

# Dekontaminace horninového prostředí a podzemních vod

*Petr Nakládal, petr-nakladal@email.cz*

## **Souhrn.**

*V průmyslových podnicích se často setkáváme s kontaminacemi podzemního prostředí různými chemikáliemi. Pro řídicí pracovníky průmyslových komplexů je vhodné se seznámit se základními principy dekontaminace horninového prostředí a podzemních vod. Cílem textu je nejen prezentovat obecně známé způsoby čištění podzemí, ale i ukázat na příkladech na co si při nich dát pozor, co práce komplikuje a jak dekontaminace monitorovat.*

## **Summary.**

*In industrial enterprises we often encounter contamination of the underground environment with various chemicals. It is advisable for managers of industrial complexes to become familiar with the basic principles of decontamination of the rock environment and groundwater. The aim of the text is not only to present the generally known methods of underground cleaning, but also to show with examples what to watch out for, what complicates the work and how to monitor the decontamination.*

## **Úvod.**

Horninové prostředí lze snadno kontaminovat ať už záměrně například těžbou nerostných surovin, plánovanými úniky z technologií (můj bývalý šéf prosazoval názor, že když pracuju v mlýně, je nesmysl abych nebyl od mouky – to samé platí i v průmyslu) skládkováním a případně neúmyslně v rámci provozních úniků nebo různých typů havárií. Problémy nastávají, pokud chceme kontaminované území vyčistit nebo případně zajistit aby se kontaminace nešířila dále do okolí. Nejjednodušší dekontaminace postiženého území je kontaminovanou zeminu a horninu odtěžit a volný prostor zaplnit čistým materiálem (EX SITU – přímá dekontaminace). Pokud se ale kontaminace nachází pro techniku v nepřístupné oblasti, ať už ve větších hloubkách pod terénem nebo v zastavěném území neurčeném k demolici, pak je nutné použít metody dekontaminace horninového prostředí na místě tzv. IN SITU.

Zvláštní kapitolou umožňující koexistenci plánované kontaminace tvořené například provozními úniky kapalin s podložím průmyslového areálu jsou hydraulické ochranné bariéry. Jak už jsem prezentoval loni tak horninové prostředí snadno znečistíme (nasorbujeme), ale vlivem charakteru křivky desorpce ho lze už velmi obtížně dekontaminovat na původní parametry, které mělo před znečištěním. Na řadu tak přicházejí tzv. sanační limity. Ty se stanovují administrativně jako kompromis, kde se berou hlavně do úvahy ekonomické a politické faktory a teprve v menší míře kvalita horninového prostředí.

## **Přímá dekontaminace horninového prostředí.**

Odtěžení a odvoz kontaminovaných zemin a horninového prostředí je technicky nejjednodušší řešení daného problému. Má však i svoje významná úskalí. Prvním výrazným problémem je fakt, že pokud kontaminaci z vytěženého materiálu neodstraníme (např. ropné látky spálením) pak problém pouze přesuneme jinam a to nejčastěji na zabezpečenou skládku určenou pro příjem příslušného odpadu. Dalo by se předpokládat, že při platnosti zákona o odpadech se budou postupy dané prováděcí vyhláškou dodržovat. Fyzická likvidace kontaminovaného materiálu například ve spalovnách je nákladná záležitost a skládkování není o nic levnější. Proto často dochází k podvodům s cílem náklady na dekontaminaci území co nejvíce snížit. Také je potřeba dávat pozor aby se po odvozu kontaminovaného materiálu nerekontaminoval vytěžený prostor jiným kontaminovaným materiálem.

v sušině (mg/kg) a ve vodném výluhu (mg/l). Na základě analytických výsledků vzorků zemin a vodných výluhů ze vzorků zemin bylo zjištěno několik ohnisek znečištění.

#### Vzorky zemin

Vrt SB-1: Pozemek bývalé autoopravny, nyní sklad stavebního materiálu umístěný v jihozápadní části areálu, prokázal zvýšené množství ropných látek v hodnotě 1750 mg/kg (NEL), přesahující limit C (1000 mg/kg) metodického pokynu MŽP 1996. Lze tedy konstatovat, že v důsledku činností provozovaných v minulosti došlo ke kontaminaci látkami ropného charakteru.



## EA Fáze II průzkum znečištění na brownfieldu pro výstavbu Mezinárodního výzkumného centra ELI a HiLase v areálu ZDV v Dolních Břežanech

**Obr. 1: Podklady pro sanaci v areálu ELI Beamlines**

Typickým příkladem je nalezená kontaminace ropnými uhlovodíky v zemědělském areálu v místech, kde v současnosti stojí areál ELI Beamlines (obr. 1). Byl jsem osloven stavební firmou, zda bych nemohl vypracovat plán dekontaminace území. Po jeho vypracování mi zavolal jeden zodpovědný pracovník s požadavkem „ať jim pošlu rozumnou fakturu, a dám jim razítko, že je všechno v pořádku“. Poslal jsem ho .... Nicméně věřím, že ten papír s razítkem od někoho dostal. Ti co budou bourat budovu ELI Beamlines se budou dost divit, jak je možné, že provozem laseru vzniká nafta. Častým problémem dekontaminací je vzdělanost a zodpovědnost dělníků realizující vlastní práce. Vedení firem a odborní pracovníci sice něco naplánují, ale protože se jedná hlavně o zemní práce, tak vlastní odvoz materiálu realizují osoby občas i s nedokončeným základním vzděláním. V Milovicích se mi stalo, že na poslední chvíli jsem zarazil jeřábníka, co chtěl z nádrže o objemu 20 m<sup>3</sup> vylít zbytky ropných látek do výkopu (obr. 2). Vynadal mi, co ho zdržuju, a že tak jak to chci, tak se to tady nedělá. Netušil, že to fousaté individuum ve vaťáku je nositel zakázky. Patrně to byl zkušený jeřábník a nedělal to poprvé. Pak ale bylo jasné, proč kontaminace podzemních vod v Milovicích dlouho nedosahovala požadovaných sanačních limitů (viz nedávný případ s azbestem).



**Obr. 2: Sanace nádrží PHM v Milovicích.**

Dalším problémem při přímé dekontaminaci jsou podvody s odpady. Je zřejmé, že je ekonomičtější vyfakturovat státu cenu za nebezpečný odpad (16 000 až 55 000 korun za tunu) a pak ho uložit jako materiál na rekultivaci (135 až 210 korun za tunu). Není výjimkou, že z místa sanace se odveze například zemina znečištěná polycyklickými aromatickými uhlovodíky (obr. 3) a na zabezpečenou skládku dorazí méně nebezpečná zemina s ropnými produkty (dopravce měl smůlu, skládka patřila firmě, ve které působil spolužák z fakulty).



**Obr. 3: Sanovaná kontaminace PAU polní cesty u obce Provozdín.**

S odpady se v naší republice podvádí ve velkém a tak se už moc nelze divit, že pár dní po odvozu nebezpečného odpadu se dozvíme, že ho dopravce vylil na nedalekém poli. Dalším problémem je kvalita firem zabývajících se sanacemi. Například při jednání o dekontaminaci místa bývalé impregnační linky dřeva (pražce, sloupy) v Srní u České Lípy (obr. 4, kontaminace polycyklickými aromatickými uhlovodíky - PAU) spolu s majitelem vystupoval jeho najatý „odborník“. V průběhu jednání vystupoval velmi suverénně, nicméně po jeho ukončení se mne zeptal „jak bych takovou sanaci realizoval“. Protože moje odpověď byla vyhýbavá tak i jeho sanace probíhala velmi netypicky. Po proinvestování několika milionů na „průzkum rozsahu kontaminace“ a pokus o sanaci (část kontaminace zůstala na místě) byly jeho další požadavky na finance zamítnuty.



**Obr. 4: Bývalá impregnační linka v Srní u České Lípy, vlevo rok 1959, vpravo přibližný rozsah kontaminace k roku 2002**

Zvláštní kapitolou je zpracování velmi významně kontaminovaných zemín a hornin, tak aby bylo možné je umístit na skládky nebezpečného odpadu. Některé materiály jsou přírodě vlastní (ropné deriváty) a tak je stačí ponechat nějakou dobu na povrchu terénu a o zbytek se postarají organismy žijící v zemi (občas je vhodné je trochu nakrmit nějakou látkou s vyšším obsahem kyslíku nejlépe v podobě dusičnanu amonného). Obdobně tak lze nakládat s řadou potenciálních kontaminantů, které v malých koncentracích mohou být velmi dobře zpracovány mikroorganismy. Horší to je s toxickými látkami typu chlorovaných uhlovodíků nebo organo-nitrátů (léčiva nevyjímaje) případně toxických kovů. V blízké minulosti se odehrál soudní spor Greenpeace vs. stát, kdy ekologická organizace navrhovala spalovat chlorované uhlovodíky v oblasti Neratovic pod tlakem ve vodíkové atmosféře s teplotou 300 °C. Ano, rozložily by se tak všechny kontaminanty, ale riziko spojené s výbuchem nádrží o objemu v desítkách kubíků vodíku v obydleném území by bylo neúměrné výslednému efektu. To jaksi ekologům nedošlo. K sanačním limitům se přistoupilo se selským rozumem a tak byly chlorované uhlovodíky vyplaveny ze zeminy pomocí hydroxidu sodného a promytý materiál byl deponován na zabezpečenou skládku (vysušené roztoky byly spáleny ve spalovně).

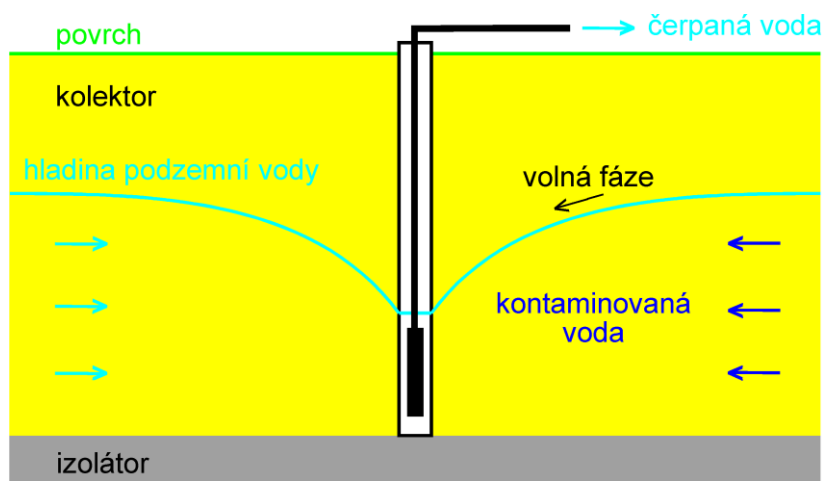
Obecně ale lze legálně náklady na sanaci kontaminovaného horninového prostředí snížit. První informace o rozsahu kontaminace pochází z bodových měření, nejčastěji z vrtných prací. Reálný tvar mraku kontaminovaných zemin a hornin nebývá shodný s teoretickým modelem. V praxi lze kontaminované zeminy a horniny rozdělit do dvou až tří kategorií s odlišným přístupem k jejich likvidaci. Už jenom na podkladě organoleptických vlastností (smrdí, divně zbarvený, tečou z toho ropné deriváty apod.) lze na místě od sebe odseparovat odlišně kontaminovaný materiál, ten ovzorkovat (na obr. 3 vzorky v igelitových pytlících) a pak odvézt k příslušné likvidaci (dekontaminace, skládka nebezpečného odpadu, využití k uzavírání skládek atd.). K popsané základní orientaci v kontaminovaném území nám nemusí sloužit jenom naše smysly. Už dlouho lze využít terénních detektorů jak látek organického původu (tzv. čičače) tak i látek původu anorganického (rentgen-fluorescence – XRF).

### **Dekontaminace horninového prostředí na místě tzv. IN SITU.**

Základní principy dekontaminace horninového prostředí bez nutnosti ho odtěžit (IN SITU) vychází z principů těžby nerostných surovin. Pro zvýšení vydatnosti produkčních vrtů využívají už dlouhá léta naftaři různých detergentů nebo i například horké vody nebo i páry. V Čechách nejznámější a nejrozsáhlejší způsob „dekontaminace“ horninového prostředí IN SITU od uranu je jeho těžba pomocí kyselin (kyselé loužení) ve Stráži pod Ralskem. Obdobně jako kyseliny mohou být použity hydroxidy, peroxidy případně lze využívat biologický rozklad kontaminantu pomocí mikroorganismů nebo elektrolýzu.

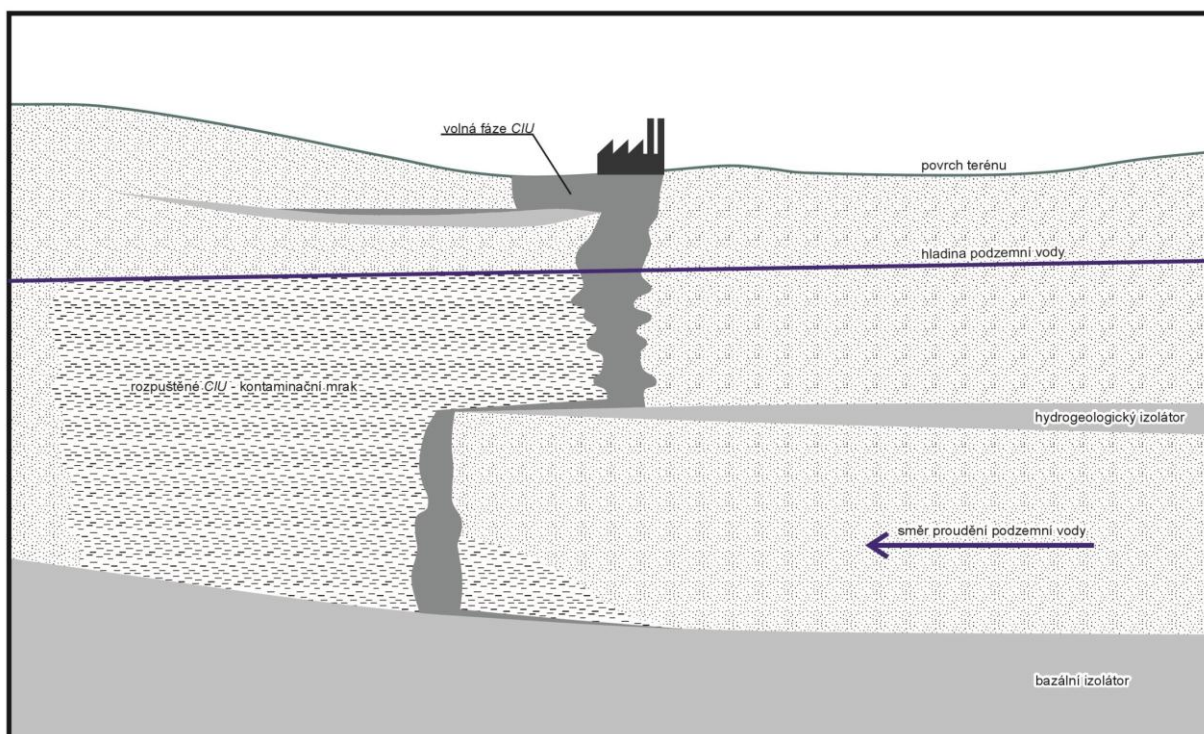
Horninové prostředí má obrovský sorpční potenciál a vzhledem k zasaženým objemům hornin kontaminací a objemům polutantu jsou dekontaminace IN SITU oproti odtěžení kontaminovaného materiálu velmi zdoluhavé. Každé horninové prostředí (průliny - porozita, pukliny - tektonika, dutiny - kras) má jiné parametry a tak návrh dekontaminace je potřeba svěřit odborníkům s dlouhodobou praxí v oboru. Vlastní řízení dekontaminačních prací IN SITU také není jednoduchá záležitost. Při chybných počátečních úvahách je riziko rozšíření kontaminačního mraku poměrně vysoké. Provozování systému dekontaminace IN SITU je opět běh na dlouhou trať. Proto i z vlastních zkušeností doporučuji si na tyto práce zajistit dlouhodobě stabilní firmu se zkušenými odborníky. Výběr firmy s nejnižší nabídkou se v tomto případě rovná profesní sebevraždě v lepším případě proinvestujete několikanásobně více finančních prostředků, než bylo nutné (viz sanace PAU v Srní u České Lípy). Obdobný problém byl při sanaci území znečištěného ropnými deriváty v oblasti letiště Hradčany. Pověřená firma hloubila sanační vrty náhodným způsobem bez ohledu na tvar kontaminačního mraku a hydrogeologickou stavbu oblasti. Až po létech a zbytečně proinvestovaných finančních prostředcích se přešlo na systematickou dekontaminaci území.

Nejjednodušší metoda jak IN SITU zamezit šíření kontaminačního mraku, který se nachází v dostatečném odstupu od hladiny podzemní vody je zamezit pronikání vod infiltrovaných z atmosférických srážek kontaminovaným prostředím. Pokud je to společensky akceptovatelná metoda řešení kontaminace, pak stačí překrýt těleso kontaminovaného materiálu hydraulicky málo propustnou zeminou a to ve většině případů jít s koeficientem filtrace v řádech na mínus osmou a méně. Takto se například sanují skládky komunálního anebo jiného méně nebezpečného odpadu (např. popeloviny). Průzkumnými pracemi bylo prokázáno, že takto uzavřené kontaminované těleso se vlivem biologických a geochemických pochodů stabilizuje tak, že po delší době nepředstavuje pro okolí vážnější nebezpečí. Obdobně funguje i stabilizace kontaminovaného místa solidifikací. V praxi se jedná o injektáž kontaminačního mraku tak aby byl kontaminant pevně vázán na injektážní hmotu.



**Obr. 5: Princip sanačního vrtu.**

Další jednoduchou metodou dekontaminace horninového prostředí IN SITU je odčerpávání kontaminované vody pomocí sanačních vrtů (obr. 5). Chemické látky anorganického původu využívané v průmyslu, které mohou kontaminovat horninové prostředí, bývají ve vodě dobře rozpustné (látky nerozpustné neproniknou pod zem). Ty lze pomocí odčerpávání kontaminované vody poměrně účinně odstranit z horninového prostředí. Z horninového prostředí lze tímto způsobem odstranit nejen chemikálie vodou rozpustné ale i lehké uhlovodíky (ropné deriváty, benzen, toluen, etylbenzen, xyleny apod.). Lehké uhlovodíky se pohybují po hladině podzemní vody ve směru jejího gradientu. Pokud v hladině podzemní vody v takto kontaminovaném území vytvoříme depresi, pak se deprese začne postupně plnit volnou fází lehkých uhlovodíků. Volnou fází je nutné postupně odčerpávat a lze ji vrátit do výrobního procesu.



**Obr. 6: Schéma postupu kontaminace chlorovanými uhlovodíky horninovým prostředím.**

Větší problém je se sanací kontaminace těžkými uhlovodíky (např. chlorované uhlovodíky). Ty pronikají propustným horninovým prostředím směrem k bázi kolektoru a pak se pohybují ve směru jejího gradientu (obr. 6). Odhalit tok těžkých uhlovodíků bývá tak velmi obtížné (v hloubkách i stovek metrů pod

terénem). Navíc chlorované uhlovodíky jsou v podzemních vodách vlivem biologických pochodů transformovány na daleko toxičtější látky, než byly ty původní. Například při průniku perchlorethylénu do podzemí je chybou stanovit sanační limit na koncentraci tohoto kontaminantu (nebo EOX). V případě chlorovaných uhlovodíků je potřeba sledovat i jejich rozpadové produkty sumární analýzou AOX. To samé platí i pro organonitráty a léčiva.

Odčerpávanou kontaminovanou podzemní vodu je ve všech uvedených případech sanace IN SITU nutné před jejím vypuštěním do životního prostředí vyčistit na domluvené sanační limity. Děje se tak pomocí různých kolon nebo čističek odpadních vod. Pokud ukončíme dekontaminaci IN SITU pomocí odčerpávání vody ze sanačních vrtů, pak se může projevit efekt nástupu hladiny podzemní vody v horninovém prostředí. Voda se tak dostane do sanací nevyčištěné oblasti a začne opět vyplavovat kontaminant (viz obr. 5). Projeví se to na opětovném navýšení sledovaného kontaminantu v podzemní vodě, i když čerpáním bylo dosaženo sanačních limitů.

Výše uvedenou metodu sanace horninového prostředí lze, jak už bylo napsáno, kombinovat se zatlačováním různých kyselin, hydroxidů, peroxidů a jiných oksylichovadel nebo detergentů (anionaktivní tenzidy) a dalších rozpouštědel. Například charakteristickou vlastností látek anorganického původu jsou jejich fázové přeměny spojené s rekrystalizací. Stává se, že dobře rozpustná fáze vlivem prostředí v podzemí rekrystalizuje na fázi poměrně nerozpustnou, která začne vyplňovat mezery mezi minerálními zrny (obr. 7). Popsaný jev významně snižuje hydraulickou propustnost horninového prostředí a tím i omezuje úspěšnost sanace, případně prodlouží dobu k dosažení sanačních limitů. Pomocí kyselin nebo hydroxidů můžeme tuto sanaci urychlit. Obdobně lehké uhlovodíky vytvářejí v oblasti hladiny podzemní vody tvrdé inkrustace jejich rozpadových a reakčních produktů (obr. 8). Pomocí rozpouštědel a detergentů lze tyto inkrustace mobilizovat. Je ale nutné dávat pozor aby použité chemické látky k sanaci zůstávaly v kontaminované oblasti. Využití hydraulických ochranných bariér bude prezentováno v následující kapitole.

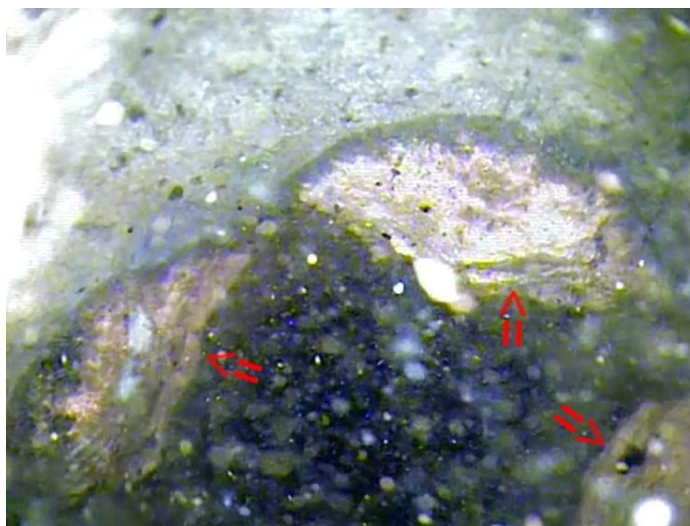


**Obr. 7: Kolmatace pláště vrtu, goethitem impregnovaný pískovec**



**Obr. 8: Produkty oxidace (černé asfalty) na povrchu volné fáze ropných uhlovodíků**

Také používání mikroorganismů v rámci sanací IN SITU má svoje omezení. Mikroorganismy potřebují pro svůj život a rozmnožování zdroj uhlíku a možnost někam uložit nebo přijmout elektron (oxidační nebo redukční procesy). Jejich kultivace tak záleží na rychlosti potřebných biochemických reakcí. Při běžných teplotách v podzemí kolem 7 °C je evidentní, že biologické dekontaminace IN SITU nebudou rychlým procesem. Vlivem činnosti mikroorganismů v podzemí jsou mnohé látky organického původu transformovány na jiné látky s odlišnými vlastnostmi, mnohdy pro životní prostředí škodlivější (viz chlorované uhlovodíky). Navíc působením mikroorganismů dochází v pórech a puklinách v horninovém prostředí k nárůstům extracelulární hmoty tvořené proteiny a polysacharidy (obr. 9). Tyto nárůsty významně omezují proudění podzemní vody.



**Obr. 9: Mikrobiální nárůsty na perforaci vrtu**

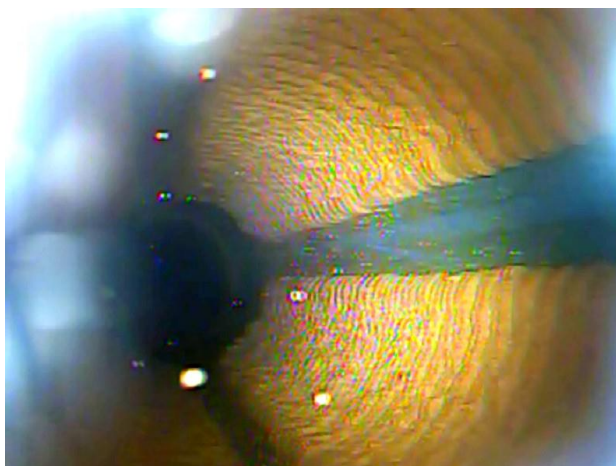


**Obr. 10: Kalcifikací (bílé nárůsty vpravo) postižená elektroda**

Obdobně jako s využitím mikroorganismů při dekontaminacích IN SITU je také využití elektrolýzy problematické. V první řadě je nutné vyřešit dlouhodobou stabilitu elektrod v podzemí. Velkým nepřítelem elektrod v rámci těchto prací je jejich koroze. I principiálně jsou s elektrolytickou dekontaminací horninového prostředí problémy. Relativně vysoké odpory hornin snižující hodnoty protékajících proudů jdou proti požadavkům vyplývajících z Ampérova zákona (množství vyloučeného kovu je přímo úměrné procházejícímu proudu). Elektrochemická dekontaminace IN SITU je proto energeticky poměrně náročná. Její účinnost navíc omezují nerozpustné reakční produkty (obr. 10, kalcifikace), které snižují hydraulickou propustnost a elektrickou vodivost horninového prostředí.

Jak popisované biologické, tak i elektrochemické pochody více než při sanacích horninového prostředí IN SITU se významně uplatňují v rámci kolmatací pláště sanačních vrtů (výstroj, obsyp a okolní hornina). Kolmatace významně snižují vydatnost vrtů a tím i účinnost sanačních zásahů. Je to třeba poznat na obr. 14 v následující kapitole na existenci vrtů řady St9 (St9, St9A). Kolmatace horninového prostředí kolem vrtů hydraulické bariéry byla tak významná, že bylo nutné vyhloubit vrty nové (za nemalých finančních nákladů, průměr vrtu 1 m). Příčinou kolmatace těchto vrtů jsou mikrobiální a elektrochemické pochody.

V horninovém prostředí kontaminovaném látkami organického původu je dostatek potravy pro mikroorganismy v podobě uhlíku. Kde vzít ale z energetického hlediska nejlepší oxidační činidlo a to kyslík? Nejsnazší proces je redukce dusičnanů na dusitany, amonné ionty nebo plynný dusík. Pokud je kontaminace uhlovodíky významná, pak přichází na řadu redukce trojmocného železa bohatě přítomného v horninovém prostředí (žluté a rezavé písky a jíly, tmavé minerály, mezi které pro zajímavost patří i světlá slída). Redukované trojmocné železo na železo dvoumocné je v pozemních vodách mobilní a putuje disociované v podzemní vodě k sanačním (nebo k dalšímu čerpanému) vrtu. V oblasti vrtu (výstroj, obsyp a okolní hornina) dochází ke styku podzemní vody se vzdušným kyslíkem. Napomáhá tomu i víření vody ve vrtu kolem čerpadel. Dvoumocné železo se tak oxiduje na trojmocné a sráží se ve volných prostorách kolem vrtu (štěrbiny výstroje, mezery mezi zrny obsypu a průliny nebo pukliny v okolní hornině) na rezavé oxohydroxidy železa. To významně snižuje propustnost okolí vrtu a tím i jeho vydatnost (obr. 11 a 12). Pokud mikroorganismy potřebují další kyslík, pak mohou využít redukci síranů na sulfidy (kolega ve své štolě, odkud odtékaly síranové vody, našel v místě dřívější výpustě odpadů z koželužny smradlavé černé bahno plné krystalků pyritu) nebo dokonce odebírají kyslík ze silikátových hornin (živce nebo dokonce křemen) a tím je přeměňují na silikátové gely. Nejedná se o teoretický scénář. Například silikátové gely jsou příčinou kolmatace vrtů hydraulické ochranné bariéry v průmyslovém areálu v Kralupech nad Vltavou (obr. 14).



**Obr. 11: Kolmatace perforace vrtu oxo-hydroxidy železa**

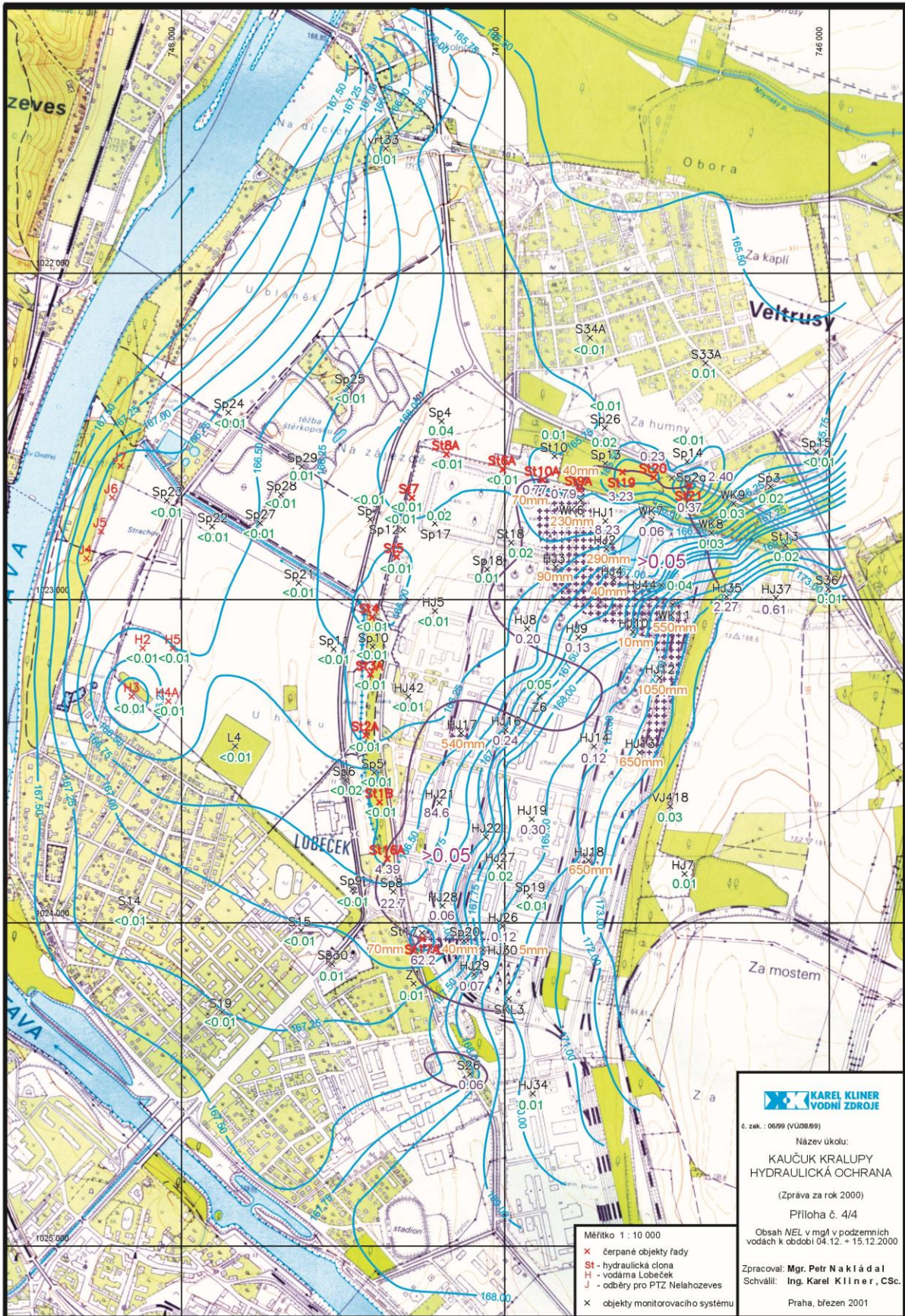


**Obr. 12: Vzorek ze stěny vrtu, rezavá - oxo-hydroxidy železa, fialová mikroorganismy.**

Růstu mikroorganismů a srážení oxohydroxidů železa v okolí čerpaných vrtů napomáhá i filtrační potenciál proudící podzemní vody. Anionty proudí v podzemní vodě pomaleji (větší molekula) než kationty. Mezi povrchem významně zastoupeným zemními vodiči elektrické soustavy a hydrogeologickým kolektorem podzemních vod vzniká elektrochemický potenciál, který katalyzuje kolmatační procesy. Bohužel díky více proměnných než hodnot, které můžeme v terénu naměřit nelze tyto potenciály vypočítat (kontrola úvah na katedře obvodů při elektrotechnické fakultě na ČVUT). Jednotlivé potenciály se v podzemí sčítají (jsou de facto zapojeny do série) a tak je možné míru vlivu filtračních potenciálů měřit proudem mezi zemním vodičem a pláštěm čerpadla. Hodnoty v desetínách miliampér jsou běžné. Pokud proud ale dosahuje hodnot v jednotkách miliampér tak vliv elektrochemických pochodů v podzemí urychluje nežádoucí vývoj kolmatace vrtu. V extrému tyto proudy dosahují až vyšších desítek miliampér (naměřené maximum bylo 80 mA). Obdobně jako filtrační potenciál fungují v průmyslových areálech bludné proudy. Že se nejedná o vzácný jev, dokládá měření bludného proudu čerpadlem (provozovatel areálu si stěžoval na rychlou inkrustaci povrchu čerpadla) v říjnu 2024 ve výši až 240 mA. Samozřejmě se nejednalo o porušení izolace kabelu (přeměřeno). Proud se navíc skokově měnil od nuly po maximální hodnotu.



# Hydraulické ochranné bariéry a monitoring.



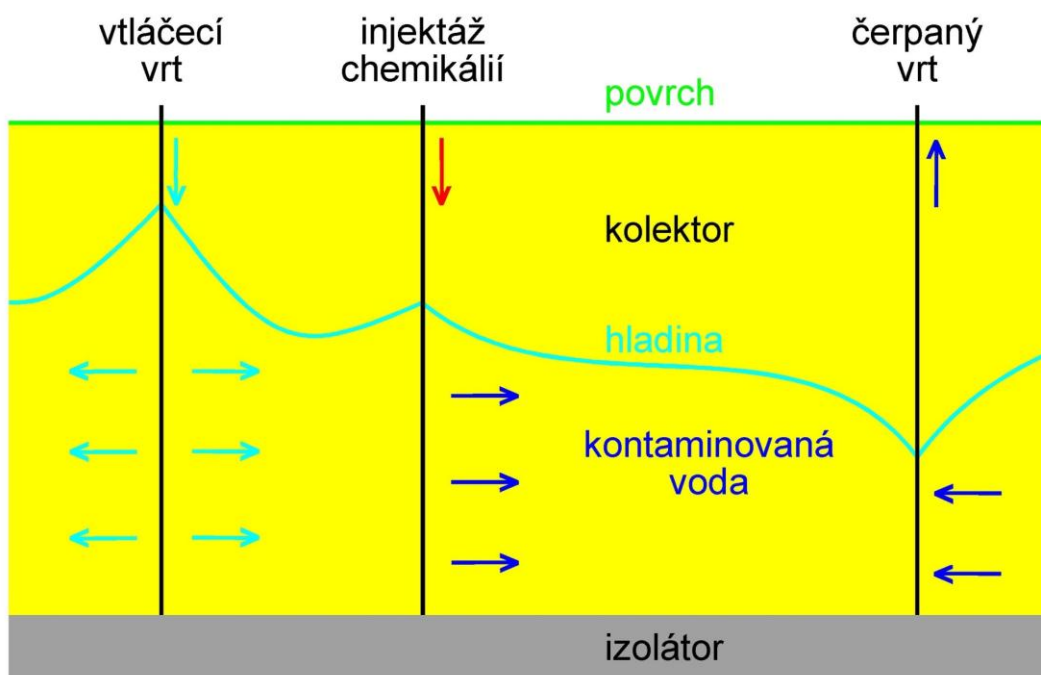
Obr. 14: Hydraulická ochranná bariéra (vrty bariéry vyznačeny červeně)

Nejjednodušší hydraulická bariéra vznikne, když řadu sanačních vrtů jímajících podzemní vodu vyhloubíte do řady umístěné po toku podzemní vody (obr. 14). Čerpání vody z vrtů je potřeba propočítat takovým způsobem, aby všechny proudnice směřovaly od místa kontaminace do sanačních vrtů. Už z podstaty principu fungování bariéry je zřejmé, že kontaminovaná voda bude proudit i za spojnici jednotlivých jímacích vrtů. Tento typ hydraulické ochranné bariéry je možné použít také pro zachyt lehkých uhlovodíků (ropné produkty, benzen, etylbenzen, toluen xyleny apod.). Bariérou zachycené lehké kapalné nerozpustné kontaminanty se budou pohybovat ve směru gradientu hladin podzemní vody, až začnou vyplňovat čerpáním vzniklou depresi (na hladině vody se vytvoří volná fáze kontaminantu). Odtud musí být kontaminanty odčerpávány. Obdobně jako kontaminovaná voda tak i volná fáze bude překračovat hranici spojníc jednotlivých vrtů. Tento fakt musí být zohledněn v havarijních plánech, protože při nenadálých situacích (defekt čerpadla, dlouhodobější přerušení proudu, záplavy apod.) bude z linie bariéry polutant rozplavován. Takto konstruované bariéry by měly být poslední linií zachycující havarijní úniky kontaminantů z provozu. Neměly by se proto stát samozřejmou součástí odpadového hospodářství (obr. 15, vlastní zkušenost z provozu hydraulické ochranné bariéry tohoto typu).



**Obr. 15: Prokorodované odpadové potrubí, zdroj úniku ropných látek.**

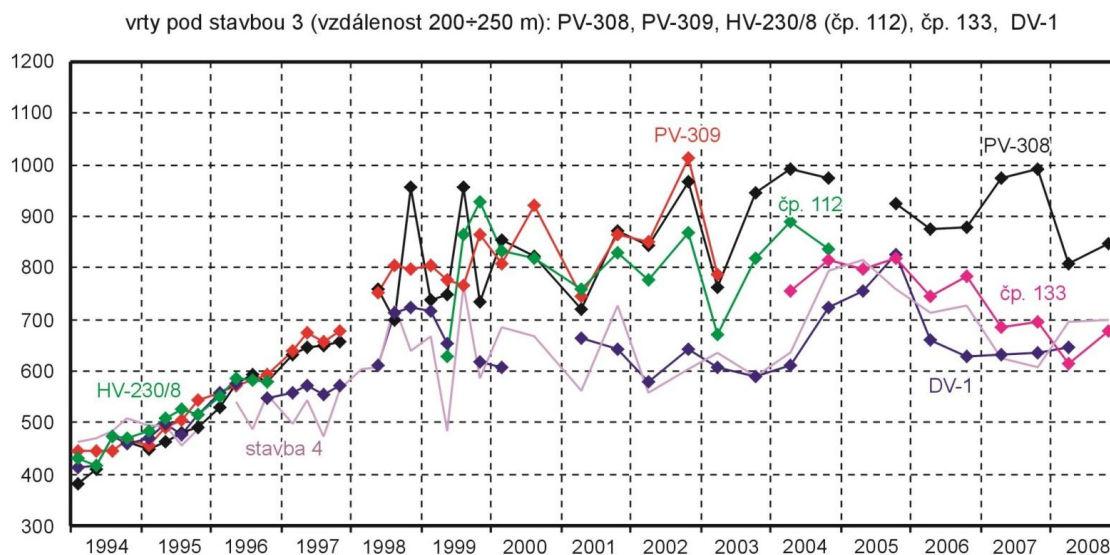
Další typ hydraulické bariéry je tvořena systémem vtláčecích a jímacích vrtů (obr. 16).



**Obr. 16: Hydraulická ochranná bariéra tvořená kombinací vtláčecích a čerpaných vrtů.**

Bariéra může mít několik linií (běžně 3). Do vnější první linie vtláčecích vrtů je zatlačována čistá voda tak, aby proudila jak k jímácím vrtům, tak z místa sanačního zásahu. Druhá linie vtláčecích vrtů slouží k injektáži sanačních roztoků. Poslední linie, která je vybudovaná v místě kontaminace, je tvořena vrty jímacími. Zde dochází k odčerpávání sanačních roztoků s rozpuštěným kontaminantem. Popsaný typ hydraulické ochranné bariéry je použit v rámci chemické těžby uranu u Stráže pod Ralskem. Ochranné hydraulické bariéry jsou poměrně náročné na jejich projekci, výstavbu a vlastní provoz. Ne vždy se podaří podchytit všechny jevy v podzemí, které mohou ovlivňovat hydraulickou bariéru. Jedná se hlavně o vzájemné propojení kolektorů jak vlivem litologie (neočekávané navazování jednotlivých vrstev) tak i po tektonických poruchách. Zvláštní kapitolou mohou být existence jílových poloh, žilných intruzí vulkanických hornin nebo dalších hydraulicky nepropustných přírodních bariér (prezentovaný případ sanace ropných uhlovodíků u letiště v Hradčanech).

O horninovém prostředí dostáváme zpravidla bodové informace a to hlavně z průzkumných vrtů. Vyhroubení vrtu nebývá levnou záležitostí a tak investor se snaží počet vrtů snižovat na minimum. Možné liniové nebo plošné informace o kontaminaci lze v mimořádných případech získat pomocí geofyzikálních metod. Nicméně průběh sanace kontaminovaného území včetně provozu ochranných hydraulických bariér je nutné sledovat tzv. monitorovacími vrty (viz obr. 14). Je samozřejmé, že u plošně rozsáhlých kontaminací se mohou vrty jímací po dosažení sanačních limitů stát vrty monitorovací. Obdobně se mohou využívat jako vrty monitorovací již nefunkční zakolmatované vrty jímací (na obr. 14 vrty typu A nebo B, např. St9, St9A). V rámci monitoringu je potřeba nejen sledovat koncentrace polutantu v sanované ekologické zátěži ale i doprovodné jevy jako změny hladin podzemní vody, oxidačně redukční potenciály, chemickou spotřebu kyslíku, pH apod. Monitoring hlavního kontaminantu je nutné doplnit také sledováním doprovodných chemických reakcí například redukcí dusičnanů na dusitany a amonné ionty, koncentrace dvoumocného železa, síranů nebo rozpadových produktů. Firmy realizující tyto monitoringy často uvádějí ve svých výročních zprávách jen tabulkové výsledky jejich pozorování a chemických analýz. Pro kvalitní řízení jak sanací, tak hydraulických bariér je ale potřeba znát průběhy sledovaných parametrů v čase a v prostoru. Na místě je tak dokládat průběh sanačních zásahů graficky (obr. 14 a 17).



**Obr. 17: V roce 1998 změna laboratoře**

## Závěr

V České republice byl největší boom s dekontaminacemi rozsáhlých území kolem konce milénia (v 90 letech minulého století a v prvním desetiletí století současného), souvisejících s odchodem okupačních vojsk a změnou vztahu k životnímu prostředí (před revolucí se z fabriky, kde jsem pracoval, vypouštěla odsedimentovaná voda z galvanických lázní přímo do Vltavy). V té době hydrogeologické obory souvisejících s kontaminacemi („špinavá hydrogeologie“) dosáhla u nás svého vrcholu. Po období charakterizovaném neefektivními dekontaminacemi a významnými podvody s odpady se situace stabilizovala do současné podoby, kdy velké zakázky se dostaly do gesce velkých firem (Diamo, Dekonta apod.). Je potřeba si ale uvědomit, že někteří lidé dopouštějících se v té době nepravostí (nerad bych používal těch ošklivých slov jako podvodů a korupce) zde v současnosti pořád žijí a mnozí i na vysokých postech ve vedení firem nebo státních organizací. Mohou se tak ohánět dlouholetými zkušenostmi v oboru, i když jsou tyto zkušenosti jiného charakteru než by bylo potřeba. Obdobná situace je i oblasti odpadového hospodářství. Proto je nutné na podvody v oblasti sanací horninového prostředí dávat pozor i do současné doby.

Protože podvody s odpady registruji každoročně tak předpokládám, že i když se prostor pro podvádění v rámci dekontaminací EX SITU poměrně zúžil, tak se v naší republice takto podvádí dále. Podle mého názoru za to může „rusifikace“ společnosti zahájená už v devadesátých letech minulého století podpořená výroky vládních špiček typu „neznám špinavé peníze“. Už hůře se podvádí v rámci dekontaminací IN SITU, které musí být podrobně naprojektovány a propočítány a kde je jejich účinnost sledována jak orgány státní správy, tak i podrobným monitoringem. To samé platí i v případě hydraulických ochranných bariér.