

Závěr

Na území okresu Hodonín bylo zpracováno 30 geologických lokalit, z toho 8 lokalit je v současné době chráněno, 15 bylo navrženo k vyhlášení v kategorii přírodní památka a 4 v kategorii významný krajinný prvek. Na území

okresu Uherské Hradiště bylo zpracováno 29 geologických lokalit, z toho 10 lokalit je v současné době chráněno, 11 bylo navrženo k vyhlášení v kategorii přírodní památka a 5 v kategorii významný krajinný prvek. Většina lokalit je vhodná k exkurzím.

Literatura:

- Bubík, M. (1995): Louka (okres Hodonín). Geologické a mikropaleontologické zhodnocení pro účely vyhlášení lokality přírodní památkou. - MS ČGÚ, Brno.
- Černý, M. (1992): Geologický a petrologický výzkum neovulkanitů na listu Strání 35-12 1 : 50 000. - MS Dipl. práce, Přírodověd. Fak. Masaryk. Univ., Brno.
- Čtyrský, P. - Novák, F. (1978): Flyš a medlovické porcelanity v jižní části Chřibů. - Čas. Min. Geol., 30, 2, 185-198, Praha.
- Hatala, H. (1989): Havříce - závěrečná zpráva. - MS Unigeo s. p. Ostrava, závod Modřice. Geofond.
- Krejčí, O. - Adamová, M. - Bubík, M. - Přichystal, A. - Stránil, Z. (1994): Význačné geologické lokality bělokarpatské jednotky magurského flyše. - Geol. výzk. Mor. Slez. v r. 1993, 21-23, Brno.
- Schinzlová, E. (1997): Panonské sedimenty v okolí Hodonína a jejich fauna. - MS Dipl. práce, Přírodověd. Fak. Masaryk. Univ., Brno.

NĚKTERÉ ASPEKTY MIGRACE CHLOROVANÝCH ETYLÉNŮ NA PŘÍKLADU LOKALIT V KARPATSKÉ PŘEDHLUBNI

Some aspects of the migration of chlorinated ethenes on the example of a few localities in the Carpathian Foredeep

Tomáš Kuchovský

Katedra geologie a paleontologie, PřF MU, Kotlářská 2, 61137, Brno

Key words: *Carpathian foredeep, Badenian clays, Quarternary fluvial deposits, chlorinated ethenes, DNAPL, free phase accumulation, residual DNAPL*

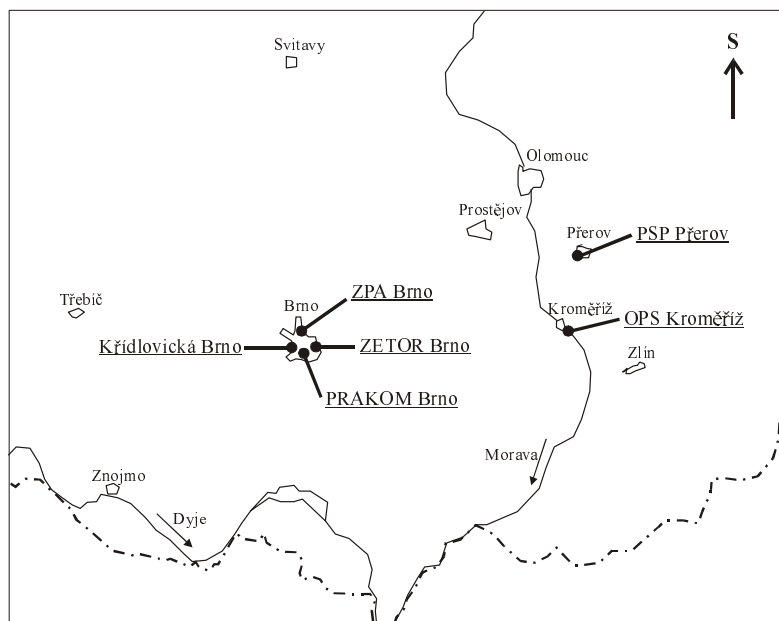
Abstract:

Localities situated in the Carpathian Foredeep offer unique possibility for the detection of the DNAPL free phase accumulation. The Badenian clays found in depths of only few meters below ground surface are forming capillary barrier preventing downward migration of the free phase DNAPL. By collecting ground water samples from the different depths of the saturated zone marked zones with higher concentrations were found, indicating presence of the DNAPL pool. Higher concentrations close to the ground water level as a reflection of the source in vadose zone were found too. This method seems to be very useful in distinguishing residual and pool DNAPL in the source of the contamination, where the DNAPL is likely to be present.

Úvod

Chlorované etylény (CIE) jsou v současnosti jednou z vůbec nejsledovanějších skupin kontaminantů. Poté, co se prokázalo, že v případě CIE nevedou klasické hydraulické metody sanace satureované zóny k předpokládané rychlé dekontaminaci prostředí, byla koncem 80. a v 90. letech 20. století realizována řada experimentů v laboratorních

i přírodních podmínkách s cílem objasnit tento jev. Jako hlavní příčiny byly určeny nízké rozpustnosti kapalné fáze primárních kontaminantů v podzemní vodě a také poměrně snadný průnik volné fáze do značného objemu zvodněných hornin. To při běžných hydraulických poměrech v hruběji klastických prŮlinově propustných zvodněných sedimentech způsobuje přetrvávání kapalné fáze ve formě rezidua v řádu desítek let a akumulací volné fáze v řádu

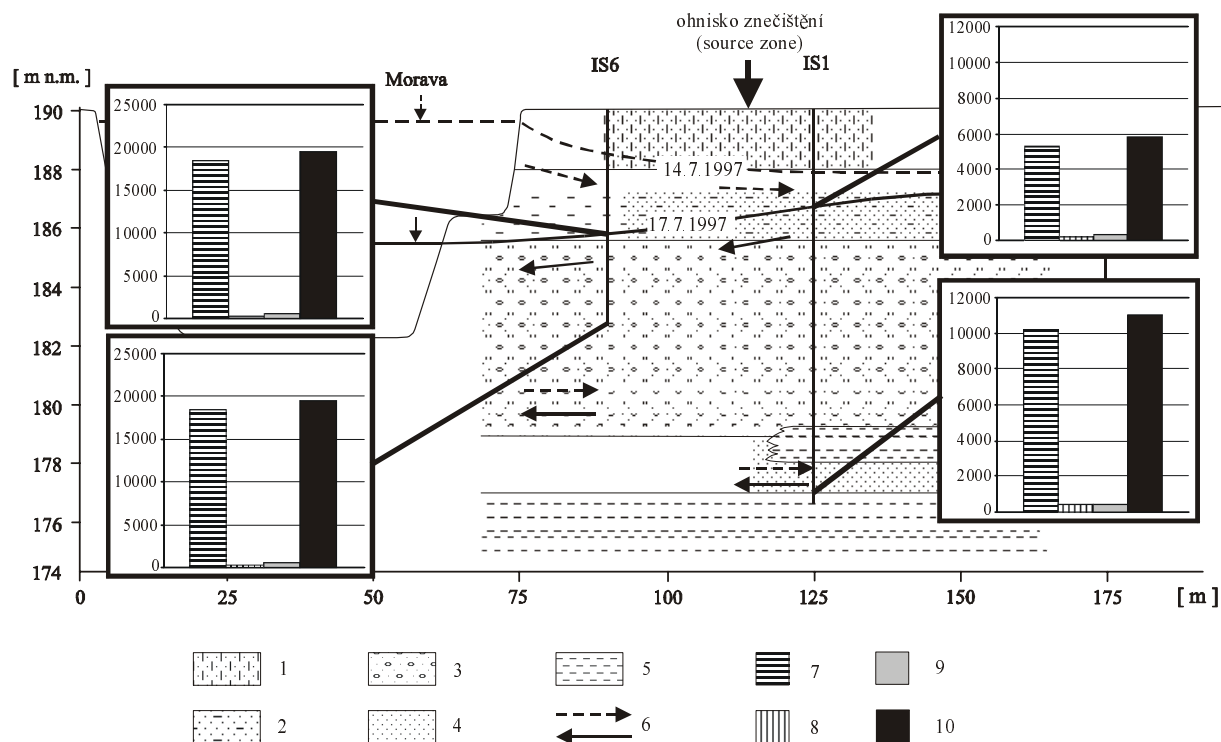


Obr. 1 - Situace studovaných lokalit
Fig. 1 - Situation of the observed localities

stovek let (Pravda a Belitz 1995). Předpokladem pro úspěšnou sanaci je odstranění kapalně fáze z ohniska, které komplikuje složitá prostorová distribuce kapalného rezidua a akumulací volné fáze jako odraz nehomogenit horninového prostředí. Její přesné určení vrtným průzkumem je vzhledem k malé hustotě sítě průzkumných vrtů a rizikům další hloubkové migrace volné fáze při porušení kapilárních bariér prakticky nemožné (Pankow a Cherry 1996). Jako velmi

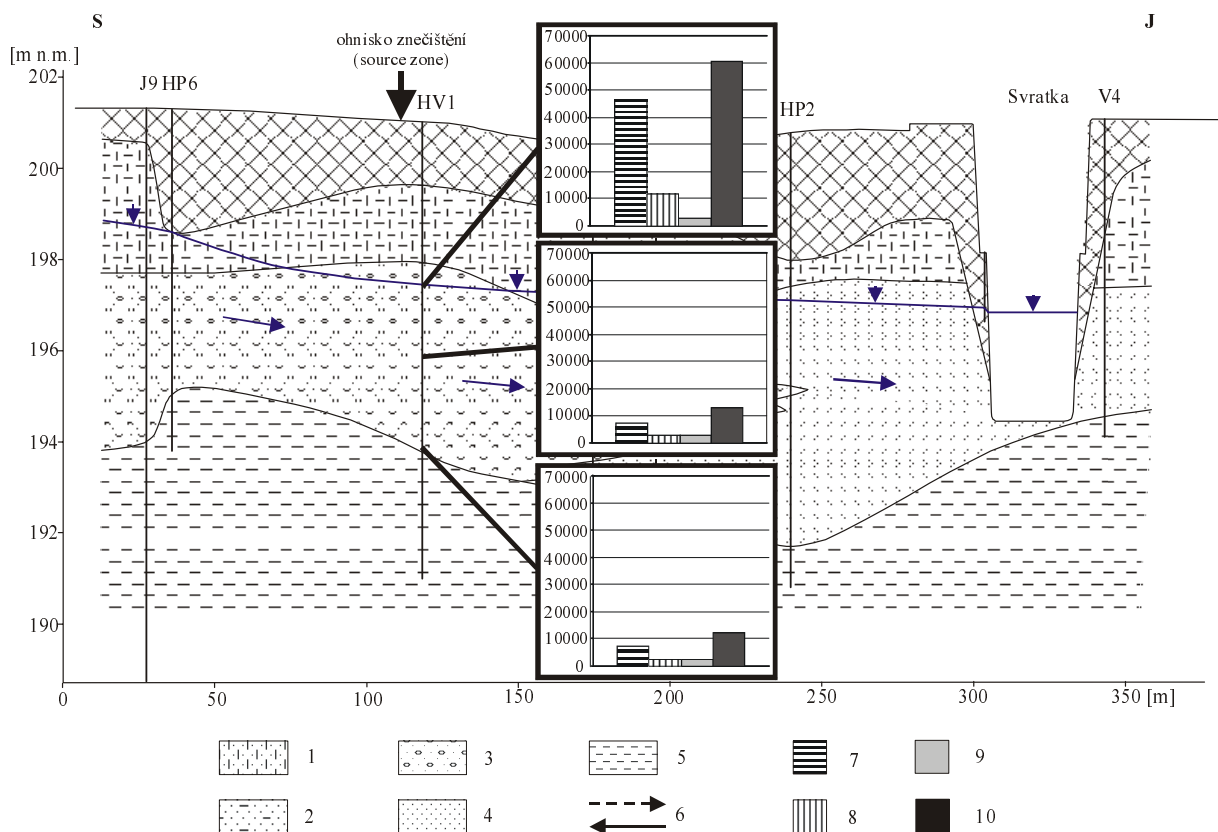
účelné a cenově efektivní se na základě matematického modelování Andersona a kol. (1992) a experimentů v přírodních podmínkách (Rivett a Cherry 1991, Pitkin 1994) jeví detailní studium kontaminovaných pruhů podzemní vody, odrážejících distribuci kapalně fáze v ohniscích ležících proti směru proudění podzemní vody.

Kontaminované pruhy byly studovány také na šesti lokalitách situovaných v karpatské předhlubni (obr. 1).



Obr. 2 - Vertikální zonalita s vyššími koncentracemi kontaminantů při bázi saturované zóny - 17.7.1997 - čistírna oděvů OPS Kroměříž. 1 - písčité hlína, 2 - prachovitý písek, 3 - písčité štěrky, 4 - písek, 5 - jíl, 6 - směry proudění, 7 - PCE, 8 - TCE, 9 - c-1,2 DCE, 10 - suma CIE.

Fig. 2 - Vertical zone with higher contaminant concentrations on the base of the saturated zone - 07/17/1997 - clothes cleaning facility OPS Kroměříž. 1 - sandy loam, 2 - silty sand, 3 - sandy gravel, 4 - sand, 5 - clay, 6 - flow directions, 7 - PCE, 8 - TCE, 9 - c-1,2 DCE, 10 - CIE total.



Obr. 3 - Vertikální zonalita s vyššími koncentracemi kontaminantů při hladině podzemní vody - 7.3.1997 - čistírna oděvů Křídlovická ul. Brno. 1 - navážka, 2 - jílovitá hlína, 3 - písčité šterky, 4 - písek, 5 - jíl, 6 - směry proudění, 7 - PCE, 8 - TCE, 9 - c-1,2 DCE, 10 - suma CIE.

Fig. 3 - Vertical zone with higher contaminant concentrations on the top of the saturated zone - 03/07/1997 - clothes cleaning facility Křídlovická st. Brno. 1 - backfill, 2 - clayey loam, 3 - sandy gravel, 4 - sand, 5 - clay, 6 - flow direction, 7 - PCE, 8 - TCE, 9 - c-1,2 DCE, 10 - CIE total.

Geologická situace na lokalitách představovala unikátní příklad pro posouzení možností hloubkové migrace volné fáze a distribuce obou forem kapalné fáze. V hloubce několika metrů byly přítomny kompaktní vápnné jíly spodního badenu s mocností v řádu desítek metrů a vyšší, které vzhledem k velikosti pórů představovaly kapilární bariéru zamezující hloubkové migraci volné fáze. V jejich nadloží byly zvodněné fluvialní sedimenty údolních akumulací nebo vyšších terasových stupňů, mocné v řádu jednotek metrů, v nichž docházelo k migraci kontaminantů podzemní vodou. Nesaturovaná zóna byla tvořena především jílovitými a písčivými hlínami, případně svrchními partiemi podložních hruběji klastických sedimentů.

Metodika a výsledky prací

Vzorky podzemní vody byly odebírány staticky zonálním hlubinným vzorkovačem z různých hloubkových úrovní v perforovaných částech zárubnic. Metodika statického odběru byla zvolena proto, aby bylo minimalizováno riziko porušení přírodní stratifikace zvodně. Počet zonálně odebíraných vzorků v jednom vrtu i z více vrtů byl výrazně limitován finančními nároky a proto nebylo možné odebrat optimální počet vzorků k detailnímu vyhodnocení všech částí kontaminovaných pruhů.

Na třech lokalitách byly v částech kontaminovaných

pruhů zjištěny výrazně vyšší koncentrace CIE na bázi zvodně, než při hladině podzemní vody. Příkladem byla lokalita OPS Kroměříž (obr. 2 - řez konstruovaný paralelně se směry proudění podzemní vody), kde se odraz kontaminace v ohnisku projevil důsledkem změny režimu podzemních vod při povodni v červenci 1997 i ve vrtu IS1. Koncentrace na bázi zvodně byly o 90 % vyšší. Ve vrtu IS6, zachycujícím pouze svrchní třetinu zvodně v kvartérních sedimentech bez zjevné litologické změny, byla nepatrně vyšší koncentrace při hladině, rozdíl byl pouze 0,2 %. Na nárůstu koncentrací se podílely primární kontaminanty i produkty jejich redukční dechlorace, což naznačovalo uniformní biodegradační potenciál v celém vertikálním profilu saturované zóny.

Ve dvou částech kontaminovaných pruhů na dvou lokalitách byly naopak zjištěny výrazně vyšší koncentrace ve vzorcích při hladině podzemní vody, dosahující minimálně několikanásobných koncentrací ve srovnání se střední částí a bázi zvodně. Hlubší partie saturované zóny se přitom z hlediska koncentrací CIE jeví jako prakticky homogenní, rozdíly v koncentracích byly pouze 2 % (obr. 3 - řez konstruovaný paralelně se směry proudění podzemní vody). Na nárůstu koncentrací se podílely pouze primární kontaminanty, výskyt a zastoupení kontaminantů v hlubších partiích zvodně souvisel s jiným ohniskem situovaným proti směru proudění a charakterizoval pozadí

vrtn HV1.

Na pěti lokalitách nebyla v některých částech pruhů detekována žádná výrazná zonalita koncentrací CIE a pruhy se jevíly jako homogenní. Rozdíly v koncentracích se pohybovaly pouze v řádu desetin až jednotek procent. Tyto části pruhů byly situovány buď v partiích zvodně ležících nad partiemi s výrazně vyššími koncentracemi, nebo reprezentovaly celý vertikální profil pruhu.

Ke zjištění přírodní vertikální stratifikace zvodně nezávislé na zonalitě koncentrací CIE byly využity výsledky zonálních měření konduktivity, pH a teploty. Ty neprokázaly žádnou souvislost mezi infiltrací atmosférických srážek a zonalitou koncentrací CIE v zobrazených případech.

Prostorový výskyt jednotlivých zón se vzájemně odlišnými koncentracemi lze vzhledem k zákonitostem migrace volné fáze CIE zvodněným průlinově propustným prostředím a při zjištěných geologických podmínkách na lokalitách interpretovat pouze jako důsledek odlišné distribuce forem CIE v ohnisku. V 75-ti % zonálně odebraných vzorků byly rozdíly v koncentracích pouze v rozmezí jednotek, maximálně prvních desítek procent (obr. 4). Tato skupina reprezentovala části ohniska, v němž muselo být zastoupeno především kapalné reziduum, případně dílčí drobnější akumulace volné fáze. Vyšší rozdíly (84 - 157 %) byly zjištěny v 16-ti % vzorků. Takové rozdíly charakterizovaly nárůst koncentrací na povrchu jílu spodního badenu, což je možné interpretovat jako důsledek přítomnosti akumulace volné fáze, reprezentující finální formu hloubkového výskytu kapalné fáze v ohnisku. Zdaleka nejvyšší rozdíly (212 - 397 %) zjištěné jen v 9-ti % vzorků byly charakteristické pro skupinu vzorků s vyššími koncentracemi při hladině, což prokazatelně souviselo s primární kontaminací nesaturované zóny. Z té se kontaminanty sekundárně dostaly do svrchních partií saturované zóny, a to buď kontaktem podzemní vody s kontaminanty v půdním vzduchu nebo sorbovanými na horninový materiál, případně přímým kontaktem s kapalnou fází při kolísání hladiny podzemní vody. To potvrzovaly také koncentrace detekované v podzemní vodě, které byly přibližně srovnatelné s rovnovážnými koncentracemi primárních kontaminantů kalkulovanými z jejich koncentrací v půdním vzduchu.

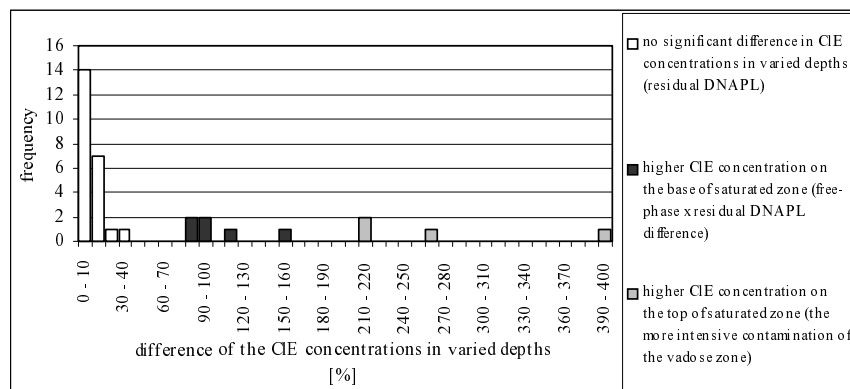
V kontaminovaných pruzích dochází k rychlému poklesu koncentrací CIE v podzemní vodě. Koncentrace srovnatelné s hodnotami rozpustnosti nebyly detekovány na žádné ze studovaných lokalit, přestože kapalná fáze byla

vzhledem k zonalitě koncentrací v horninovém prostředí pravděpodobně přítomna. Obr. 5 ukazuje pokles koncentrací CIE v šesti kontaminovaných pruzích na čtyřech lokalitách se srovnatelnými hydraulickými vlastnostmi zvodněných hornin. Koncentrace převyšující 10 % rozpustnosti jsou dosahovány pouze ve vzdálenosti prvních desítek metrů od ohniska, zatímco po 100 metrech se v podzemní vodě udržují koncentrace převyšující 1 %. Po separaci objektů situovaných při okrajích kontaminovaných pruhů nejlépe charakterizuje pokles koncentrací křivka s mocninným průběhem (obr. 6). Ta je zkonstruována pouze pro řadu charakterizující převažující kapalné reziduum či drobnější akumulace volné fáze v ohnisku, pro kterou bylo k dispozici nejvíce naměřených údajů. Z grafu je zřejmý podobný trend i pro kontaminaci pocházející z rozpouštějící se rozsáhlejší akumulace volné fáze na povrchu vápňitých jílu spodního badenu. Pro vyloučení případných vlivů infiltrace atmosférických srážek a vytékávání kontaminantů z podzemní vody byly do grafu vyneseny hodnoty z hlubších partií saturované zóny.

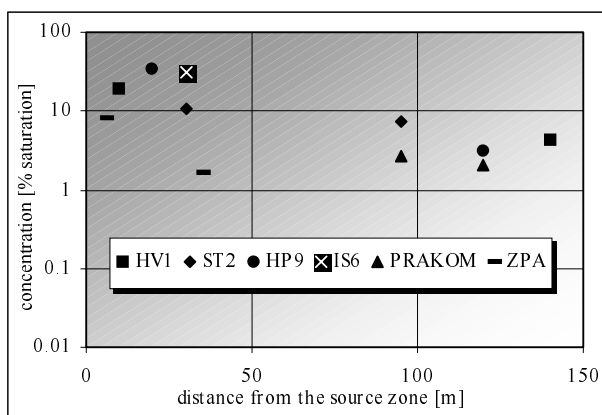
Pokles koncentrací CIE v kontaminovaných pruzích ovlivňuje řada vlastností horninového prostředí, které není možné v přírodních podmínkách přesně kvantifikovat. Proto se tvar křivky charakterizující spád koncentrací na různých lokalitách může od křivky vykreslené v grafu mírně lišit. Výrazně nižší koncentrace mohou být způsobeny situováním vrtů při okrajích pruhů (obr. 6), nevhodnou metodikou odběru vzorků z vrtů v odlišných částech kontaminovaného pruhu, případně vlivem intenzivní biodegradace. Trend koncentrací také ovlivňuje zastoupení kapalné fáze v průtočné ploše ohniskem. Při menším objemu kapalné fáze v horninovém prostředí je umožněno intenzivnější ředění a pokles koncentrací ve vzdálenosti několika desítek metrů od ohniska je ve srovnání s grafem mnohem vyšší, což bylo prokázáno na dvou studovaných lokalitách (v grafu neuvedeno).

Závěr

Zonální odběry vzorků se jeví jako velmi efektivní metoda k určení prostorové distribuce jednotlivých forem kapalné fáze chlorovaných etylénů v horninovém prostředí. Vzorky je vhodné odebírat staticky a z vrtů s perforací přes celý vertikální profil zvodně, ve které rozpuštěné kontaminanty migrují podzemní vodou. Při sledování vertikální zonality je nutné současné měření

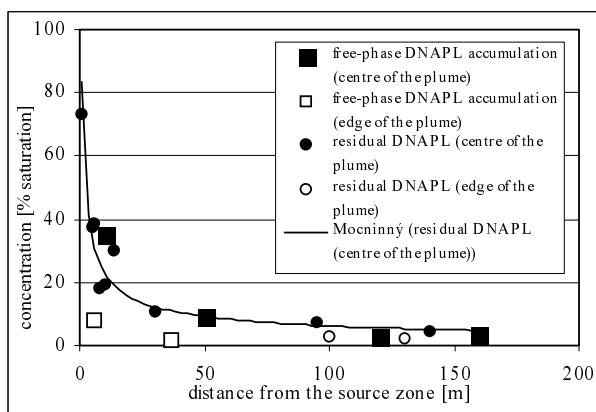


Obr. 4 - Rozdíly v koncentracích kontaminantů v zonálně odebraných vzorcích z různých hloubek saturované zóny.
Fig. 4 - The differences between contaminant concentrations collected from the different depths of the saturated zone.



Obr. 5 - Koncentrace kontaminantů zjištěné v různých vzdálenostech od ohniska znečištění.

Fig. 5 - Contaminant concentration detected in different distances from the source of the contamination.



Obr. 6 - Typický vývoj koncentrací CIE v kontaminovaných pruzích zjištěný na studovaných lokalitách.

Fig. 6 - Typical trend of the CIE concentrations in plumes observed on studied localities.

elektrochemických vlastností podzemní vody pro stanovení přírodní stratifikace zvodně a detailní stanovení režimu podzemních vod, zejména při předpokladu vyšších koncentrací CIE při hladině podzemní vody. V podmínkách běžně přítomných v nivách vodních toků a vyšších terasových stupních v karpatské předhlubni, kde je v hloubce několika metrů pod terénem vyvinuto mocné souvrství vápnatých jílu spodního badenu, je možné předpokládat přítomnost akumulací volné fáze na bázi kvartérních fluvialních sedimentů.

Zjištěný pokles koncentrací odpovídá výsledkům

matematického modelování Andersona a kol. (1992) v písčitéch sedimentech s hydraulickými vlastnostmi srovnatelnými se studovanými lokalitami. Koncentrace CIE převyšující 1 % rozpustnosti primárních kontaminantů lze použít jako jedno z nepřímých kritérií signalizujících výskyt kapalné fáze v ohnisku, jak uvádí Newell a Ross (1991) a Pankow a Cherry (1996). Použití tohoto kritéria je vhodné aplikovat v kombinaci s výsledky zonálního vzorkování, protože i kontaminace z půdního vzduchu může produkovat koncentrace v podzemní vodě převyšující uvedenou hranici.

Literatura:

- Anderson, M. R. - Johnson, R. L. - Pankow J. F. (1992): Dissolution of dense chlorinated solvents into groundwater, 3. Modelling of contaminant plumes from fingers and pools solvent - Environ. Sci. Technol., 26, 901-908.
- Cohen, R. M. - Mercer J. W. (1993): DNAPL Site Evaluation - C. K. Smoley CRC Press. Inc., Boca Raton Florida.
- Newell, C. - Ross, R. R. (1991): Estimating Potential for Occurrence of DNAPL at Superfund Sites - U. S. EPA, 9355.4-07FS.
- Pankow, J. F. - Cherry, J. A. (1996): Dense Chlorinated Solvents and other DNAPLs in Ground Water : History, Behavior, and Remediation - Waterloo Press., Portland.
- Pitkin S., - Ingleton, R. A. - Cherry, J. A. (1994): Use of drive-point sampling device for detailed characterization of a PCE plume in a sand aquifer at a dry cleaning facility - National Ground Water Association, Proceedings: Outdoor Action Conference Minneapolis Minnesota, May 1994.
- Pravda J., - Belitz, K. (1995): Residual saturation, a source of long-term TCE contamination in the northeastern United States - Groundwater Quality: Remediation and Protection, Proceedings of the Prague Conference, May 1995, IAHS Publ. No. 225, 289 - 298.
- Rivett, M. O. - Cherry, J. A. (1991): The effectiveness of soil gas surveys in delineation of groundwater contamination. Controlled experiments at the Borden field site - Proceedings: NWWA/API Conference on Petroleum Hydrocarbons and Organic Chemicals in Ground Water, Houston Texas, November 1991.