

E0280 TECHNOLOGIE A NÁSTROJE OCHRANY ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ II

Remediace

Termické, fyzikální a chemické metody

RNDr. Mgr. Michal Bittner, Ph.D.

Klasifikace remediací

- ↪ **Recyklace** může být "ultimativním" způsobem odstranění;
- ↪ **Destrukce jako výsledek úplné** biologické a/nebo fyzikálně-chemické degradace kontaminantů (například zvýšení teploty při termickém čištění);
- ↪ **Odstranění kontaminantů:**
 - (a) proces fázového transferu/mobilizace a znovu-vázání (například vymývání a sorpce);
 - (b) proces koncentrace a nahrazení/sběru (například fyzikální separace), nebo
 - (c) kombinace (například využitím hyper-akumulativních rostlin);

Klasifikace remediací

- ↪ **Imobilizace:** Je snížena dostupnost kontaminantů některými transportními procesy nebo jsou přidány imobilizační přísady (*nutnost dlouhodobého testování a sledování*).
- ↪ **Stabilizace:** kontaminant zůstává na místě (*in situ*), ale je méně pohyblivý nebo méně toxický použitím kombinace biologických, chemických nebo fyzikálních procesů. Pro většinu praktických aplikací se využívá kombinace remediačních technologií (treatment trains).
- ↪ **Zadržení (containment):** kontaminovaná matrice je separována způsobem, jenž zabraňuje expozici okolního prostředí.



Klasifikace remediací

Pořadí preferencí (environmentální profit z trvalého odstranění problému kontaminace):

Recyklace > destrukce > odstranění > stabilizace > imobilizace
> zadržení

Musí být rovněž uvažovány širší environmentální účinky, ceny a další zisk.

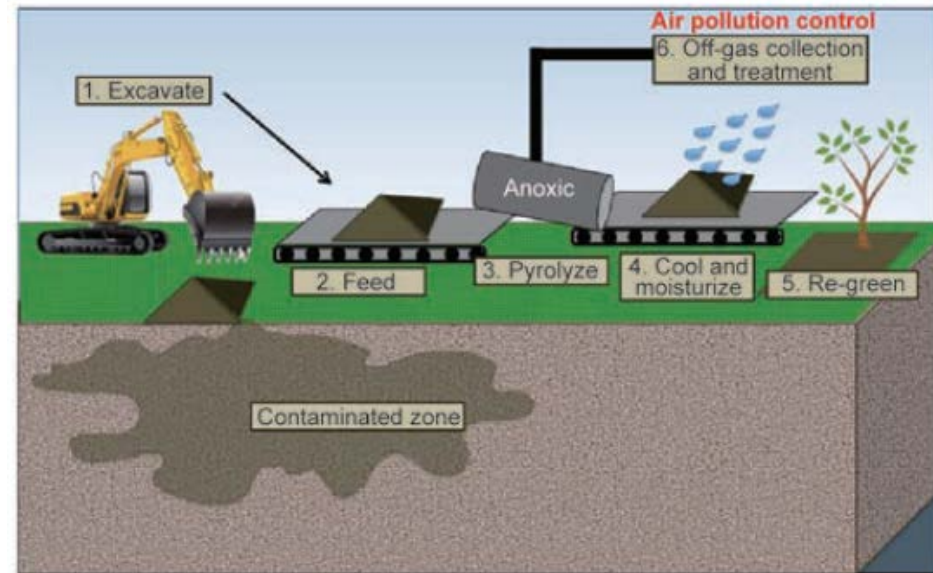
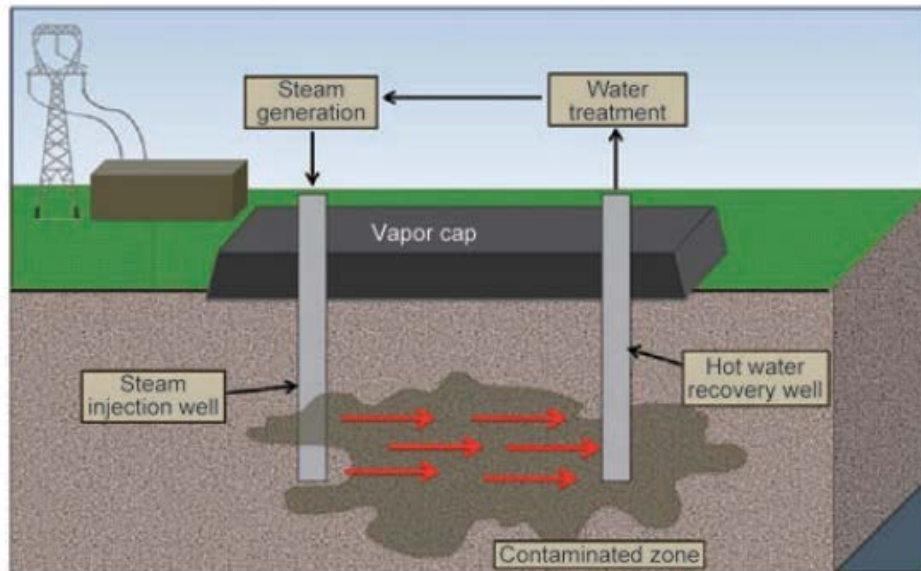
Remediační (sanační) technologie

(Bio)remediační technologie lze rozdělit dle místa jejich aplikace na:

- ↪ *in situ*, které jsou aplikovány přímo na kontaminované lokalitě; jsou relativně levné, ale jejich průběh je obtížně kontrolovatelný
- ↪ *ex situ*, ve kterých je kontaminovaný materiál odstraněn z původní lokality a buď k degradaci dochází na místě odstranění (**on site**) nebo je odstraněná kontaminovaná matrice převezena na jiné místo kde probíhá vlastní (bio)degradační proces na dekontaminační ploše nebo v (bio)reaktoru (**off site**).
- ↪ Přemístování kontaminované zeminy či spodní vody sice značně zvyšuje celkové náklady, ale proces je velmi dobře kontrolovatelný.

Remediační (sanační) technologie

↪ *In situ vs ex situ*



Remediační technologie

↪ **Termické**

↪ **Fyzikální, chemické, fyzikálně-chemické**

↪ **Biologické**

Remediační technologie

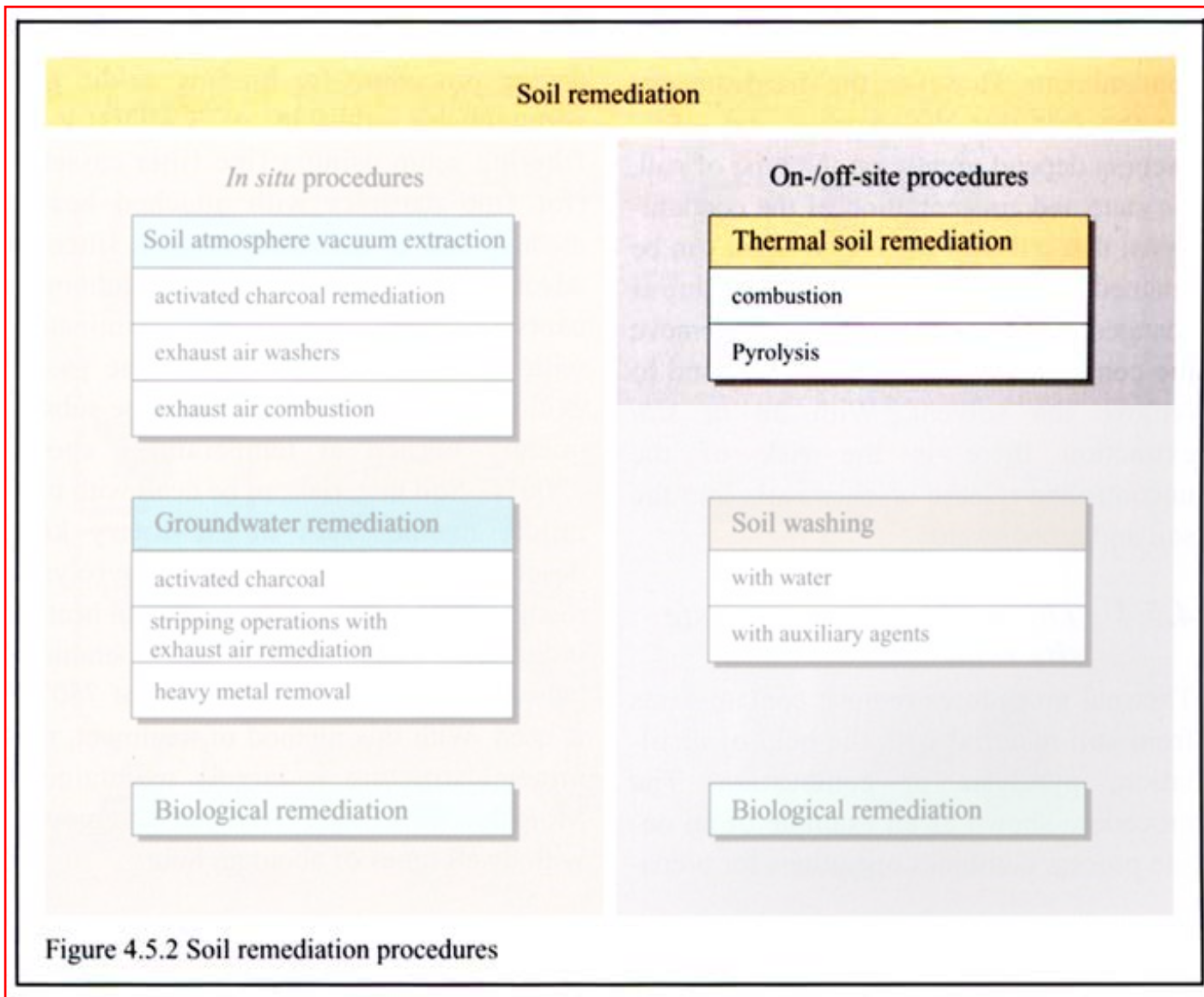


Figure 4.5.2 Soil remediation procedures

Tepelné sanace

Výhody:

- ↪ Rychlé provedení
- ↪ Aplikovatelné pro organické látky
- ↪ Aplikovatelné pro tuhá media
- ↪ Významné snížení objemu

Tepelné sanace

Omezení:

- ↪ Není použitelné pro anorganické látky
- ↪ Není použitelné pro kapalná nebo plynná media
- ↪ Možná rezidua vyžadují další proces
- ↪ Účinnost je řízena výskytem kontaminantů
- ↪ Relativně vyšší cena

Tepelné technologie

Technologie

Hlavní cílové kontaminanty

Spalovací systémy (ex)

X- (VOCs, X-SVOCs), PAHs,
PCBs, Pest., Diox/Fur.

Termické desorpční systémy (in or ex)

VOCs, SVOCs, PAHs, PCBs, Pest.,
Diox/Fur.

Pyrolýza (ex)

X- (VOCs, SVOCs), PAHs, PCBs,
Pest., Diox/Fur.

- Formaldehyde
- D-Limonene
- Toluene
- Acetone
- Ethanol (Ethyl Alcohol)
- 2-propanol (Isopropyl Alcohol)
- Hexanal

- Pesticides (DDT, Chlordane)
- Plasticizers (Phthalates)
- Fire retardants (PCBs, PBB)

- Propane
- Butane
- Methyl Chloride

Tepelné technologie

Technologie	Cena (US\$/t)	Doba čištění*
Spalovací systémy (ex)	220 – 6 000	< 6 měsíců
Termické desorpční systémy (in nebo ex)	40 - 300	6 to 12 měsíců
Pyrolýza (ex)	300	< 6 měsíců

() Doba je uváděna na standardní zpracovávané množství okolo 20 000 tons*

Termická remediace kontaminovaného území

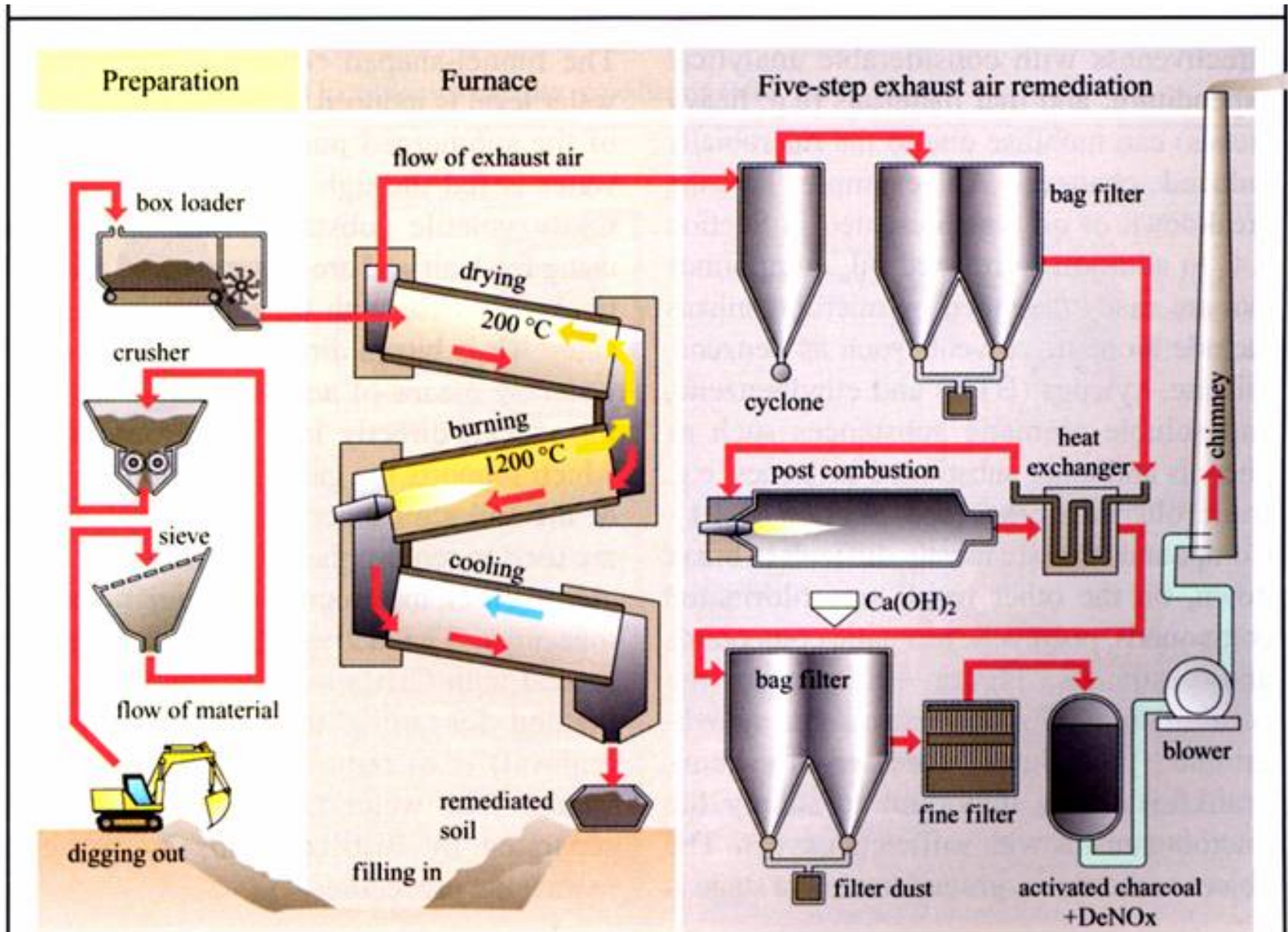


Figure 4.5.4 Thermal hazardous waste site remediation (after Bank 1994)

Tepelné technologie

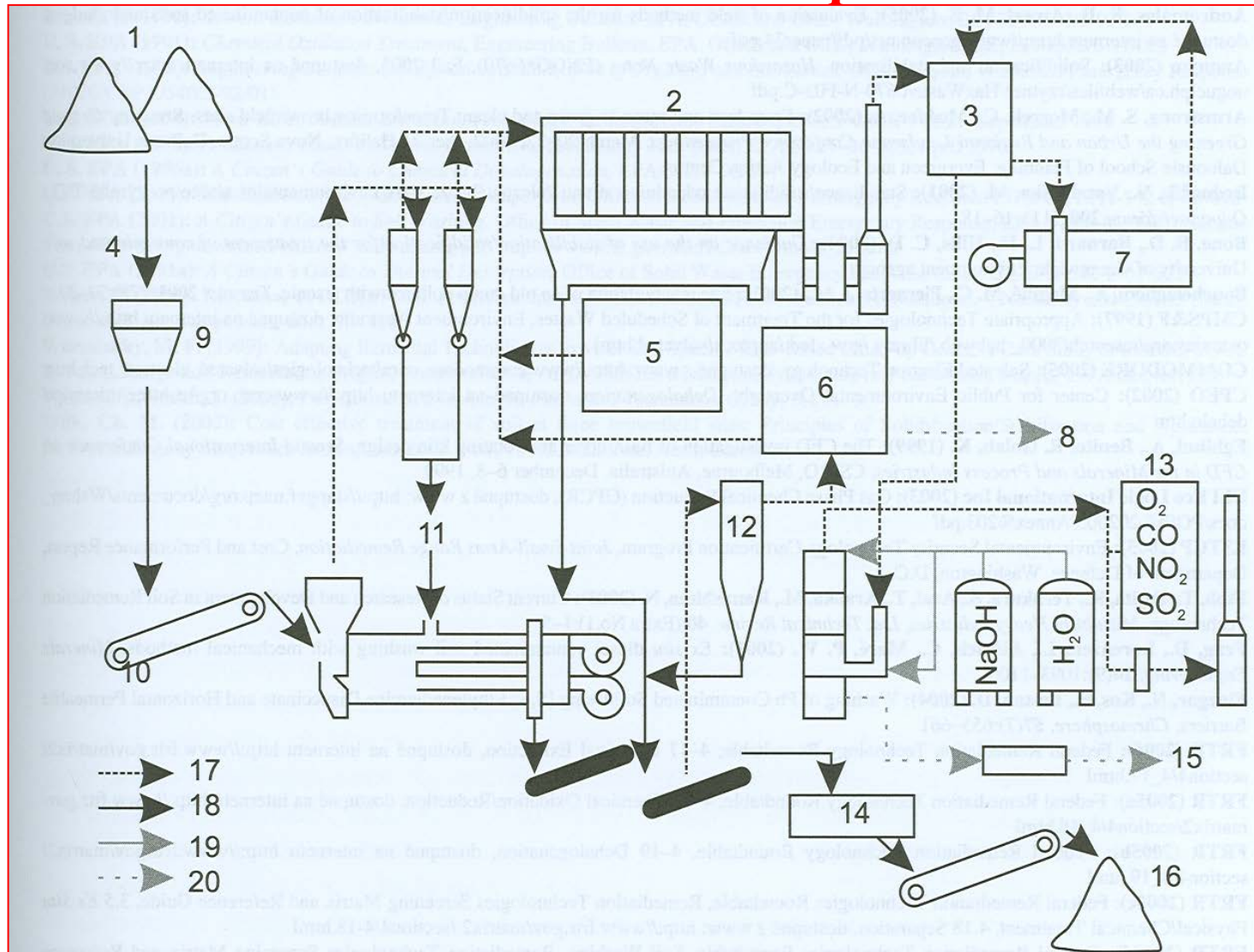
- ⇒ Spalovací systémy (ex)
- ⇒ Termické desorpční systémy (in nebo ex)
- ⇒ Pyrolýza (ex)

Termická desorpce

Charakteristiky:

- ↪ Vytěkané kontaminanty mohou být zpracovány, znovu-použity anebo zlikvidovány
- ↪ Zařízení na zajištění čištění emisí jsou potřebná
- ↪ Existují tři typy termických desorpčních procesů

Termická desorpce



Obr. č. 2.2.2-8 Schéma jednotky termické desorpce (firemní materiál SITA CZ, a. s.)

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

Termická desorpce

Aplikace:

- ↪ Využitelné pro VOCs, SVOCs, pesticidy a PCBs
- ↪ Není využitelné pro kovy (s výjimkou rtuti), plasty, dehet
- ↪ Využitelné pro různé rozsahy kontaminantů
- ↪ Používá se v kombinaci se stabilizací nebo dechlorací
- ↪ Využitelné pro půdy v rozmezí od písků po velmi nepropustné jíly (pokud jsou tyto předtím mísen s pískem)
- ↪ Bod varu kontaminantu je klíčovým faktorem při určení aplikovatelnosti

Termická desorpce

Specifické výhody:

- ↪ Účinnost vyzkoušena na kontaminovaných půdách, kalech a filtračních koláčích
- ↪ Je provozována při nižších teplotách a vyžaduje méně paliva než spalování
- ↪ Schopná separovat a vytěžit koncentrované kontaminanty
- ↪ Dekontaminovaná půda má některé půdní vlastnosti, ale je sterilní

Termická desorpce

Ceny:

- ↪ Ceny závisí na širokém rozsahu vlastností odpadů, jejich množství, obsahu vlhkosti, vlastnostech kontaminantu a cílech čištění

Provedení:

- ↪ **Může snižovat obsah VOCs v půdách o více než 99%**
 - **Odstranění PCBs v množství 99,99% bylo popsáno**
 - **Finální koncentrace nižší než 5 mg/kg je dosažitelná**

Remediační technologie

Termické

Fyzikální, chemické, fyzikálně-chemické

Biologické

Fyzikální a chemické technologie

- ↪ **Fyzikální procesy:** základem je fyzikální mechanismus fázového přenosu polutantů.
- ↪ **Polutanty jsou převáděny z tuhé fáze do plynné/parní fáze**
- například provzdušnění půdy (soil venting), ...) nebo do kapalné fáze (například vymývání půd, ...).
- ↪ **Nedochází ke změně chemické struktury kontaminantu**

Fyzikální procesy

Výhody:

- ↪ Rychlé provedení
- ↪ Využitelné pro široký rozsah kontaminantů
- ↪ Využitelné pro všechna media
- ↪ Lokalita nemusí být detailně charakterizována
- ↪ Relativně nižší cena

Fyzikální procesy

Omezení:

- ↪ Často se nejedná o čištění, ale pouze přesun polutantů
- ↪ Zbylá rezidua vyžadují další čištění
- ↪ Použití je omezeno místními charakteristikami

Fyzikální a chemické technologie

- ↪ **Chemické procesy:** chemická struktura (a chování) polutantů je změněna chemickou reakcí.
- ↪ **Vznikají méně toxické, méně pohyblivé nebo lépe separovatelné produkty.**

Chemické procesy

Výhody:

- ↪ Rychlé provedení
- ↪ Využitelné pro široký rozsah kontaminantů
- ↪ Využitelné pro všechna média

Chemické procesy

Omezení:

- ↪ Detailní charakteristika zpracovávané lokality je nezbytná
- ↪ Použití je omezeno místními podmínkami
- ↪ Rezidua musí být čištěna dalšími postupy

Fyzikální a chemické technologie

- ↪ Systémy půdních uzavřených zásobníků (*in or ex*)
- ↪ Plynná extrakce (SVE) a podpořená SVE (*in or ex*)
- ↪ Vyplachování půd (*in*)
- ↪ Vymývání půd (*ex*)
- ↪ Extrakce rozpouštědlem (*ex*)
- ↪ Chemická dehalogenace, Bazicky katalyzovaný rozklad (BCD) (*ex*)
- ↪ Elektrokinetické postupy (*in*)
- ↪ Pasivní stěny (*in*)

Fyzikální a chemické technologie

Technologie

Systemy uzavřených půdních zásobníků (*in or ex*)

Plynná extrakce (SVE) (*in or ex*)

Půdní vyplachování (*in*)

Půdní vymývání (*ex*)

Extrakce rozpouštědlem (*ex*)

Chemická dehalogenace, BCD (*ex*)

Elektrokinetické (*in*)

Hlavní cílové kontaminanty

Všechny typy kontaminantů

X- (VOCs, SVOCs)

X- (VOCs, SVOCs), PAHs, HMs

X- (VOCs, SVOCs), PAHs, HMs, PCBs, Pest.

X- (VOCs, SVOCs), PAHs, H.M., PCBs, Pest., Diox./Fur.

X-VOCs, X-SVOCs, PCBs, Diox/Fur.

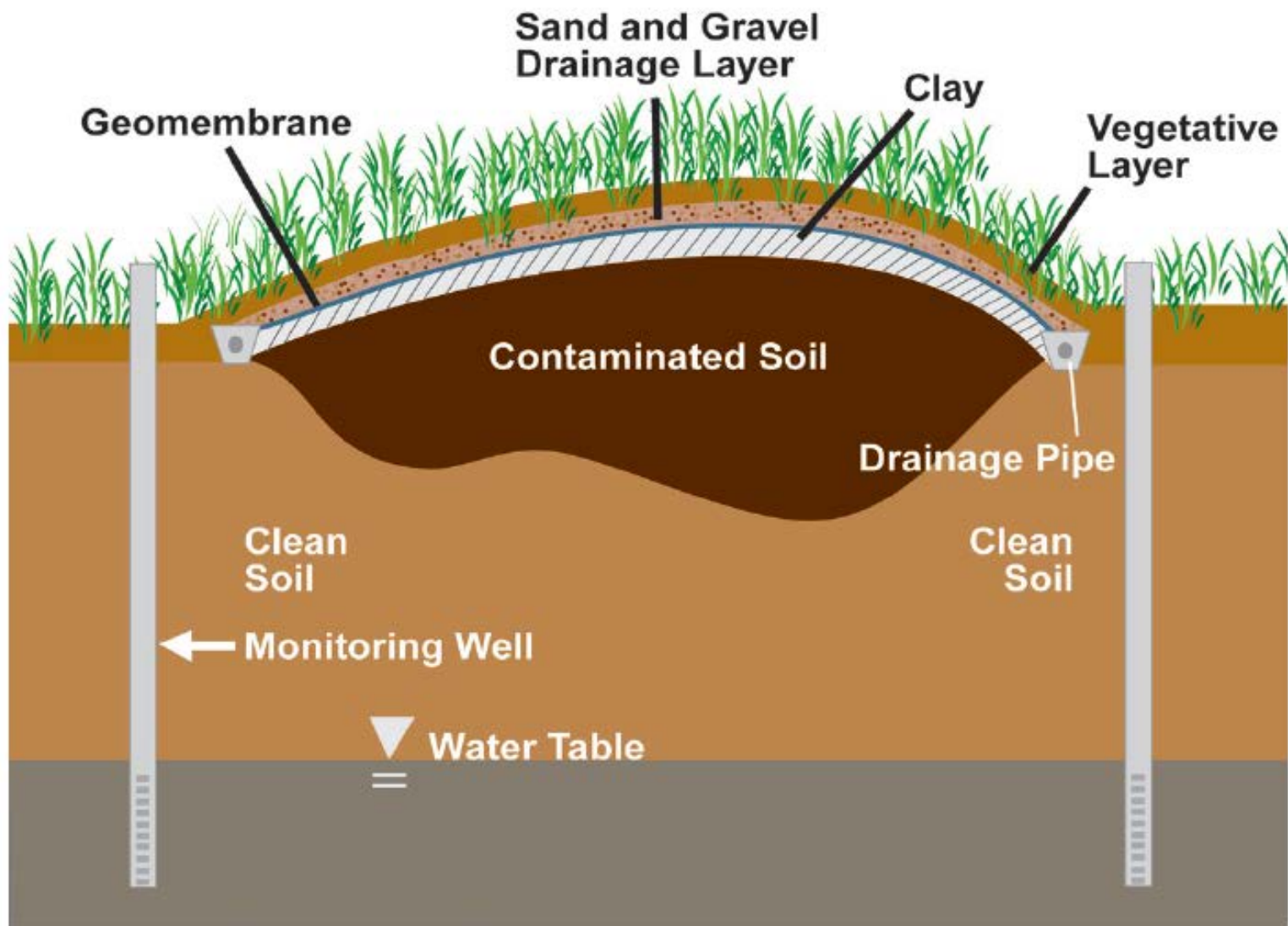
Těžké kovy (HMs)

Fyzikální a chemické technologie

Technology	Cost (US\$/ton)	Clean-up time*
Landfill cap systems (<i>in or ex</i>)	N. A.	N. A.
Soil vapour extraction (SVE) (<i>in or ex</i>)	20-130	6 to 12 months or >
Soil Flushing (<i>in</i>)	75-210	6 to 12 months
Soil Washing (<i>ex</i>)	140-400	6 to 12 months
Solvent extraction (<i>ex</i>)	150-450	6 to 12 months
Chemical Dehalogenation (<i>ex</i>)	200-500	< 6 months
Electrokinetic (<i>in</i>)	65-195	6 to 12 months

() Time referred to a standard mass of about 20000 tons*

Uzavřený půdní zásobník (Landfill cap)



System plynne extrakce (Soil Vapour Extraction)

In situ proces

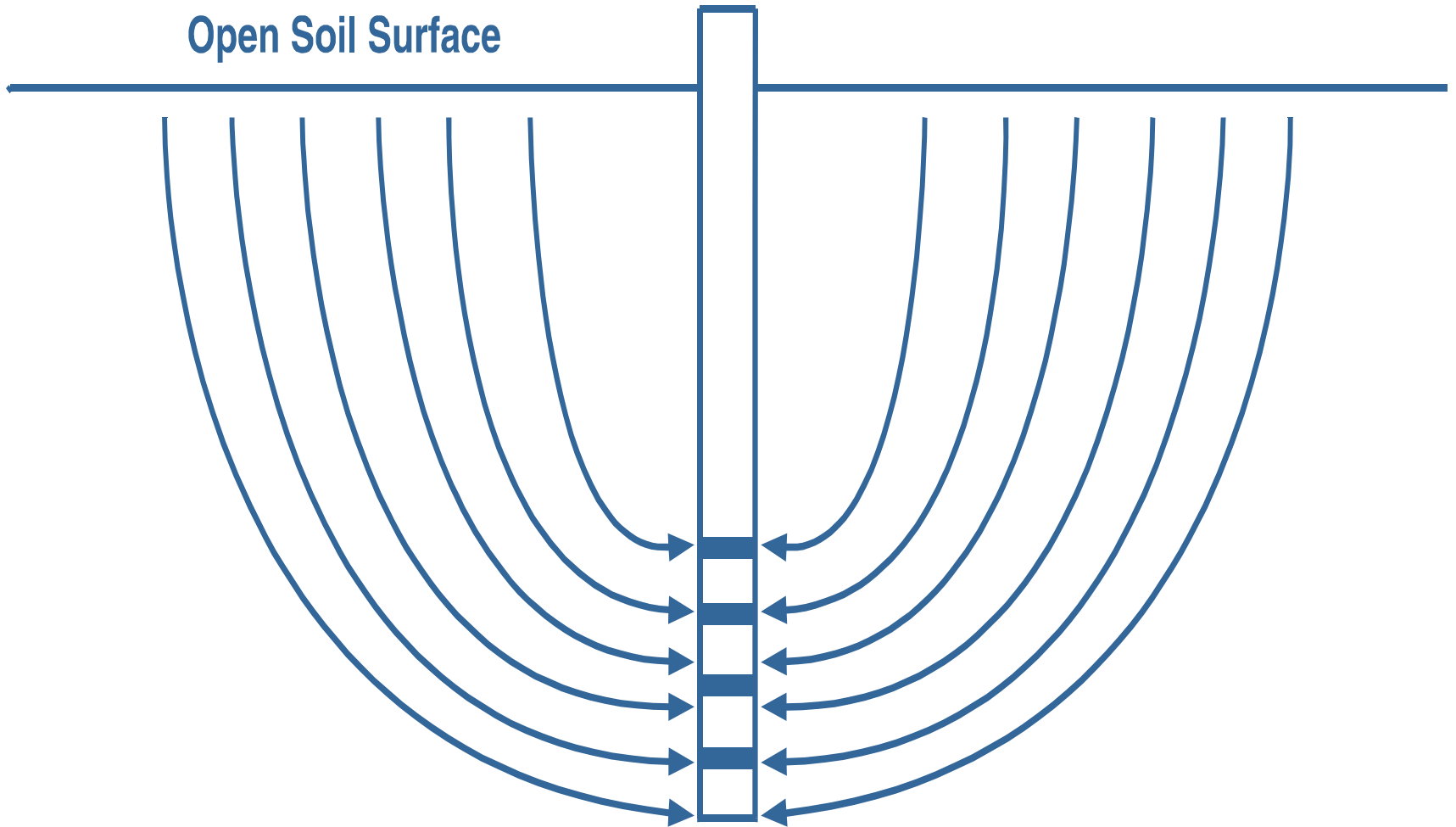
- ↪ Fyzikální separace a vytěžení kontaminantů
- ↪ Vytěkávání kontaminantů z půd
- ↪ Použití vakua a série extrakčních vrtů pro odstranění par
- ↪ SVE má různé názvy (provzdušnění půd (soil venting), ...)

Plynná extrakce

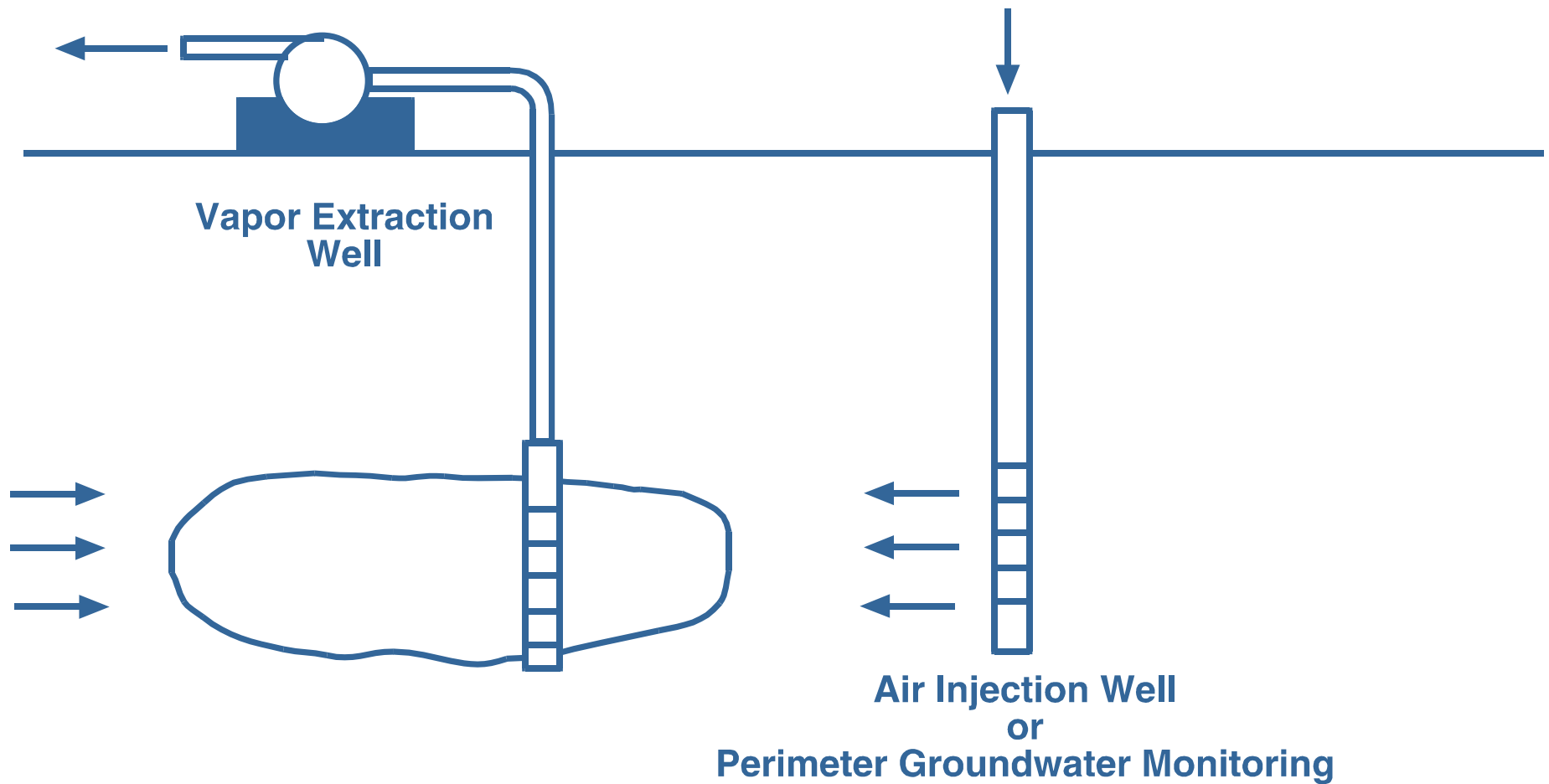
Cílové kontaminanty:

- ↪ VOCs
- ↪ SVOCs
- ↪ X- VOCs
- ↪ X- SVOCs

Vhánění vzduchu v podzemí



Aktivní vrty pro vhánění vzduchu



Hlavní faktory ovlivňující plynnou extrakci

Faktory ovlivňující použité vakuum

- ↪ Půdní vlhkost
- ↪ Porozita půdy
- ↪ Půdní pneumatická permeabilita
- ↪ Stratigrafie lokality

Faktory ovlivňující pohyb par

- ↪ Těkavost kontaminantu
- ↪ Obsah organické hmoty v půdě
- ↪ Půdní vlhkost

Plynná extrakce

Specifické výhody:

- ↪ Nevyžaduje vybagrování
- ↪ Je relativně jednoduchá na instalaci
- ↪ Je využitelná pro většinu těkavých kontaminantů
- ↪ Vyznačuje se flexibilitou designu umožňující rychle změny v provádění
- ↪ Může být využita ve spojení s dalšími remediačními technologiemi
- ↪ Prováděcí ceny jsou nižší ve srovnání s odstraněním například vybagrováním

Plynná extrakce

Specifická omezení:

- ↪ Využitelnost je omezena na těkavé látky
- ↪ Půda musí být propustná a relativně homogenní
- ↪ Nadbytek půdní vlhkosti musí být odstraněn a zpracován
- ↪ Úplný provozní design vyžaduje pilotní studii proveditelnosti

SVE s podporou

↪ Dvoufázová extrakce

↪ Termické procesy

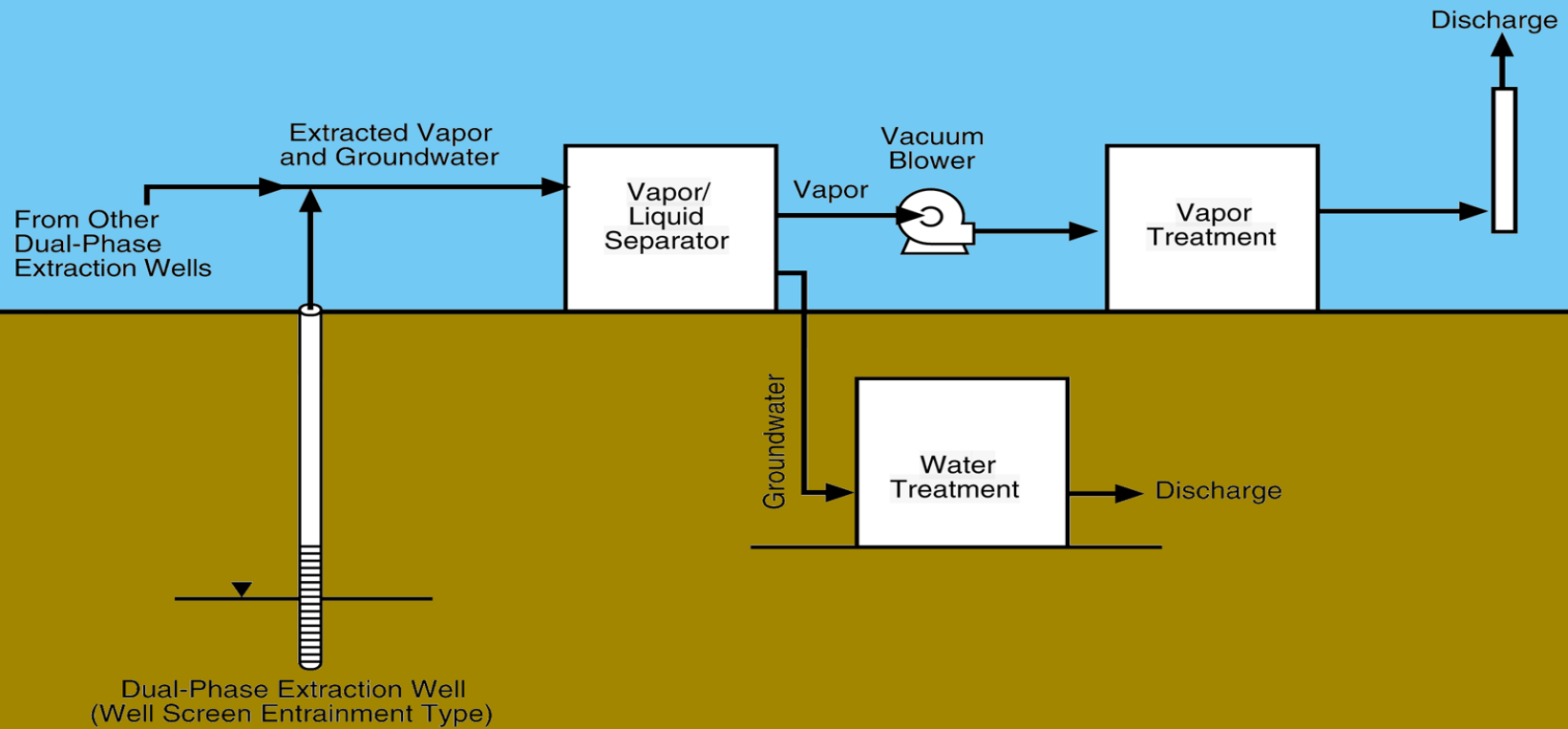
↪ Atd.

SVE – dvoufázová extrakce

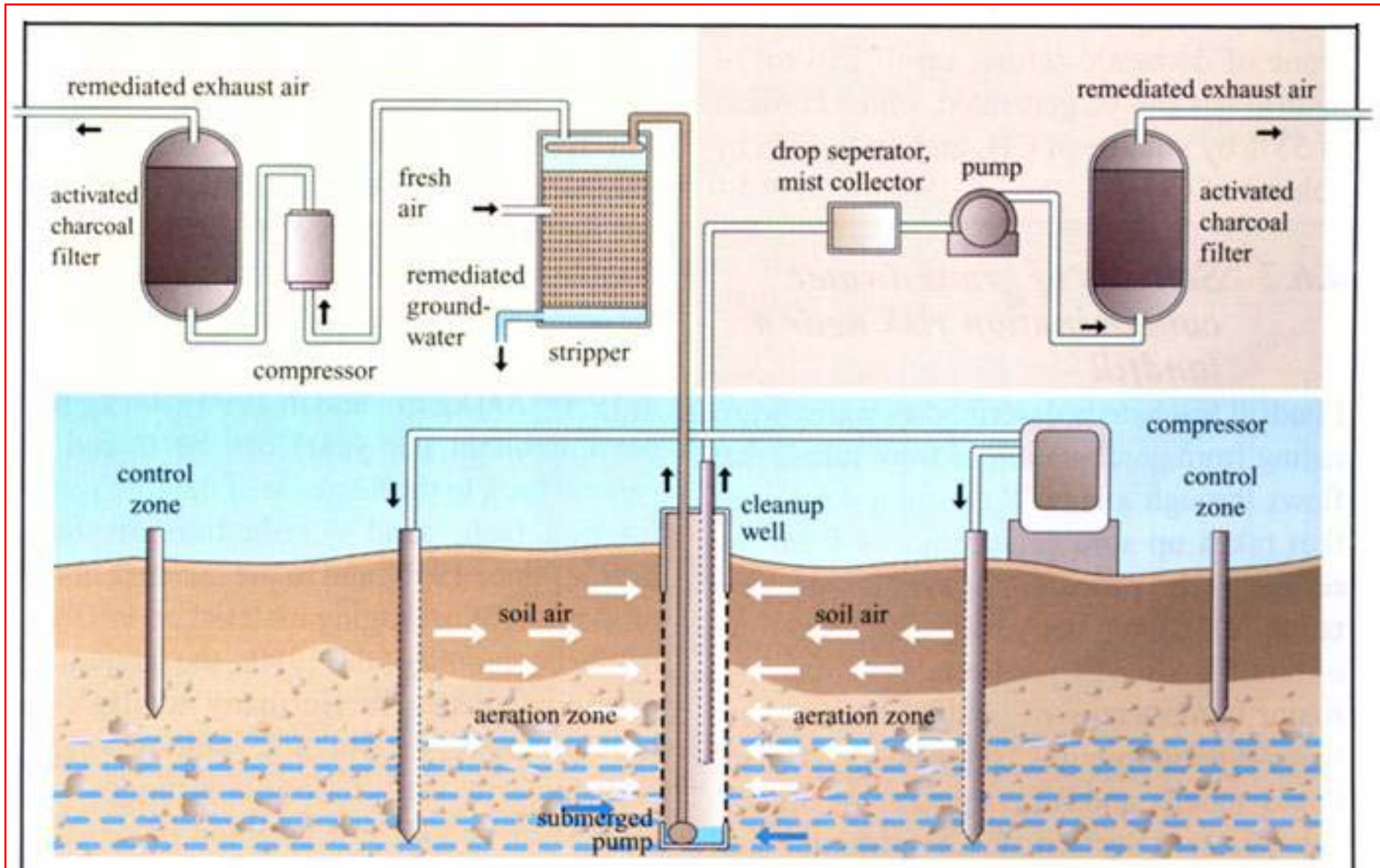
- ↪ **Odstraňuje podzemní vodu a páry kontaminantů ze stejného vrtu**
- ↪ **Fáze jsou extrahovány použitím vakuové pumpy**
- ↪ **Podzemní voda a páry jsou separovány a zpracovány**

SVE – dvoufázová extrakce

SCHEMATIC OF DUAL-PHASE EXTRACTION SYSTEMS



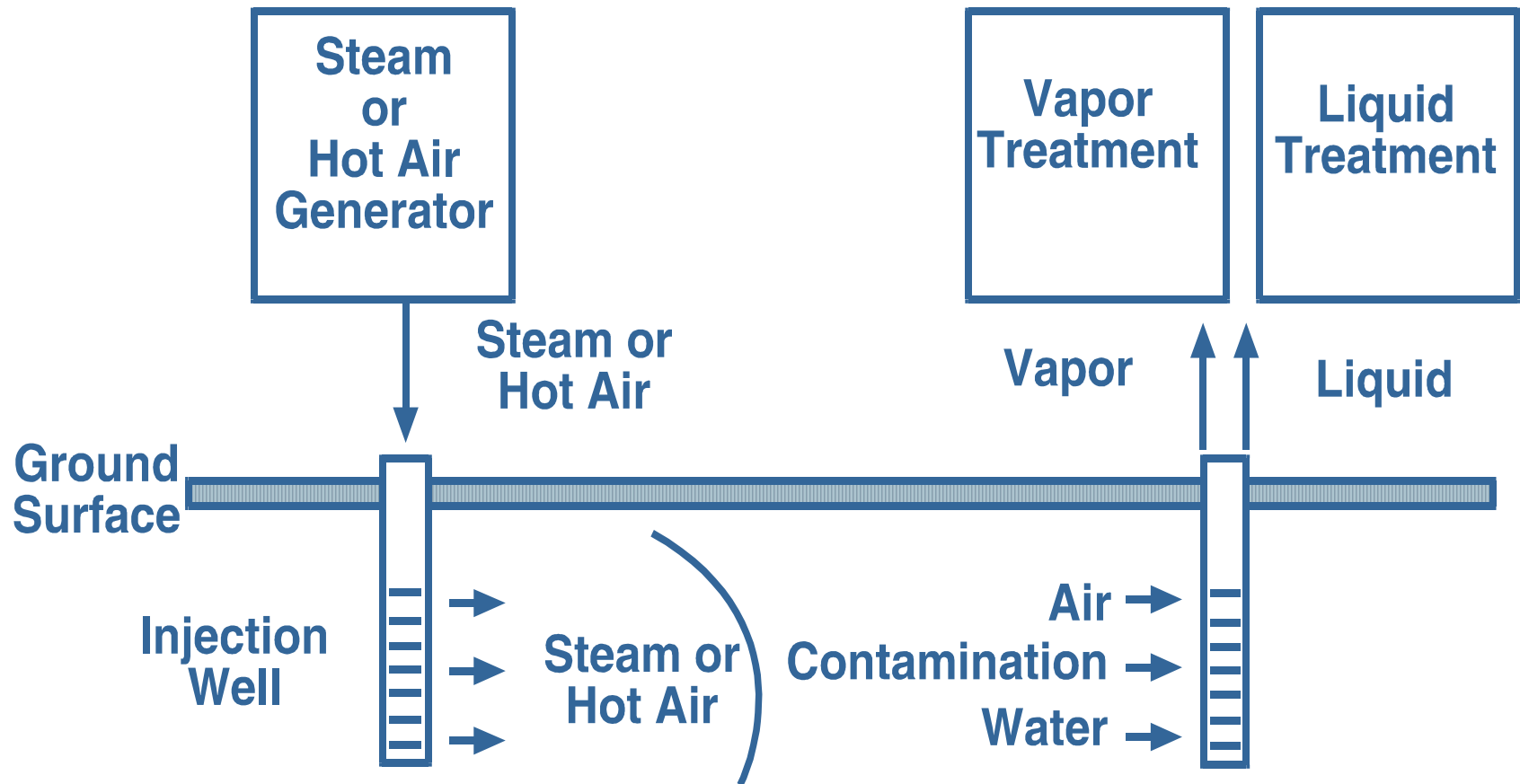
SVE – dvoufázová extrakce



SVE – termické podpůrné procesy

- ↪ Teplo pod povrchem zvyšuje těkavost kontaminantů
- ↪ Rozšiřuje aplikovatelnost SVE o méně těkavé kontaminanty
- ↪ Zahrnuje různé techniky pro zavedení tepla (vhánění páry, vhánění horkého vzduchu, radio-frekvenční zahřívání, vodivostní zahřívání a další)

SVE – termické podpurné procesy



Vyplachování půd (soil flushing)

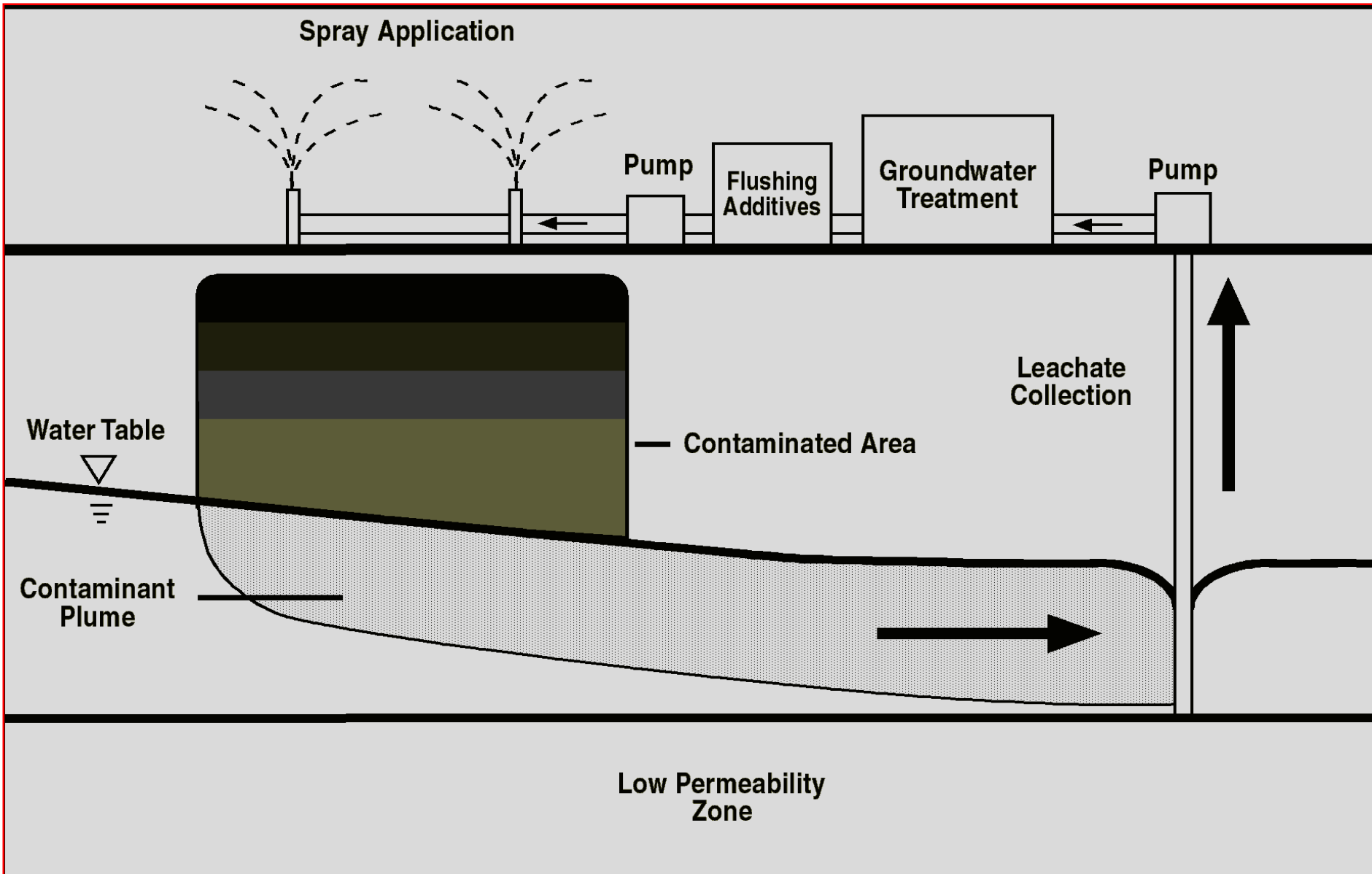
Cílové kontaminanty:

- ↪ VOCs
- ↪ SVOCs
- ↪ X- VOCs
- ↪ X- SVOCs
- ↪ PAHs
- ↪ **Těžké kovy**

Vyplachování půd

- ↪ Vhodné pro kontaminanty rozpuštěné v půdní vodě (in situ)
- ↪ Záchyt polutantů před tím než kontaminují podzemní vodu
- ↪ Použitá voda cirkuluje pro usnadnění mobilizace kontaminátu v nenasycené zóně
- ↪ Cenové výhody vzrůstají s hloubkou, ve které je kontaminant lokalizován
- ↪ Ceny se pohybují mezi \$105 až \$210 za zpracovaný m³

Vyplachování půd – popis procesu



Vyplachování půd

Konvenční transportní mechanismus:

- ↪ **Konvenční transport:**
 - **Transportní medium: voda**
 - **Sekundární procesy: rozpouštění, redox reakce a desorpce**

- ↪ **Konvenční transport využívá tradiční konfiguraci záchytné zóny**

- ↪ **Advekce a chemie přírodních vod napomáhají mobilizaci kontaminantu**

Vyplachování půd

Zvýšený transportní mechanismus:

↪ Zvýšený transport zahrnuje dodatečné procesy:

- ✓ chemická aditiva
- ✓ termická kontrola

Vyplachování půd

Chemická omezení:

- ↪ **Kontaminanty a geochemie**
- ↪ **Obtížné čištění ropného znečištění a nevodných kapalných fází**
- ↪ **Kvalita dat**

Vymývání půd (Soil washing)

Cílové kontaminanty:

- ↪ VOCs
- ↪ SVOCs
- ↪ X- VOCs
- ↪ X- SVOCs
- ↪ PAHs
- ↪ Těžké kovy
- ↪ PCBs
- ↪ Pesticidy

Vymývání půd

- ↪ Použití mechanických postupů pro separaci kontaminantů z povrchu jemných částic (ex situ)
- ↪ Určeno pro předčištění nebo snížení objemu

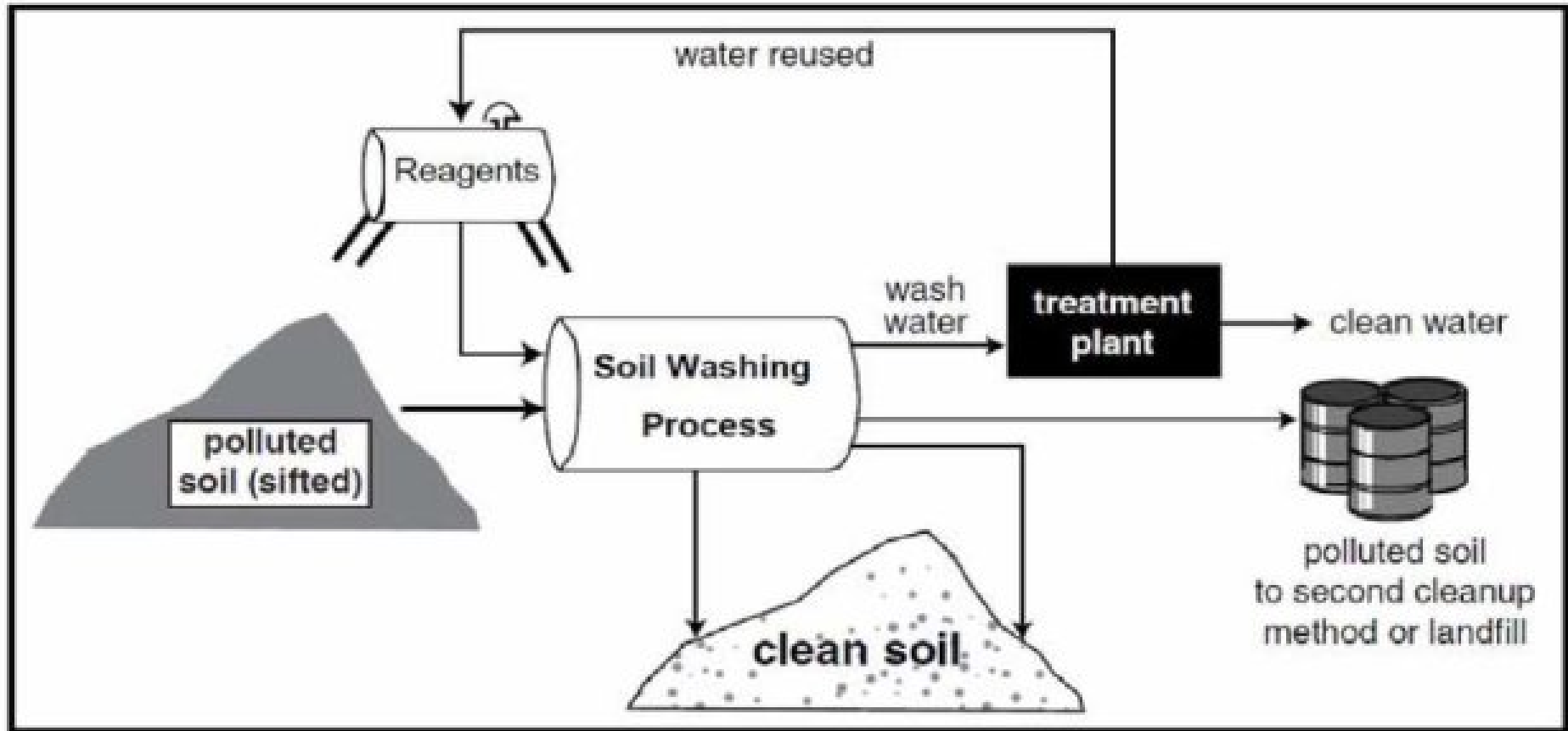
Vymývání půd

Odstraňování kontaminantů:

↪ **Separační proces**

- **Rozpuštěné nebo suspendované kontaminanty ve vymývacím roztoku**
- **Separuje částice dle velikosti**

Vymývání půd (Soil washing)



Vymývání půd

- ↪ **Příprava půdy**
 - Materiál větší 1 cm je odstraněn
 - Klasifikace půdních frakcí pro separaci kontaminantů

- ↪ **Proces vymývání půd**
 - Může být zvětšeno použitím vhodných vymývacích činidel, tenzidů nebo chelatačních činidel

- ↪ **Čištění odpadních vod**

- ↪ **Management reziduí**

Vymývání půd

Specifické výhody:

- ↪ **Upřednostňovaná veřejností**
- ↪ **Relativně nízká cenová alternativa ve vztahu k třídění odpadů**
- ↪ **Uzavřený čistící systém umožňující kontrolu těkavých emisí ve volném ovzduší**
- ↪ **Může redukovat objem kontaminovaného media a koncentraci kontaminantu**

Vymývání půd

Specifická omezení:

- ↪ Aditiva přidávaná do vymývací vody mohou vyžadovat čištění odpadních vod před vypouštěním
- ↪ Účinnost závisí na půdních podmínkách a povaze kontaminantů – u všech technologií
- ↪ Obvykle je nutný další stupeň čištění

Vymývání půd

Proveditelnost:

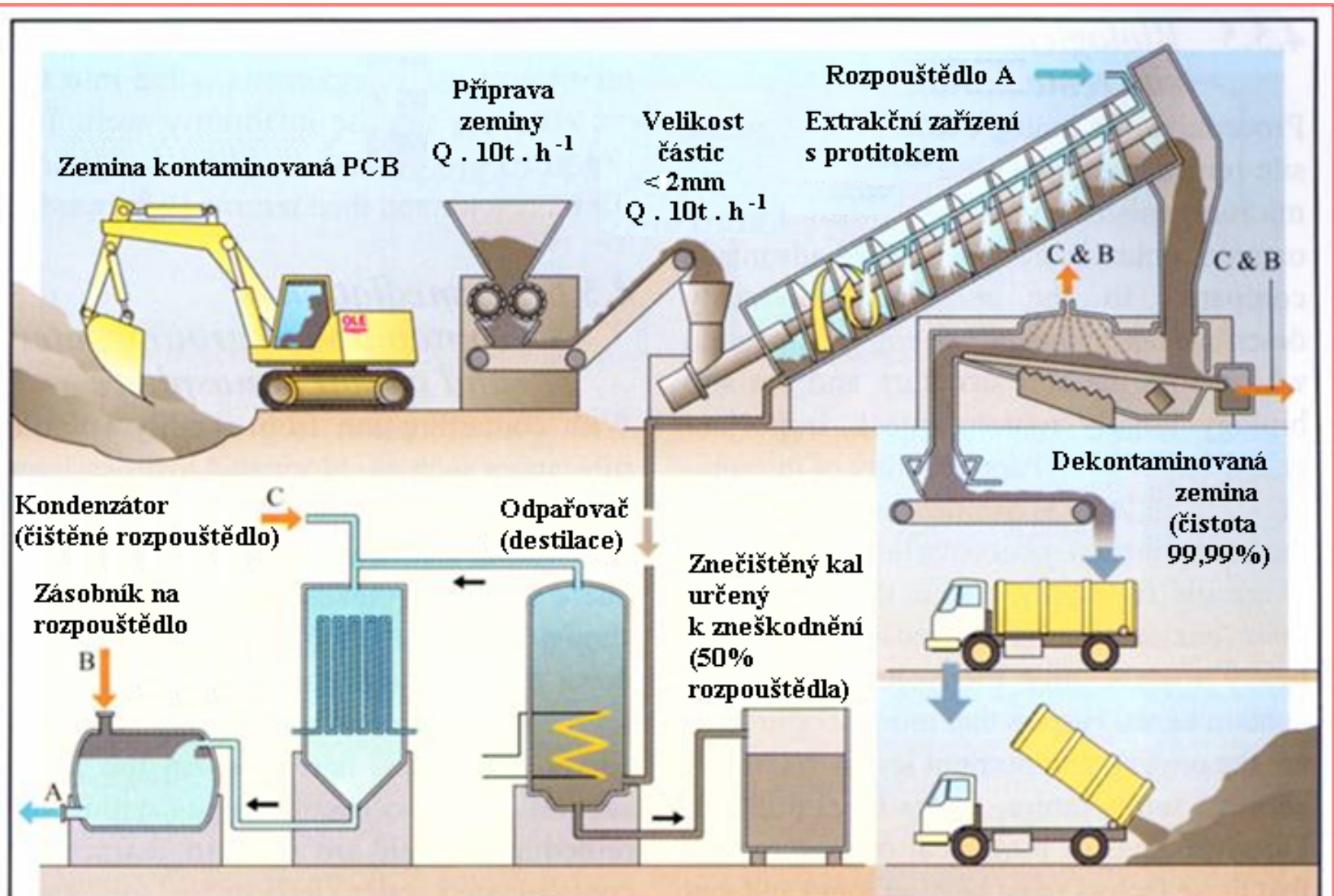
- ↪ **Může odstranit až 99% VOCs a 90% semi-volatilních látek**
- ↪ **Je omezena komplexností směsi odpadů a půdami s vysokým obsahem huminových a jílových složek**

Extrakce rozpouštědlem (*ex situ*)

Cílové kontaminanty:

- ↪ VOCs
- ↪ SVOCs
- ↪ X- VOCs
- ↪ X- SVOCs
- ↪ PAHs
- ↪ Těžké kovy
- ↪ PCBs
- ↪ Pesticidy
- ↪ PCDDs/Fs

Extrakce rozpouštědlem



Obr. 4.5.3 Extrakce pomocí rozpouštědel s protitokem (Bank, 1994)

Proces extrakce rozpouštědlem

Technologické aplikace:

- ↪ Čištěná media: sedimenty, kaly a půdy
- ↪ Čištění kontaminantů
- ↪ Čištění petrochemických odpadů
- ↪ Obecně není využitelná pro čištění půd s obsahy anorganických sloučenin

Proces extrakce rozpouštědlem

Výhody:

- ↪ Redukce objemu nebezpečných odpadů pro čištění

- ↪ Účinné pro zpracování a čištění:
 - Odpadů ze zpracování dřeva
 - Olejových emulzí s obsahem tuhých látek
 - Kalů ze separátoru
 - Podzemní nádrže

- ↪ Media mohou být vrácena na původní místo po dosažení požadovaných standardů

Proces extrakce rozpouštědlem

Omezení:

- ↪ Organicky vázané kovy omezují zpracování
- ↪ Přítomnost detergentu může být problémem
- ↪ Stopy rozpouštědel zůstávají v tuhé fázi
- ↪ Není účinné pro organické látky s vysokou molekulovou hmotností
- ↪ Úroveň obsahu vlhkosti omezuje účinnost

Proces extrakce rozpouštědlem

Provedení

- ↪ Extrakční účinnost pro PCBs v sedimentech se pohybuje od 90 do 98%
- ↪ Extrakční účinnost pro VOCs a SVOCs v laboratorních podmínkách bylo 99.9%
- ↪ Problémem jsou tuhé zbytky zůstávající v tancích

BCD proces – viz předn. nebezb. odp.

Cílové kontaminanty:

↪ X-VOCs

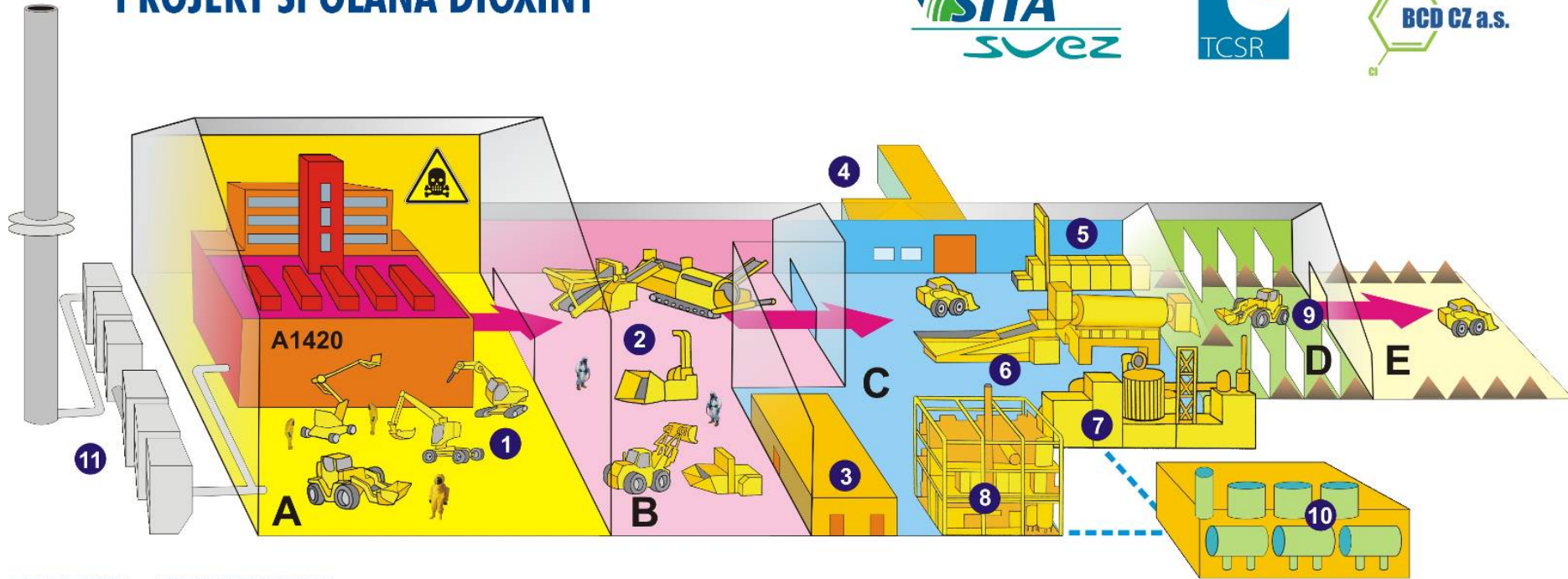
↪ X-SVOCs

↪ PCBs

↪ PCDDs/Fs

↪ Pesticidy (HCH)

PROJEKT SPOLANA DIOXINY



POPIS SCHEMA – SCHEME DESCRIPTION

A

Nejrizikovější zóna
Demontáž provozního zařízení, demolice budovy, odtěžení kontaminované zeminy.

Area of highest contamination
Decontamination and demolition of buildings and former chemical plant, and excavation of contaminated soil.

B

Předúprava směsného stavebního odpadu, třídění, drcení a úprava odpadů.

Pre-treatment of mixed construction waste, sorting, crushing, screening and blending.

C

Provoz sanačních technologií.

Operation of waste treatment equipment.

D

Standardní pracovní prostředí
Dočasně umístění zpracovaného odpadu před jeho využitím.

Temporary storage of decontaminated material while awaiting analytical verification.

E

Shromazdiště validovaného stavebního směsného odpadu před využitím k zpětnému zásypu.

Stockpile of treated material prior to its re-use.

1. Stavební stroje a mechanismy k demontáži a demolici sanovaných objektů
2. Stroje a zařízení k předúpravě směsného stavebního odpadu
3. Dekontaminační linka pracovníků
4. Dekontaminační linka techniky, strojů a zařízení
5. MPF – sanační technologie k dekontaminaci kovového odpadu
6. ITD – sanační technologie, nepřímá termická desorpce (směs. stav. odpady)
7. APS – provozní soubor k čištění plyných fází před vypuštěním do atmosféry
8. BCD – sanační technologie, zásaditá katalycká destrukce chlor. sloučenin
9. Stavební stroje k transportu zpracovaného dekontaminovaného odpadu
10. SČOV – Speciální čistírna odpadních vod
11. NAS – vzduchotechnika, podtlakový ventilace

1. Construction machinery used for excavation and the decontamination and demolition of buildings and process plant.
2. Pre-treatment equipment
3. Station for the decontamination of personnel
4. Control room and station for the decontamination of mobile equipment.
5. MPF - remediation technology for decontamination of metal waste
6. ITD - remediation technology, indirect thermal desorption (mixed construction waste)
7. APS - operating set for treating gaseous phases prior to discharge into the atmosphere
8. BCD - remediation technology, base catalysed decomposition of chlorinated compounds
9. Construction machinery for transportation of the decontaminated waste processed
10. SWWTP - Special wastewater treatment plant
11. NAS - Ventilation and filtration system for maintaining negative pressure inside the enclosures and process hall.

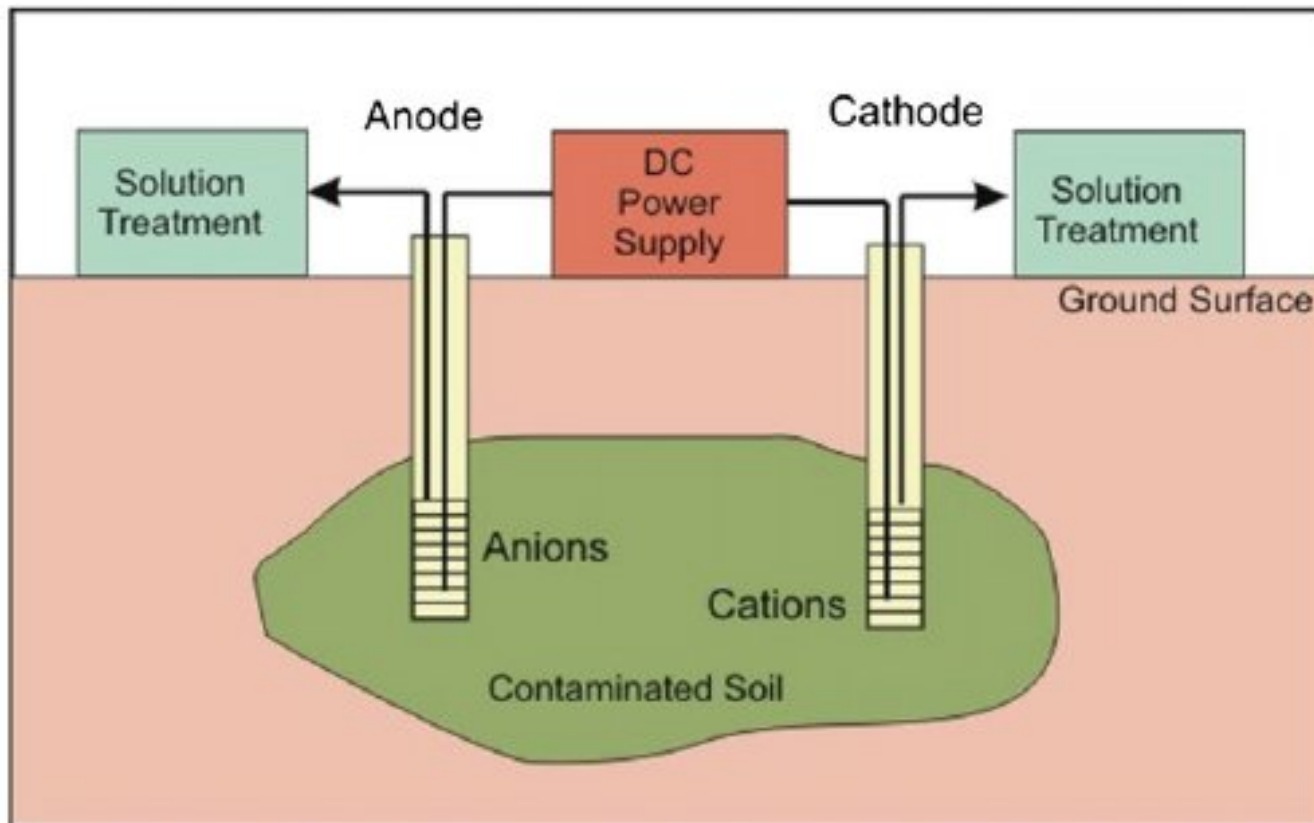


BCD CZ a.s.
Francouzská 4/75
120 00 Praha 2
Česká republika
Tel: +420 222 922 611
e-mail: info@bcdcz.cz

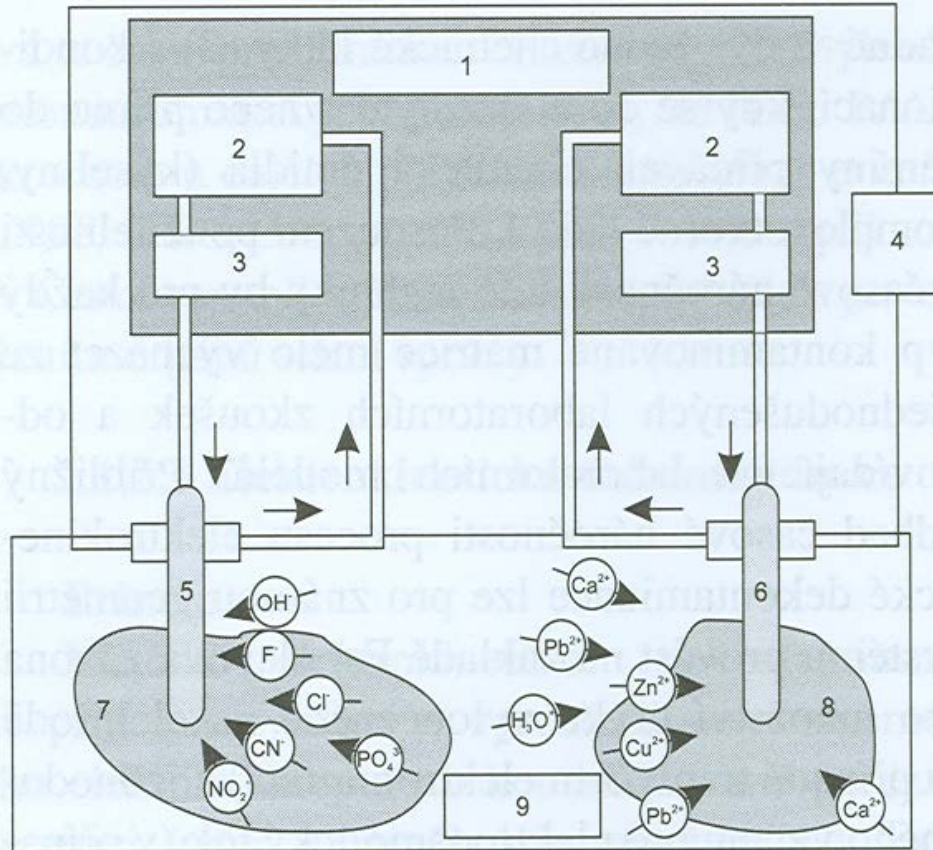
Elektrokinetické procesy

Cílové kontaminanty:

- ↪ Použití pro extrakci kovů a radionuklidů z půd, suspenzí a sedimentů



Konfigurace a geometrie elektrod



Obr. č. 2.1.2-1 Zjednodušené schéma technického uspořádání metody *in situ* elektrokinetické dekontaminace (U.S. EPA, 1995)

1 – zpracování elektrolytů, 2 – extrakce/iontová výměna, 3 – zpracování,
4 – zdroj stejnosměrného napětí, 5 – anoda, 6 – katoda, 7 – kyselá vlna,
8 – alkalická vlna, 9 – kontaminovaná porézní matrice

Elektrokinetické procesy

Typické procesy:

- ↪ **Separační a odstraňovací techniky elektrosrážením na elektrodách nebo v čistící jednotce**
- ↪ **Použití nízké proudové intenzity mezi elektrodami**
- ↪ **Je nejúčinnější v jemnozrnné, málo propustné půdě**

Elektrokinetické procesy

Proveditelnost a cena:

- ↪ Testy limitních hodnot výskytu radionuklidů a organických látek
- ↪ Pilotní studie zaměřené na elektrokinetické půdní procesy
- ↪ Dosažena odstraňovací účinnost 90 až 95% při relativně nízké ceně