází, jak uvádí Pavlíček (1984) již na místě těžby, kde se ropa odsoluje. Přitom vznikají odpadní vody, obsahující anorganické kaly, soli a uhlovodíky.

Další možné znečištění vzniká při lodní nebo vlakové přepravě. Loděmi se ročně dopravuje kolem 700 mil. tun ropy. Přitom Císař (1987) se zmiňuje, že běžné množství ropy, které se dostává do mořské vody se odhaduje na 5 - 8 mil. tun za rok.

Právě doprava patří mezi nejpočetnější původce havárií, dle statistik se pohybuje kolem 15,1 %, za ně se řadí četností havárie, které vznikají při odstraňování odpadních vod a pevného odpadu, zemědělství, myslivost a související činnosti se pohybují na 3,4 % (MŽP, 2007).

Zdrojem znečištění je i samotný proces výroby a zpracování ropných produktů. Jak uvádí Pavlíček (1984) v rafinériích se z ropy odstraňují mechanické nečistoty, soli a voda, která je přítomna ve formě emulze. Jako odpad v procesu čištění vznikají vodné roztoky solí.

Ropné uhlovodíky kontaminují při úniku zejména zeminu, povrchové a podzemní vody.

Pokud dojde k úniku ropné látky, přichází na řadu volba nejvhodnější sanační technologie. Nejpoužívanějšími metodami úpravy kontaminované půdy bylo dosud bagrování, odstraňování půdy a skládkování (Kovarčák et al., 2000).

Postup při odstranění znečištění závisí na mnoha faktorech. Způsob zásahu nejvíce ovlivňuje (Kovarčák et al., 2000):

- typ kontaminující látky a její vlastnosti,
- hydrogeologické poměry v daném místě,
- plošný rozsah znečištění a jeho hloubkové rozložení,
- technické vybavení,
- efektivnost.

V současné době se k likvidaci látek využívají organismy. Nejznámější je metoda biodegradace. Tato metoda, jak Blažek (2006) uvádí, nachází využití mimo jiné i při dekontaminaci těžko odbouratelných složek odpadů jako jsou chlorované aromatické uhlovodíky a dioxiny.

V této souvislosti je všeobecně uznáváno, že pro správnou přípravu a provedení sanačního projektu je minimálně nutná spolupráce specialistů v oboru hydrogeologie, chemie, mikrobiologie a biochemie (Kubal et al., 2002).

Znečišťující látky, které se dostávají do atmosféry, jsou zpoplatněny dle zákona č.86/2002 Sb., o ochraně ovzduší (tab. č. 1).

Tabulka č. 1: Zpoplatněné znečišťující látky

| Znečišťující látky | Poplatek [Kč/t] |
|-----------------------|-----------------|
| tuhé emise | 3.000,- |
| oxid siřičitý | 1.000,- |
| oxidy dusíku | 800,- |
| oxid uhelnatý | 600,- |
| aromatické uhlovodíky | 20.000,- |

Zdroj: Zákon 86/ 2002 Sb.

Ostatní zpoplatněné látky jsou zařazeny do třech tříd podle nebezpečnosti (tab. č. 2).

Tabulka č. 2: Ostatní zpoplatněné nebezpečné látky – rozdělení do tříd

| Třída nebezpečnosti | Druhy látek |
|---|--|
| I. - zvláště nebezpečné látky nebo jejich sloučeniny | Azbest, benzen, benzo(a)pyren, bifenyl a jeho chlorované deriváty, 2-naftylamin, vinylchlorid, Be, Cd, Hg, Tl |
| II. - nebezpečné sloučeniny nebo prvky jejich sloučenin | Chlor, fosgen, fosfan, sulfan, merkaptany, fenol, pyridin, metanol, chlorované alifatické uhlovodíky, As, Sb, Sn, Cr, Co, Cu, Ni, Pb, Zn, aj. |
| III. - sloučeniny organické | Např. aceton, toluen, xylen, styren, naftalen, olefiny, chlorované aromatické uhlovodíky, kyselina octová nebo anorganické látky, např. amoniak, sloučeniny chloru a další |

Zdroj: zákon 86/2002 Sb.

Kvalita životního prostředí se dotýká všech obyvatel a výrazně ovlivňuje jejich celkovou životní úroveň, proto by ho měli lépe chránit.

3.1 Kontaminace vody

Voda je nejdůležitější látka na Zemi. Je nezbytnou složkou životního prostředí člověka, všech ostatních živočichů i všech rostlin.

Proto je ochrana vod a vodních zdrojů jedním z nejdůležitějších úkolů v oblasti životního prostředí (Eagri, 2011). Znečišťování vody, má mnoho příčin a různou charakteristiku. Povolené množství škodlivých látek pro pitné a povrchové vody uvádějí příslušné normy (ČSN 830611 a ČSN 830602). Část údajů, které platí pro pitnou vodu, vodárenské toky a ostatní povrchové toky, je v tabulce č. 3.

Tabulka č. 3: Nejvyšší přípustné hodnoty pH a nejvyšší množství toxických látek v různých typech vod (mg.l^{-1})

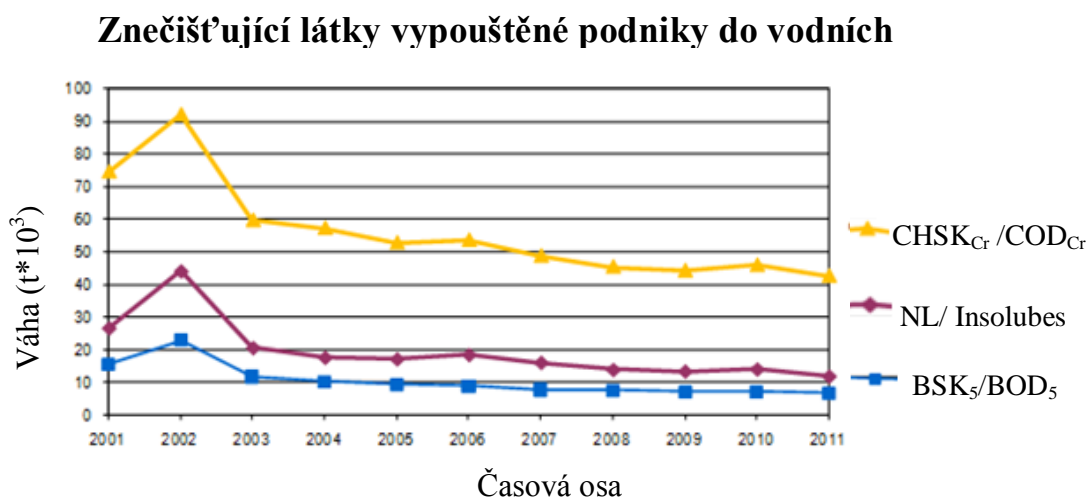
| Ukazatel | Pitná voda | Vodárenské toky | Povrchové vody |
|-------------------|------------|-----------------|----------------|
| pH | 6, 8 - 8 | 6 - 8,5 | 5.9 |
| rozpuštěné látky | 1 000 | 500 | 1 000 |
| NO_3^- | 50 | 15 | 50 |
| Hg^{2+} | 0, 001 | 0, 0001 | 0,005 |
| fenoly | 0, 05 | 0, 05 | 0, 2 |
| ropa a rop. látky | 0, 01 | 0, 01 | 0, 2 |

Zdroj: Císař (1987)

Čistotě vod je potřeba věnovat maximální pozornost a snažit se všemi prostředky zabránit jejich znečištění. Především v průmyslu a zemědělstvím třeba zabránit vhodnou úpravou technologie pronikání různých látek do podzemních vod, protože jejich čištění je potom nákladné.

Díky investicím do nových sanačních technologií se daří látky eliminovat. Pokles znečištění vodních toků je patrný z obrázku č. 1.

Obrázek č. 1 Znečišťující látky vypouštěné podniky do vodních toků



Zdroj: ČSÚ [2012]

Kalač (1998) považuje uhlovodíkové plyny, benzíny, petrolej, motorovou naftu, plynové oleje (lehký, střední, těžký) a ropný asfalt za znečištění vody ropnými látkami. Podle počtu uhlovodíků rozděluje ropné látky do čtyř skupin:

- 1) benziny C_4 až C_{12}
- 2) petrolej C_{12} až C_{18}
- 3) plynové oleje C_{16} až C_{24} více cyklických a aromatických
- 4) mazací oleje C_{24} až C_{40}

Fildán (2012) zmiňuje, že zvláštní pozornost vyžadují havárie. Dle § 40 zákona č. 254/2001 Sb., vodního zákona se za havárie vždy považují případy závažného zhoršení nebo mimořádného ohrožení jakosti povrchových nebo podzemních vod ropnými látkami. Ropné uhlovodíky se mohou vyskytovat ve vodách jako rozpuštěné nebo nerozpuštěné (Ekolube, 2013).

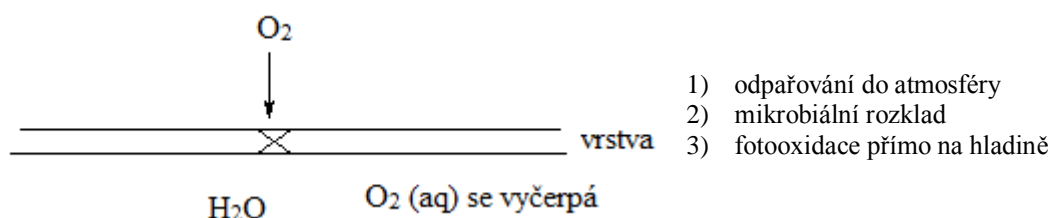
Přítomnost ropných uhlovodíků ve vodách je často patrná podle skvrn nebo olejového filmu na hladině. Tento film se začíná tvořit při koncentraci volných olejů nad 0,1 až 0,2 mg.l⁻¹ (Ekolube, 2013).

Tloušťka olejové vrstvy vytváří vrstvu, tím se zmenšuje přístup kyslíku do vody (obrázek č. 2). Pro představu lze uvést, že 1 kg benzínu znehodnotí 10.000 m³ vody (Ekolube, 2013). Podle Blažka (2006) kontakt živočichů s ropou vede k poškození jejich peří nebo kůže a může způsobit jejich zahubení.

Jak uvádí MZe (2007), bylo Českou inspekcí životního prostředí evidováno v roce 2006 na území ČR 205 případů havarijního znečištění nebo ohrožení jakosti vod, z toho na podzemních vodách 4 případy. Ve srovnání s rokem 2005 je počet havárií na vodách o 59 případů nižší. Nejpočetnější skupinou znečišťujících látek byly ropné látky, z celkového počtu 49,3% evidovaných případů.

Odstraňování následků havárie se řídí havarijním plánem. Při nedodržení nařízených opatření se ukládají pokuty až do výše 500 000 Kč. ČIZP uložila za porušení právních předpisů ve vodním hospodářství v roce 2006 celkem 692 pokut, celková částka pak činila téměř 35,5 mil. Kč (MŽP, 2012).

Obrázek č. 2: Film na povrchu brání absorpci kyslíku



Zdroj: FŽP [2012]

K odstranění ropných látek z vody se používají nástroje a zařízení. Nejčastěji lapoly nebo sběrače (Kacelt, 1987) (v příloze 3). Obě tato zařízení sbírají z nezčeřené hladiny ropné látky všeho druhu (nafta, lehké topné oleje, motorové oleje), které jsou lehčí než voda. Přístroj sebere za den až 900 litrů lehkého oleje nebo 2000 litrů oleje těžkého (Ekona, 2011).

Ochrana vod jako součást životního prostředí řeší celá řada právních předpisů. Z historického hlediska je možné připomenout např. zákon č. 71/1870 čes. z. z. o tom, kterak vodu lze užívat, sváděti a jí se brániti, zákon č. 11/1955 Sb., který poprvé obsahoval samostatnou část nazvanou „Ochrana vod“, zákon o vodách č.138/1973 Sb., který ve stejné pojmenované části poprvé pohovořil o ochranných pásmech (§19). Současná právní úprava se zabývá problematikou ochranných pásem vodních zdrojů (dále jen OP) v § 30 zákona č.254/2001 Sb., v platném znění (dále jen vodní zákon). Dalším významným krokem v legislativě bylo usnesení Vlády České republiky č. 226 ze dne 22. března 2010, kde byl přijat Program na snížení znečištění povrchových vod nebezpečnými a zvláště nebezpečnými látkami na období 2010 –2013. Požadavek, na jehož základě byl tento program zpracován, vyplývá ze směrnice 2006/11/ES a do české legislativy byl transponován § 38 odst. 5 vodního zákona (Zákon č. 254/2001).

Postup při odvádění a čištění odpadních vod s obsahem ropných látek řeší ČSN 75 6551.

Doporučené množství látkového zatížení vod zachycuje tabulka č. 4.

Tabulka č. 4: Doporučené hodnoty znečištění odpadních vod vypouštěných do veřejných kanalizací

| Ukazatel | Doporučené maximum | Jednotka |
|---|--------------------|----------|
| pH | 6 - 8,5 | |
| Ropa a ropné látky | 20 | mg/l |
| Rtuť (Hg) | 0, 005 | mg/l |
| Saponáty celkem | 10 | mg/l |
| Stříbro (Ag) | 0, 1 | mg/l |
| Tuky a oleje rostlinného a živočišného původu | 55 | mg/l |

Zdroj: Eagri [2011]

Ropné látky se mohou vyskytovat jako sedimentující látky (těžká fáze), látky plovoucí na hladině (lehká fáze) a nebo jako látky rozpuštěné (Ekolube, 2013).

3.2 Kontaminace půdy

Půda je vedle vody a ovzduší nezbytnou podmínkou život na Zemi, je základní složkou prostředí živých organismů.

Kalač (1998) zmiňuje, že půda je proměnlivou směsí minerálních a organických látek, vody a oxidu uhličitého. Komplexnější je charakteristika Pelíškova, který uvádí, že půda je přírodní oživený útvar s výraznou dynamikou fyzikálních, chemických, biochemických a mikrobiálních procesů, charakterizovaná zákonitým zvrstvením a produkční schopností (Pelíšek, 1958).

Chemické znečišťování půd patří mezi základní škodliviny půdního prostředí. Ty mohou být, jak uvádí Císař (1987), plynné, kapalné nebo pevné a mohou se přenášet do půd buď přímým zásahem člověka, nebo nepřímo přes hydrosféru nebo atmosféru.

Znečištění půdy má oproti znečištění vody a ovzduší zvláštnost, že není zpozorováno okamžitě, není vnímáno smyslovými orgány, ale projevuje se v mnoha případech skrytě. Počáteční stádia znečištění půdy jsou proto těžko kontrolovatelná.

Podle Kalače (1998) se ropné látky vsakují do půdy několikrát rychleji než voda, nejčastěji rychlostí 0,1 - 0,7 metrů za hodinu, a to nejnaději do písčitých půd.

Zranitelnost půdního prostředí je chápána z pohledu bonity půdy a z pohledu možnosti dalšího šíření kontaminantu prostřednictvím půdního prostředí (Jelínek, 2006).

Posuzovanými vlastnostmi jsou kódy BPEJ, ty jsou dostupné na katastrálních úřadech. Hodnotícím kritériem pro stanovení indexu zranitelnosti půdního prostředí je kód hlavní půdní jednotky. Tento kód je souborem parametrů půdotvorného substrátu, půdního typu a půdního druhu. Pro účely této metodiky jsou půdy rozděleny do pěti kategorií zranitelnosti podle odolnosti půd vůči antropogennímu znečištění (Eagri, 2011).

Prakticky absolutní ochranu, z níž může povolit výjimku pouze vláda, má půda I. a do značné míry i II. bonitní třídy.

Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský eviduje 5% plochy zemědělské půdy s nadlimitním obsahem rizikových látek.

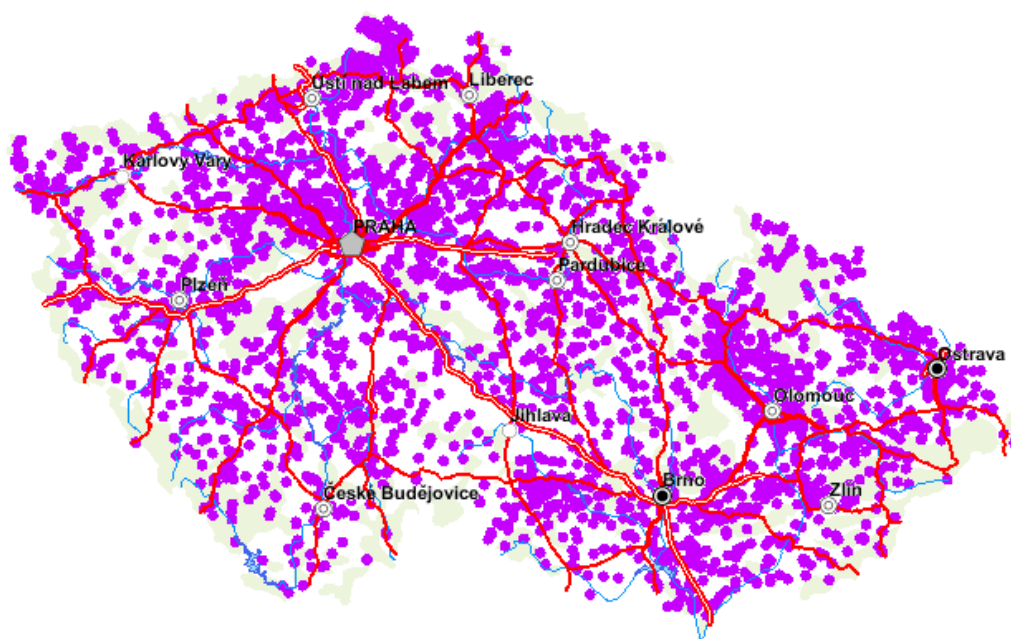
Tabulka č. 5: Stanovení indexu zranitelnosti půdního prostředí

| Kategor. půd | Půd. druh | Půdní typ (HPJ) | Is |
|----------------|-----------|---|----|
| Neodolné | Lehké | 21, 22, 23, 27, 30, 31, 32, 34, 39 | 5 |
| Silně náchylné | Lehké | 04, 05, 17, 24, 25, 26, 28 | 4 |
| | Střední | 29, 33, 35, 38, 40, 41, 48, 50, 51, | |
| | | 52, 55, 58, 62, 64, 65, 67, 68, 75, 76 | |
| Náchylné | Střední | 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 42, 43, 44, | |
| | | 45, 46, 47, 49 | |
| | Těžké | 53, 56, 59, 60, 63, 66, 69, 70, 72, 73, | |
| | | 74 | |
| Slabě náchylné | Střední | 01, 02, 03, 08, 09, 18, 19 | 3 |
| | Těžké | 54, 57, 61 | 2 |
| Odolné | Těžké | 06, 07, 20 | 1 |

Zdroj: MŽP [2002]

V České republice je v rámci databáze SEKM evidováno přibližně 7000 potenciálně kontaminovaných míst, převážně charakteru starých ekologických zátěží (obr. č. 1).

Obrázek č. 3: Mapa s vyznačenými místy kontaminace půdy



Zdroj: SEKM [2009]

Ministerstvo životního prostředí vydalo v únoru 2012 nový metodický pokyn s názvem Indikátory znečištění. Vzhledem ke složitosti odvození toxikologických parametrů pro směs chemických látek, kterou představují ropné uhlovodíky, nejsou v metodickém pokynu hodnoty pro ropné produkty stanoveny (Sanační technologie XV).

Jednoznačným indikátorem znečištění je výskyt volné fáze ropných látek anebo koncentrace směsi ropných látek odpovídající rozpustnosti konkrétního ropného produktu (Sanační technologie XV). V případě posuzování znečištění ropnými látkami je doporučeno sledovat vedle souhrnného parametru (C10-C40) také přítomnost složek ropného znečištění:

- u předpokládaného výskytu znečištění níže vroucími frakcemi uhlovodíků (např. benzíny, letecký petrolej) stanovením koncentrací monocyklických aromatických uhlovodíků benzenu, toluenu, ethylbenzenu a xylenů a také metyl-terc-butyl etheru (MTBE),
- u předpokládaného znečištění výše vroucími frakcemi (oleje) stanovením polycyklických aromatických uhlovodíků (MŽP, 2007).

Zajímavostí je, že není k dispozici žádný evropský předpis o ochraně půdy (Sáňka, 2002).

Norma ISO 10381-5:2005 se používá k identifikaci zdrojů znečištění a vlivu kontaminace zemin.

Obsahuje postupy na sběr informací, které jsou nutné pro hodnocení rizik nebo pro vypracování podkladů pro návrh technologie dekontaminace.

Dostatek půdy bez kontaminantů je nezbytným předpokladem přežití budoucích generací. Půda, ať už obdělávaná nebo neobdělávaná, je součástí přírodních procesů, zajišťuje koloběh vody a živin a umožňuje život ve všech podobách. Chápejme půdu a krajinu jako dědictví, které je nutno předat dalším generacím (Horák et Růžička, 2010).

3.3 Lokality v ČR

Systém evidence kontaminovaných míst (SEKM) je v současnosti poměrně složitý a rozsáhlý databázový systém, určený pro evidenci ekologických zátěží v České republice. Jedná se o jeden z mnoha systémů, které se zabývají sběrem informací o kontaminovaných místech. Kromě lokalit, u nichž je kontaminace důkladně prozkoumaná, obsahuje databáze SEKM i lokality s kontaminací dosud neověřenou.

Databáze poskytuje i další informace, např. geologické informace, informace o způsobu využití lokality a jejího okolí, hydrologické informace, informace o rizicích, informace o provedených nebo plánovaných sanacích (SEKM, 2011).

V tabulce č. 6 je uveden počet kontaminovaných míst v roce 2011.

Tabulka č. 6: Seznam kontaminovaných míst

| Celkový počet kontaminovaných míst | Počet |
|------------------------------------|--------|
| evidovaných lokalit | 4373 |
| evidovaných látek | 287 |
| evidovaných vzorků | 834786 |
| lokality, kde stav není uveden | 2366 |
| lokality, kde stav je ke schválení | 34 |
| lokality, kde stav je schválen | 1959 |
| lokality, kde stav není přijat | 14 |

Zdroj: SEKM [2011]

Evidenci lokalit na úrovni krajů zahrnuje tabulka č. 7.

Tabulka č. 7: Rozdělení lokalit na jednotlivé kraje ČR

| Kraj | Počet lokalit | Procentuálně (%) |
|-----------------|---------------|------------------|
| hl. město Praha | 621 | 3,6 |
| Jihočeský | 912 | 9,8 |
| Jihomoravský | 656 | 7 |
| Karlovarský | 256 | 3 |
| Královéhradecký | 464 | 5 |
| Liberecký | 370 | 4 |
| Moravskoslezský | 673 | 7,5 |
| Olomoucký | 655 | 7 |
| Pardubický | 543 | 6 |
| Plzeňský | 1 200 | 13 |
| Středočeský | 1 353 | 14,7 |
| Ústecký | 796 | 8,6 |
| Vysočina | 588 | 6,5 |
| Zlínský | 350 | 4 |

Zdroj: SEKM [2011]

V příloze č. 2 je přehled havárií s únikem nebezpečných látek v 70. a 80. letech na území ČR.

Kontaminovanými lokalitami mohou být (MŽP, 2012):

- a) bývalé vojenské základny,
- b) území postižená těžbou nerostných surovin,
- c) úniky ropných produktů při jejich dopravě, čerpání a skladování,
- d) průmyslové a zemědělské areály, drobné provozovny,
- e) skládky odpadů a jejich průsaky,
- f) sklady nebezpečných látek.

ad a)

Dodnes probíhají sanační práce na odstranění ekologických zátěží, které zůstaly na 155 lokalitách po odchodu sovětské armády (Bývalé vojenské základny, 2012).

Jednou z těchto lokalit je bývalý vojenský výcvikový prostor Ralsko, který se rozprostíral na ploše 250 km² mezi Českou Lípou, Stráží pod Ralskem a Mnichovým Hradištěm. V oblastech, kde přímo působily vojenské jednotky (asi 25% z celkového území Ralska), se na krajině a přírodě nesmazatelně podepsala bezohlednost sovětské armády vůči životnímu prostředí. Například v prostoru letiště Hradčany bylo na různých složištích skladováno způsobem, který neodpovídal technickým normám, množství pohonných hmot, raketových paliv, olejů a chlorových látek. Důsledkem je silná kontaminace zemin a podzemních vod ropou, těžkými kovy a dalšími životu nebezpečnými látkami (Vojenský výcvikový prostor, 2012).

Ministerstvo životního prostředí jako ústřední orgán státní správy ve věcech životního prostředí je hlavním tvůrcem a odborným garantem v procesu odstraňování starých ekologických zátěží (MŽP, 2012).

ad b)

Podle ústního sdělení Ing. Věry Šťastné (vedoucí oddělení podpory PKÚ, s.p., Hodonín) dne 14. 8. 2012 je jižní Morava spojována s významnými nálezy ropy a zemního plynu.

Z Výroční zprávy z roku 2006, do které jsem měla možnost nahlédnout, jsem vyčetla, že všechny vrty a těžební sondy nebyly dosud z různých důvodů zlikvidovány a dnes tvoří spolu se zbytky těžebních zařízení a kališti tzv. staré ekologické zátěže ohrožující svým technickým stavem životní prostředí a především zdroje pitných vod. Nejvyšším stupněm jsou údajně vrty a sondy v údolní části řeky Moravy.

Doposud existuje téměř dvě stě starých vrtů, které z důvodu významného nebezpečí pro tuto oblast vyžadují radikální řešení. Po zkušenostech z povodní v roce 1997 je převážná většina vrtů vážným ohrožením především zdrojů pitných vod v okresech Hodonín a Břeclav, uvedla Ing. Šťastná (2012).

Některé sondy se nacházejí bezprostředně na březích řek Moravy a Dyje a případná ropná kontaminace by zcela zasáhla vody v řece včetně ohrožení přilehlých území Slovenska a případně i Rakouska (MŽP, 2012).

Sondy na ostatních ložiscích, např. Týnec, Brodské a Lanžhot, jsou staré 25 – 40 let většinou nevyužívané a jen část z nich dotěžuje zbytkové zásoby (Území postižená těžbou nerostných surovin, 2012).

Od r. 1999 bylo s pomocí státních dotací zlikvidováno celkem 17 vrtů a sond a dvě kaliště v oblasti řeky Moravy. Celkové náklady dosáhly téměř 35 mil. Kč, uvádí Výroční zpráva (2006).

Podle Ing. Šťastné (2012), musí být staré ropné sondy včetně zbytků starých těžebních zařízení zlikvidovány spolu s následnou sanací a rekultivací ropou kontaminovaného okolí tak, aby nebyly nebezpečím pro životní prostředí této překrásné části jižní Moravy, která má tak mimořádný přírodní i kulturní význam. Neřešení tohoto problému by v budoucnu mohlo mít katastrofální následky.

ad c)

Nedílným procesem těžby, přepravy a zpracování ropy je její uskladnění. Základním článkem skladovací infrastruktury jsou nádrže. Jejich potřeba vzniká již v místě těžby, kde je potřeba průběžně těženou ropu nashromáždit, odvodnit, zbavit plynných podílů a připravit pro přepravu dálkovody, lodní nebo vlakovou dopravou.

Skladovací nádrže jsou nezbytné i během vlastního procesu přepravy. Jedná se především o přístavní terminály, kde dochází k dočasnému uskladnění před nakládkou ropy na tanker nebo při jeho vyčerpávání. Při každé této činnosti je ohroženo životní prostředí (Petroleum, 2012).

Obrázek č. 4: Nádrže na uskladnění ropy



Zdroj: Petroleum [2012]

ad d)

Dle Císaře (1987) jsou odpady ze zemědělské výroby ve stavu kapalném vážnější než pevný odpad. Problém spatřuje Císař (1987) v úniku kejdy do půdy a podzemní vody, kde se pak nebezpečně zvyšuje koncentrace dusíkatých iontů.

Z hlediska průmyslové výroby stojí za zmínku únik nebezpečných látek kapalných či plyných, požár nebo výbuch při výrobě a skladování chemických látek.

ad e)

Odpady se vyskytují především na skládkách a v průmyslových areálech. Závažný problém z hlediska ochrany životního prostředí představují tzv. reliktní skládky a jejich průsaky (Kafka, 2005).

Císař (1987) klasifikuje pevné odpady za závažný problém, neboť tyto odpady mohou ohrožovat jak atmosféru, tak hydrosféru i pedosféru.

Z hlediska skládkového režimu se rozlišují (Kubal et al., 2002):

- skládky divoké (nepovolené),
- polořízené (místa určená k ukládání povolených odpadů bez zajištění všech potřebných technických a provozních opatření),
- skládky řízené (jedině ty, by měly být povolovány a využívány).

Z hlediska ukládání substrátu se rozlišují (VŠCHT, 2010):

- skládky komunálního odpadu,
- skládky průmyslového odpadu (včetně skládek nebezpečného odpadu),
- sdružené skládky komunálního, průmyslového odpadu a dalších druhů odpadů.

ad f)

Klasifikace nebezpečné chemické látky je vyjádřena ve zkrácené formě písmenným symbolem nebezpečnosti, představujícím nebezpečnou vlastnost, společně s příslušnou R-větou charakterizující rizikovost (VÚBT, 2003).

3.4 Lokality ve světě

Chemikálie se šíří do velkých vzdáleností, což je výsledek jak obchodu se zbožím, tak také pohybu větrů a oceánských proudů. Zvláště náchylné je Norsko, protože větry a proudy dopravují emise na sever a proměňují severní oblasti v zeměpisnou „skládku“ nebezpečných chemikálií z celé severní polokoule (MŽP, 2013).

Celosvětově jsou za nejvíce znečištěná města považována dle internetového serveru Offbeat Enough: Maputo, Brunej, Moskva, Dillí, Bagdád, Mumbai, Mexico City, Dháka, Karáčí, Lagos, ale ropou obzvláště tyto města Brunej, Dháka (Poštolková, 2011).

Všude ve světě je považována ropa za látku, která ve 20. století poháněla neuvěřitelný růst a vývoj lidstva. Na první pohled to sice není vidět, ale ropa je všude kolem nás. Ropa prostupuje našimi životy víc, než bychom si přáli. Závislost na ní je pohodlná, ale nebezpečná zároveň.

Hlavní zdroje ropy leží většinou mimo těžišť průmyslové výroby. Proto se dopravuje buď cisternovými loděmi nebo potrubím, dlouhým někdy i tisíce kilometrů. Až do padesátých let byly cisternové lodě či tankery nevelkých rozměrů, a tak jejich ztroskotání nemohlo příliš ohrozit mořské organismy. Ani množství ropy, které se dostávalo do moře při jejich vymývání, nepřesahovalo zpravidla hranici, kdy by mohlo být zneškodněno přirozenou cestou, tedy bakteriální činností. Znečišťování moří ropou nabývá stále větších rozměrů a místy dostává formu lokálních katastrof (Moldan, 1997). Přehled nejvýznamnějších katastrof v příloze 1.

Požadavek přepravovat stále více ropy a co nejlevněji vznikly na prknech konstruktérů superobří tankery o nosnosti 50 – 300 tis. tun. Podle odborníků uniká dnes a denně z takovýchto tankerů při normálním provozu a při čištění jejich nádrží do moře asi 33. tis. tun ropy ročně a to už je množství, které je zátěží pro mořské organismy (Wichterle, 2008).

Přes všechny vymoženosti moderní techniky dochází stále častěji k haváriím cisternových lodí.

Při takovýchto katastrofách jsou biologicky nejnebezpečnějšími prvky, obsaženými v ropě, aromatické uhlovodíky. Tyto uhlovodíky jsou těkavé a poměrně brzy vyvětrají, ale dojde-li k potopení lodi v blízkosti pobřeží, dostává se ropa ke břehům během několika hodin až dní, kdy je obsah aromatických látek ještě dosti vysoký. Ropný povlak, který se vždy od poškozené lodi vzdaluje, se vlivem větru pohybuje průměrnou rychlostí 20-30 km/h, přičemž bylo dokázáno, že svůj vliv na rychlost má i výskyt lokálních mořských proudů. Znečištění pobřeží bývá patrné až ve vzdálenosti 300 km od místa havárie (Braniš, 1994).

Demek (1978) uvádí, že pro mořské organismy bývá pohroma největší na začátku havárie, dokud je v ropě vysoký obsah rozpustných aromatických uhlovodíků. Ty usmrtí jak larvy, tak i dospělé živočichy. Velmi citlivý jsou na tyto látky korýši, ryby bývají zpravidla odolnější. U obou se však hromadí kancerogenní složky polycyklických aromatických frakcí.

Někteří živočichové mohou z takto zasažené zóny utéci, horší je to s těmi, kteří byli zasaženi nenadále, nebo kteří jsou nepohybliví, jako například ústfice. Poměrně nejlépe bývá živočichům a chaluham na skaliskách, zmiňuje Demek (1978).

Žalostný pohled je však na vodní ptactvo. Ropný povlak zbavuje jejich peří tuku a to vede k jejich utonutí, nebo jsou zbaveni tepelné izolace a při nižších teplotách zmrznou. Mnozí z nich se přímo otráví ropou. Úhyn ptactva při takovýchto haváriích bývá velký. K dalšímu úhynu dochází později vlivem otravy z kontaminovaných ryb (Chang, 2013).

Ropa také uniká do moře už při samotných těžebních pracích. Havárie vrtných zařízení nejsou vzácné. Věže bývají vystaveny silným bouřím, neznáma dochází i k výbuchu. Při takovýchto katastrofách bývá narušeno těžní potrubí a každou hodinu proudí do vody průměrně 150 tun ropy a plynu (Reichholf, 1999).

Za všechny gigantické pohromy ve světě se zmíním o jedné z největších katastrof v historii Spojených států. Došlo k ní v Mexickém zálivu 22. dubna 2010. V důsledku exploze se plovoucí vrtná plošina potopila a ze špatně uzavřeného vrtu uteklo během tří měsíců 800 milionů litrů ropy. Její únik zasáhl pět amerických států a zcela narušil ekosystém v Mexickém zálivu - zahynuly stovky druhů mořských živočichů. Ovlivněn byl také život místních rybářů, chovatelů ústřic a lidí pracujících v turistickém ruchu (Stream, 2012).

Obrázek č. 5: Požáry na těžebních plošinách



Zdroj: National Geographic [2011]

Předpisy EU pro oblast životního prostředí se vyvíjely několik desítek let. V současnosti jsou jedněmi z nejpřísnějších na světě. Hlavními prioritami jsou: ochrana ohrožených druhů a přírodních stanovišť a efektivnější využívání přírodních zdrojů. V obou případech jde o cíle, jejichž plnění podporuje inovace a podnikání a pomáhá ekonomice (Evropská unie, 2013).

4. Technologie sanace kontaminovaného prostředí

Odstraňování ropných látek z půdy, horninového prostředí a podzemní vody začíná průzkumovými pracemi přes zajištění sanačních technologií až po postsanační monitoring a závěrečné vyhodnocení dle vyhlášky č. 17 / 2009 Sb., o zjišťování a nápravě ekologické újmy na půdě (Vyhláška č. 17/2009 Sb.). Zásadní je etapový přístup, který by měl být při správném provedení sanačních technologií dodržen (Kubal et al., 2002).

Agentura U. S. EPA zabývající se ochranou životního prostředí, stanovila takových časových etap šest (tab. č. 8) (U. S. EPA, 1991):

Tabulka č. 8: Časové etapy

| Etapa | Činnost |
|-------|--|
| I. | Průzkum lokality, na jehož základě je deklarována potřeba sanovat, jsou stanoveny podmínky sanace a definován sanační limit. Příprava sanačního projektu, vyhloubení sanačních vrtů a instalace odpovídajícího technologického zařízení. |
| II. | Vlastní sanace, v jejímž průběhu koncentrace kontaminantu v čištěném prostoru postupně klesá. |
| III. | Při snížení úrovně kontaminace pod požadovanou mez a udržení této úrovně po dostatečně dlouhou dobu je na základě expertního posouzení ukončeno vlastní čerpání. |
| IV. | posanační monitorování úrovně kontaminace v podzemní vodě a zjištění okamžiku ustavení nové rovnováhy v čištěném prostoru |
| V | Dlouhodobé monitorování potvrzující trvalé snížení kontaminace pod požadovanou mez. Pokud trvalé snížení není dosaženo, může být provedeno přehodnocení cíle sanace. |
| VI. | Závěrečné prohlášení o vyčištění lokality. |

Zdroj: U. S. EPA [1991]

Kubal et al. (2002) uvádí, že jednou z možností třídění dekontaminačních technologií je:

- podle místa realizace,
- podle dekontaminovaného media,
- podle používané strategie,
- podle účinnosti a míry používání.

Sanační postupy u dekontaminace zemin lze rozlišovat podle místa realizace (Kubal et al., 2002) na sanace a) ex - situ, které se dále dělí na provedení on – site a off – site a sanace b) in – situ.

4.1 Technologie in situ

Čištění půd je možné provést mnoha způsoby, které lze rozdělit podle jejich podstaty do tří základních skupin: fyzikální, chemické a biologické postupy (Kubal et al., 2002).

Téměř nikdy nestačí k vyčištění jen jeden způsob či způsoby z jedné skupiny, nýbrž je jich třeba kombinovat více k dosažení žádaného efektu. Vlivem velké rozmanitosti složení půd, nelze udat jednotný předpis pro sestavu čištění. Je nezbytné řešit čištění případ od případu, vždy s přihlédnutím ke specifitě každého odvětví (Černík, 2010).

4.1.1 Fyzikální a chemické metody

Fyzikálně chemické metody sanace mají nezastupitelnou roli při sanacích kontaminovaných lokalit a v některých případech jsou jediným řešením pro odstranění kontaminované látky.

Při čištění půd fyzikálními metodami nedochází k přeměně látek přítomných v půdě, jsou z ní odstraňovány v podstatě mechanickými způsoby. K mechanickému předčišťování slouží odlučovače ropných látek, lapače (Kacelt, 1987).

Dle Kollerta (1984) jsou chemickými metodami z půd odstraňovány rozpuštěné látky přidáváním vhodných chemických činidel nebo využitím zákonitostí fyzikální chemie. Jedná se především o solidifikaci nebo chemickou oxidaci.

4.1.1.1 Chemická oxidace

Beneš (2011) definuje chemickou oxidaci jako proces, který je založený na zasakování vhodně zvoleného oxidačního činidla do horninového prostředí, kde dochází k destrukci přítomných kontaminantů na produkty neškodné k životnímu prostředí.

Chemickou oxidaci nazývá Černík (2010) procesem, při kterém chemicky oxiduje kontaminant a jehož okysličováním vznikají netoxické nebo méně toxické produkty.

Podle Hendrycha (2011) je to technologie, která přináší řadu výhod v porovnání s dalšími sanačními technologiemi, zejména menší časovou náročnost a s tím spojenou úsporu provozních nákladů.

Metoda má však i své nevýhody. Její aplikace působí toxicky na mikroorganismy a vede k jejich téměř úplnému odstranění z ošetřované matrice. Další nevýhodou je vysoké riziko z hlediska ochrany lidského zdraví nebo bezpečnosti práce (Geo – Praha, 2004).

4.1.1.2 Elektrokinetická dekontaminace

Elektrokinetická dekontaminace, variabilně nazývaná také elektrokinetická remediace, elektroregenerace, elektrokinetický půdní proces nebo elektrochemická dekontaminace, je jedna z nejslibnějších sanačních metod. Nabízí vysokou účinnost a časově efektivní dekontaminaci málo propustných půd. Proces využívá elektrického proudu k odstraňování radionuklidů, těžkých kovů, různých organických sloučenin nebo směsných anorganických látek a organických odpadů z půd a kalů (Acar, 1995, Virkutyte, 2002, Ferri et al., 2009).

Výhodami této metody jsou (Virkutyte, 2002):

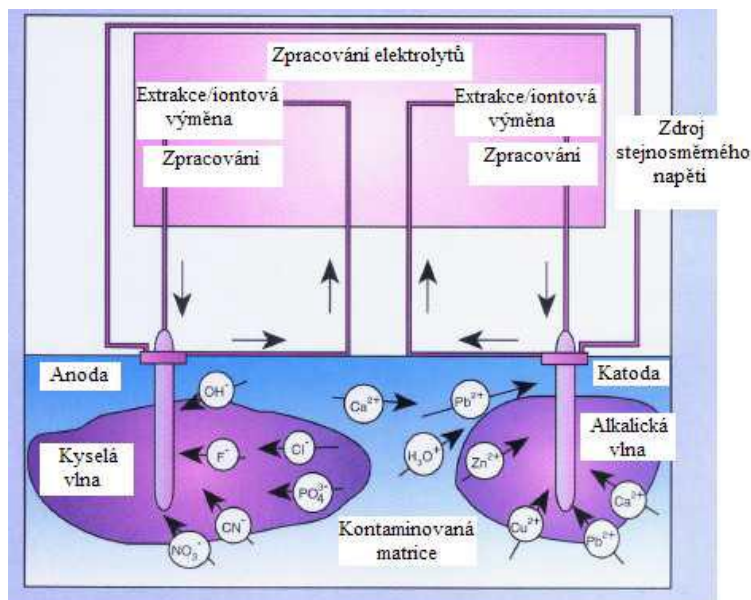
- žádné speciální požadavky na místo, protože ke zpracování půdy dochází pouze mezi elektrodami,
- zpracování kontaminované půdy bez nutnosti vytěžení zeminy,
- nejefektivnější v dekontaminaci jílu, vzhledem k jeho negativnímu povrchovému náboji a v půdách s nízkou hydraulickou vodivostí,
- potenciální účinnost v půdě saturované i nesaturované,
- odstranění organických i anorganických kontaminantů,
- schopnost odstranit kontaminanty z heterogenních přírodních usazenin.

Navzdory všem výhodám, má tato technika nějaká omezení (Virkyute, 2002, Matějů, 2010):

- rozpustnost kontaminantu je vysoce závislá na podmínkách pH půdy,
- pokud je do půdy vkládáno vyšší napětí, účinnost procesu se snižuje v důsledku zvyšování teploty,
- v praxi je většina elektrické energie přivedené do kontaminované půdy spotřebována na ohřev matrice a na transport nezávadných látek,
- účinnost odstranění se výrazně snižuje, když půda obsahuje uhličitany, hematity, jakož i velké kameny či štěrky,
- při instalaci technologie musí být respektovány bezpečnostní předpisy platné pro práci se zařízením pod elektrickým napětím, kde povolené limity mohou komplikovat dosažení potřebných hmotnostních toků.

Kubal et al. (2002) uvádí, že elektrokinetická dekontaminace je metoda založená na průchodu stejnosměrného elektrického proudu daným kontaminovaným prostředím. Schéma tohoto uspořádání je zobrazeno na obr. č. 1 (Acar , 1995).

Obrázek č. 6: Schéma uspořádání elektrokinetické dekontaminace



Zdroj: ACAR Y. B. et ALSHAWABKEH A. N., [1993]

4.1.1.3 Štěpení

Jednou z dalších metod, je proces štěpení. Jak uvádí Kvapil (2006), procesem štěpení dochází k rozkladu kontaminantů pomocí uměle vytvořených puklin, které by měly usnadnit odčerpávání kontaminantů, a jednak by měly usnadnit injektáž reaktivních látek.

V současnosti jsou dostupné tři způsoby štěpení. Jedním z nich je hydraulické štěpení, při kterém se jako štěpicí kapalina používá voda. Pneumatické štěpení představuje proces, při kterém je ke štěpení používán vzduch. Poslední způsobem je štěpení trhavinou a je tzv. torpedace (Newslab, 2013).

Tato metoda nese celou řadu výhod. Jednou a dosti závažnou je vysoká účinnost sanačního zásahu. Zanedbatelná není ani rychlost, zmiňuje Kvapil (2006).

Je však třeba zmínit i nedostatky této metody. V první řadě se jedná o obrovskou spotřebu energie a surovin: vody, chemikálií, pohonných směsí. Nárůst dopravní zátěže na území čištění a v okolí. Nelze vynechat technickou náročnost a finanční nákladnost (Newslab, 2013).

Kvapil (2006) navíc upozorňuje na rizika pro ekosystémy i člověka, která obnáší tato metoda a na možný únik jedovatých látek při případné havárii nákladních aut s odpadovou vodou z čištění.

4.1.1.4 Promývání zemin

Z hlediska sanace kontaminovaného horninového prostředí je možné využít jednoduché, přitom pohotové a levné metody, založené na zapravení vymývacího roztoku do ohniska znečištění. Jedná se o metodu vymývání půdy, přičemž se jako extrakční činidlo dá použít voda s obsahem chemické látky (Horák, 1996).

Kyčl (2006) uvádí, že se vysoké účinnosti vymytí půdy kontaminované surovou ropou dá dosáhnout roztokem biosurfaktantu .

V tom se shoduje i Polenková (2005), která definuje vymývání půdy jako proces, při kterém se aplikuje roztok povrchově aktivních látek, kyselin, zásad, alkoholů nebo jiných rozpouštědel s cílem rozpustit nebo změnit povrchové vlastnosti molekul polutantů a narušit jejich vazby s pevnými částicemi matrice.

Přitom výběr chemického činidla musí být pečlivě zvažován, neboť při nesprávné volbě může docházet k další kontaminaci a dále ke zhoršení některých důležitých parametrů zeminy (Kycil, 2006). Tato metoda má velkou nevýhodu hlavně ve spolehlivosti a v tom, že promývací roztok je dosud ve vývoji.

4.1.1.5 Venting

Jako jedna z nejčastěji používaných metod v ČR je venting (obr. č. 7). Hocke (2006) uvádí, že se jedná o účinnou a rychlou metodu, použitelnou pro odstraňování všech těkavých organických látek z nenasycené zóny. Jedná se o proces, jehož podstatou je odsávání vzduchu z kontaminované zeminy nebo horninového materiálu, uvádí Hocke (2006).

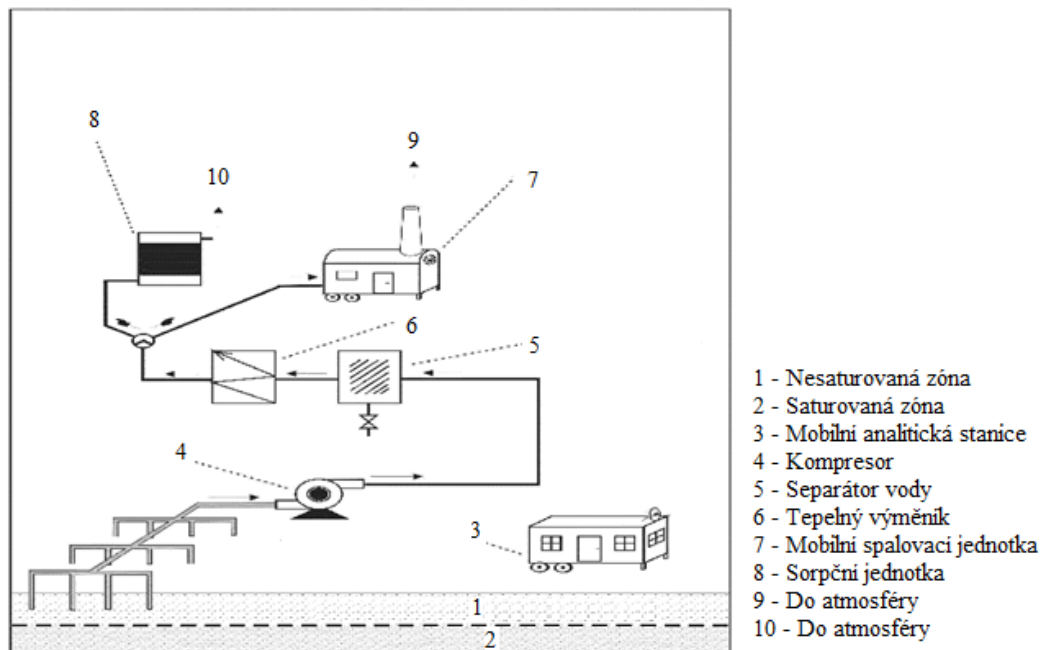
Sanace ventingem může být provedena způsobem in situ nebo ex situ. Základní výhodou oproti ex-situ uspořádání je možnost sanace bez finančně náročného vytěžení a transportu kontaminovaného materiálu. Základní nevýhodou ve srovnání s ex-situ uspořádáním je podstatně horší možnost kontroly celého procesu a praktické vyloučení případné přepravy kontaminovaného materiálu (Kubal et al., 2002).

Výhody této metody spatřuje Burkhard (2001) v tom, že souběžně s ventingem často probíhá indukovaná biodegradace a bioventing.

Použití metody závisí na charakteristikách zeminy a na charakteristikách kontaminantu. Omezení použití je zejména na zeminách s vysoce proměnlivou propustností, zeminách s vysokým obsahem organického podílu a na nepropustné zemině nebo zemině s vysokým obsahem vlhkosti (uvádí se nad 50%) upřesňuje Březina (2001).

Podle Hockeho (2006) se účinnost metody zvýší za předpokladu, že dojde ke snížení hladiny podzemní vody a při zahřívání vtláčovaného vzduchu, většímu účinku napomáhá i zvyšování teploty nenasycené zóny.

Obrázek č. 7: Technika ventingu v uspořádání in situ



Zdroj: Hocke [2006]

4.1.1.6 Solidifikace

Růžička (2006) považuje solidifikaci za proces, který spočívá ve stabilizaci odpadů vhodnými přísadami, které sniží možnost vyluhování nebezpečných prvků a sloučenin z odpadu do životního prostředí.

Proces probíhá v rotorové míchačce s přesně dávkovaným množstvím odpadu, stabilizačních činidel, vody a ostatních materiálů dle individuálních receptur.

Výsledný produkt úpravy je znovu upravován či odvezen ke konečnému využití nebo odstranění, napsal Slavík (2010), který dále uvedl, že dosud není rozhodnuto o možném využití zpracovávaného odpadu v budoucnu. Přitom solidifikačním činidlem může být cement, vápno, popílek, bentonit.

Proces představuje novou a ekonomicky výhodnou metodu, použitelnou pro kontaminované zeminy, kalové laguny, kontaminované sedimenty (Matic, 2006). Před vlastním procesem je nutná úprava odpadu, hlavně v převedení nebezpečných složek do nerozpustné formy, ale i odstranění vlhkosti a těkavých rozpouštědel (Kubal et al., 2002).

4.1.1.7 Vitřifikace

Jednou z metod fixace toxických odpadů je vitřifikace. Podstatou vitřifikace je zabudování kontaminovaných zemin do struktury skla tavením při vysokých teplotách, Matějů (2006) uvádí, že by se teplota měla pohybovat od 1 600°C až 2 000°C. Tavení probíhá pod ocelovým přiklopem, ze kterého musí být odtahovány vznikající plyny, čímž se zamezí šíření odpadu do okolního prostředí, zmiňuje Matějů (2006). Schéma technologického uspořádaní vitřifikace znázorňuje obr. č. 7.

Exnar (2001) shledává vitřifikaci jako klasickou sklářskou technologii, při které se používají běžné sklářské pece s pracovní teplotou mezi 1000 až 1600 °C. Pouze ve speciálních případech (například při fixaci radioaktivních odpadů) je nutné použít speciálních elektrických tavicích agregátů.

Tato metoda je vhodná pro likvidaci popílků ze spaloven nebezpečných odpadů a pro odpady s obsahem sklovitých sloučenin, např. oxid křemičitý, hlinitý, fosforečný, boritý (Kubal et al., 2002).

Matějů (2006) spatřuje výhody v možnostech úspěšné:

- likvidace toxických a zvláště nebezpečných odpadů,
- vynikající chemické odolnosti vitřifikace skla,
- objemové koncentraci (popílek o hustotě 0,3 až 0,6 g.cm⁻³ je zpracován na sklo o hustotě 2,4 až 2,5 g.cm⁻³),
- univerzálnosti použití metody (látky schopné skelné vazby jsou součástí geosféry).

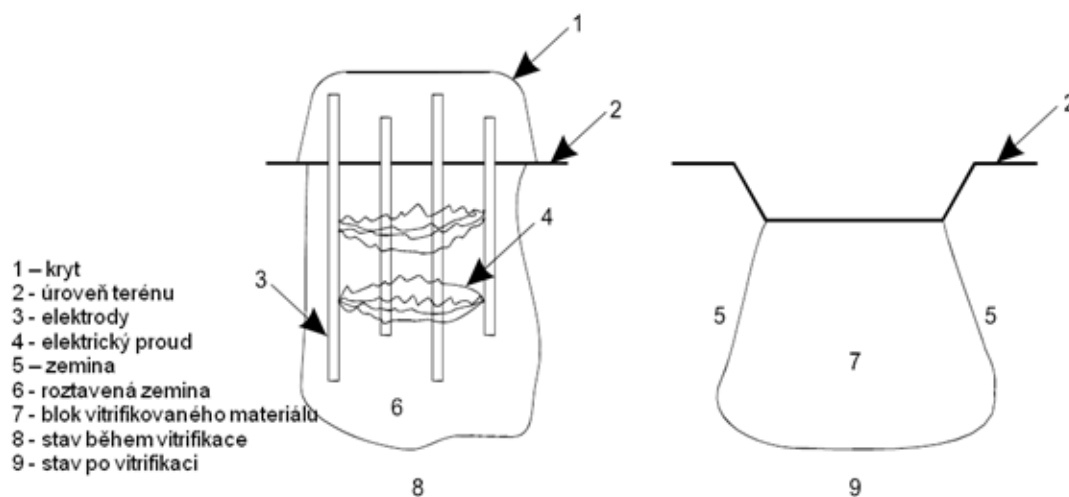
Technologie je klasifikována jako nezávadná vůči dalšímu znečišťování prostředí (Národní centrum, 2003).

Kladně se dá ohodnotit i z důvodu využití odpadů, zejména při tvorbě skla.

Tak jako každá metoda, tak i vitrifikace má svoji negativní stránku. Je to především (VŠCHT, 2013):

- ekonomická náročnost (klesá s růstem denní produkce nitrifikovaného odpadu v přepočtu na 1 tunu zpracovaného odpadu),
- prozatímní nevyužití vzniklého nitrifikovaného skla,
- chybí hodnocení přepracovaného odpadu z hlediska legislativy,
- nutnost vybudování jistých „sklářských“ nákladů pro provozování této technologie zejména po lidské stránce v místech, kde není sklářský průmysl.

Obrázek č. 8: Schéma technologického uspořádání vitrifikace



Zdroj: Matějů [2006]

4.1.2 Biologické metody

Biologické metody sanace in situ nenasycené zóny využívají degradační či transformační aktivity přirozených či vnesených mikroorganismů. Mezi základní výhody biologických metod je to, že polutanty jsou rozloženy na neškodné látky, takže není nutnost dalších nákladů na odstranění vydělených polutantů. Dalšími výhodami jsou relativně nízké náklady, možnost kombinovat několik sanačních technologií a využívat procesy uskutečňující se v horninovém prostředí (Matějů, 2006).

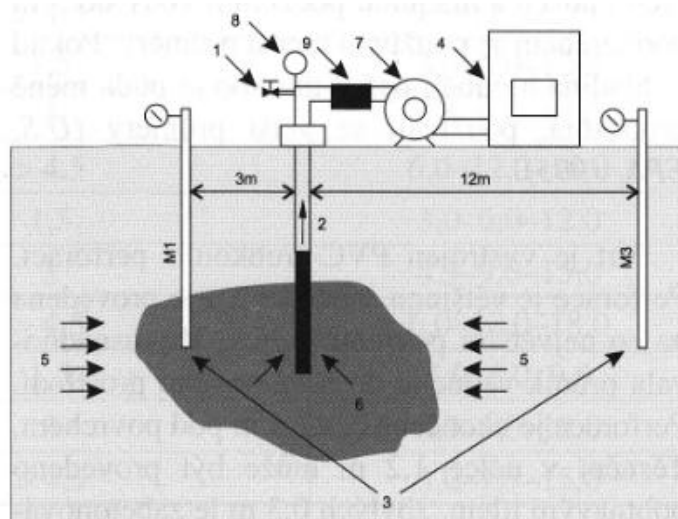
Jak uvádí Matějů (2006), základní podmínkou pro využití biologických sanačních metod je přítomný polutant, který je biologicky rozložitelný, ve zkoumaném prostředí nesmějí působit inhibiční faktory, které by biologický proces znemožňovaly.

Biologické pochody se rozdělují na aerobní, které probíhají za přítomnosti kyslíku, a anaerobní, kterých se kyslík nezúčastňuje. Pro sanační účely se ve větší míře využívají aerobní pochody, protože jsou rychlejší než anaerobní (Matějů, 2006).

4.1.2.1 Bioventing

Jak uvádí Miosgová (2006) a Matějů (2006), bioventing se používá pro obohacení nesaturované zóny kyslíkem, pomocí ventilových vrtů (obr. č. 9), s následným procesem biodegradace kontaminantu mikroorganismy.

Obrázek č. 9: Základní schéma uspořádání bioventingu



1 – vzorkovací místo odtažovaných par, 2 – ventovací vrt, 3 – monitorovací vrt, 4 – zařízení na čištění par, 5 – směr proudění par, 6 – kontaminovaná půda, 7 – vývěva, 8 – tlakoměr, 9 – měření průtoku par

Zdroj: Matějů [2006]

Matějů (2006) zmiňuje, proto aby mohl být bioventing úspěšně aplikován musí být splněny dvě základní podmínky. Vzduch musí procházet nesaturovanou zónou dostatečnou rychlostí, aby v prostředí zajistil aerobní podmínky, a v ošetřované oblasti musí být přítomny mikroorganismy schopné odbourávat přítomnou znečišťující látku. U vzduchu, který odchází z vrtů, je třeba zjistit míru koncentrace znečišťující látky a rozhodnout, zda by se neměl před vypuštěním do atmosféry ošetřovat.

Jak uvádí Matějů (2006) u bioventingu může být doba sanace proměnlivá v rozmezí pěti měsíců až několika let. Rychlost závisí na druhu kontaminace, stupni zvětrávání, počáteční koncentraci, biologické rozložitelnosti a množství dalších faktorů.

4.1.2.2 Bioremediace

Podle Matějů (2006) princip bioremediace spočívá v tom, že aktivita původních mikroorganismů se stimuluje například zapouštěním roztoku živin s aktivními látkami působícími na povrchu půdy nebo zapouštěním roztoků do kontaminované zóny. Bio-chem (2013) zmiňuje, že mikroorganismy při styku s kontaminovanou půdou produkují enzymy, které přeměňují znečišťující látku. Matějů (2006) uvádí, jestliže budou mikroorganismy vykazovat nízkou biodegradační aktivitu, tak se do ošetřované půdy vpraví kmeny s vysokou degradační aktivitou. Výsledkem této metody je zvýšená rychlost a účinnost biologického rozkladu organických polutantů a zafixování anorganických polutantů.

Výhody (Bio-chem, 2013):

- bezpečnost pracovníka,
- nevyžaduje vysoký počáteční kapitál,
- proces je samočinně regulovaný.

Nevýhody (Matějů, 2006):

- nevhodný pro jílové a ostatní málo propustné horniny,
- nízké teploty mohou snižovat biodegradační rychlost a tím prodlužovat dobu sanace,
- zapouštění roztoků může mobilizovat polutant, a v případě, že by docházelo ke kontaminaci podzemní vody, je třeba uvažovat o alternativních metodách sanace.

Matějů (2006) uvádí, že potřebná délka času na čištění je velmi rozdílná a z praktických zkušeností lze její rozmezí odhadnout na šest měsíců až pět let a závisí na mnoha faktorech, například: koncentračně stanovené sanační limity, celkový objem ošetřované nenasycené zóny, dosažitelná biodegradační rychlost.

4.1.2.3 Fytoremediace

Fytoremediace je metoda využívající nejrůznějších druhů rostlin k degradaci, extrakci či imobilizaci látek kontaminujících půdu či vodu (Macek et al., 2006). Jak uvádí Otradovcová (2012) fytoremediace může být použita jako doplňující metoda ke klasickým způsobům odstranění kontaminantů pomocí těžké techniky.

Macek et al. (2006) uvádí, že fytoremediace je použitelná pro odstraňování organických i anorganických sloučenin. Vhodnou rostlinou fytoremediace je takový druh, který nejen toleruje a akumuluje vysoké koncentrace kovů či organických polutantů, ale současně má významný růst, díky kterému produkuje více biomasy, kterou lze dále využívat – energetické nebo technologické plodiny.

Výhody (Jandeková, 2006):

- nízké energetické náklady,
- nedochází k poškození životního prostředí,
- nízké náklady na průběh metody.

Nevýhody (Macek et al., 2006):

- protože je pomalejší než běžné fyzikálně chemické metody, nelze ji využít tam, kde je třeba dosáhnout limitů sanace za krátkou dobu,
- přílišná koncentrace polutantů zabraňuje růstu rostlin, toxicita polutantů nesmí být inhibiční, proto je důležitým parametrem plošná distribuce polutantu v lokalitě,
- v některých případech mohou vznikat i látky toxičtější než původní kontaminující sloučenina.

Jak uvádí Macek (2006) fytoremediace je pomalou sanační technologií, která dosahuje výsledků teprve po několika letech až desetiletích. Proto ji nelze využívat tam, kde je třeba odstranit znečištění v krátkém čase.

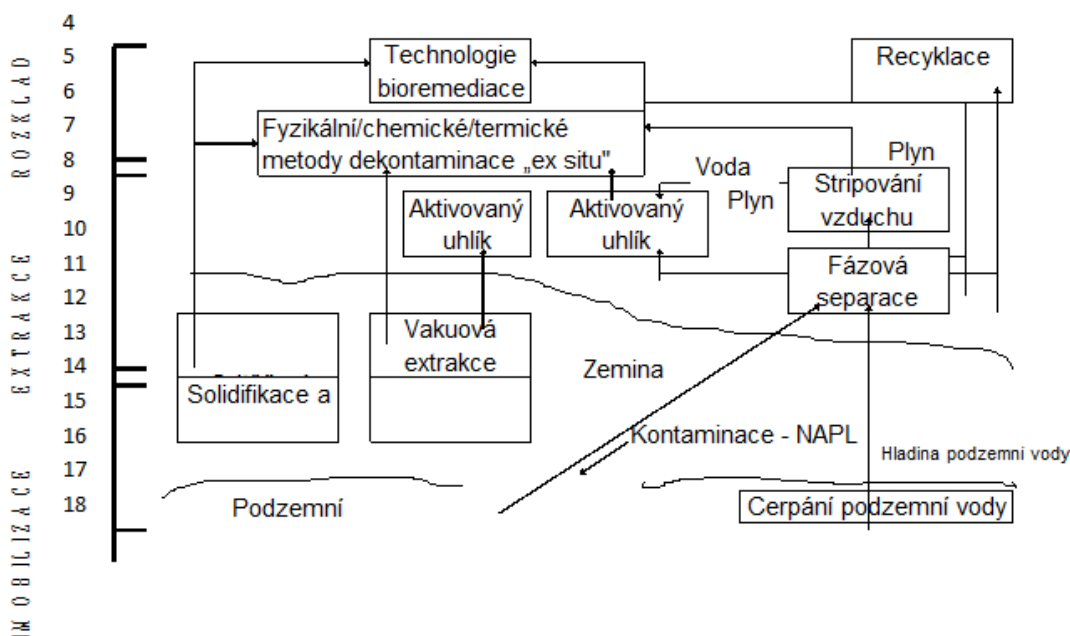
4.2 Technologie ex situ

Technologiím ex situ musí předcházet vytěžení kontaminovaných materiálů, ty jsou z lokality odvezeny k vyčištění nebo jsou odvezeny na nejbližší vhodnou skládku odpadů, případně do spalovny (Jůva, 1977).

Právě vysoké náklady za dopravu patří mezi jednu z nevýhod pro technologie ex situ. Je patrný i celosvětový trend v rozšiřování sanací in situ na úkor sanace ex situ. Na druhé straně ve většině případů využití technologie ex situ přináší často zvýšení účinnosti čištění, zkrácení času potřebného pro eliminaci znečištění a zejména umožňuje podstatně lepší řízení sanačního procesu a větší kontrolu během procesu (Slivka, 2010).

K odstranění ropných látek je možné využít fyzikální, chemické nebo biologické postupy. Klasifikaci technologií pro dekontaminaci zemin na základě jejich funkce je uvedena na obr. č. 10.

Obrázek č. 10: Klasifikace technologií pro dekontaminaci zemin



Zdroj: Kubal et al. [2002]

4.2.1 Fyzikální a chemické metody

Fyzikálně chemické metody dekontaminace využívají fyzikálních vlastností polutantů nebo kontaminovaného prostředí pro rozklad a separaci (Kubal et al., 2002).

Většinu fyzikálně chemických metod je možné včleňovat do kombinovaných sanačních postupů a lze aplikovat pro zvýšení účinnosti sanačního zákroku.

4.2.1.1 Chemická extrakce

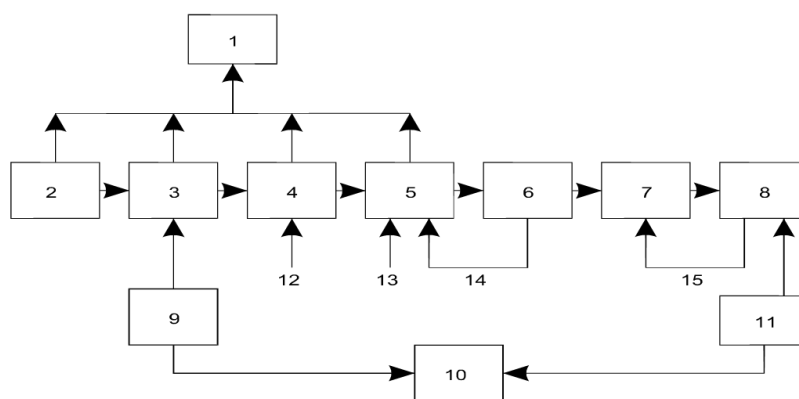
Burkhard (2006) uvádí, že principem chemické extrakce je oddělení toxických složek z kontaminovaných zemin, kalů a sedimentů pomocí extrakčních činidel, kterým může být aceton, methanol nebo anorganické kyseliny. V první fázi procesu je výhodné zařadit předúpravu odtěženého kontaminovaného materiálu pomocí sítové analýzy a tím odstranit hrubší kontaminanty, navrhuje Burkhard (2006).

Podrobněji chemickou extrakci popisuje Dojčanský (2000), který uvádí, že se jedná o proces, kdy se chemicky přeměňují nebezpečné polutanty na méně toxické, stabilnější, se sníženou mobilitou nebo neaktivní formy. Redoxní reakce zahrnují transfer elektronů z jedné složky do druhé. Jedna složka se v systému oxiduje (ztráta elektronu) a druhá se redukuje (přijímá elektron). Za běžně používané oxidační činidla jmenuje Dojčanský (2000): ozon, peroxid vodíku, chlornany, chlór a oxid chloričitý.

Manipulace s vodíkem může přinášet problémy, neboť při vysokých teplotách hrozí nebezpečí exploze či požáru (Národní centrum, 2003).

Nevýhody této metody podle Burkharda (2006) jsou tři podstatné. Jednak jsou to relativně vysoké vstupní investiční náklady, délka procesu a také velké množství zbytkového extrakčního činidla ve vyčištěném materiálu.

Obrázek č. 11: Schéma extrakce



- 1 - čištění emisí
- 2 - odtěžení zeminy
- 3 - mechanické třídění zeminy
- 4 - příprava kontaminované podsítné frakce
- 5 - reaktor
- 6- oddělení nespotřebovaného činidla
- 7 - promývání
- 8 – odvodnění

- 9 - nadsítná nekontaminovaná frakce
- 10 - uložení vyčištěného materiálu
- 11 - odpadní kal
- 12 - voda
- 13 - reakční činidlo
- 14 - recyklace
- 15 - čištění odpadní vody

Zdroj: Burkhard [2006]

4.2.1.2 Dehalogenace

Halogenované uhlovodíky jsou hojně zastoupeným kontaminantem. V přírodě se přirozeně nevyskytují, a proto jsou obtížně degradovatelné. Používají se jako odmašťovací a čisticí prostředky, rozpouštědla, impregnační látky. Přítomnost halogenů v molekule sloučeniny snižuje možnost jejího biologického odbourání, uvádí Drbálková et al. (2004).

Chemická reakce, při níž se ze sloučenin odstraňuje halogen z nebezpečných látek a přeměňuje je na méně nebezpečné se nazývá dehalogenace.

Matějů (2006) zařadil mezi dehalogenační technologie, které se provozně rovněž užívají:

- sodíkový proces,
- dehalogenace glykoláty alkalických kovů,
- katalytický rozklad v alkalickém prostředí,
- chemická redukce v plynné fázi,
- technologie solvatovaných elektronů.

Z hlediska detoxifikace je tato metoda vysoce spolehlivá, hodnotí Drbálková et al. (2004). Upozorňuje však na nebezpečí hoření Na, či výbušnosti systému při styku se vzdušnou vlhkostí (obsah vlhkosti < 0,1 hm. %).

Ekonomický parametr vyhodnotil Matějů (2006) a uvádí, že je metoda vhodná pro znečištění materiálu PCB do 8 g.kg^{-1} .

Metoda je výzvou pro další vývoj a výzkum. Neboť přetrvává potřeba nalézt vhodné a prakticky využitelné postupy dehalogenace a detoxifikace chlorovaných aromatických sloučenin, uvedl Matějů (2006).

4.2.1.3 Praní půdy

Metoda praní půdy je náročná průmyslová technologie, jejíž princip spočívá v promývání kontaminované půdy vodou, případně vodou s příměsí čisticí látky, uvádí Březina (2002). Kontaminanty uvolněné do promývací vody, jsou z vody separovány a voda je využita zpětně k promývání.

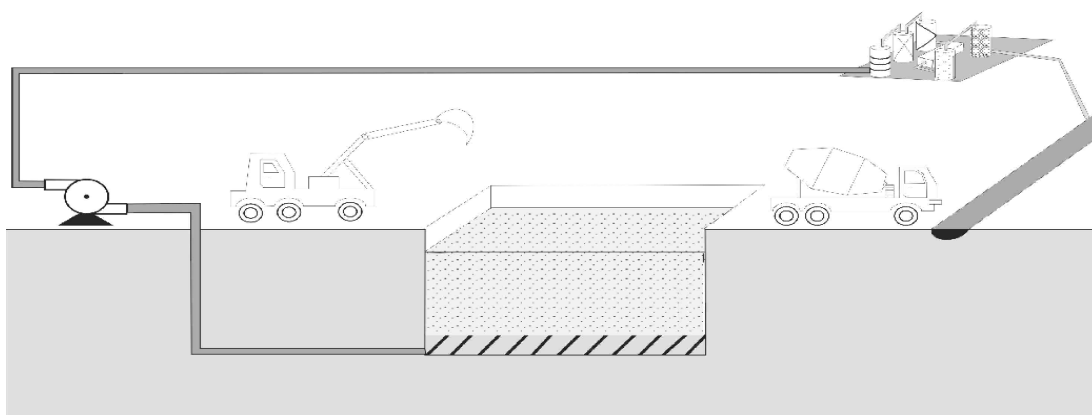
Dle Kyclta (2006) zahrnuje proces praní následující kroky:

- vytěžení a předúprava kontaminované zeminy,
- vlastní praní zeminy,
- separaci fází (například usazením),
- dalším zpracováním vyprané zeminy,
- čištění oddělené kapalně fáze.

Kyclt (2006) shledává vhodnost využití metody zejména na písčité půdy, kde se praním půdy pak zmenšuje objem. Naopak použití metody vylučuje u zemin s obsahem jílu nad 15%.

Při aplikaci této metody lze dosáhnout velmi vysokých výsledků účinnosti procesu, ovšem s vynaložením značných nákladů, zejména se jedná o náklady na čištění prací vody. Přesto je to hojně rozšířená metoda v zemích EU (Kubal et al., 2002).

Obrázek č. 12: Zjednodušené schéma praní zeminy



Zdroj: Kubal et al. [2012]

4.2.1.4 Fyzikálně mechanická separace

Tato metoda není výhradně fyzikálně mechanický proces. Při separaci se vyskytují vazby chemické, tak fyzikální. Mechanické vlastnosti separovaných částic jsou však hlavním kritériem separace, a proto tedy separování fyzikálně-mechanické, uvedl Kubal et al. (2002).

Separování se dělí v závislosti na velikosti a hustotě separovaných částic, napsal Burkhard (2006), a to na:

- gravitační separace,
- sítování,
- magnetická separace.

Fyzikálně mechanická separace využívá mechanických nástrojů a procesů, jimiž je možné oddělit kontaminovanou zeminu od zbytku ošetřované. Ve většině případů slouží jako předúprava jiné sanační technologie.

Jednou z výrazných výhod mechanických procesů je zpracování velkého množství kontaminovaných materiálů relativně malým a investičně nepříliš náročným zařízením, míní Kubal et al. (2002). Nevýhodou této metody je, podle Kubala et al. (2002) v tom, že ji nelze využít na jílovité půdy a při vysoké vlhkosti kontaminované půdy.

4.2.1.5 Solidifikace

Solidifikace je postup, který spočívá v tom, že se určitý objem odpadu uzavře izolační vrstvou, která zabrání migraci toxických látek do okolního prostředí (Kubal et al., 2002).

Růžička et Matic (2006) uvádí, že princip solidifikace je vázání kontaminantu na látku, která zamezí jeho vyplavování vodou do okolí. Zpracování se provádí přidáním reakčních činidel po vytěžení kontaminovaného materiálu na místě v mobilní zpracovatelské jednotce nebo po transportu do centra hromadného stacionárního zpracování odpadů. Solidifikovaný materiál lze použít na výstavbu silnic nebo parkovišť. V Česku se běžně metoda využívá. Výhodou je krátká doba čištění.

4.2.1.6 Termická desorpce

Mašín (2012) uvádí, že termická desorpce představuje progresivní sanační technologii ex-situ, jejíž hlavní výhodou je krátká doba sanace lokality a vysoká účinnost odstranění kontaminantů z pevné matice. Tato technologie je založena na ohřevu pevných kontaminovaných materiálů v inertní atmosféře, kdy dochází k přestupu adsorbovaných znečišťujících látek do plynné fáze.

Po následném ochlazení se pak zkoncentrují v kapalném kondenzátu. Ten je obvykle odstraněn ve spalovnách nebezpečného odpadu. Klíčovou veličinou je dosažená teplota uvnitř reaktoru. V současné době je ve fázi testování použití mikrovlnného ohřevu namísto konvenčního. Tato alternativa by představovala významné zkrácení času ohřevu desorbovaného materiálu až o 60% a značnou energetickou úsporu.

Kaštánek et al (2005) zmiňuje, že tato metoda chemické desorpce je levná a je ji možno používat na odpady obsahující max. 10 % hm. organických látek a minimálně 20 % hm. tuhého podílu. Rozhodující pro účinnost této metody je teplota a doba zdržení.

Podle Straky (2006) je tato metoda vysoce účinná, bezpečná a ekonomicky schůdná. Lze ji vytknout dlouhou dobu potřebnou k prostupu tepla vrstvou zeminy.

V České republice je to technologie využívaná k eliminaci biologicky těžko rozložitelných látek.

4.2.2 Biologické metody

4.2.2.1 Kompostování

Soukupová (2006) uvádí, že metoda kompostování je známa již od starověku. Kontaminovaná půda se smíchá s kypřícími činidly a s organickými látkami, které zlepšují půdní stavbu (dřevo, piliny, sláma, atd.). Kompostování je používáno nejen pro přeměnu ropných uhlovodíků a těžkých kovů, ale i pro likvidaci městských odpadů či pesticidů.

Výhody kompostování (Kopačka, 2009):

- tvorba cenných humusových látek, které půdu oživují; to znamená, že zvyšují, respektive podporují nejen množství, ale i druhovou pestrost bakterií a hub,
- zničení všech hnilobných a jedovatých látek během velmi krátké doby,
- kompost působí příznivě na životní prostředí, protože živiny, zejména dusičnany, se nevyplavují do podzemní vody.

Mnoho z těchto uvedených souvislostí bylo zjištěno teprve v posledních letech a v praxi jsou ještě málo známy.

Kopačka (2009) uvádí, že nejvýznamnějším negativem kompostování u zemědělců je vysoká pracnost. To však většině zahrádkářů nevádí. Další důvod proti kompostování, který se občas uvádí, jsou ztráty živin. K tomu je třeba uvést, že při tlení v kompostu dochází k nejmenším ztrátám. Dusík může unikat pouze ve formě plynného čpavku. Ztráty se pohybují kolem 20 %. Uhlík uniká rovněž do vzduchu ve formě oxidu uhličitého v množství do 30 %. Všechny ostatní živiny zůstávají v kompostu, to znamená, že v něm dochází k relativnímu obohacení živinami v důsledku ztráty sušiny. Argument, který se objevoval v poslední době v zahraničí, se týká přísad očkovacích látek ke kompostování, se příliš neosvědčil. Jednak z důvodu vysoké ceny a jednak pro komplikovanou přípravu. Váňa (2000) uvádí, že k likvidaci biologicky rozložitelného odpadu se dá použít žížal hnojních (*Eisenia foetida*). Tento druh kompostování se nazývá vermikompostování. Princip výroby biohumusu je založen na schopnosti žížal přeměňovat ve svém trávicím traktu organické látky. Kvalita vyrobeného vermikompostu je podstatně vyšší než u běžného kompostu.

Podle Matějů (2006) se doba čištění touto metodou se pohybuje v rozmezí několika dnů až 18 měsíců.

4.2.2.2 Biostabilizace

Podle Matějů (2006) se tato sanační metoda využívá zejména pro eliminaci negativního vlivu polutantů, které jsou biologicky hůře rozložitelné. Pro biologickou tvorbu látek, které dokážou vázat molekuly polutantů a tím snížit jejich škodlivost, je nutné v ošetřovaném materiálu vytvořit vhodné podmínky. Molekuly polutantů se změní pomocí biologických pochodů, a tak se z nich stanou ve vodě rozpustné a jejich škodlivost na životní prostředí a zdraví lidí se sníží. Doba čištění biostabilizací se odhaduje na 6 měsíců až dva roky.

4.2.2.3 Landfarming

Matějů (2006) uvádí, že proces landfarming je založený na biologickém rozkladu, polutantů v tenké vrstvě kontaminovaného materiálu, za aerobních podmínek. Podle Soukupové (2006) je pod ošetřovaný materiál dána nepropustná podložka, která zabraňuje možným průsakům.

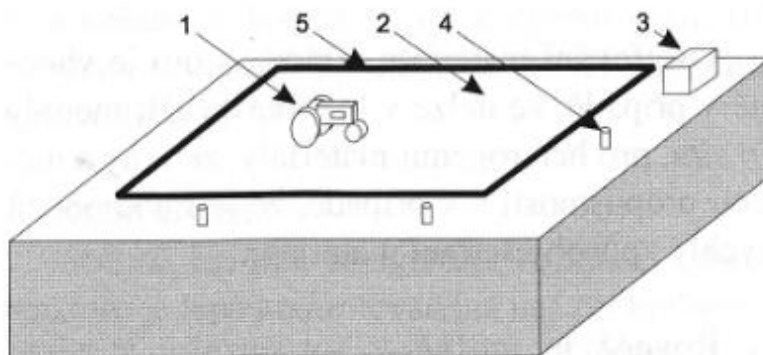
Matějů (2006) zmiňuje, že se půda intenzivně provzdušňuje přeoráváním, kypřením a dalšími podobnými mechanickými metodami. Kromě mechanického provzdušňování se do ošetřované půdy dodávají makrobiotické prvky (dusík, fosfor). Opakovaným provzdušňováním je podpořena biologická aktivita. Landfarming se aplikuje pro zneškodnění motorové nafty, ropných kalů, leteckého paliva.

Nevýhody (Matějů, 2006):

- je třeba velkých ploch,
- je třeba vybudovat systém pro záchyt a úpravu průsakových vod,
- hloubka ošetřované vrstvy je omezena na přibližně 35 cm.

Doba čištění závisí na velikosti koncentrace, typu kontaminantu. Doba sanace se pohybuje v rozmezí mezi 6 až 12 měsíci, když je v zemině těžko rozložitelný polutant může doba landfarmingu trvat tři roky (Matějů, 2006).

Obrázek č. 13 Základní uspořádání landfarmingu



1 – kypření ošetřovaného materiálu pro zapravení kyslíku, 2 – kontaminovaná zemina, 3 – jímka na průsakové vody a jejich čištění, 4 – monitorovací vrty pro kontrolu kvality podzemních vod, 5 - ohrazení

Zdroj: Matějů [2006]

5. Ekonomické hodnocení sanačních technologií

Člověk svou činností významně zasahuje do fungování ekosystémů na globální a místní úrovni, často bez znalosti všech vazeb a možných dopadů. V České republice jsou to zejména zásahy do krajiny, zastavování půdy, nevhodné agrotechnické postupy, uvolňování nových chemických látek do prostředí, ropné havárie.

Už samotná rozsáhlá průmyslová výroba je provázena ekologickými škodami, specifickým znečištěním půdy a podzemních vod. Velké ekologické zátěže jsou spojeny zejména s chemickým průmyslem, dále s chemickými úpravami, které doprovázejí prakticky každou větší průmyslovou nebo energetickou výrobu a se znečištěním ropnými látkami, zejména v místech jejich skladování (Hulicius, 2011).

Předcházet znečištění je úkolem prvořadým. Někdy však nelze zabránit kontaminaci, přes veškerou snahu a vynaložené úsilí. Proto se nabízí volba správné sanační technologie, která by minimalizovala nebo zmírnila poškození lidského zdraví nebo životního prostředí. V Česku se investuje do výzkumu a vývoje nových, ekonomicky méně náročných sanačních technologií se speciálním zřetelem na kombinaci fyzikálních, biologických a chemických principů (Hulicius, 2011). Posuzují-li ekonomickou stránku jmenovaných technologií v bakalářské práci, lze uvést, že jsou právem upřednostněny metody in situ před ex situ. Je to z jednoho praktického důvodu, a to především, že u nich odpadají vysoké náklady na dopravu. Výhodou metod ex situ je, že jsou snadno kontrolovatelné, režim sanačního zařízení lze upravovat a řídit. U zemin je možnost jejich předúpravy před vsázkou do vlastního dekontaminačního zařízení (Tylček, 2012).

Jsou ale situace, kdy odtěžování zemin pro sanaci ex situ nepřicházejí v úvahu, protože se kontaminace nachází pod objekty, jejichž demolice není možná (provozní haly, dálnice, letištní plochy aj.). Jindy by i odtěžování zemin z nezastavěných ploch mohlo být neúnosnou komplikací například pro provoz průmyslového podniku, jindy by to zase znamenalo neakceptovatelnou, byť jen dočasnou zátěž pro obyvatele v přilehlém okolí (hluk, prašnost apod.). Takové situace nedovolují aplikaci jiných sanačních metod než právě in situ.

Vždy je potřeba zvážit a vybrat tu nejvhodnější metodu, podle polutantu rozsahu znečištění. Přesto cena je mezi výhodami často udávána na prvním místě.

Je proto z ekonomického hlediska pro řešení sanačních úloh vhodné nejprve využít počítačové programy, které mohou zpracovat různé verze sanačních prací a pak volit tu nejlevnější a nejšetrnější k životnímu prostředí.

V řadě zemí byl k výběru technologií zvolen pragmatický přístup obecně zaměřený na významná rizika zátěže, ovšem s uvážením ekonomických hledisek.

Nejdůležitější položky ovlivňující výběr technologie lze rozdělit do 3 skupin (Tylová, 1998):

- ochrana lidského zdraví a životního prostředí,
- položky zahrnující vyrovnanost nákladů, potenciální využití lokality, odpovědnost v budoucnu,
- vliv sanace na obyvatele a pracovníky.

Správnou volbou technologie je snaha docílit minimálního stupně zátěže, tj. situace, kdy součet ekonomických škod a vynaložených nákladů na zamezení bude co nejmenší. Optimální míra znečišťování životního prostředí je taková, kdy je ekologická zátěž ekonomiky co nejmenší.

Již dlouhou dobu je známo, že některé mikroorganismy mají schopnost degradovat ropné uhlovodíky a využívat je jako zdroje energie a uhlíku pro svůj růst.

Mikroorganismy vybavené touto schopností jsou obvykle v přírodě běžné a není tedy obvykle nutné kontaminované místo obohacovat dalšími speciálními kulturami.

V současné době je proto nemalá pozornost věnována biologickým metodám, které bývají vysoce účinné a především mají nízké náklady. Jde o technologie, které mají do budoucna nejvyšší růstový potenciál.

Na základě získaných informací jsou sice fyzikálně chemické technologie finančně velmi náročné, ve srovnání s biologickými metodami, přesto jsou mnohem častěji využívány. Z toho vyplývá, že by byla lépe hodnocena metoda ventil a promývání půdy než bioremediace (Semple, 2001).

Jednoznačně z důvodu krátké dekontaminační doby. Přesto není zanedbatelný údaj o bioremediaci, který udává, že při jejím použití může být cena až 10x nižší než je tomu u tradičních způsobů dekontaminace, jakými jsou například spalování nebo vitrifikace (Semple, 2001).

Tabulka č. 9: Orientační porovnání cen sanačních technologických metod

| Metoda | Cena (Li/tuna půdy) |
|-----------------------|---------------------|
| Vitrifikace | 50 - 525 |
| Promývání zemin | 25 - 150 |
| Extrakce par | 75 |
| Extrakce rozpouštědly | 50 - 600 |
| Spalování | 50 - 1200 |
| Landfarming | 10 - 90 |
| Bioventing | 15 - 75 |
| Biokoridor | 50 - 85 |

Zdroj: Semple [2001]

Se zavedením nových metod a principů úzce souvisí nově užívaný pojem zelená ekonomika. Jde o způsob rozvoje a růstu ekonomiky, který brání zhoršování životního prostředí, ztrátě biodiverzity a neudržitelnému využívání přírodních zdrojů. Staví na současných iniciativách udržitelného rozvoje a klade si za cíl nalezení čistších zdrojů růstu včetně využití příležitostí k rozvoji nových „zelených“ odvětví, pracovních míst a technologií, přičemž rovněž řeší strukturální změny spojené s přechodem na environmentálně šetrnější ekonomiku (Holicus, 2011).

Sanační technologie je potřeba rozvíjet velmi rychle a přitom citlivě reagovat na ekonomické podmínky a hlavně nezapomínat na ekologické cítění (Richter, 2002).

6. Experimentální část

6.1 Metodika vlastní části

Cílem vlastní práce bylo ověřit vhodnost organického materiálu k dekontaminaci půdy. I když cílem nebylo monitorovat teploty a měřit vlhkost průběžně jsem je sledovala. Zároveň jsem odebírala vzorky na stanovení koncentrace NEL.

Pokus probíhal v domácím prostředí za teploty kolem 16° C. Zahájen byl 1. 9. 2012 a ukončen 8. 12. 2012.

Pro experiment byla použita zemina dlouhodobě kontaminovaná ropnými uhlovodíky z oblasti Praha – Ruzyně.

6.2 Založení experimentu

Pokus byl založen do třech uzavřených plastových nádob o rozměru 26x18x10 cm a sledován po dobu 14 týdnů. Víko nádoby pro organismy bylo upraveno tak, že do něho byly vyvrtány otvory o průměru 3 mm.

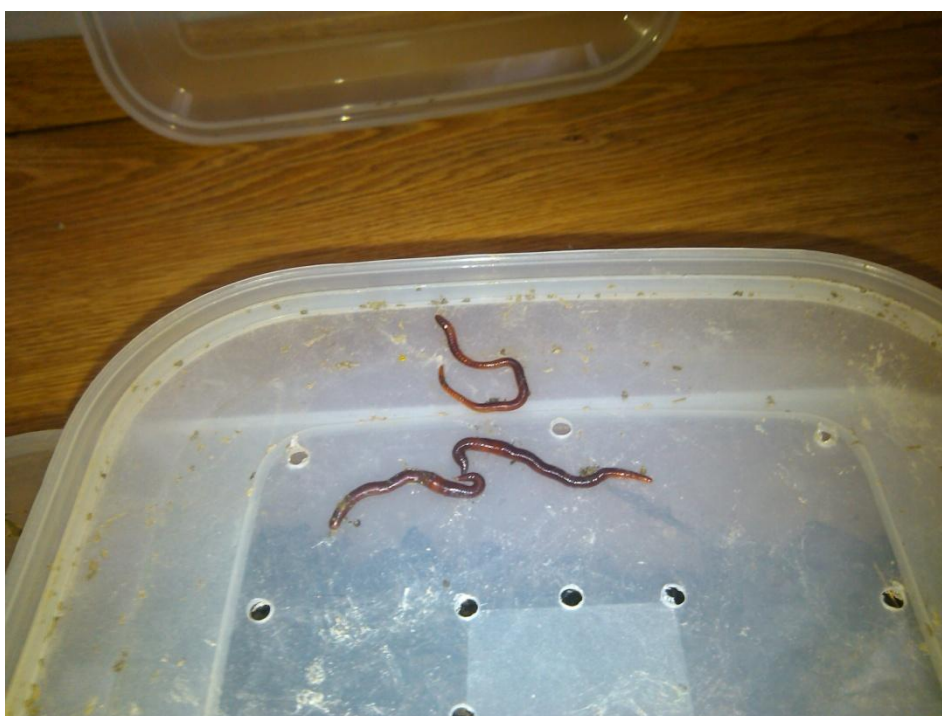
Do každé nádoby byl odvážen vzorek o hmotnosti 1730 g. Do jedné nádoby byl dán vzorek chlévské mrvy, v poměru 2/3sušina, výkaly 1/3, převážně se jednalo o mrvu drobného dobytka, který byl smíchán se 100 g minerálního hnojiva NPK. Druhá nádoba obsahovala kontaminovanou zeminu. Ve třetím boxu (obr. č. 14) bylo do vzorku kontaminované zeminy přidáno 30 ks žížal kalifornského hybridu žížaly hnojní (obr. č. 15) a přidáno 250 g chlévské mrvy. Žížaly byly získány na praxi v Hodoníně od autorizovaného prodejce pana Ing. Petra Filipa.

Obrázek č. 14: Nádoba se zeminou a žížalami



Zdroj: vlastní foto [2012]

Obrázek č. 15: Žížala hnojní (kalifornský hybrid)



Zdroj: vlastní foto [2012]

Při založení experimentu a dále pak každý 14 den byla měřena a zaznamenávána teplota. Během pozorovací doby byla sledována vlhkost zeminy. Tři krát byly odebrány vzorky na stanovení koncentrace NEL.

6.3 Odběr vzorků

Vzorky byly odebírány z prostřední vrstvy vzorku do skleněné, vymyté nádoby. Ta byla řádně označena a odevzdána v laboratoři při ČZU ke zjištění koncentrace NEL v zemině.

Pomůcky:

- 250 ml sklenice
- rukavice
- štítek s identifikací vzorku

První odběr byl proveden měsíc po založení experimentu. Druhý dne 4. 11. a třetí 8. 12. 2012, kdy byl pokus ukončen. Každý odebraný vzorek o hmotnosti 100 g.

6.4 Sledování teploty

Teplota půdy je jedním z významných činitelů, který může ovlivnit tvorbu nebo rozklad organických látek, uvádí Váňa (2000).

Přístroj:

- digitální teploměr GTH 175/PT – E se zapichovacím snímačem teploty

Postup při měření:

Teplotní snímač byl umístěn do středu nádob se vzorky (obr. č. 17). Po ustálení hodnoty na displeji byl pak proveden záznam.

Obrázek č. 17: Monitorování teploty



Zdroj: vlastní foto [2012]

6.5 Sledování vlhkosti

Vlhkost byla zjišťována fyzicky. V rukavicích byl odebrán vzorek postupně z každé nádoby. Chlévská mrva vykazovala optimální vlhkost, neboť při zmáčknutí ukápla ze vzorku kapka půdního roztoku. Pokud by tomu tak nebylo, vzorek by musel být zalit. Vzorek zeminy s hnojivem NPK měl rovněž vlhkost v pořádku, neboť po zmáčknutí vznikla hruška (obr. č. 18). Vlhkost vzorku z nádoby s vermikompostem byla po celou dobu pozorování dostačující, při zmáčknutí substrátu v dlani se dal substrát vytvarovat. Během procesu se vyskytly změny pachu a drobné organismy.

Přístroj:

- digitální vlhkoměr DRH 122

Postup při měření:

Vlhkoměrem jsem umístila do středu nádoby. Během několika sekund se ukázala vlhkost v zemině. Hodnotu jsem si poznamenala.

Obrázek č. 18: Měření vlhkosti



Zdroj: vlastní foto [2012]

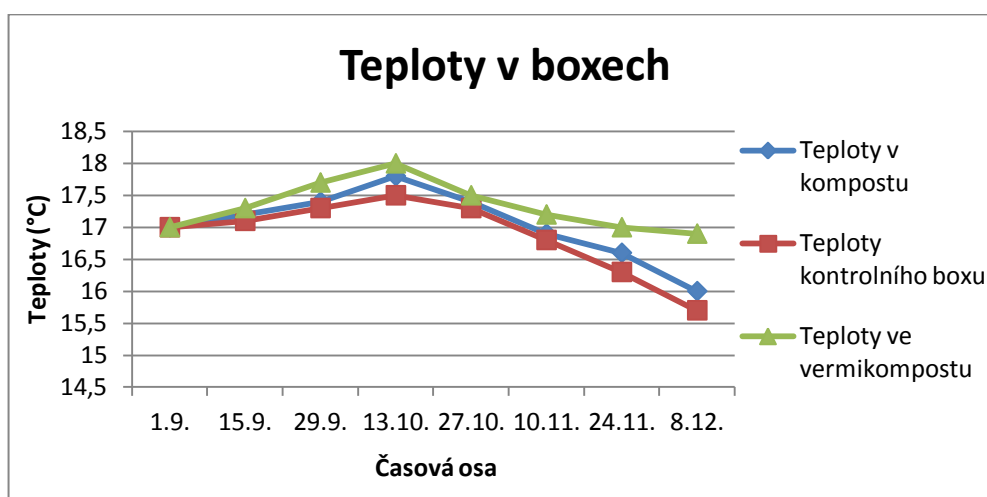
6.6 Stanovení koncentrace NEL

V externí laboratoři byla screeningovou metodou stanovena hladina NEL v substrátech. Při odebrání vzorku byly používány rukavice, aby nedošlo k ovlivnění pachu vody.

6.7 Výsledky

Předmětem experimentální části bylo ověřit vhodnost použití biologické metody v praxi. Koncentrací NEL byly získány informace o složení směsi. Vzhledem k tomu, že byly vzorky dobře uchovávány v plastových nádobách s víkem nedošlo k žádnému výskytu plísně. Teplota se pohybovala mezi 15-18° C během celého pokusu v každé nádobě (obr. č. 16).

Obrázek č. 16: Zaznamenané teploty



Naměřená vlhkost byla optimální, pohybovala se kolem 60 %, což Zojanc (1992) uvádí jako optimální.

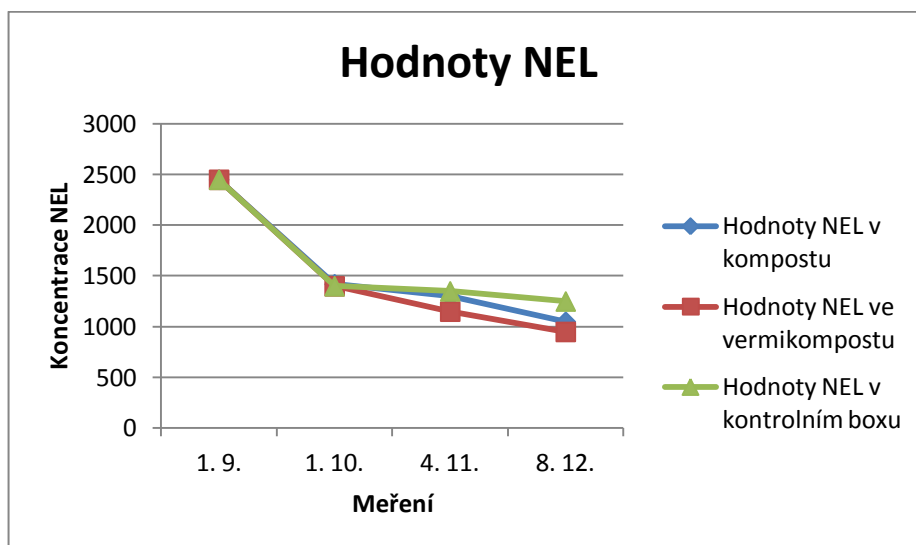
Záznamy vlhkosti ukazovaly na úbytek vlhkosti u vzorku s žížalami.

Kousky slámy v boxu s chlévskou mrvou dostaly černou barvu, ale zůstaly i po ukončení pokusu rozeznatelné. Po odkrytí víka byl cítit čpavek. Vzorek, kde byla kontaminovaná zemina smíchaná s hnojivem NPK, měl bílé granule rozpuštěny.

Ve třetí nádobě, kde byl uchováván vzorek kontaminované zeminy s žížalami, bylo možné pozorovat žížaly viditelné na povrchu a teprve po 3 týdnech se zavrtaly. V té době došlo u žížal k rozmnožování a byly patrné kokony. Na konci pokusu byl viditelný úbytek na objemu.

Z grafu (obr. č. 19) je vidět, jak se měnila koncentrace NEL (tab. č. 10). Na začátku měření byla koncentrace NEL 2450 g/kg. V boxu s kompostem se koncentrace od prvního měření 1. 10., kdy hodnota byla 1420 g/kg zmenšila na 1050 g/kg v třetím měření 8. 12.. V kontrolním boxu nevznikla, tak velká změna, hodnota koncentrace NEL při prvním měření byla 1400 g/kg a zmenšila se pouze o 150 g/kg. Nejvýznamnější pokles nastal v boxu s vermikompostem, kde byla koncentrace NEL 1400 g/kg a postupně klesala až na hodnotu 950 g/kg v posledním měření (8. 12.).

Obrázek č. 19: Změny hodnot NEL během 14 týdnů



V laboratoři byly zjišťovány hodnoty pH. U vzorku s kompostem a v kontrolním vzorku se hodnoty pH = 6 a u vermikompostu pH = 7 po celou dobu měření. V laboratoři byl zjištěn také poměr mezi uhlíkem a dusíkem (tab. č. 11).

Tabulka č. 10: Hodnoty koncentrace NEL

| NEL | KOMPOST (g/kg) | VERMIKOMP. (g/kg) | KONTR. (g/kg) |
|-------------|----------------|-------------------|---------------|
| I | 1420 | 1400 | 1400 |
| II (4.11.) | 1300 | 1150 | 1350 |
| III (8.12.) | 1050 | 950 | 1250 |

Tabulka č. 11: Poměr mezi uhlíkem a dusíkem

| C/N | KOMPOST | VK | KONTR. |
|-------------|---------|------|--------|
| I | 35/1 | 34/1 | 35/1 |
| II (4.11.) | 35/1 | 33/1 | 35/1 |
| III (8.12.) | 32/1 | 29/1 | 33/1 |

6.8 Závěr a doporučení vlastní části

V rámci experimentu byla snaha ověřit vhodnost použití biologické metody pro odstranění znečištění ropného původu v praxi. Z výsledků se dá potvrdit předpoklad, že biologické technologie si zaslouží další vývoj a výzkum. Biotechnologie obsahují potenciál pro poskytnutí rozumného řešení problémů životního prostředí a mohou přispět k udržitelnějšímu rozvoji. Technologie by mohly zlepšit dosažitelnost a dostupnost potravin a tím by umožnily zlepšení lidského zdraví. Z těchto důvodů je nutno nové technologie podporovat a dále vyvíjet.

7. Diskuse

Výsledky, které vzešly z pozorování potvrzují, že k dekontaminaci znečištěné půdy ropnými uhlovodíky může dojít při zajištění optimálních podmínek.

Teplota, kterou Váňa (2000) doporučuje pro rozklad organických látek, byla dodržena. Teplota půdy může ovlivnit vznik nebo rozklad organických látek, proto byla pozorně sledována.

Vlhkost se v průběhu sledování snížila důsledkem odpařování vody, podle Zajonce (1992) byla v toleranci, pohybovala se přibližně kolem 60%. Během procesu byl zaznamenán pokles vlhkosti převážně u vzorku s žížalami.

V laboratoři stanovená koncentrace NEL dokazuje pokles z původních 1400 g/kg na 950 g/kg u vermikompostu. Změny hodnoty zaznamenává i graf, ze kterého je patrná daleko vyšší koncentrace na začátku pozorovací doby.

Použité kalifornské žížaly velice intenzivně zpracovávaly kontaminant. Rychlost zpracování záleží na poměru hmotnosti počáteční násady a hmotnosti biologického odpadu, potvrzuje ve své práci Váňa (2000). Během pokusu se zvyšoval počet žížal, domnívám se, že pomocí vermikultur došlo k viditelnému úbytku na objemu, stejně tak uvádí Váňa (2000).

Pokud shrneme výsledky z pozorování, potom z diskuse vyplývá, proč v boxu s vermikompostem došlo k vyššímu úbytku na objemu než v kontrolním boxu. Je nutné zdůraznit, že v oblasti biologických metod je ještě velmi mnoho otazníků. Otevřenou oblastí je například použití geneticky modifikovaných organismů.

Ekologické zemědělství jak uvádí Zajonc (1992) klade stále nové a vyšší požadavky na organická hnojiva.

Lze teda konstatovat, že použití vermikultur se dají poměrně snadno a levně rozložit ropné uhlovodíky a ještě získat ekologické hnojivo.

8. Závěr

Znečišťování půdy ropnými látkami představuje značnou škodu. Jedná se o škodu materiální, morální i etickou. Kontaminanty v půdě narušují ekosystémy, ovlivňují živé organismy a mají vliv na zdraví člověka.

Je nereálné předpokládat, že havárie nebudou vůbec vznikat. Důležité je předcházet jim nebo je alespoň minimalizovat. Na každém z nás záleží, jak nebo čím k tomu přispěje. Ochrana a tvorba životního prostředí nesmí být jen záležitostí specializovaných odborníků a pracovníků. Ochrana a tvorba životního prostředí se musí stát záležitostí nás všech.

Ze statistik, které jsou publikovány Českou inspekcí životního prostředí, vyplývá, že hlavními závadnými látkami, které uniknou do životního prostředí, jsou ropné látky. V roce 1982 byl přijat předpis v Evropském společenství Směrnice Seveso II, o kontrole velkých průmyslových havárií. To vše dokazuje, že cesta k poznání příčin havárií, k poznání možností jejich prevence a zvládnutí, je ten správný směr.

Bakalářská práce se ve své teoretické části zabývala technologiemi in situ a ex situ. Každá metoda má své klady a zápory. Z mých zdrojů, ze kterých jsem čerpala podklady, jsem došla k závěru, že z hlediska realizace se jeví výhodnější technologie in situ. Práce jsou prováděny přímo na místě, a tudíž jsou výrazně nižší náklady ve srovnání s technologiemi ex situ.

Nevýhodou metod in situ je obtížnější kontrola průběhu sanace a možné nerovnoměrné odstraňování kontaminantu způsobené nehomogenitami v čištěném horninovém materiálu (Kubal et al., 2002).

Při hodnocení metod podle typu dekontaminovaného média bych preferovala biologické metody. Patří se svými výhodami i nevýhodami mezi rovnocenné partnery fyzikálních a chemických dekontaminačních postupů. Jednou z jejich nejvýznamnějších výhod je jejich cena. Lze říci, že biologické metody je možno provést s podstatně nižšími náklady. K nejlevnějším metodám patří i landfarming nebo fyto-remediace, jejich cena dekontaminace může být až desetkrát nižší než u běžného mechanického ošetření.

Další nezanedbatelnou výhodou biologických postupů je jejich šetrnost k přírodě. Polutanty nejsou pouze odstraňovány, jak je tomu u mnoha tradičních dekontaminačních metod, ale jsou transformovány na méně škodlivé.

Nelze však říci, že by biologické metody výrazně ohrozily pozici tradičních metod. Jejich velké výhody jsou totiž doprovázeny i značnými nevýhodami. Možnost jejich využití je výrazně ovlivněna přírodními podmínkami v místě znečištění. Další nevýhodou pak je delší průběh dekontaminace. Ve většině případů bohužel platí přímá úměra mezi cenou a délkou postupu. Nejdéle trvají dekontaminace půd pomocí landfarmingu, kompostování či fytořemediace, kdy se časy sanace mohou pohybovat v řádu měsíců až let. Přesto jsou biologické metody velmi slibným přístupem. Jejich použití je velmi široké. Přesto je potřeba zmínit základní výhody a nevýhody fyzikálně chemických metod. Výhoda je v rychlosti provedení zásahu, zejména u metod venting a solidifikace. Na druhou stranu vznikají rezidua.

Ekonomické hledisko technologií není snadné hodnotit. Ekonomika vykazuje v této oblasti značné mezery. Téměř neexistují reálné objektivní údaje k vyčíslení sanace. V tom je zásadní dluh ekonomů.

Za pozornost stojí i vývoj analytické technologie, která dokáže odhalit chemické látky i ve velmi nízkých koncentracích přímo v místě jejich výskytu. K tomu se používá zařízení biosenzor (Homola, 2012). Studium nových sanačních technologií se zabývají jak týmy vědců na Akademii věd, tak je dán i prostor studentům. Pro jejich práci vzniklo v roce 2005 Výzkumné centrum „Pokročilé sanační technologie a procesy“, které v rámci programu MŠMT „Výzkumná centra – 1M“ mají za cíl studovat a uvádět do praxe nové sanační technologie (MŠMT, 2012).

Na závěr lze tedy říci, že ani jednu z metod nelze chápat jako "zázračnou". Nelze je však ani ztracovat. Přesto si zvláštní pozornost zaslouží biologické metody, protože otvírají nové možnosti v oblasti čištění méně kontaminovaných lokalit nebo při dočišťování silně kontaminovaných lokalit po předchozím použití některé z klasických metod. Jsou tedy plnohodnotným doplňkem sanačních technologií a vzhledem ke své šetrnosti k přírodě by měly být používány všude tam, kde to podmínky dovolí.

9. Seznam použitých zkratk:

BPEJ - Bonitačně půdně ekologická jednotka

CaO - Oxid vápenatý

ČIŽP – Česká inspekce životního prostředí

ČSÚ – Český statistický úřad

ČZU – Česká zemědělská univerzita

HPJ - Hlavní půdní jednotka (součásti kódu BPEJ)

Is - Index zranitelnosti půdního prostředí

MTBE - Metyl-terc-butyl etheru

MŠMT – Ministerstvo školství, mládeže a tělovýchovy

MŽP – Ministerstvo životního prostředí

NEL – Nepochárných extrahovaných látek

SEKM – Seznam kontaminovaných míst

U. S. EPA - U.S. Environmental Protection Agency- Agentura pro ochranu životního prostředí

VÚBP – Výzkumný ústav bezpečnosti práce

10. Literatura a použité zdroje:

Literatura:

1. ACAR Y. B., GALE R. J., ALSHAWABKEH A. N., MARKS R. E., PUPPALA S., BRICKA M., PARKER R., 1995: *Electrokinetic remediation: Basics and technology status*. Journl of Hazardous Materials.
2. BENEŠ P., 2011: *Studium in situ chemické oxidace kontaminovaných zemin* [rukopis].
3. BLAŽEK J. et RÁBL V., 2006: *Základy zpracování a využití ropy, 2.* vydání. VŠCHT. Praha.
4. BURGHARD J. [ed.], 2006: *Kompendium sanačních technologií. Vodní zdroje* Ekomonitor s. r. o., Chrudim.
5. CÍSAŘ V., 1987: *Člověk a životní prostředí*. SPN. Praha.
6. ČERNÍK M. et al., 2010: *Chemicky podporované in situ sanační technologie*. VŠCHT. Praha.
7. DEMEK J., 1978: *Životní prostředí ČSR*. SPN. Praha.
8. DOJČANSKÝ J et LONGAUER J., 2000: *Chemické inženýrstvo II*. Tlač PPA. Bratislava.
9. DRBÁLKOVÁ E. et JANDERKA P. et LOEFFLER T. et SEDLÁČKOVÁ N., 2004: *Elektrochemická dehalogenace fluor-, chlor- a brombenzenu*. In Sborník abstrakt 56. sjezdu chemických společností. Česká společnost chemická. Praha.
10. EXNER P., 2001: *Vitrifikace odpadů*. Technika, technologie.
11. FERRI V., FERRO S., MARTINEZ – HUITLE C. A., DE BATTISTI A., 2009: *Elektrokinetic extraction of surfactant and heavy metals from sewage sludge*. Elektrochimica Acta.
12. HENDRYCH J., 2011: *Studium in-situ chemické oxidace ve vazbě na přítomnost přirozených oxidovatelných látek* [rukopis].
13. HOCKE J. [ed.], 2006: *Kompendium sanačních technologií. Vodní zdroje* Ekomonitor s. r. o., Chrudim.
14. HOMOLA J., 2012: *Biosenzory životního prostředí*. Panorama 21. Století věda, která vás bude bavit. Hobby s.r.o.. Str. 84-87.
15. HORÁK J., 1996: *Ekologická rizika spojená s výrobou a použitím chemických látek a ochran proti nim*. VŠB. Ostrava.
16. JANDEKOVÁ R., 2006: *Bioremediační technologie pro odstraňování toxických látek z vodného prostředí* (nepublikováno). Masarykova univerzita, Přírodovědecká fakulta, Brno.
17. JŮVA K. et HRABAL A. et TLAPÁK V., 1977: *Ochrana půdy, vegetace, vod a ovzduší*. Státní zemědělské nakladatelství. Praha.

18. KACETL L. et SÁRKA T., 1987: *Ekologické aspekty anorganických a organických technologií*. VŠCHT. Pardubice.
19. KAFKA Z., 2005: *Základy ochrany životního prostředí – část odpady*. VŠCHT.
20. KALAČ P. et TRÍSKA J., 1998: *Chemie životního prostředí*. Jihočeská Univerzita. České Budějovice.
21. KASTANEK P. et al., 2005: *Combined decontamination processes for wastes containing PCBs*. J.Hazardous Mat.
22. KOLLERT J., 1984: *Ochrana prostředí v průmyslu I*. SNTL – Nakladatelství technické literatury. Praha.
23. KOPAČKA M., 2009: *Možnosti, metody a technologické postupy při kompostování biomasy* (nepublikováno). Jihočeská univerzita, Zemědělská fakulta, České Budějovice.
24. KOVARČÁK M. et VAVREČKOVÁ J. et ŽEMPLIČKA Z., 2000: *Likvidace ropných havárií*. Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství. Ostrava.
25. KOZUBEK P., 2012: *Nový MP MŽP „Indikátory znečištění“*. Sborník konference, Pardubice 22. - 24. 5. 2012: str. 16-17.
26. KUBAL M., BURGHARD J., BŘEZINA M., 2001: *Dekontaminační technologie*. VŠCHT. Praha.
27. KVAPIL P. [ed.], 2006: *Kompendium sanačních technologií*. Vodní zdroje Ekomonitor s. r. o., Chrudim.
28. KYCLT R. [ed.], 2006: *Kompendium sanačních technologií*. Vodní zdroje Ekomonitor s. r. o., Chrudim.
29. MACEK T. et al. [eds.], 2006: *Kompendium sanačních technologií*. Vodní zdroje Ekomonitor s. r. o., Chrudim.
30. MARTÍNEK B. et LINHART P., 2003: *Ochrana člověka za mimořádných událostí*. Příručka pro učitele základních středních škol. Praha.
31. MAŠÍN P., 2012: *Termická desorpce s klasickým, nebo mikrovlnným ohřevem?*. Odpady. ECONOMIA a.s.. Praha.
32. MATĚJŮ V. [ed.], 2006: *Kompendium sanačních technologií*. Vodní zdroje Ekomonitor s. r. o., Chrudim.
33. MATIC N. [ed.], 2006: *Kompendium sanačních technologií*. Vodní zdroje Ekomonitor s. r. o., Chrudim.
34. MIOŠGOVÁ Z., 2006: *Odstranění NEL, BTEX ze saturované zóny v prostoru Balakomu a. s. Opava Komárov* (nepublikováno). Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Fakulta technologická.
35. OTRADALOVÁ M., 2010: *Strukturální charakteristiky rostlin pod vlivem těžkých kovů* (nepublikováno). Univerzita Karlova, Přírodovědecká fakulta, Praha.

36. PAVLÍČEK Z. et ČÍHALÍK J., 1984: *Chemie a životní prostředí*. SPN. Praha.
37. PELÍŠEK J., 1958: *Lesnické půdoznalectví: učebnice pro lesní fakultu vysoké školy zemědělské*. SPN. Praha.
38. POLÉNKOVÁ A., 2013: *Staré zátěže – progresivní sanační technologie a jejich aplikace n našich zakázkách* (nepublikováno). GEOtest Brno, a. s..
39. RICHTER M., 2002: *Technologie ochrany životního prostředí*. FŽP.
40. RŮŽIČKA M. [ed.], 2006: *Kompendium sanačních technologií*. Vodní zdroje Ekomonitor s. r. o., Chrudim.
41. SÁŇKA M., 2005: *Hodnocení postupů vzorkování půd. Podklad pro metodiku, případně technickou normu v oboru ochrany půdy se zaměřením na hodnocení kontaminace*. Ministerstvo životního prostředí.
42. SEMPLE K. T. et REID B. J. et FERMOR T. R., 2001: *Impact of composting strategies on the treatment of soils contaminated with organic pollutants*. Environmental pollution.
43. SKAVÍK R., BEDNAŘÍK V., JULINOVÁ M., SVOBODOVÁ S., 2010: *Stabilizace/solidifikace odpadu s obsahem olova pomocí fosforečného cementu*. Waste Forum. Str. 527 – 532.
44. SOUKUPOVÁ M., 2006: *Použití bioremediačních metod při dekontaminaci půd* (nepublikováno). Masarykova univerzita, Přírodovědecká fakulta, Brno.
45. STRAKA M. [ed.], 2006: *Kompendium sanačních technologií*. Vodní zdroje Ekomonitor s. r. o., Chrudim.
46. ŠŤASTNÁ V., 2012, ústí sdělení (oddělení podpory PKÚ, s.p., Plučárna 1, Hodonín).
47. VIRKUTYTE J., SILLANPÄÄ M., LATOSTENMAA P., 2002: *Electronic soil remediation – critical overview*. Science of the Total Enviroment.
48. ZAJONC I., 1992: *Chov žížal a výroba vermikompostu*. Animapress, Povoda.

Internetové zdroje:

1. BIO-CHEM, 2013: Bioremediace, online: <http://www.bio-chem.cz/cs/bio-prostredi/bioremediace>, cit. 10. 3. 2013.
2. Bývalé vojenské základny, online: <http://www.podzemi-cma.cz/prostory/jine/inden.htm>, cit. 7. 12. 2012.
3. CENIA, 2012: Nejpoužívanější metody úpravy kontaminované půdy, online: www.cenia.cz, cit. 31. 3. 2013.
4. Česká národní norma – Odběr vzorků, online: <http://nahledy.normy.biz/nahled.php?i=88300>, cit. 31. 3. 2013.

5. Česká technická norma – Úprava vzorků, online: <http://nahledy.normy.biz/nahled.php?i=88299>, cit. 31. 3. 2013.
6. ČSÚ: Znečišťující látky vypouštěné podniky do vodních toků, online: www.csu.cz, cit. 5. 10. 2012.
7. Eagri, 2011: Doporučené hodnoty znečištění odpadních vod vypouštěných do veřejných kanalizací, online: http://eagri.cz/public/web/file/26962/cistení_odpadnich_vod.pdf, cit. 5. 10. 2012.
8. Ekolube, 2013: Ropa ve vodě, online: www.oleje.cz, cit. 31. 3. 2013.
9. Ekona, 2010: Skimerový sběrač ropných látek Ropák, online: <http://www.ekona.cz/odlucovace-ropnych-latek-ropak>, cit. 6. 10. 2012.
10. Evropská unie, 2013: Životní prostředí, online: http://europa.eu/pol/env/index_cs.htm, cit. 3. 4. 2013.
11. Fildán V., 2012: Příručka pro využití a ochranu vod: podle zákona 254/ 2001 Sb., o vodách, online: www.envigroup.cz/data/download/.../prirucka.../11_c_obsah.pdf, cit. 31. 3. 2013.
12. FŽP, 2012: Hydrosféra a její složení, online: http://www.fzp.ujep.cz/KTV/uc_texty/chemie_zp/CHZP5.doc, cit. 5. 10. 2012.
13. Geo – Praha, 2004: Inovační technologie pro eliminaci anorganických a organických polutantů, online: www.geo-praha.cz/projekt1.htm, cit. 4. 4. 2013.
14. Horák J. et Růžička P., 2010: Výzva k ochraně zemědělského půdního fondu, online: <http://ekolist.cz/cz/publicistika/nazory-a-komentare/vyzva-k-ochrane-zemedelskeho-pudniho-fondu>, cit. 5. 12. 2012.
15. Hulicius, E., 2011: Vývoj a inovace, online: <http://www.vyzkum.cz/storage>, cit. 5. 2. 2013.
16. Chang, 2013: Stovky savců opouštějí moře v Jižní Kalifornii, online: <http://www.nbclosangeles.com/news/local/Sick-Sea-Lions-Overwhelm-Rescuers-200345801.html>, cit. 1. 4. 2013.
17. Jelínek P., 2006: Bezpečnostní program prevence závažné havárie. Příbyslav, online: www.pribyslav.cz/%2FVismoOnline_ActionScripts%2FFile.ashx%3Fi, cit. 5. 4. 2013.
18. Kubal M. et Burghard J. et Březina M., 2002: Dekontaminační technologie (WWW učební texty), online: <http://www.vscht.cz/uchop/CDmartin/index.html>, cit. 6. 4. 2013.
19. MŠMT, 2012: Vyhodnocení programu výzkumu a vývoje, online: www.msmt.cz/file/24645_1_1/, cit. 6. 4. 2013.
20. MŽP, 2002: Stanovení indexu zranitelnosti půdního prostředí, online: [http://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/metodicke_pokyny_odboru_enviro_rizik/\\$FILE/oer-HaV_index-2002.pdf](http://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/metodicke_pokyny_odboru_enviro_rizik/$FILE/oer-HaV_index-2002.pdf), cit. 6. 10. 2012.
21. MŽP, 2007: Zpráva o stavu vodního hospodářství ČR v roce 2006. Praha, online: www.mzp.cz/.../, cit. 3. 4. 2013.

22. MŽP, 2012: Nález sond, online: [http://www.mzp.cz/ris/ekodisk-new.nsf/6d13b004071d0140c12569e700154acb/32108ca3ebb02921c12576410030f15b/\\$FILE/Planeta%202006_12.pdf](http://www.mzp.cz/ris/ekodisk-new.nsf/6d13b004071d0140c12569e700154acb/32108ca3ebb02921c12576410030f15b/$FILE/Planeta%202006_12.pdf), cit. 31. 3. 2013.
23. MŽP, 2012: Staré ekologické zátěže, online: http://www.mzp.cz/cz/stare_ekologicke_zateze, cit. 31. 3. 2013.
24. MŽP, 2013: Mezinárodní spolupráce v oblasti životního prostředí, online: http://www.noramb.cz/About_Norway/ivotni-prostedi/ivotni-prostedi/cooperation/, cit. 1. 4. 2013.
25. Národní centrum, 2003: Technologie a biotechnologie, online: [www.http://recetox.muni.cz/res/file/narodni_centrum/2003/POPsINV_cast_VII_Kapitola_14_Technologie.pdf](http://recetox.muni.cz/res/file/narodni_centrum/2003/POPsINV_cast_VII_Kapitola_14_Technologie.pdf), cit. 6. 4. 2013.
26. National Geographic, 2011: Kdy dojde ropa?, online: <http://www.national-geographic.cz/detail/kdy-dojde-ropa-v-optimisticke-verzi-za-60-let-a-v-pesimisticke-3737/>, cit. 3. 4. 2013.
27. Newslab, 2013: Hydraulické štěpení, online: <http://www.newslab.cz/cz/hydraulic-fracturing/>, cit. 6. 4. 2013.
28. online: http://www.ekotoxa.cz/userfiles/file/Ochrana_pudy_prezentace.pdf, cit. 31. 3. 2013.
29. Petroleum, 2012: Přeprava ropy, online: <http://www.petroleum.cz/doprava/>, cit. 1. 4. 2013.
30. Petroleum, 2012: Složení ropy, online: <http://www.petroleum.cz/ropa/slozeni-ropy.aspx>, cit. 5. 10. 2012.
31. Poštolková, 2011: Nejvíce znečištěná města na světě, online: <http://www.novinky.cz/cestovani/244032-nejvice-znecistena-mesta-na-svete.html>, cit. 1. 4. 2013.
32. SEKM, 2011: Seznam kontaminovaných míst, online: <http://info.sekm.cz/statistiky>, cit. 14. 10. 2012.
33. SEKM, 2011: Systém evidence kontaminovaných míst, online: <http://www.sekm.cz/>, cit. 3. 4. 2013.
34. Slivka V., 2010: Ochrana půd, online: www.hgf.vsb.cz/miranda2/export/sites-root/hgf/.../ochrupud.doc, cit. 6,4. 2013.
35. Stream, 2012: Ropná havárie v Mexickém zálivu, online: <http://www.stream.cz/katastrofy/676990-2010-ropna-havarie-v-mexickem-zalivu>, cit. 3. 4. 2013.
36. Tylček J., 2012: Odstraňování starých ekologických zátěží, online: www.ekomonitor.cz, cit. 8. 4. 2013.
37. Tylová E., 1998: Činnost mezinárodní skupiny pro staré ekologické zátěže. MŽP. Praha. online: [http://www.mzp.cz/osv/edice.nsf/0A9C69D95AF7CA06C1256FC00043DA38/\\$file/Z_11cinnost.html](http://www.mzp.cz/osv/edice.nsf/0A9C69D95AF7CA06C1256FC00043DA38/$file/Z_11cinnost.html), cit. 6. 4. 2013.

38. U. S. EPA, 1991: Dekontaminační technologie, online: www.vscht.cz/uchop/CDmartin/8-nejcasteji/2-2.html, cit. 4. 4. 2013.
39. Území postižená těžbou nerostných surovin, online: <http://slon.diamo.cz/hpvt/2002/sekce/zahlazovani/Z12/P%F8edn%E1%9Aka%20ek%20z%E1t%20v%20JK%20p%F8%EDb%20mnd2002.htm>, cit. 1. 12. 2012.
40. Váňa J., 2000: Ekologické aspekty výroby kompostů. BIOM. online: <http://stary.biom.cz/clen/jv/vana.html>, cit. 5. 4. 2013.
41. Vojenský výcvikový prostor, online: <http://www.severnicechy.info/dr-cs/556-byvaly-vojensky-vycvikovy-prostor-ralsko.html>, cit. 1. 12. 2012.
42. VŠCHT, 2010: online: www.vscht.cz/uchop/udalosti/skripta/1ZOZP/odpady, cit. 1. 4. 2013.
43. VŠCHT, 2012: online: www.vscht.skripta.cz, cit. 5. 4. 2013.
44. VŠCHT, 2012: Vznik a druhy odpadů, online: <http://www.vscht.cz/uchop/udalosti/skripta/1ZOZP/odpady/odpady1.htm>, cit. 31. 3. 2013.
45. VÚBT, 2003: Nebezpečné chemické látky, online: http://www.bozpinfo.cz/win/knihovna-bozp/citarna/clanky/nebezpecne_latky/NCHL030528.html, cit. 1. 4. 2013.
46. Wichterle K., 2008: Organická technologie. Vysoká škola báňská – technická Univerzita Ostrava, online: <http://www.fmfi.vsb.cz/miranda2/export/sites-root/fmfi/cs/okruhy/urceno-pro/studenty/podklady-ke-studiu/studijni-opory/617-Wichterle-Organicka-technologie.pdf>, cit. 1. 4. 2013.

Seznam použité legislativy:

1. Vyhláška č. 17 / 2009 Sb., o zjišťování a nápravě ekologické újmy na půdě, v platném znění.
2. Zákon č. 254 / 2001 Sb., o vodách, v platném znění.
3. Zákon č. 86 / 2002 Sb., o ochraně ovzduší, v platném znění.

Seznam příloh:

1. Vybrané velké havárie s únikem nebezpečných látek ve světě
2. Havárie s únikem nebezpečných látek v 70. a 80. letech na území ČR
3. Sběrač ropných látek Ropák
4. Nádrže s kontaminovanou vodou
5. Vrtná plošina
6. Vyvrtané vzorky zeminy
7. Ukázka vrtáků

11. Přílohy

Příloha č. 1: Vybrané velké havárie s únikem nebezpečných látek ve světě

| <i>Rok</i> | <i>Postižená oblast</i> | <i>Stát</i> | <i>Druh havárie</i> | <i>Následky</i> |
|------------|-------------------------|-------------|--|---|
| 1949 | | USA | havárie v chemickém provozu únik dioxinu | 228 těžce nemocných |
| 1953 | | SRN | havárie v chemickém provozu únik dioxinu | 75 těžce nemocných |
| 1954 | Hamburk | SRN | havárie v chemickém provozu únik dioxinu | 33 mrtví |
| 1963 | | Nizozemí | havárie v chemickém provozu únik dioxinu | 100 těžce nemocných |
| 1964 | | SSSR | havárie v chemickém provozu únik dioxinu | 128 těžce nemocných |
| 1968 | | Dánsko | havárie v chemickém provozu únik dioxinu | 90 těžce nemocných |
| 1975 | San Carlos | Španělsko | havárie v dopravě - výbuch cisterny s plynem | 216 mrtvých, několik set zraněných |
| 1976 | Seveso | Itálie | havárie v chemickém provozu únik dioxinu | 2 000 nemocných, 220 000 pod lékařským dohledem, zamořeno 1 860 ha osídleného území, 80 000 hospodářských zvířat vyloučeno z konzumace, náklady na asanaci území 32 mil. dolarů |
| 1977 | Skoplje | Jugoslávie | havárie kamionu - únik 3 205 kg kyanidu draselného | nepublikovány |
| 1978 | Bretaňské pobřeží | Francie | havárie tankeru "Amoco Cadix" - únik 200 t ropy | zamořeno pobřeží v délce 230 km |
| 1979 | Mississauga | Kanada | havárie (výbuch) železniční soupravy uniklo 70 t chlóru | evakuace 200 000 obyvatel |

| | | | | |
|------|----------------|-----------|--|---|
| 1984 | Cubatao | Brazílie | havárie v dopravě - únik ropy | 500 mrtvých, obrovské materiální škody po rozsáhlých požárech ve městě |
| 1984 | Mexico City | Mexiko | havárie v dopravě - výbuch nádrže s kapalným propanem | 452 mrtví, rozsáhlá rozrušení budov |
| 1984 | Bhópál | Indie | havárie v chemickém provozu únik methyl- isokyanátu | 2 500 mrtvých, 335 000 nemocných, z toho 80 000 s těžkými následky, devastace životního prostředí |
| 1985 | Algeairos | Španělsko | havárie (výbuch) tan- keru - únik ropných produktů | 32 mrtvých, rozsáhlé ekologické škody |
| 1989 | Baškirská ASSR | SSSR | havárie v železniční dopravě - únik zemního plynu | 500 mrtvých, 700 těžce raněných, rozsáhlé lesní požáry |
| 1992 | Duluth | USA | havárie v železniční dopravě, únik aromatických látek, butadienu a propylenu | evakuace největšího počtu obyvatel v historii USA |
| 1994 | Tambov | Rusko | poškození ropovodu, únik 3 000 t ropy | zamořen prostor o rozloze 7 ha |
| 1994 | Avignon | Francie | havárie cisterny s 59 t chlórnanu vinylu | 4 000 osob bylo evakuováno |
| 1994 | Berezniki | Rusko | havárie v huti s únikem chlóru | 30 osob nemocných, z toho 8 těžce |

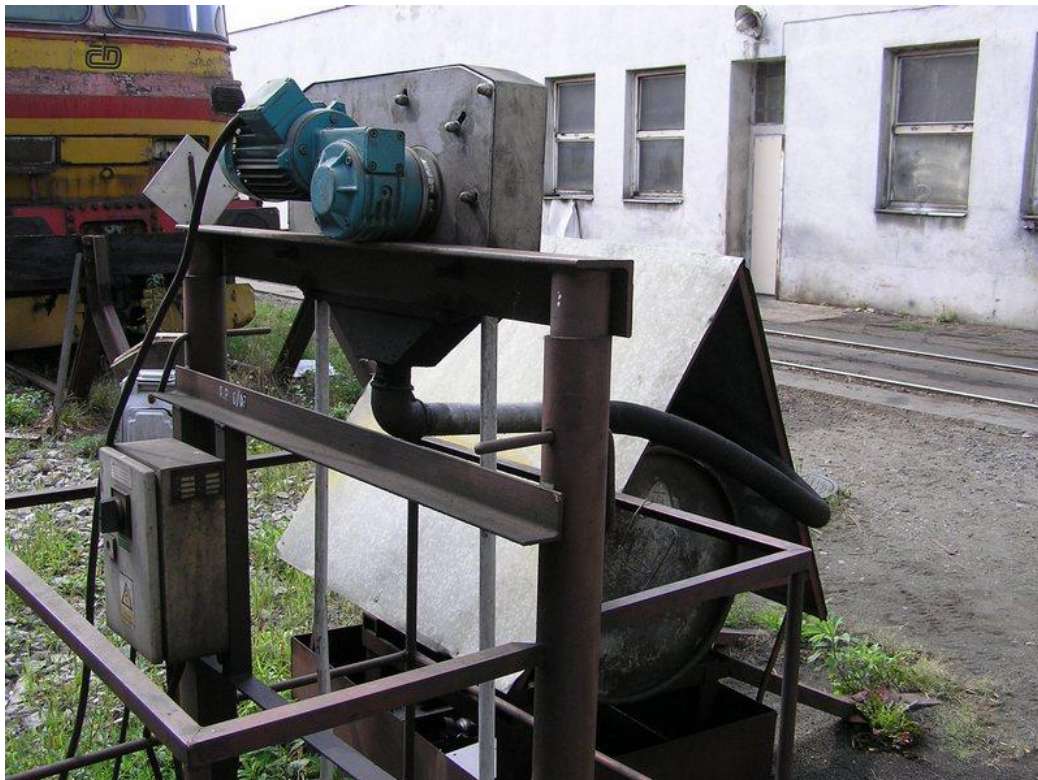
Zdroj: Martínek B. et Linhart P. [2003]

Příloha č. 2: Havárie s únikem nebezpečných látek v 70. a 80. letech na území ČR

| <i>Rok</i> | <i>Postižená oblast</i> | <i>Druh havárie</i> | <i>Následky</i> |
|------------|-------------------------|----------------------------|---------------------------|
| 1973 | Pardubice | únik fosgenu | 80 zraněných |
| 1974 | Záluží | výbuch etylenu | 14 mrtvých, 80 zraněných |
| 1974 | Litvínov | výbuch, únik látek | 17 mrtvých, 125 zraněných |
| 1978 | Kolín | únik chlóru | 5 mrtvých, 50 zraněných |
| 1981 | Litvínov | výbuch technického benzínu | 5 mrtvých |
| 1984 | Pardubice | výbuch nitrocelulózy | 5 mrtvých, 10 zraněných |
| 1984 | Třinec | únik zemního plynu, výbuch | 12 mrtvých, 9 zraněných |
| 1987 | Praha | únik zemního plynu, výbuch | 3 mrtví |
| 1988 | Ostrava | únik plynu, výbuch | 2 zranění |
| 1988 | Boršov | požár agrochemikálií | větší počet přiotrávených |

Zdroj: Martínek B. et Linhart P. [2003]

Příloha č. 3: Sběrač ropných látek Ropák



Zdroj: Ekona [2010]

Příloha č. 4: Nádrže s kontaminovanou vodou



Zdroj: vlastní foto [2012]

Příloha č. 5: Vrtná plošina



Zdroj: vlastní foto [2012]

Příloha č. 6: Vyvrtané vzorky zeminy



Zdroj: vlastní foto [2012]

Příloha č. 7: Ukázka vrtáků



Zdroj: vlastní foto [2012]