

REAKČNÍ BARIÉRY - VHODNÁ SANAČNÍ ALTERNATIVA

Ing. Jindřich Řičica, Ing. Martin Růžička

*SOLETANCHE Česká republika, s. r. o., K Botiči 6, 101 00 Praha 10
soletanche@soletanche.cz*

1. ÚVOD

Reakční podzemní bariéry jsou již dlouhá léta (od r. 1982) zkoumanou alternativou sanačních metod. Je známo, že US EPA sledovala dlouhodobě vybrané lokality, kde probíhalo čerpání kontaminantů a došla k závěrům, že časové odhady ukončení sanace se často podstatně prodlužují, a že po obnovení čerpání se obvykle koncentrace znečištění zvýší nad očekávané hranice. Tato zjištění vedla k dalšímu tlaku na to, aby byly klasické aktivní metody s vysokými nároky na energii a lidskou práci porovnány s nějakou pasivní, méně nákladnou a dlouhodobou metodou. Po stovkách projekčních studií a pokusů bylo nakonec ve světě v nedávných letech provedeno několik desítek aplikací, které potvrdily, že reakční bariéry jsou tou hledanou alternativou.

Při uplatnění moderní metody reakčních bariér je ložisko kontaminace částečně nebo úplně obklopeno *těsnící podzemní stěnou* v níž jsou speciální technologií provedeny zvláštní drenážně filtrační průchody - tzv. *brány*. Tok znečištěných podzemních vod je tak usměrněn a průchodem přes speciálně navržené filtry *reakční brány* je voda upravena na předepsané limity.

V následujícím textu jsou blíže osvětleny výhody uvedené metody (kap. 2), okolnosti jejího použití (kap. 3 a 4), principy provádění (kap. 5) a typické reference (kap. 6).

2. PŘEDNOSTI REAKČNÍCH BARIÉR

2.1 Ekologické výhody

Po realizaci sanačního zásahu, který je obvykle velmi rychlý, je okolní prostředí podzemních vod okamžitě ochráněno. Sanace se provádí výhradně in situ a nedochází tedy k zatížení dalších území. Důležitý je také globální a kumulativní přístup k znečištěnému území, čímž se tato technologie liší od zavedených metod, které obvykle odstraňují znečištění lokálně, v tzv. hot spots.

Protože jsou filtrační brány kdykoli během provozu přístupné, lze provádět účinnou kontrolu funkčnosti systému, popřípadě výměnu filtrů. Systém se tak může s časem technicky zdokonalovat neboli použité filtry lze s technickým vývojem vyměnit za lepší a výkonnější nebo je adaptovat na eventuálně nově vzniklé kontaminanty.

2.2 Ekonomické výhody

Jelikož systém funguje vlivem přirozeného hydraulického spádu zcela samovolně, nemá během provozu žádné energetické náklady. Rovněž nároky na kontrolu a obsluhu jsou téměř nulové a tuto činnost lze provádět i na dálku. V porovnání s čerpacími metodami jde o značnou úsporu. Zřizovací náklady jsou ve srovnání s totální dekontaminací ložiska odtěžením až o 90 % nižší, vzhledem k úplným enkapsulacím je metoda výhodnější o 50 % a více, srovnání s ostatními metodami je zcela individuální.

Využitelnost znečištěného území zůstává po dobu sanace i po ní zachována a také zastavěné oblasti mohou být touto metodou dekontaminovány.

Předností je i fakt, že systém reakčních bariér zůstává technologicky nezměněn při aplikaci na různá znečištění popř. jejich kombinace, jedinou změnou je chemický charakter filtru.

3. OBECNÉ PODMÍNKY APLIKACE

3.1 Obecné souvislosti z hlediska analýzy rizik

Reakční bariéry zapadají do rámce strategických principů odstraňování starých ekologických zátěží v České republice, jež jsou formulovány v Metodických pokynech MŽP (viz Zpravodaj MŽP 8/1996) dvěma zásadními aspekty. *Prvním principem je nalezení **společensky přijatelné míry ekologických a zdravotních rizik**. Tento přístup se opírá o skutečnost, že dosažení „nulového rizika“ (např. absolutní odstranění kontaminace) není vždy z hlediska životního prostředí nutné a je obvykle spojeno s neúměrnými náklady. Druhým významným principem, o který se celý proces opírá, je posuzování a náprava zátěže s **ohledem na předpokládané užití území**. To znamená, že při hodnocení jsou zvažovány pouze realistické scénáře šíření kontaminace a ohrožení zdraví člověka a poškození přírodních zdrojů, které při daném využití mohou nastat. Uplatnění tohoto principu přihlíží k omezené výši finančních prostředků, které je možné na odstranění starých zátěží věnovat. Ve většině případů není finančně únosné sanovat území do té míry, aby bylo využitelné pro všechny aktivity (multifunkční využití).*

Reakční bariéry jsou tedy ze širšího správního hlediska souměřitelné s řešením obdobných komplexů problémů běžně akceptovaného zatěžování životního prostředí, jako jsou například limitované emise do ovzduší, limitované znečištění odpadních vod vypouštěných do vodoteče, regulovaná produkce a zneškodňování odpadů z výroby, atd. Zejména legální skládka odpadů je vhodným případem pro srovnání, neboť zde dokonce programově dochází k nárůstu objemu znečištění a výluhů, oproti pozvolnému poklesu u reakčních bariér.

3.2 Legislativní podmínky aplikace v ČR

Základní právní kategorie uvádí zákon č. 17/1991 Sb. o životním prostředí v §5 (Únosné zatížení území) a v §12 (Přípustná míra znečištění). Ve vztahu ke staré ekologické zátěži lze zde uvést, že smysl tohoto ustanovení je v zavedení pojmu „únosnosti“ zátěže, které vylučuje poškozování složek životního prostředí, ať už ve znečištěné lokalitě samotné nebo spíše ve vlivu tohoto znečištění na okolí. Tato zásada je ve věcném souladu s výše uvedeným metodickým pokynem MŽP, kterým byly zavedeny klasifikační normativy na znečištění zemin a podzemní vody, a zejména jde o významný nástroj hodnocení skutečného rizika tohoto znečištění, v důsledku jeho migrace do okolí, které má být hodnoceno podrobně stanovenou metodikou.

Další důležitou normou je zákon č. 138/73 o vodách a jeho čerstvá novela č. 14/1998 Sb. Pro problematiku starých ekologických zátěží je dominující ze dvou důvodů. Za prvé proto, že podzemní vody mohou být znečištěny jako samotná složka staré ekologické zátěže i jako složka významně zprostředkující migraci znečišťujících látek do okolí. Druhým aspektem je to, že rozhodnutí určující parametry asanace vydává příslušný orgán státní správy prioritně podle tohoto předpisu (§27 zákona); zároveň má oprávnění k tomu, aby takové případy označil současně i jako havarijní zhoršení jakosti vod (§26 zákona). Běžnou praxí je současné určení profilu či míst, kde cílové parametry asanace mají být dosaženy.

Skutečnost, že v ekologické legislativě je zaveden pojem „hodnocení rizika“ znečištění zemin a podzemní vody, dává možnost státní správě při rozhodování, kdy je účelné asanaci provést a do jaké míry, a současně také rozhodnout i o konkrétním postupu asanace. Při tom se může řídit následujícími podklady:

- a) Odborným posouzením návrhu asanace vycházejícím zpravidla ze studie proveditelnosti.
- b) Dalším využitím asanovaného pozemku.
- c) Výší nákladů na jednotlivé použitelné metody a stanoviskem investora.

Vedle klasických metod, založených na částečném, či téměř úplném, odstranění znečišťujících látek z horninového prostředí, lze zde v souladu s požadavky ekologické legislativy uplatnit metody izolační, tj. buď úplné enkapsulace nebo částečně propustné bariéry s reakčními bránami.

4. PODMÍNKY GEOPROSTŘEDÍ

4.1 Požadavky na vstupní informace o geoprostředí

Při zvažování možností použití reakčních bariér pro konkrétní lokalitu je nutné vyhodnotit všechny známé a dostupné informace. Ve vazbě na diskusi uvedenou v předešlé kapitole je pro optimální posouzení účelného a ekonomického použití sanační metody reakčních bariér potřebné poznat následující údaje o geoprostředí:

- rozsah, ohniska, charakter a průměrné koncentrace jednotlivých kontaminantů
- podrobné prostorové informace o hydrogeologickém kolektoru, jeho celkové mocnosti, stavu hladiny a směru proudění podzemní vody v delším časovém úseku, včetně hydraulických vlastností kolektoru (koeficient filtrace, storativita atd.)
- podrobné prostorové informace o charakteru podloží hydrogeologického kolektoru, včetně základních hydraulických vlastností (koeficient filtrace)

4.2 Charakter a prostorové rozšíření kontaminace

Při volbě správného postupu sanační metody musí být prioritně posouzen charakter kontaminace a její prostorové rozšíření. Z hlediska úspěšnosti aplikace reakčních bariér jsou „vhodnými“ kontaminanty především těkavé organické látky (chlorované uhlovodíky), ropné látky (BTEX) lehčí než voda, těžké kovy a organické látky skupiny PAU.

4.3 Charakter podloží hydrogeologického kolektoru

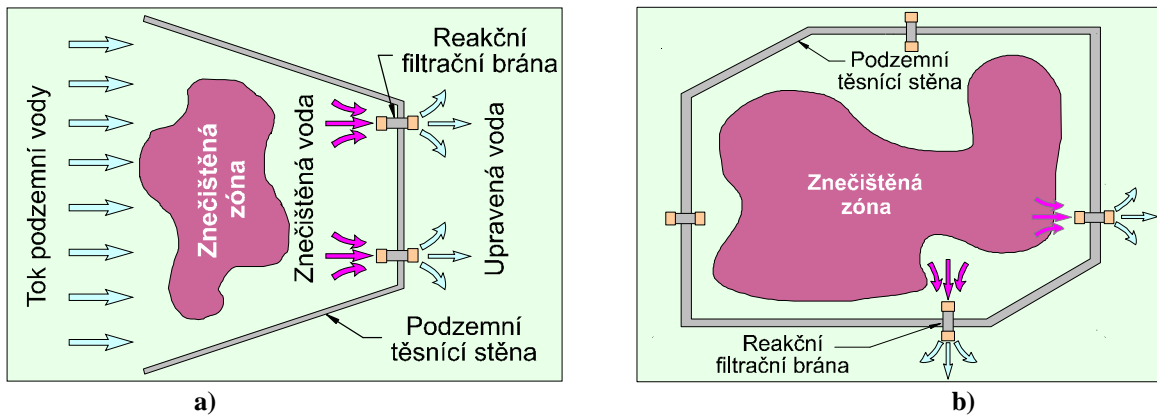
Ideální tzv. kompetentní podloží pro reakční bariéry představují relativně nepropustné horniny s koef. propustnosti $k_f > n \cdot 10^{-8} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Při málo propustném podloží ($k_f < n \cdot 10^{-6} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$), nebo pokud se v podloží průlinového kolektoru nachází kolektor s puklinovou propustností, účinnost a efektivita použití reakční bariéry klesá.

4.4 Vlastnosti hydrogeologického kolektoru

V případě, že tok podzemních vod je jednoznačně definován a rychlost proudění je dostatečná (aniž by byla příliš velká), je výhodné aplikovat *otevřenou reakční bariéru* (viz obr. 1a). Uvedené podmínky obvykle splňují prostředí údolních kvartérních teras většiny vodních toků v České republice. Mocnost zpravidla nepřesahuje 7 až 10 m, a koeficient filtrace se zpravidla pohybuje v rozmezí $k_f = n \cdot 10^{-3}$ až $n \cdot 10^{-5} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

Je-li propustnost hydrogeologického kolektoru nízká, tok podzemních vod příliš pomalý a zejména směr proudění proměnlivý, není vhodné aplikovat *otevřenou reakční bariéru*. Za určitých podmínek by mohlo dojít k obtékání reakční bariéry a tedy ke snížení její účinnosti. V tomto případě je nutné použít metodu *uzavřené reakční bariéry* (viz obr. 1b). Kontaminace tak může z této enkapsulace vylepšené o reakční brány procházet pouze přes filtry, kde se čistí. Dotacemi srážkových nebo proplachových vod je ložisko znečištění trvale promýváno a postupně eliminováno.

Protože účinné vyčištění kontaminované vody vyžaduje jistou minimální reakční dobu pro kontakt s polutantem, je použití uzavřené reakční bariéry vhodnější i tehdy, když množství a rychlost proudění kontaminované podzemní vody je příliš vysoké. Za těchto podmínek totiž obvykle vychází filtry u otevřené varianty neekonomicky objemné a/nebo početné. Aplikace uzavřené reakční bariéry s úspěchem řeší tento problém, neboť kontaminované ložisko je promýváno pouze srážkovými vodami a zřízení filtrů je méně nákladné.



Obrázek 1: (a) Otevřená reakční bariéra; (b) Uzavřená reakční bariéra

5. REAKČNÍ BARIÉRY FIRMY SOLETANCHE - BACHY

Společnost SOLETANCHE - BACHY jako přední mezinárodní dodavatel prací speciálního zakládání staveb a podzemního stavitelství, uplatňuje mnohé metody a technologické inovace i v oblasti ekologických sanací znečištění. Je to zejména technologie těsnících podzemních clon z patentované sorbentní směsi ECOSOL[®] a dále drenážní systém DRAIN PANEL[®] - viz 5.1 a 5.2 Kombinací obou zmíněných metod vznikla nová moderní a účinnější technologie známá u nás pod názvem „reakční bariéry“.

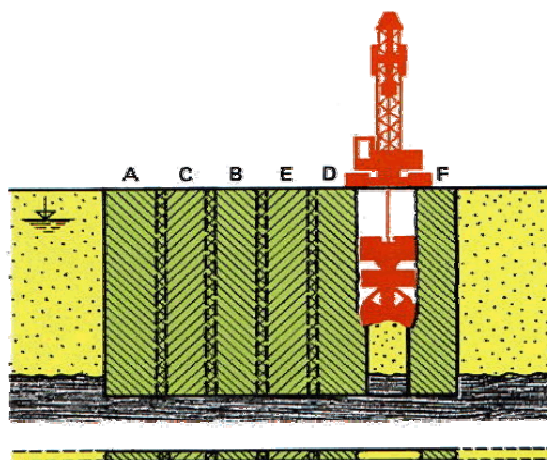
SOLETANCHE - BACHY spolupracuje při návrzích speciálních filtrů pro široké spektrum kontaminantů s různými odborníky z příbuzných disciplín (např. Rhodia-ATE ap.). Metodu reakčních bariér lze pak snadno použít pro sanaci území kontaminovaných polyaromatickými uhlovodíky, chlorovanými rozpouštědly, ropnými látkami (BTEX), kyanidy a těžkými kovy (Chróm 6, Arzén, ...), včetně směsí uvedených znečištění. Ve vývoji jsou i filtry pro komplexní výluhy z průmyslových a komunálních skládek.

5.1 Těsnící podzemní stěny - princip provádění

Před zahájením prací se připraví zpevněná pracovní plocha a vodící zídka. Ty plní několik velmi důležitých úkolů:

- určují polohu a výškovou úroveň stěny
- poskytují oporu pro výrobní operace
- poskytují zásobní prostor pro pažící suspenzi při zahájení těžby
- zajišťují stabilitu horní části rýhy

Stabilita rýhy je při těžbě udržována pažící jílocementovou suspenzí, která po ztuhnutí vytvoří těleso vlastní těsnící stěny. Podle okolností se pro těžbu používají různé mechanismy, nejčastěji však lanové a hydraulické drapáky. Tloušťka stěny je obvykle 60 cm a hloubka do 30 m i více. Hydrofréza dosáhne hloubek přes 100 m. Při těžbě drapákem sestává pracovní postup ze střídavého provádění primárních a následných sekundárních lamel mezi nimi. Dostatečně těsný styk lamel se zajišťuje přetěžením okrajů přiléhajících sousedních lamel, v nichž je drapák veden (viz obr. 2). Při budování těsnících podzemních stěn pro ekologické účely se velmi osvědčuje speciální těsnící a sorbentní směs ECOSOL[®]. Tato se kromě vysoké nepropustnosti ($k_f \leq 10^{-8}$) vyznačuje i výbornou schopností vázat ionty škodlivých látek z vodního roztoku.



Obrázek 2: Schéma provádění těsnící podzemní stěny

5.2 Drenážní podzemní stěny „DRAIN-PANEL®“ - princip provádění

Podzemní drenážní stěna, budovaná postupem „DRAIN-PANEL®“, řeší problémy, které jsou jinými běžnými postupy nezvladatelné. Systém sestává ze separovaně těžných elementů drenážní stěny, oddělených dokonale těsnícími elementy z jílocementové suspenze. Potrubí, osazené na dně těsnícího elementu zajišťuje průchod cirkulace vody mezi drenážními elementy. Toto zařízení rovněž umožňuje vložit dočasný uzávěr, kterým může být v případě potřeby oddělen jeden drenážní element od druhého (viz obrázek 3). Potrubí Ø 200 - 400 mm, uložené na dně těsnícího elementu, je vybaveno:

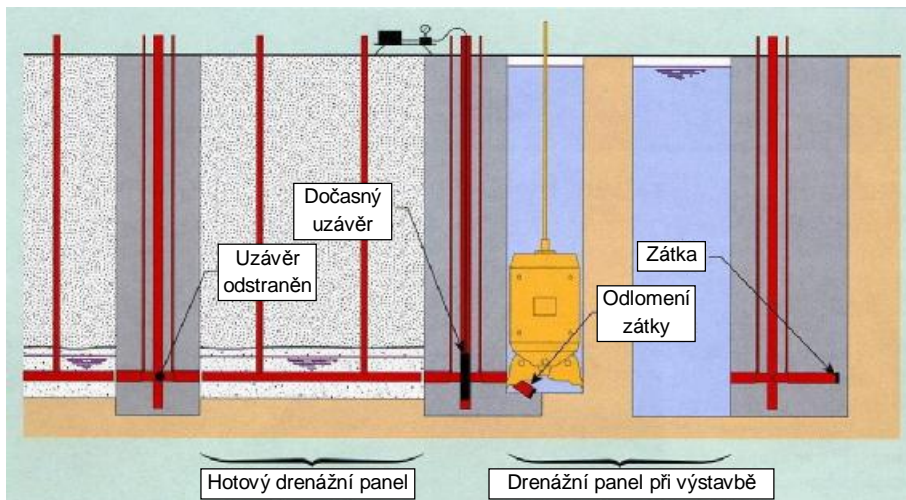
- na obou koncích odstranitelnými zátkami
- ve střední pevné části prostorem pro uzavírací systém.

Nejprve se provedou mezilehlé těsnící elementy o délce 2,5 – 2,7 m. Po jejich zatuhnutí se vytěží, pod ochranou biodegradační pažící suspenze, vlastní drenážní element o délce 5 – 15 m. Přitom jsou odtěženy okraje těsnících elementů a odlomeny zvláštním postupem zazátkované vstupy do potrubí. Předtím je potrubí v těsnícím elementu uzavřeno a odděleno od předchozího dokončeného drenážního elementu. Do vytěženého drenážního panelu se uloží drenážní potrubí propojující krajní těsnící elementy. Kolem potrubí se vytvoří drenážní obsyp dle návrhu, např. z kameniva 16/32 mm (viz obr. 3).

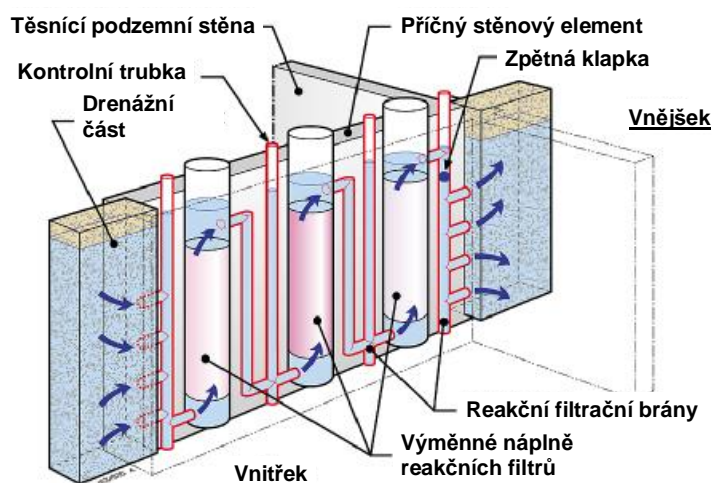
Hlavní výhody popsané metody plynou z kvality těsnících elementů a možnosti oddělit požadované úseky drenáže v průběhu provádění nebo kdykoliv později. Z každého drenážního elementu může být ihned po jeho dokončení vyčerpána pažící suspenze. Drenážní podmínky v každém drenážním elementu mohou být spolehlivě kontrolovány.

5.3 Reakční bariéry - princip provádění

Realizace reakční bariéry probíhá v několika krocích. Nejprve je provedena vnější těsnící podzemní stěna na bázi jílocementu. V místě reakčních bran (viz obr. 4), kolmo na podzemní stěnu, jsou zhotoveny krátké stěnové elementy ze stejného materiálu. Do čerstvé výplně těchto elementů je instalován potrubní systém pro uložení filtrů. Posledním krokem je zhotovení návazných drenážních částí. Průchodem podzemní vody přes výměnné náplně reakčních filtrů se odstraňuje kontaminant (viz obr. 4).



Obrázek 3: Schéma provádění drenážní stěny „Drain - Panel“[®]



Obrázek 4: Princip činnosti reakční brány a napojení na těsnící podzemní stěnu

6. REFERENCE

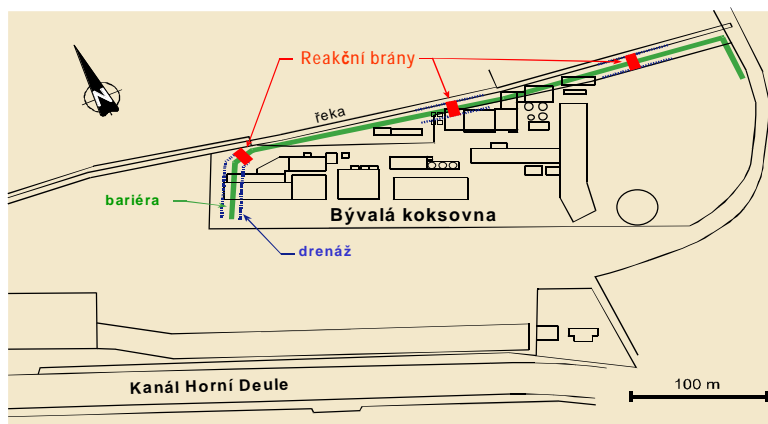
6.1 Bývalá koksovna v Auby (F) - znečištění polyaromatickými uhlovodíky

6.1.1 Situace

Bývalá koksovna v Auby (severní Francie) je situována na břehu kanálu řeky Haute Deule, asi deset kilometrů od města Douai. Výrobní fungovala až do roku 1962 a v roce 1969 došlo k její demolici. V polovině devadesátých let bylo přistoupeno ke kompletní rekultivaci pozemku. Během zemních prací, zejména při odstraňování podzemních nádrží, bylo konstatováno nadměrné zvýšení koncentrace PAU v piezometrických vrtech umístěných po proudu toku podzemní vody. Podrobným doprůzkumem bylo prověřeno, že podzemní vody uvedené lokality (výměra asi 12 ha) jsou kontaminovány vysokými koncentracemi polyaromatických uhlovodíků, a zejména že tyto se mohou dále zvýšit při zemních pracích, jenž tak mohou aktivovat znečištění původně vázané v zeminách. Majitel pozemku se na základě těchto zjištění rozhodl provést sanaci znečištění, a to prostřednictvím reakčních bariér.

6.1.2 Geologické podmínky

Geologie lokality je relativně jednoduchá. Zeminy jsou tvořeny navážkami a sedimenty, v nichž se koncentruje znečištění. V hloubce 5 - 7 m se nalézají nepropustné jílové podloží.



Obrázek 6: Schéma lokality Auby (Francie)

6.1.3 Popis sanačních prací

Nejprve byla mezi kontaminovaným ložiskem a tokem řeky provedena těsnicí podzemní stěna proměnné hloubky 6 - 8 m a délky 430 m (celková výměra 3 520 m²). Použitá směs byla speciálně navržena pro vysoké koncentrace NH₄⁺ obsažené v podzemních vodách. Koeficient nepropustnosti těsnicí stěny je 5 x 10⁻⁹ m/s. Dále byly ve stěně podle patentované technologie realizovány tři reakční brány vybavené po dvou vyměnitelných filtrech (náplň 2x150 kg). Velikost filtrů je dimenzována pro roční výměny. Pro usnadnění toku podzemní vody k a od reakční brány byly provedeny ještě úseky drenážních stěn v celkové délce 600 m. Tok podzemních vod reakčními bránami je průměrně 1,5 m³/h. Navíc průtok každou z bran může fungovat jak sériově tak paralelně, čímž lze regulovat množství protékající vody (bylo použito na jaře 1999 následkem velkých srážek). Pod ochranou zhotovené reakční brány mohly být dokončeny započaté zemní práce a celková rekultivace lokality, aniž by se mohly nadměrně zvýšit koncentrace PAU v podzemních vodách v blízkosti řeky.

6.1.4 Monitoring

Kontrola sanačního systému je zjednodušena použitím speciálních zařízení umožňujících průběžná piezometrická měření a odečítání koncentrace PAU před a za reakčními bránami. Všechny výsledky jsou z odběrných míst automaticky shromažďovány programem „Pollux“ (SOLDATA) a dále odesílány telefonními linkami jak dodavateli sanačních prací, tak superviznímu orgánu.



a)



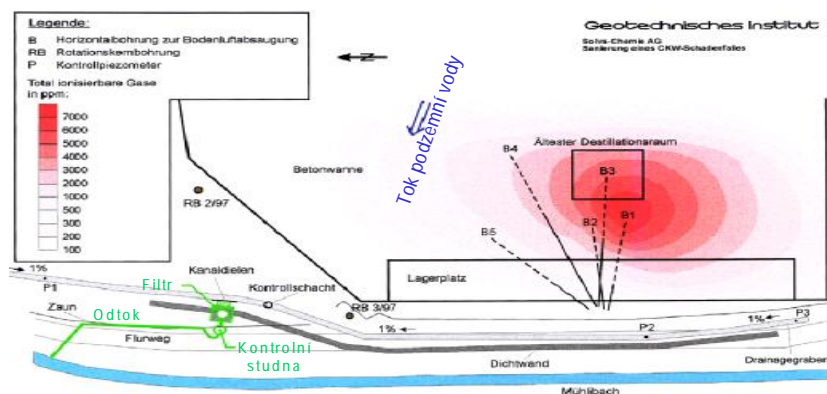
b)

Obrázek 7: a) Auby - celkový pohled a reakční brána; b) Výměna filtrů

6.2 Továrna Solva Chemie (CH) - znečištění chlorovanými rozpouštědly

6.2.1 Situace

Chemická továrna Solva Chemie je situována poblíž obce Bätterkinden, mezi městy Bern a Soleure ve Švýcarsku. Až do roku 1992, kdy byla provedena nepropustná betonová deska, byly podzemní vody permanentně kontaminovány infiltrací chlorovaných rozpouštědel. Přestože dále nedocházelo k pronikání kontaminace do zemního prostředí, podzemní vody vykazovaly nadměrnou míru znečištění. V souladu s federální legislativou bylo rozhodnuto provést sanaci. Svrchní vrstvy zemin jsou průměrně propustné. Spodní vrstvy jsou tvořeny nepropustným jílovým podložím.



Obrázek 6: Schéma lokality Solva Chemie Bätterkinden (Švýcarsko)

6.2.2 Popis sanačních prací

Pro přehrazení toku kontaminované podzemní vody byla nejprve zhotovena podzemní těsnicí stěna. Paralelně s ní byl na kontaminované straně vytvořen drenážní systém pro svod podzemní vody k reakční bráně, tj. podzemní drenážní stěna v celkové délce 150 m a síť subhorizontálních vrtů. Dále byla instalována do podzemního elementu z těsnicí směsi reakční brána z nerez oceli obsahující jeden filtr o objemu 1 m³. Tento filtr je speciálně navržen pro dané znečištění. Jedná se o materiál na bázi železa, jehož reaktivita byla podstatně zvýšena směsí katalyzátorů - počas rozpadu většiny upravovaných rozpouštědel nepřesáhne 5 min (viz tab. 1). Velká účinnost a reaktivita filtru umožňuje použít náplň, které jsou snadno manipulovatelné a tedy kdykoli vyměnitelné. Navržená propustnost filtru je $k_f = 5 \times 10^{-4}$ m/s. Na straně za reakční bránou byla ještě zřízena kontrolní šachta a odvod vyčištěných vod do přilehlé vodoteče. **Provedený systém sanace znečištění je garantován po dobu 10 let.**

| Kontaminant (µg/l) | Před reakční bránou | Za reakční bránou |
|-----------------------|---------------------|-------------------|
| Vinyl chlorid | 3 | 0,23 |
| Trichlóretylén | 94 | 0,46 |
| Cis 1-2 dichlóretylén | 199 | 2 |
| Perchlóretylén | 25 | 0,16 |
| 1.1.1 trichlóretan | 9 | 0,22 |
| Metýlén chlorid | | 0,08 |
| 1.1 dichlóretan | 0,67 | 0,5 |

Tabulka 1: Výsledky analýzy po dvou týdnech fungování

7. ZÁVĚR

Předpokládáme, že z uvedených informací si lze vytvořit dostatečnou představu o možnostech budoucího uplatnění sanační metody reakčních bariér tak, aby byly využity jejich výhody k všeobecnému užítku. Společnost SOLETANCHE ČR s.r.o. je připravena k zodpovězení veškerých dalších dotazů i k realizaci případného konkrétního záměru.