

ZÁKLADNÍ PRINCIPY HYDROGEOLOGIE

Určeno pro státní správu při řešení problematiky kontaminovaných míst

Metodická příručka MŽP

2010

Metodická příručka byla zpracována na sekci technické ochrany životního prostředí pod vedením Ing. Karla Bláhy, CSc. odborem ekologických škod MŽP pod vedením RNDr. Pavly Kačabové, ředitelky odboru. Odborným garantem byl RNDr. Jan Gruntorád, CSc. Podklady k této příručce byly zpracovány týmem expertů, jejichž koordinátorem byl RNDr. Jaroslav Bárta, CSc. Podklady pro něj připravili: RNDr. Tomáš Charvát a RNDr. Dušan Dostál. Konstruktivním oponentem byl RNDr. Josef V. Datel, Ph.D. Zpracovatelé příručky děkují za odborné a metodické připomínky zejména prof. RNDr. Miloši Karousovi, doc. RNDr. Jaroslavu Knězovi, CSc., RNDr. Jiřímu Čížkovi, RNDr. Renatě Kadlecové, RNDr. Jiřímu Kesslovi, RNDr. Ladislavu Bížovi, Mgr. Lence Rukavičkové, Ph.D., RNDr. Karlovi Luskovi, Ing. Petru Křesťanovi.

O B S A H

1. Úvod

2. ZÁKLADNÍ PRINCIPY HYDROGEOLOGIE

2.1 Výskyt a oběh vody na Zemi

2.2 Podzemní voda

2.3 Vztah mezi podzemní vodou a horninou

2.4 Pohyb podzemní vody v geologickém prostředí

2.5 Zvláštní aspekty pohybu podzemní vody v puklinovém horninovém prostředí

2.6 Specifika pohybu podzemní vody v krasových dutinách

2.7 Hydrogeologické struktury a jejich režim

2.8 Vývěry podzemní vody, prameny

2.9 Chemické a fyzikální vlastnosti podzemní vody

2.10 Hydrogeologický průzkum

3. KONTAMINAČNÍ HYDROGEOLOGIE

4. METODY HYDROGEOLOGICKÉHO PRŮZKUMU

4.1 Hydrogeologické mapování

4.2 Hydrologické metody

4.3 Sondážní metody

4.4 Hydrogeochemické metody

4.5 Hydraulické metody

4.6 Metody modelování

4.7 Geofyzikální metody

PŘÍLOHY

I. SLOVNÍK DŮLEŽITÝCH POJMŮ

II. PRÁVNÍ PŘEDPISY PRO HYDROGEOLOGICKÉ PRÁCE

1. ÚVOD

Hydrogeologie jako vědní obor je jedním z pilířů procesu odstraňování kontaminovaných míst. Hydrogeologické metody jsou používány především při remediaci kontaminovaných podzemních vod.

Hydrogeologie je vědní obor, který se zabývá původem, výskytem, pohybem, fyzikálními a chemickými vlastnostmi podzemních vod ve vztahu ke stavbě a složení zemské kůry. Je to aplikovaná geologická věda, která se stále vyvíjí a podle potřeby řeší především nejrozumnější úkoly vodního hospodářství a ochrany životního prostředí. Jejím hlavním cílem je původně vyhledávání zdrojů podzemní vody, hodnocení její jakosti a využitelného množství, návrhy jejího optimálního využití a ochrany. **Aktuálně patří k neméně důležitým cílům hydrogeologie ochrana a sanace podzemních vod v rámci ochrany životního prostředí a při řešení kontaminovaných míst.**

Předkládaná příručka má za úkol přiblížit danou problematiku pracovníkům státní správy, kteří se zabývají procesem odstraňování kontaminovaných míst.

Příručka obsahuje přehled jednotlivých hlavních principů, pojmů, postupů atd., používaných při hydrogeologickém průzkumu kontaminovaných míst. Součástí příručky je rovněž stručný výkladový slovník hlavních pojmů používaných při těchto pracích a přehled příslušné legislativy.

Archivní údaje o starších průzkumech lze nalézt v archívu ČGS-Geofond www.geofond.cz, konzultace pro státní správu poskytuje Česká geologická služba www.geology.cz, data o klimatických a hydrologických poměrech shromažďuje Český hydrometeorologický ústav www.chmi.cz, informace o hydrologické bilanci zpracovává Výzkumný ústav vodohospodářský TGM www.vuv.cz.

Úplným laikům v dané problematice lze doporučit některé z přehledných úvodních vysokoškolských učebnic hydrogeologie (např. Šilar 1992, Tourková 2005), případně kontaktovat vysokoškolské pedagogy pro doporučení vhodné literatury či dalších podkladů pro studium (J. V. Datel, Přírodovědecká fakulta UK Praha, jvdatel@gmail.com, Z. Hrkal, Výzkumný ústav vodohospodářský TGM Praha, hrrkal@vuv.cz, J. Bruthans, Přírodovědecká fakulta UK Praha, bruthans@natur.cuni.cz, N. Rapantová, Vysoká škola báňská Technická univerzita Ostrava, nada.rapantova@vsb.cz, J. Tourková, Stavební fakulta ČVUT Praha, tourkova@fsv.cvut.cz).

Poučení čtenáři jistě uvítají další texty metodického charakteru uvedené na webových stránkách Ministerstva životního prostředí (odbor ekologických škod a odbor ochrany horninového a půdního prostředí) a České asociace hydrogeologů:

www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/metodiky_ekologicke_zateze/

www.mzp.cz/cz/metodicke_pokyny_puda

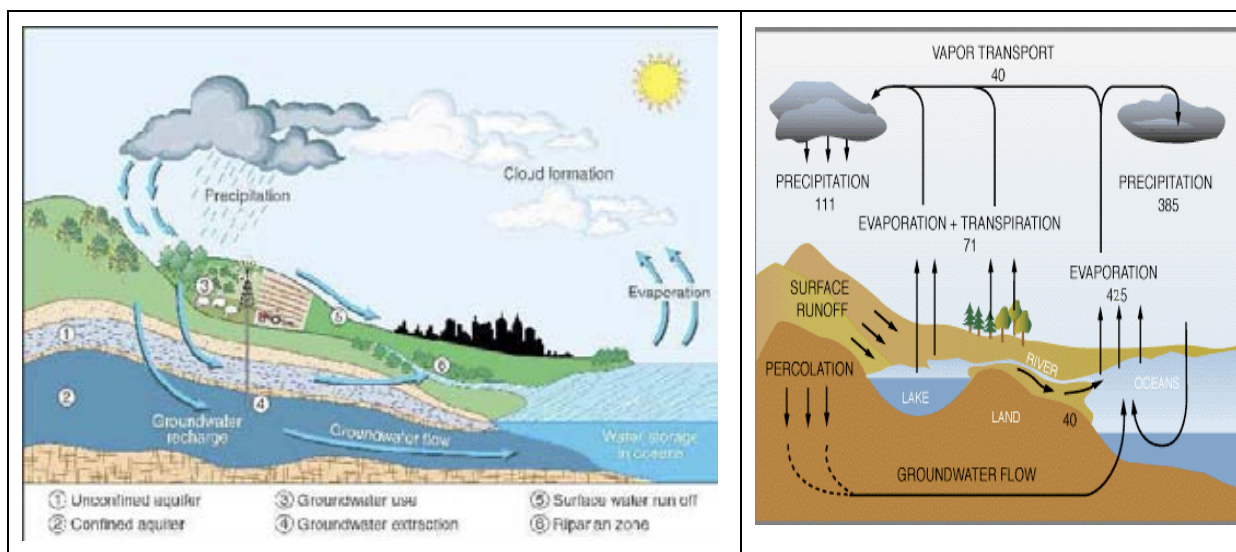
www.cah.cz

2. ZÁKLADNÍ PRINCIPY HYDROGEOLOGIE

2.1 Výskyt a oběh vody na Zemi

Voda, která se vyskytuje na Zemi, se souhrnně nazývá hydrosférou. Zahrnuje vodu v atmosféře, vodu na povrchu a pod povrchem Země a vodu obsaženou v organismech.

Neustálý oběh vody spojený se změnami jejího skupenství nazýváme hydrologickým cyklem či koloběhem vody (velmi zjednodušeně odpar vody z hladiny oceánů, srážky, zpětný odtok do moří). Mezi výparem, transpirací, srážkami, povrchovým odtokem, vsakem pod povrch a vývěrem na zemský povrch se vytváří dynamický rovnovážný vztah – hydrologická bilance.



Obr. 1: Oběh vody v přírodě (zdroj <http://jnuenvis.nic.in/subject/freshwater/hydrocycle.htm>). Vysvětlivky: Evaporation – vypařování, cloud formativ – vznik oblaků, precipitation – srážky, water storage in oceans – vodní zásoba v oceánech, groundwater recharge – infiltrace do podzemních vod, groundwater flow – proudění podzemní vody, 1 – zvođeň s volnou hladinou, 2 – zvođeň s napjatou hladinou, 3 – využívání podzemních vod, 4 – čerpání podzemních vod, 5 – odtok povrchové vody, 6 – pobřežní zóna s odvodňováním. Obrázek vpravo: evaporation – výpar, transpiration – uvolňování vody činností rostlin, vapor transport – přesun vodních par, lake – jezero, river – řeka, land – země, percolation – infiltrace (vody do horninového prostředí). Další názorná schémata viz např.: <http://ga.water.usgs.gov/edu/watercycle.html>

Voda je přírodním zdrojem, který na rozdíl od jiných přírodních zdrojů neživé přírody je obnovitelný ve všech složkách.

2.2 Podzemní voda

Podzemní voda je veškerá voda v kapalném skupenství pod zemským povrchem. Podzemní vodou není voda, která je fyzikálně nebo chemicky vázána na částice minerálů a hornin. Podzemní vodou se zabývá hydrogeologie.

Existují i další definice podzemní vody, např. dle zákona č. 254/2001 o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon): Podzemními vodami jsou vody přirozeně se vyskytující pod zemským povrchem v pásmu nasycení v přímém styku s horninami; za podzemní vody se považují též vody protékající drenážními systémy a vody ve studnících.

Geologické prostředí, v němž nastává ucelený oběh podzemní vody, se nazývá hydrogeologickou strukturou. Souhrn zákonitostí, které ovlivňují vznik, výskyt, pohyb a složení podzemní vody v horninovém prostředí a jejich změny v čase se nazývá hydrogeologickým režimem.

Voda obsažená v půdě při styku s atmosférou se nazývá vodou půdní a je předmětem zkoumání pedologie, resp. hydropedologie.

Podzemní a půdní voda ve všech skupenstvích se souborně nazývají vodou podpovrchovou.

Podzemní voda s běžným obsahem rozpuštěných látek (kterým nesplňuje požadavky na vodu minerální, viz lázeňský zákon č. 164/2001 Sb.) se nazývá vodou prostou. Tato voda je obvykle používána jako zdroj surové vody pro úpravu na vodu pitnou (dle vyhlášky 428/2001 Sb.). Přírodní vody, které se od prostých vod liší množstvím nebo druhem rozpuštěných látek nebo plynů nebo teplotou či jinými fyzikálními parametry (radioaktivita), se nazývají vodami minerálními. Pokud mají prokázané a státem uznané léčivé účinky, jde o vody léčivé (zákon 164/2001 Sb.).



Obr. 2: Pramen minerální vody v Baldovcích (Slovensko). Vývěr podzemní vody na terén, kolem jsou viditelné vysrážené minerály z vyvěrající vody. Foto D. Dostál

Podzemní voda se v horninách vyskytuje v dutinách, z nichž jsou nejvýznamnější průliny (póry), pukliny a krasové dutiny. Poměrný objem dutin v hornině se označuje jako pórovitost. Schopnost vody propouštět vodu se nazývá propustnost. Podle typu dutin lze rozlišit horniny s propustností průlinovou, puklinovou a krasovou.

Propustná hornina schopná shromažďovat vodu a dále ji vést či umožňovat odběr je hydrogeologický kolektor. Nepropustná hornina je hydrogeologický izolátor. Vodní útvar podzemních vod jako „*vymezené významné soustředění podzemních vod v určitém prostředí charakterizované společnou formou výskytu nebo společnými vlastnostmi vod a znaky společného hydrologického režimu*“ (zákon 254/2001 Sb.), který vyplňuje kolektor, se nazývá zvodně. Horní povrch zvodně s volnou hladinou je hladina podzemní vody. V případě zvodně s napjatou hladinou je hladinou podzemní vody geometrická plocha spojující body výtláčné tlakové úrovně hladiny podzemní vody (zjištěné např. jako ustálená tlaková hladina v průzkumných vrtech), která je nad úrovní stropu zvodně (obr. 5).

Pokud tlak v dutinách kolektoru na hladině podzemní vody je rovný atmosférickému, má zvodně volnou hladinu. Jestliže je na povrchu zvodně tlak vyšší než atmosférický, má

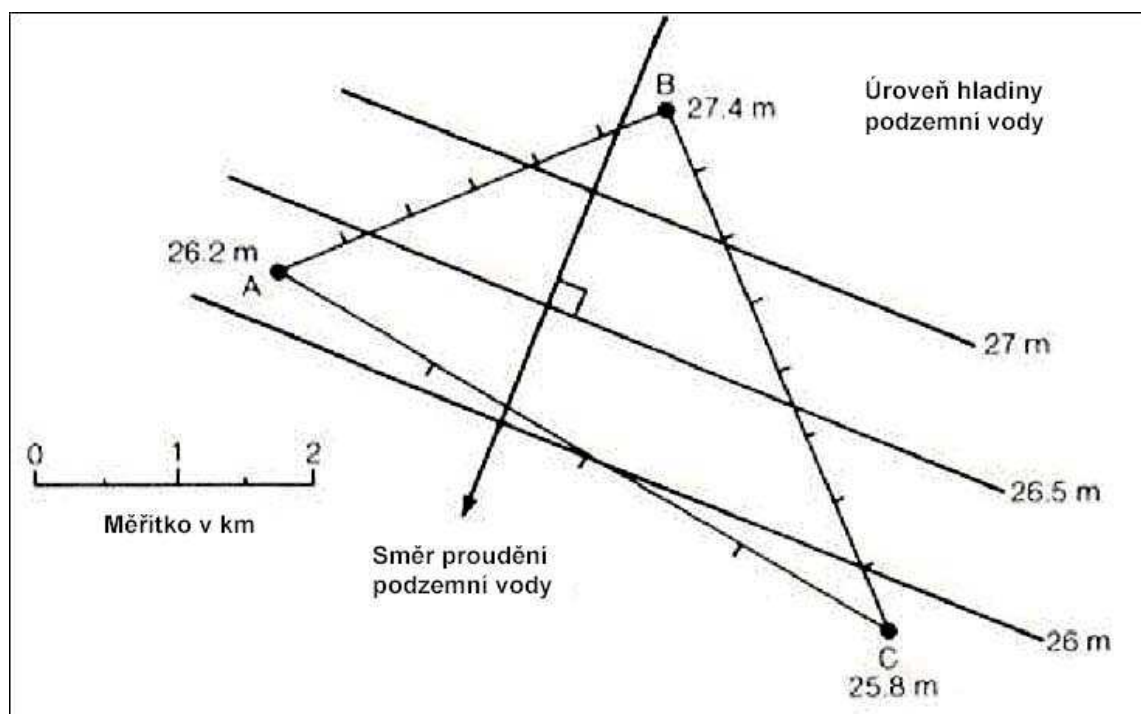
napjatou hladinu a po proražení izolátoru v nadloží zvodně např. vrtem vystoupí na úroveň, která odpovídá jejímu tlaku a která se nazývá piezometrickou úrovní.



Obr. 3: Hydrogeologický vrt s kladnou úrovní piezometrické hladiny, která způsobuje přirozený přeliv (Skelná Huť – T. Charvát). Zhlaví tohoto vrtu je nutné tlakově uzavřít, případně ho zlikvidovat tlakovou cementací, protože trvale narušuje přirozené hydrogeologické poměry (požadavek zákonů 62/1988 Sb. a 254/2001 Sb. v platném znění).

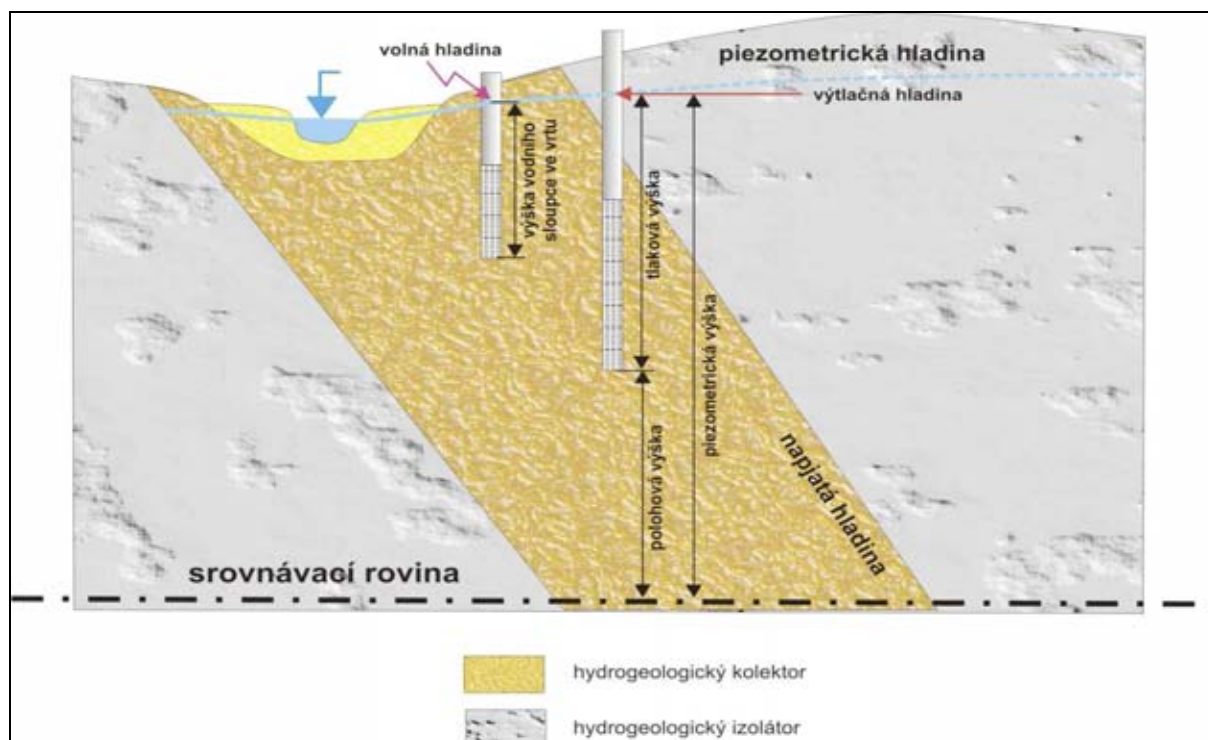
Svislá vzdálenost hladiny podzemní vody od terénu je hloubka hladiny podzemní vody, u napjaté hladiny podzemní vody se jedná o piezometrickou výšku. Piezometrická hladina, která vystoupá ve vrtu nad terén, je kladná (zde hovoříme o tzv. artéské vodě), pod terénem je záporná. K měření stavu hladiny podzemní vody (piezometrické úrovně), tedy vzdálenosti hladiny od odměrného bodu, se používá řada přístrojů a zařízení od nejjednodušších (např. Rangova píšťala, klasický manometr), přes elektrické hladinoměry až po moderní elektronické datalogery, které jsou založeny na záznamu změn hydrostatického (hydrodynamického) tlaku ve zvodni vlivem kolísání hladiny (piezometrické výšky).

Spojením míst se stejnou úrovní hladiny podzemní vody (vyjádřené v m n.m.) v mapovém podkladu vzniknou hydroizohypsy (hydroizopiezy v případě zvodně s napjatou hladinou). Podzemní voda proudí ve směru sklonu volné nebo piezometrické hladiny (tzv. hydraulický gradient), který je kolmý k hydroizohypsám (hydroizopiezám). Čím větší sklon, tím voda proudí rychleji (přímá úměra dle Darcyova zákona).



Obr. 4: Ukázka konstrukce hydroizohyps mezi 3 body. Šipka ukazuje směr proudění podzemní vody kolmý na hydroizohypsy

Voda v horninovém prostředí se dostává do pohybu účinkem vnějších sil, především gravitace. Rychlost proudění je vektorem, tudíž má svou velikost a směr. K měření směru a rychlosti proudění podzemní vody se používá nejrůznějších stopovačů, což jsou látky, které se dají ve vodě zjistit ve velkém zředění a podle nichž se dá pohyb vody sledovat.



Obr. 5: Pojmy při měření hladiny podzemní vody (vrt vlevo – volná hladina, vrt vpravo – napjatá hladina). (archív F. Pastuszek)

Část srážkových vod se infiltrací dostává pod zemský povrch a po dosažení hladiny podzemní vody pokračuje ve svém oběhu horninovým prostředím k místu odvodnění. Tato část celkového odtoku se nazývá podzemní odtok. Podzemní voda se vývěrem na zemský povrch např. formou pramenů stává opět povrchovou, velká část podzemní vody však vyvěrá na zemský povrch skrytě vývěry do povrchových toků či nádrží povrchových vod (v úrovni tzv. erozní neboli drenážní báze). Základní odtok je definován jako část celkového odtoku tvořená dotací z podzemních vod. K měření podzemního odtoku se využívá řada hydrologických metod. Drenážní báze je definována jako místo, k němuž v důsledku jeho výškové polohy směřuje podzemní odtok ze zvodněného systému (za přirozeného stavu obvykle údolí vodních toků).

2.3 Vztah mezi podzemní vodou a horninou

Na vodu v dutinách hornin působí různé síly (např. gravitace, tlak plynů, osmotické napětí, hygroskopické síly, kapilární síly), které pokud jsou v rovnováze, je podzemní voda v klidu, a nejsou-li v rovnováze, dostává se voda do pohybu – a poté na ni působí další síly (např. tření).

Obsah a pohyb vody v horninovém prostředí je ovlivňován velikostí, spojitostí, tvarem a objemem dutin. Poměr objemu dutin v hornině ku objemu celé horniny (včetně pórů) se nazývá pórovitost n , kterou vyjadřujeme v procentech. Pórovitostí je definována celá řada, v hydrogeologické praxi je důležitá efektivní (účinná) pórovitost, ze které lze odvodit množství vody, které lze z horniny odebrat, a pak i celková pórovitost definující množství kapaliny (vody či kontaminantu), které může být v hornině akumulováno.

V přirozeném stavu je část dutin v hornině vyplněna vodou, část plynnou složkou, tudíž je hornina jako celek třífázovým systémem tuhé, tekuté a plynné fáze.

Schopnost horniny propouštět vodu nazýváme její propustností, přičemž každá hornina je do určité míry propustná. Pokud tedy hovoříme o horninách propustných a nepropustných, je nutné pojem propustnost chápat jako relativní. K základním hydrogeologickým pojmům vztaheným k propustnosti horniny jsou kolektor a izolátor.

Hydrogeologický kolektor je horninové prostředí, jehož propustnost je v porovnání s propustností bezprostředně přilehlého horninového prostředí natolik větší, že se v něm gravitační voda za stejných hydraulických podmínek pohybuje mnohem snadněji (jako kritérium rozlišení kolektoru a izolátoru se obvykle bere diference 1-1,5 řádu hodnoty propustnosti).

Hydrogeologický izolátor je horninové těleso, jehož propustnost je v porovnání s propustností bezprostředně přilehlého horninového prostředí natolik menší, že se v něm gravitační voda za stejných hydraulických podmínek pohybuje mnohem hůře.

Propustnost horniny vyjadřujeme koeficientem hydraulické vodivosti K (dříve používaný termín koeficient filtrace k , příp. k_f , je dnes již zastaralý), který se z Darcyova zákona číselně rovná filtrační rychlosti při jednotkovém hydraulickém gradientu, má rozměr rychlosti a vyjadřuje se v m.s^{-1} . Základní a zjednodušený tvar Darcyova zákona lze vyjádřit vzorcem

$$v = K \cdot I,$$

kde v je darcyovská rychlost proudění podzemní vody (m.s^{-1}), K je koeficient hydraulické vodivosti (m.s^{-1}), který je konstantní vlastností konkrétní horniny za podmínky 100% saturace vodou, a I je hydraulický gradient (bezrozměrná veličina, charakterizující sklon hladiny podzemní vody). Zákon vyjadřuje základní vztah v hydraulice podzemní vody, kdy rychlost proudění je přímo úměrná propustnosti prostředí a sklonu hladiny.

Míra schopnosti horninového tělesa propouštět vodu je charakterizován též koeficientem transmisivity (průtočnosti) T . Je definován jako součin koeficientu hydraulické vodivosti K a mocnosti zvodně (= zvodněné části kolektoru) m . Má rozměr plochy dělené časem a číselně se rovná objemovému průtoku zvodněným kolektorem jednotkové šířky a zvodněné mocnosti m při jednotkovém hydraulickém gradientu. Vyjadřuje se v $m^2 \cdot s^{-1}$. Je měřítkem využitelnosti zvodněného kolektoru pro jímání vody.

Množství vody, které lze odebrat z hydrogeologického kolektoru, je charakterizováno bezrozměrným koeficientem storativity (zásobnosti) S . Míra zásobnosti kolektoru je definována jako objem vody, který se uvolní ze zásoby v kolektoru z jednotkové plochy kolektoru při jednotkovém snížení piezometrické hladiny. U volné hladiny je koeficient storativity roven objemu pórů, ze kterých voda otekla (tedy efektivní pórovitosti horniny). U zvodně s napjatou hladinou koeficient S souvisí s pružným chováním vody a horninového prostředí v napjatostním stavu, jde tedy o principiálně jiný parametr, který je zhruba řádově nižší. Proto se také rozlišuje S_v jako koeficient storativity zvodně s volnou hladinou (s hodnotami nejčastěji v intervalu 0,1-0,5), a S_p jako tzv. koeficient pružné storativity, který nabývá obvykle hodnot v setinách, maximálně do 0,1.

Výše uvedené hydraulické parametry K , T a S se v hydrogeologické praxi zpravidla zjišťují vyhodnocením hydrodynamických zkoušek. Hydrodynamickými zkouškami se rozumí čerpací, stoupací, vsakovací, vtláčecí a další zkoušky (dále viz část věnovaná metodám hydrogeologického průzkumu). Existují rovněž další terénní, laboratorní a empirické metody, avšak terénní hydrodynamické zkoušky jsou pro výpočet hydraulických parametrů prakticky nezastupitelné, protože poskytují nejspolehlivější a nejvěrohodnější výsledky.

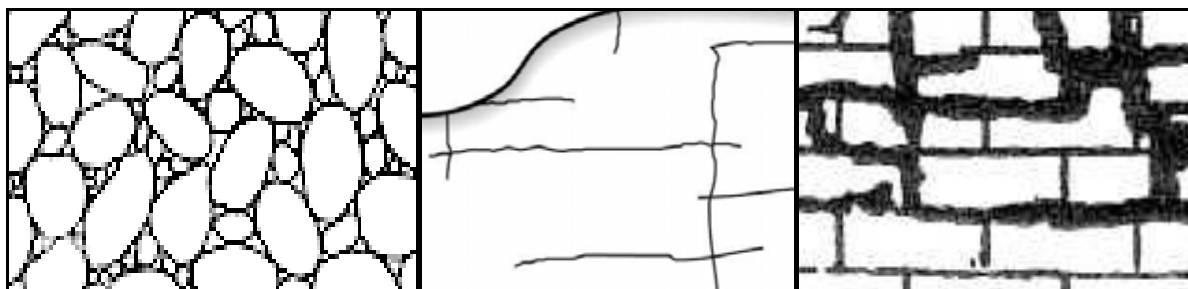
2.4 Pohyb podzemní vody v geologickém prostředí

Část atmosférických srážek infiltruje pod zemský povrch a stává se tak podzemní vodou. Nejdříve prosakuje provzdušněným (aeračním) pásmem od povrchu ke hladině podzemní vody. V nasyceném pásmu přechází pohyb vertikální v laterální, který směřuje obvykle k místní či regionální erozní bázi (též báze odvodnění podzemních vod). V hydrogeologii se zkoumá především pohyb vody v pásmu nasycení.

Pohyb vody co do směru a rychlosti je určen vlastnostmi horninového prostředí, prostorovým uspořádáním kolektorů a izolátorů v hydrogeologické struktuře, působením energie (potenciálu), která je obvykle dána geomorfologickými vztahy (spádem) mezi místy infiltrace a odvodnění v hydrogeologické struktuře. Schopnost horniny propouštět vodu je dána tvarem a velikostí dutin, které současně určují, zda je pohyb vody v dutinách laminární či turbulentní. Směr pohybu vody v horninách je dán prostorovým uspořádáním dutin a směrem působení hydraulického gradientu.

Při řešení hydrogeologických úkolů se vychází z toho, že proudění podzemní vody v dutinách se děje převážně laminárním způsobem, na které se vztahuje Darcyův zákon (platí lineární vztah mezi hydraulickým spádem a rychlostí proudění).

Při řešení úloh hydrauliky podzemní vody se předpokládá, že voda proudí celým průtočným profilem horninového prostředí (pak hovoříme o tzv. darcyovské rychlosti proudění podzemní vody, která je fiktivní a několikrát pomalejší než skutečná rychlost proudění). Horniny v přírodních poměrech však mají v různých místech různou propustnost, nejsou homogenní, ale heterogenní. Rovněž tak má horninové prostředí různou propustnost v různých směrech, je anizotropní. Příkladem jsou sedimentární horniny, kde laterální propustnost ve směru vrstev je několikanásobně vyšší než ve směru kolmém k vrstvám.



Obr. 6 Schéma horninového prostředí s průlinovou, puklinovou a krasovou propustností (J.V.Datel)

2.5 Zvláštní aspekty pohybu podzemní vody v puklinovém horninovém prostředí

Ve zpevněných horninách (sedimentech, vyvřelinách i metamorfitech) vznikají plochy diskontinuity označované jako pukliny a dislokační plochy. Tyto plochy diskontinuity mohou obsahovat vodu, kterou označujeme jako puklinovou. Propustnost puklin závisí na jejich rozměrech, t.j. šířce, a na jejich druhotných změnách, jako výplní druhotnými minerály, jílovými částicemi, nebo naopak na vyluhování a dalších změnách.

Pukliny a plochy diskontinuity můžeme rozlišit na primární (vznikly současně s horninou) a sekundární (vznikly v hotové hornině působením endogenních sil – tektonické pochody a exogenních sil – gravitace, zvětrávání, smršťování, eroze, lidská činnost). Systémy puklin bývají velmi pravidelné, zejména u puklin tektonického původu a u dislokací. To však neznamená, že pukliny prostupují horninu rovnoměrně a všesměrně, aby bylo možné horninové prostředí považovat za homogenní a izotropní.

Propustnost rozpukaných zpevněných hornin, jež neobsahují průliny, je dána především rozměry a uspořádáním puklin, zejména mírou propojení propustných puklin. Propustnost je v takovém prostředí vlastností puklin a nikoliv horniny. Proudění v puklinách není jen laminární, může být při vyšším hydraulickém gradientu i turbulentní, čímž vybočuje z mezí platnosti Darcyova zákona. V praxi tak mohou být výpočty hydraulických parametrů z hydrodynamických zkoušek v puklinovém prostředí zatíženy značnou chybou a je třeba je brát jako orientační.

2.6 Specifika pohybu podzemní vody v krasových dutinách

Krasové dutiny vznikají v horninách jejich fyzikálním rozrušováním proudící vodou a jejich chemickým rozpouštěním. Jsou nejrůznějšího tvaru, rozsahu a průtočného profilu. Jsou velmi významné, v krasových oblastech tvořených rozpustnými horninami je na ně vázán režim podzemních vod.

I při malých rozměrech jsou krasové dutiny (rozšířené zející pukliny a další dutiny) cestami propustnými pro průchod velkého množství vody. Z hydraulického hlediska mají tyto dutiny vlastnosti otevřených koryt nebo potrubí, ve kterých voda může proudit buď částečně vyplněným profilem s volnou hladinou, nebo plným profilem pod tlakem. Velké krasové dutiny, které lze zkoumat speleologicky (tzn. že rozměry umožňují přístup člověka do této dutiny), se označují jeskyně.

Pohyb podzemní vody v krasových dutinách je zpravidla turbulentní. Všeobecně pro pohyb vody krasovými dutinami platí rozšířená Bernoulliho rovnice. Pro pohyb vody krasovými dutinami s volnou hladinou platí základní zákonitosti pohybu vody v otevřených korytech, proudění podzemní vody zde tedy není z hydraulického pohledu vlastností horninového prostředí, ale tvaru a velikosti těchto koryt. Jejich identifikace a přesný geometrický popis,

který je možné získat speleologickými, geodetickými, geofyzikálními a dalšími speciálními metodami, je tedy základním předpokladem pro studium proudění podzemní vody v tomto prostředí.

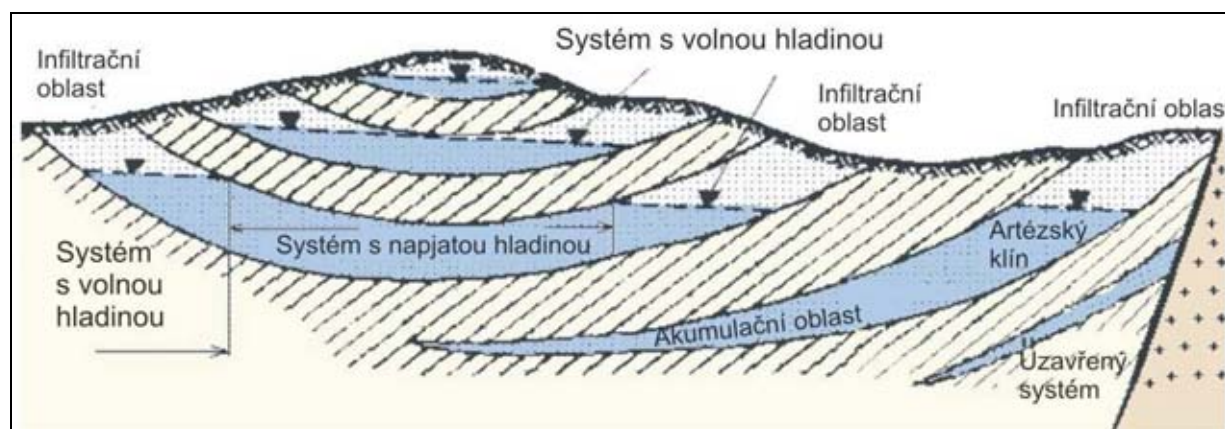


Obr. 7: Ukázka krasové propustnosti hornin – Punkevní jeskyně v Moravském krasu

2.7 Hydrogeologické struktury a jejich režim

Hydrogeologická struktura je obecně geologické prostředí, které se vyznačuje ustáleným oběhem podzemní vody, kde můžeme vyčlenit oblast napájení (infiltrační povodí), cestu podzemní vody a její vývěr (odvodnění). Hydrogeologické struktury lze rozdělit podle různých hledisek, především podle strukturně geologických poměrů a podle vztahu k oběhu podzemní vody, nebo podle hydraulických poměrů obsažené zvodně (tedy s volnou nebo napjatou hladinou) či způsobu tvorby chemického složení podzemní vody (především u minerálních vod).

Hydrogeologická struktura může za příznivých okolností poskytovat využitelný zdroj podzemní vody. U vodního zdroje je nutno rozlišit množství vody jímání za časovou jednotku (vydatnost) a objemové množství nahromaděné v příznivých místech hydrogeologické struktury (zásoba).



Obr. 8: Příklad pánevni hydrogeologické struktury – na obrázku jsou vidět zvodněné kolektory s volnou hladinou, s napjatou hladinou, i kolektory s omezeným prouděním podzemní vody (zóny stagnující podzemní vody), oddělené hydrogeologickými izolátory s horninami se sníženou propustností (šrafovaně). (Arnošt Grmela, VŠB-TU Ostrava)

2.8 Vývěry podzemní vody, prameny

Podzemní voda vyvěrá z hydrogeologické struktury na zemský povrch přirozeně nebo vlivem umělého zásahu. Přirozený vývěr je místem zakončení oběhu podzemní vody.

Přirozeně voda vystupuje na povrch formou skrytých vývěrů nebo jako prameny. Pramenem se nazývá soustředěný přirozený vývěr vody na zemský povrch. Prameny lze třídit podle různých kritérií, např. podle vydatnosti, setrvalosti vývěru (např. permanentní, občasné, periodické), směru pohybu podzemní vody k výtoku (sestupné, výstupné, přelivné), podle geologických poměrů (vrstevní, puklinové, zlomové, suťové, krasové), morfologické pozice (údolní, terasové, vrcholové) a pod.

Množství vody vyvěrající za časovou jednotku je vydatnost, která se vyjadřuje v l.s^{-1} nebo $\text{m}^3.\text{s}^{-1}$. Výstupem z horninového prostředí na zemský povrch se z vody podzemní stává voda povrchová.

Značná část podzemní vody z hydrogeologických struktur vyvěrá skrytě přímo do povrchových toků nebo nádrží (jezer, moří). Takový vývěr se projevuje nárůstem průtoku a může být stanoven z rozdílu průtoku ve dvou hydrometrických profilech omezujících zkoumaný úsek toku. Vydatnost takového vývěru je zahrnuta v základním odtoku.



Obr. 9: Měřený pramen ČHMÚ s měrným přelivem

2.9 Chemické a fyzikální vlastnosti podzemní vody

Z hydrogeochemického hlediska je voda složitým heterogenním systémem sestávajícím jednak z pravého roztoku složeného z vody a rozpuštěných molekul, iontů a jejich komplexních sloučenin, jednak ze suspendovaných částic. Součástí přírodních vod jsou i rozpuštěné plyny (O_2 , CO_2 , Rn aj.) a mikrobiální oživení.

Hlavní hydrochemické vlastnosti lze rozdělit do dvou skupin. Jsou to vlastnosti fyzikálně-chemické (např. teplota, elektrická vodivost, pH, oxidačně-redukční potenciál Eh) a vlastnosti chemické (chemické složení látek rozpuštěných ve vodě). Na rozhraní těchto skupin je izotopické složení vody a její radioaktivita.

Fyzikálně-chemické a chemické vlastnosti vody se zjišťují jednak přímo v terénu, jednak laboratorně pomocí širokého spektra analýz. Chemické složení vod se vyjadřuje graficky pomocí nejrůznějších grafů. Na základě podílu hlavních iontů (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^-) se definuje chemický typ vody. Antropogenního původu jsou často významné obsahy různých forem dusíku ve vodách – dusičnany NO_3^- , dusitany NO_2^- a amoniakální dusík NH_4^+ . Důležitým parametrem je celková mineralizace jako obsah všech rozpuštěných látek v podzemní vodě.

2.10 Hydrogeologický průzkum

Hydrogeologický průzkum je účelně prováděná činnost, jejímž cílem je získání potřebných poznatků o poměrech výskytu podzemních vod v horninovém prostředí, zejména pro jejich využívání a ochranu. Ke zkoumání se používá pracovních metod hydrogeologie, hydrologie, hydrauliky podzemních vod a hydrogeochemie. Hydrogeologický průzkum rozlišujeme na základní (stanovení základních hydrogeologických charakteristik zkoumané struktury), regionální (ocenění využitelných zásob podzemní vody v nižších kategoriích) a účelový (podrobnější ověření využitelnosti zdrojů podzemní vody, ale např. i průzkum pro potřeby kontaminační hydrogeologie). Vyhláška 369/2004 Sb. (v platném znění po novelizaci vyhláškou 18/2009 Sb.) zdůrazňuje etapovitost hydrogeologického průzkumu a průzkumu pro zjišťování a odstraňování antropogenního znečištění v horninovém prostředí, které dělí na etapu vyhledávacího průzkumu, etapu podrobného průzkumu a etapu doplňkového průzkumu. Je třeba uvést, že jde o zásadní právní předpis upravující náplň geologických průzkumů a jejich postup. Doporučujeme proto sledovat zvláště případné další novelizace tohoto předpisu.

3. KONTAMINAČNÍ HYDROGEOLOGIE

Podzemní voda je důležitým transportním činitelem při přenosu nejrůznějších látek, které vznikají přírodními pochody a lidskou činností a jsou často škodlivé pro lidské zdraví a pro životní prostředí. Proto je jedním z důležitých úkolů hydrogeologie v rámci ochrany životního prostředí průzkum znečištění podzemních vod, přičemž se v převážné řadě případů jedná o znečištění antropogenní.

Současná moderní hydrogeologie je interdisciplinárním vědním odvětvím. K získání potřebných výstupů průzkumných prací napomáhají další vědní obory jako jsou geologie, chemie, fyzika, matematika, meteorologie, hydraulika, hydrologie, atd.

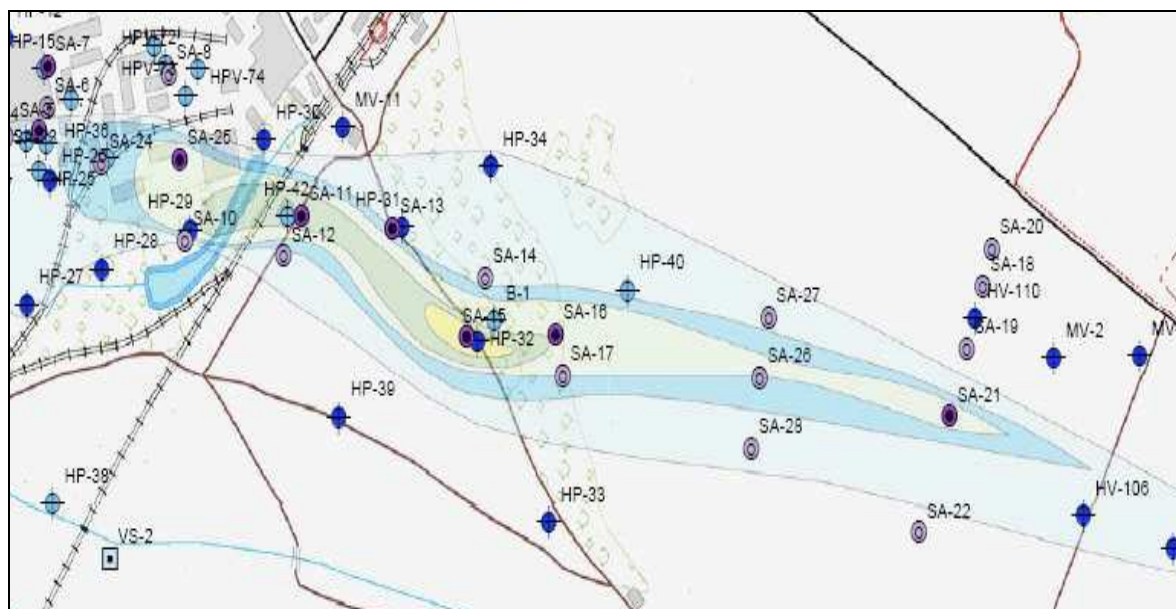
Výstupem průzkumů kontaminace prostředí je kvalitativní a kvantitativní ocenění zjištěné kontaminace, její pohyb a kvalitativní vývoj v rámci zvodněného horninového prostředí. Cílem získaných informací je rozhodnutí, nakolik je znečištění nebezpečné, zda je potřeba se jím dále zabývat a jakým způsobem je nutno s ním naložit.

Průzkum kontaminace prostředí má z hlediska náplně 3 hlavní části – průzkum zdroje kontaminace, průzkum znečištění nesaturované zóny a průzkum znečištění saturované zóny (tato část je hlavní náplní předkládaného materiálu).

Průzkum znečištění saturované zóny

Průzkumné práce by měly být zaměřeny na následující základní okruhy:

- geometrie zkoumaného hydrogeologického prostředí, tzn. vymezení hydrogeologických kolektorů, poloizolátorů a izolátorů,
- hydraulické charakteristiky kolektorů a izolátorů, případně definice okrajových podmínek ve zkoumané zvodni pro předpokládané matematické modelování,
- hloubka hladiny první zvodně, směr a rychlost proudění v ní,
- u hlubších zvodní piezometrická úroveň hladin podzemní vody, směr a rychlost proudění a určení vertikální složky proudění,
- režim proudění podzemních vod ve zkoumané lokalitě (místa infiltrace, oběhu, akumulace a drenáže), souvislost s povrchovými vodami,
- využití podzemních vod v okolí,
- kvalitativní spektrum kontaminujících látek a jejich chování v saturované zóně (ovlivnění dalších fyzikálních a chemických ukazatelů podzemní vody),
- množství a koncentrace polutantů rozpuštěných v podzemní vodě v úrovni hladiny, pod hladinou a při bázi kolektoru, případný výskyt volné fáze na hladině a při bázi kolektoru (s bilančními výpočty)
- sorpce kontaminantu na horninu v saturované zóně a uplatnění dalších atenuačních procesů (difuzně-disperzní procesy, biodegradace, mezifázové přeměny aj.),
- aktuální prostorové rozložení koncentrací dílčích polutantů v saturované zóně,
- předpokládaný vývoj kontaminace v prostoru a čase.



Obr. 10: Ukázka plošného mapového vyjádření rozsahu kontaminace podzemních vod, tzv. kontaminační mrak (Bzenec) (J.V.Datel). Kontaminační mrak je ohraničen na základě množství průzkumných a monitorovacích vrtů. Jednotlivé barvy odpovídají koncentraci kontaminující látky (v tomto případě alifatických chlorovaných uhlovodíků), která se zmenšuje směrem k okraji kontaminačního mraku. Zásadní význam mají vrtý nejen uvnitř kontaminačního mraku, ale i vrtý vně, protože ohraničují tento mrak, jinými slovy definují okolí mraku, kde jsou již akceptovatelné hodnoty (z hlediska závěrů analýzy rizik) koncentrací kontaminující látky.

Postup při průzkumu kontaminovaných území by měl být v souladu s příslušnými metodickými pokyny MŽP, které lze nalézt na stránce Ministerstva životního prostředí www.mzp.cz (www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/metodiky_ekologicke_zateze/). Správně provedený hydrogeologický průzkum zjištěné kontaminace je základem zpracování analýzy rizika. Během sanačního zásahu probíhá doplňkový hydrogeologický průzkum, jehož úkolem je vyhodnocovat průběh a úspěšnost sanačních prací, řešit vzniklé problémy a posuzovat nově zjištěné skutečnosti. K dosažení požadovaných cílů slouží následující metody hydrogeologického průzkumu.

4. METODY HYDROGEOLOGICKÉHO PRŮZKUMU

4.1 Hydrogeologické mapování

Základní metoda hydrogeologického průzkumu je hydrogeologické mapování. Jde o odbornou činnost, jejímž výsledkem je hydrogeologická mapa různého měřítká, podle účelu mapovacích prací. Tyto práce zahrnují terénní rekognoskaci, popis dokumentačních bodů, sondážní a měřické práce v terénu a odběry vzorků pro laboratorní zkoušky. Spolu s archívními údaji z hydrogeologických průzkumů a starších mapovacích prací jsou pak všechny tyto informace využity pro vypracování základní či účelové hydrogeologické mapy daného území. Hydrogeologická mapa je speciální mapa vypracovaná na topografickém a geologickém podkladu a doplněná odpovídajícími profily představuje nejvýstižnější komplexní způsob znázornění hydrogeologických poměrů určitého území. Mapa společně s textovými vysvětlivkami a případně i hydrogeologickými řezy znázorňuje výskyt podzemní vody v hydrogeologických strukturách, rozšíření a zonálnost podzemní vody ve vztahu k hydrografii a hydrologii, geomorfologii, geologii a tektonice. Hydrogeologické mapy se dělí na přehledné (měřítko 1:500 000 a menší), základní (měřítko 1:50 000 až 1:200 000) a účelové (zaměřené na konkrétní cíl, např. mapy agresivity podzemních vod, mapy znečištění podzemních vod, důlně hydrogeologické mapy apod. ...). Speciálními mapami jsou mapy vodohospodářské, které v daném území ukazují vodohospodářské aspekty využívání území (jímací objekty, ochranná pásma, vodovodní a kanalizační řady, vodní díla, vodárenské nádrže a toky, hydrologická povodí, inundační území apod.).

4.2 Hydrologické metody

V rámci hydrogeologického průzkumu je často nezbytné použít hydrologických metod pro zjištění základních hydrogeologických poznatků o zkoumané lokalitě, jako je velikost podzemního odtoku ze zájmového území, infiltrace srážkových vod či velikost evapotranspirace ve znečištěné lokalitě a další. Hydrologickými metodami v hydrogeologické praxi se primárně zpracovávají kvantitativní údaje získané pozorováním a měřením v terénu. Zpracování těchto údajů umožňuje ve spojení se znalostmi geologické stavby a hydrogeologických poměrů povodí či jeho části určit zákonitosti režimu podzemních vod v nejširším slova smyslu.

K široce používaným hydrologickým metodám patří

- zpracování bilance podzemních vod,
- měření srážek a výparu,
- stanovení odtoku (povrchového, hypodermického, podzemního),
- měření vydatností pramenů a vodních stavů (průtoky, hladiny povrchových a podzemních vod).

4.3 Sondážní metody

Hydrogeologický průzkum saturované zóny se neobejde bez hloubení průzkumných sond a vrtů. Vrt či sonda je vedle pramene jediným způsobem, jak přímo studovat podzemní vodu, která není z povrchu terénu volně přístupná. K vrtání se používá různých vrtných technologií (vrtání úderem, jádrové, rotačně-příklepové, nárazovotočivé, náběrové, šnekové, vibrační, drapákové, atd.). Je třeba uvést, že každá technologie je optimálně použitelná pro jiné horninové prostředí a pro jiný účel průzkumného vrtu.

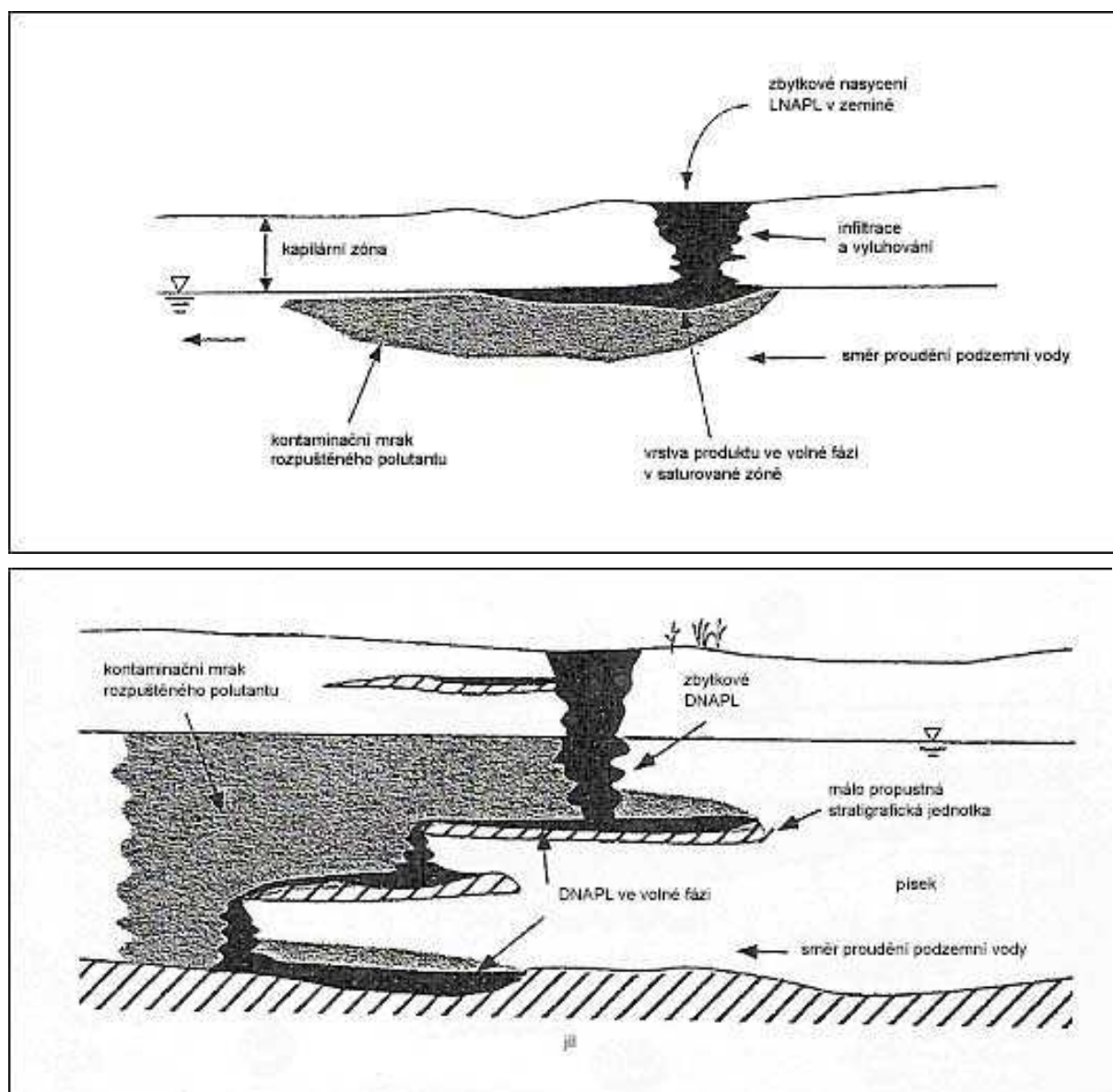
Vrtání úderem je klasická nejstarší vrtná technologie dnes optimálně použitelná pro širokoprofilové vrtvy (nad Ø 400-500 mm) do tvrdých hornin (za předpokladu akceptace pomalého postupu vrtání – max. desítky cm denně). Vrtání jádrové je dražší a je opodstatněné v případě potřeby kvalitních jádrových vzorků za vrtu (průměry kolem 100-150 mm) – pro přesný litologický popis, pro zjištění tektonického postižení, pro laboratorní zkoušky apod. Vrtání rotačně-příklepové je standardní vrtání v pevných skalních horninách za přijatelné ceny; toto vrtání ale neumožňuje získání vrtného jádra pro podrobný popis zastiženého horninového prostředí, ale jen pro jeho orientační popis. Rotačně-příklepové vrtání je nejčastěji používáno pro budování vrtaných studní jako vodních děl, méně jako průzkumných vrtů (vrtné průměry dle výkonu vrtné soupravy 200-400 mm). Nárazovotočivé vrtání (např. soupravy řady UGB) je univerzálně použitelná vrtná technologie pro většinu geologických prostředí za účelem budování mělkých průzkumných vrtů (do 20 m) užšího průměru (100-200 mm),

Vrtné technologie jako náběrové vrtání, šnekové, vibrační či drapákové je používáno pro vrtvy v nesoudržném nebo málo soudržném materiálu (pokryvné útvary, hlíny, fluvialní štěrkopísky v údolních či vyšších terasách, zvětralinový plášť skalního podloží apod.). Vibrační metody jsou určeny do prostředí bez větších valounů (obvyklý vrtný průměr 50-150 mm), šnekové, či zvláště drapákové vrtání slouží pro výstavbu širokoprofilových vrtů a studní (drapákové vrtání i přes průměr 1000 mm).

V rámci hydrogeologického průzkumu slouží sondážní či vrtné práce k upřesnění znalostí o geologii zájmového území, k odběrům vzorků zemin a podzemní vody na příslušné analýzy, k terénním měřením fyzikálně-chemických parametrů, k záměrům hladiny podzemní vody, k provádění hydrodynamických zkoušek, ke stopovacím zkouškám, k dlouhodobějšímu monitoringu a po ukončení průzkumných prací mohou sloužit k sanačnímu čerpání či k zasakování vyčištěné vody nebo remediačních činidel.

Parametry vrtu (tzn. hloubka, vrtný průměr, použitá vrtná technologie, způsob vystrojení vrtu, interval perforace výstroje, obsyp a těsnění výstroje) se odvíjejí od charakteru geologického prostředí (např. zpevněné, nezpevněné horniny), podle určení průzkumného díla (zjištění litologického profilu a tektonického postižení hornin, jednorázový odběr vzorků, dlouhodobější monitoring, potenciální využití jako sanační objekt, atd.) i podle vlastností polutantů, které se v podzemní vodě očekávají (sledování polutantu při hladině podzemní vody – LNAPL či při bázi kolektoru – DNAPL (jde o látky, jejichž měrná hmotnost je menší nebo větší než voda, definice viz příloha č. 1).

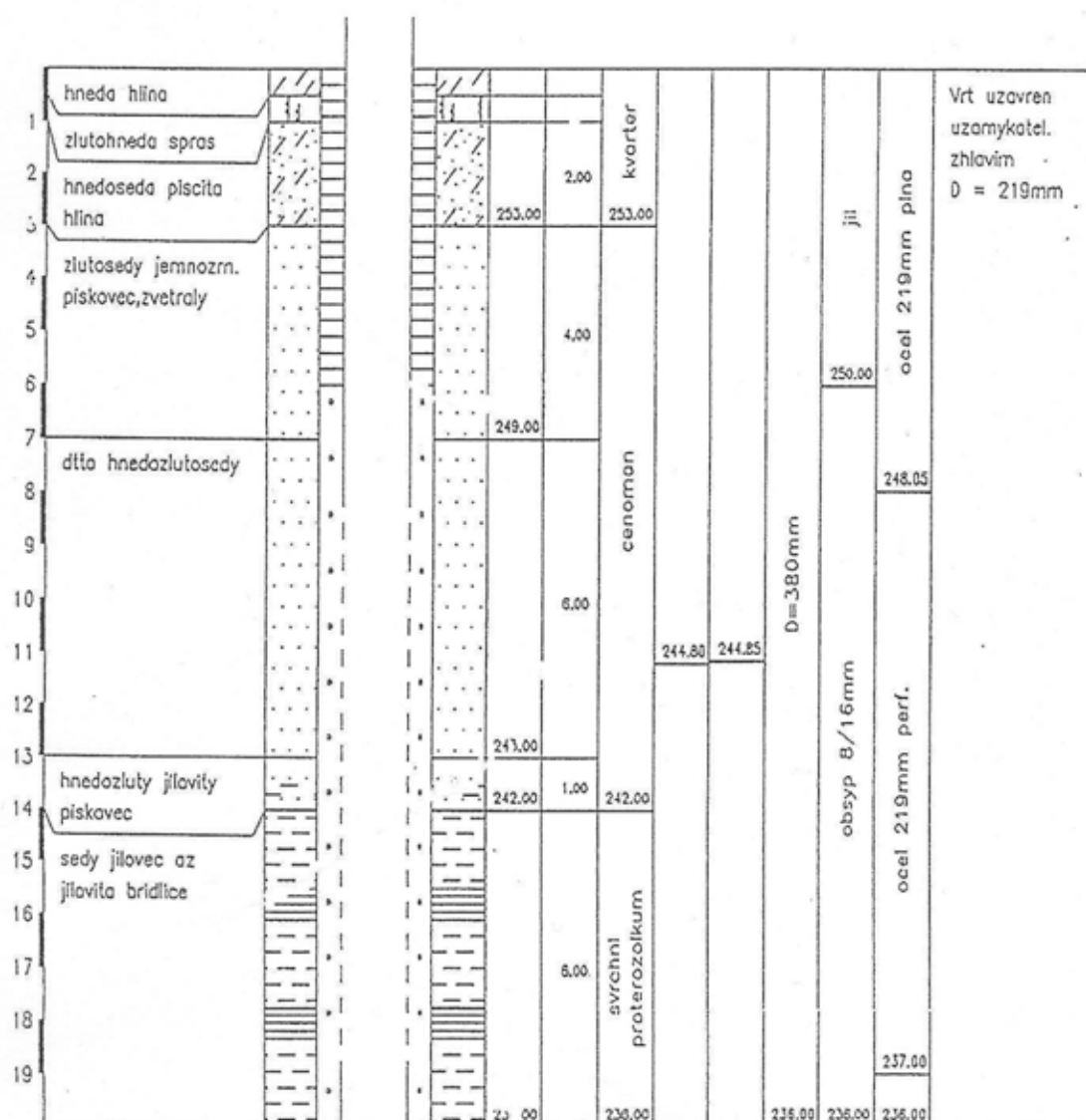
V prostředí, kde existuje více zvodněných kolektorů nad sebou (obvykle sedimentární pánve) je třeba věnovat pozornost důkladnému oddělení kolektorů v průzkumném vrtu vhodným těsněním (např. tlaková cementace).



Obr. 11: Odlišné chování samostatné fáze kontaminantu lehčího než voda (např. znečištění původem z ropných uhlovodíků), který se koncentruje v úrovni hladiny (na hladině vytváří samostatnou vrstvu), a hloubka zasažení rozpuštěnou fází ve vodě je omezená jen na ve svrchní části zvodně, a kontaminantu těžšího než voda (jeho měrná hmotnost je větší než voda, tzn. 1000 kg/m^3), např. chlorovaných uhlovodíků, které vlivem gravitace v samostatné fázi postupně klesají až na dno zvodněného prostředí (zvodněného kolektoru), kde vytvářejí akumulace (tzv. louže) v depresích (sníženinách) báze kolektoru, a rozpouštějí se v celé mocnosti zvodně. Výrazně se přitom uplatňuje heterogenita geologického prostředí, nesaturované a saturované zóny (Waterloo Centre for Groundwater Research, www.earth.uwaterloo.ca).

Na správném provedení vrtu závisí možnost jeho dlouhodobého využívání, věrohodnost a reprezentativnost z něj odebíraných vzorků a záměrů hladiny podzemní vody v něm.

Příloha č.													
Geologický a technický profil vrtu													
Úkol: 93 1 144 Název: Cakovice					Hloubeno v době: od V/94 do			Označení vrtu: CM-2					
Zpracovatel úkolu: RNDr J.Datel		Okres: Praha Místo: Cakovice			Typ soupravy: RNM			Mapa: 1 : 25 000 12-242					
Vrtmistr: Krabec		Měřítka hloubek 1: 150 Měřítka šířek 1: 20		Y X			Kóta terénu: 256.00 Kóta pažnice: 257.00						
Hloubka	Litologický popis hornin	Geologický řez a schéma výstroje			Kóta m. nult.	Mocnost vrstev	Stratigra- fie	Podzemní voda naražená udlážděná		Průměr vrtu	Těsnění Obsyp	Výstroj vrtu	Poznámka



Obr. 12: Geologický a technický profil průzkumného hydrogeologického vrtu. Jsou z něho patrné zastížené horniny, naražená a ustálená hladina podzemní vody a vystrojení vrtu (otevřené a plné úseky výstroje, intervaly těsnění a obsypu) (J. V. Datel).



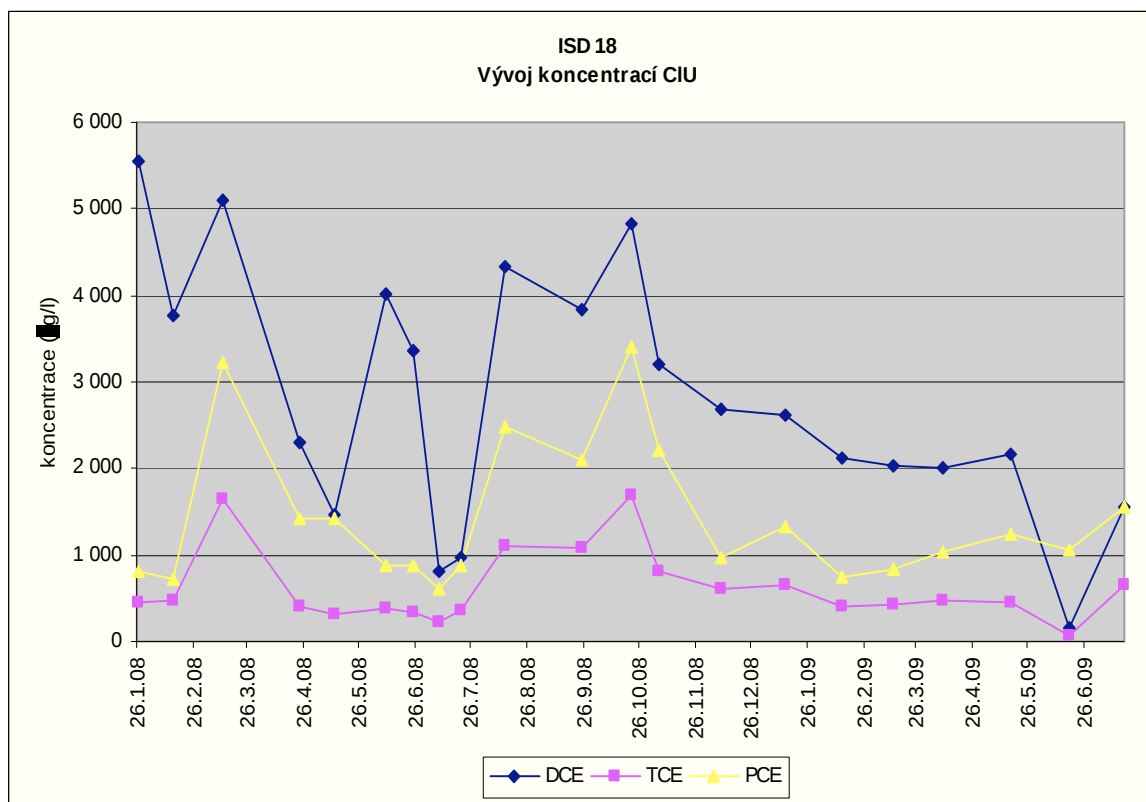
Obr. 13: Mobilní vrtná souprava Wirth B1A (archiv T. Charvát). Z obrázku vyplývá potřeba základního prostoru pro vrtné práce, který nezahrnuje jen místo vlastního vrtu, ale i postavení vrtné soupravy a manipulační prostor kolem (pro vrtné nástroje, soutyči, kompresor, u hlubších vrtů jímka a další součásti výplachového hospodářství atd.). Z tohoto důvodu mohou nastat problém s realizací vrtů ve stísněných podmínkách (např. mezi budovami, v plochách s velkým pohybem osob a materiálu apod. Výška vrtné soupravy, resp. vrtné věže (úzce související s hloubkou budovaného vrtu) může být také omezující faktor při vrtání v interiérech nebo při vrtání v blízkosti elektrického nadzemního vedení apod. Podzemní inženýrské sítě a přesnost jejich identifikace jsou dalším omezujícím faktorem umístění průzkumného vrtu. V případě potřeby je možnost realizace nejen vertikálních, ale i šikmých, horizontálních nebo dovrchních vrtů (např. v případě potřeby zjistit kontaminaci či hydrogeologické nebo litologické poměry pod základy budov, v podloží skládek, v důlních dílech apod., je však třeba počítat s výrazně vyšší cenou těchto děl v porovnání s běžnými vertikálními průzkumnými vrtu (i 2-3 násobek běžné ceny). S podobným zvýšením cen je nutno počítat i v případě, kdy se vrtu realizují ve více kolektorovém prostředí a je třeba tlakovou cementací jednotlivé kolektory od sebe oddělit. Stejně tak v případě průzkumu hlubokých zvodněných kolektorů (nad 100-200 m) je nutné počítat se zvýšenými náklady na vrtné práce; v těchto hloubkách je vrtání mnohem dražší než u mělkých vrtů, nelze tedy jednoduše extrapolovat náklady na běžný metr mělkého vrtu na vrt hluboký.

4.4 Hydrogeochemické metody

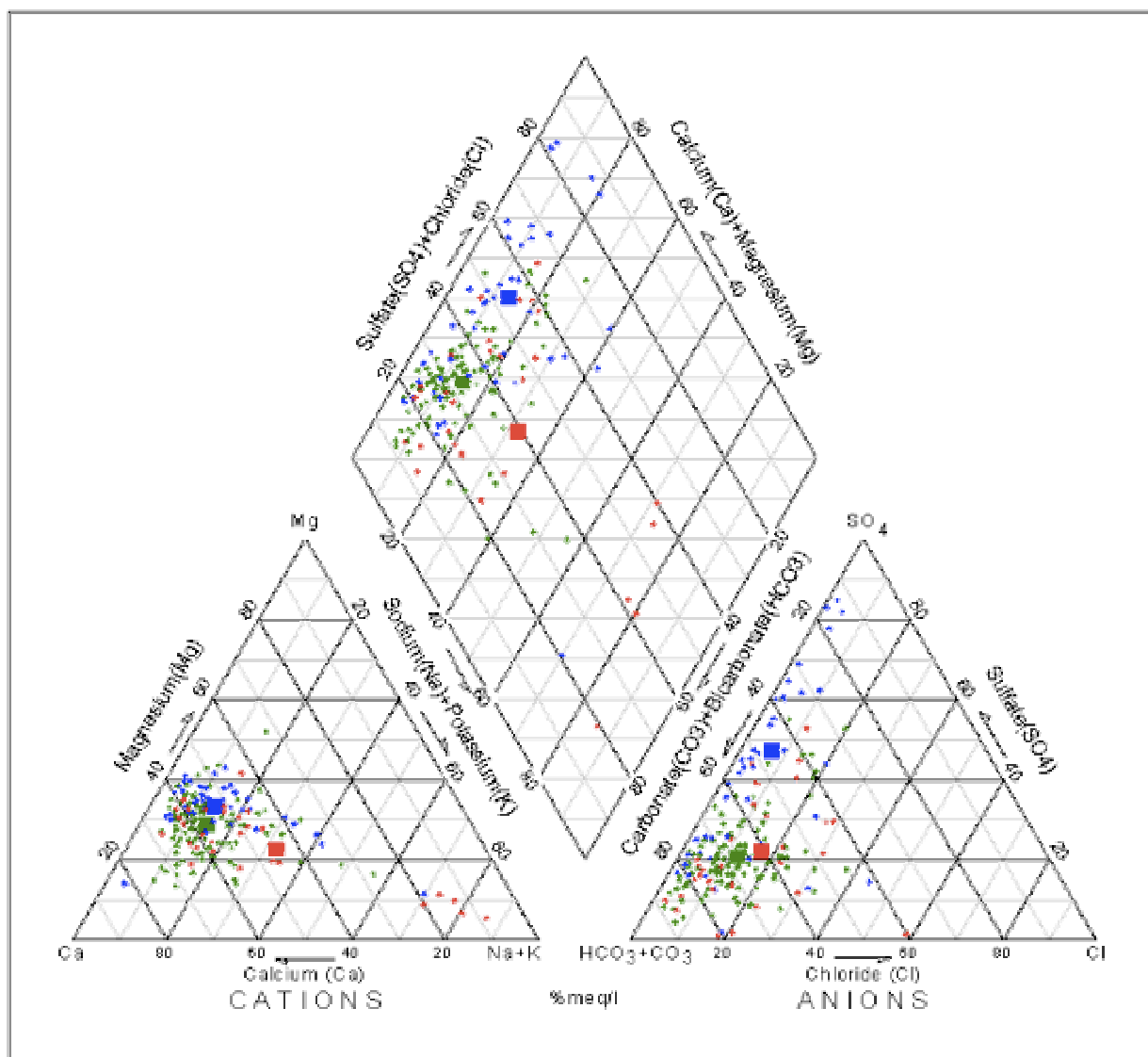
Pro hydrogeologický průzkum je zásadní fyzikálně-chemický rozbor vody. V hydrogeologické praxi se odebírají vzorky podzemních vod a v případě potřeby i vzorky povrchových a srážkových vod. Základním předpokladem získání spolehlivých údajů o chemickém složení vody je správné odebrání vzorku vody na chemickou analýzu. Za tímto účelem byl zpracován Metodický pokyn MŽP „Vzorkování v sanační geologii“ (viz - http://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/metodiky_ekologicke_zateze/).

Vedle laboratorních prací je třeba zmínit i terénní měření, protože některé parametry je nutné změřit přímo na místě. Jsou to především měření teploty, pH, oxidačně-redukčního potenciálu, rozpuštěného kyslíku a dalších parametrů, jejichž vypovídací hodnoty se odběrem vzorku vody a jeho přepravou do laboratoře znehodnotí.

Výsledky chemických analýz se interpretují rovněž mnoha způsoby, nejpoužívanější jsou různá grafická znázornění (sloupcové, kruhové, liniové a další speciální grafy – např. Piperův). V jímacích územích vodních zdrojů máme často k dispozici i dlouhé časové řady sledování některých chemických ukazatelů získané v rámci odběru vody, které lze úspěšně využít i při řešení vzniklé kontaminační situace.



Obr. 14: Ukázka liniového grafu časové řady výsledků analýz podzemní vody na stanovení alifatických chlorovaných uhlovodíků – (archiv T. Charvát). Obrázek ukazuje kolísání sledovaných hodnot v čase. Toto je vlastnost jakýchkoliv sledovaných parametrů horninového prostředí, ať už přirozených, anebo antropogenně ovlivněných (kontaminovaná místa). Vyplývá z něho, že bodové údaje (jednorázová stanovení) nemají velký význam, podstatná je analýza příslušné časové řady, neboli existence několika analýz v příslušném časovém intervalu a zjištění jejich celkového časového trendu. Jednotlivé analýzy totiž mohou přesahovat stanovené limity, hodnoty, cíle apod., a přesto celkový trend může být vyhodnocen jako vyhovující těmto stanoveným parametrům; závisí to na formulaci správního rozhodnutí, a také použití různých statistických vyhodnocovacích metod. Správní orgány by si měly být vědomy této skutečnosti a různá rozhodnutí přizpůsobovat tomuto faktu a formulovat je co nejjednoznačněji (tedy stanovené limity a hodnoty budou dosaženy v těch a v těch objektech, v tom a v tom území, na tom a tom profilu, a budou dokladovány za to a to období, těmi a těmi statistickými metodami, za využití příslušně dlouhých časových řad, apod.)



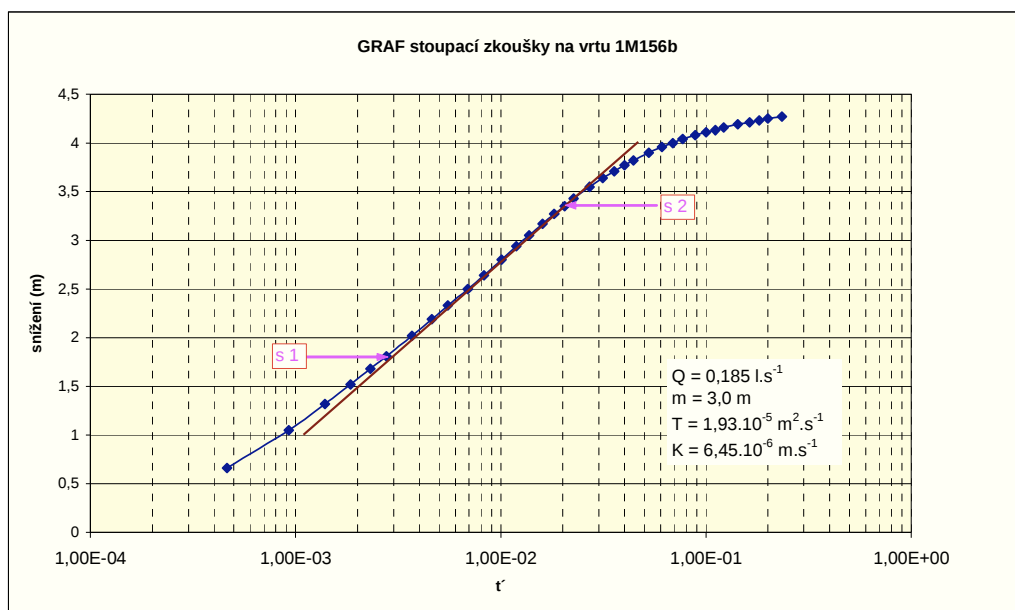
Obr. 15: Ukázka Piperova grafu pro prezentaci základního chemického složení vod (www.epa.state.oh.us). Piperův graf umožňuje zjistit podobné a naopak odlišné vzorky vod z hlediska chemického složení základních makrosložek (hydrogenuhličitan HCO_3^- , sírany SO_4^{2-} , chloridy Cl^- , vápník Ca^{2+} , hořčík Mg^{2+} , sodík Na^+ , draslík K^+), a tak přispět k stanovení původu a genetické podobnosti či odlišnosti různých druhů vod. Tento graf lze principiálně aplikovat na jakékoliv trojice či šesticke sledovaných parametrů, nejen na základní makrosložky chemického složení vod, jak je uvedeno výše.

4.5 Hydrodynamické zkoušky

K určování hydraulických parametrů zvodněného horninového prostředí slouží různé hydrodynamické zkoušky. Jde o terénní zkoušky spočívající v odčerpávání vody z testovaného vrtu či studny za účelem stanovení hydraulických parametrů nebo zjištění jiných informací o geologickém prostředí (využitelná vydatnost, projev okrajové podmínky, technický stav testovaného objektu aj.). Nejčastěji se používají čerpací a stoupací zkoušky, dále např. zkoušky nálevové, vtláčecí apod. Z výstupů hydrodynamických zkoušek se stanovují obvykle základní hydraulické parametry – koeficient hydraulické vodivosti **K**, koeficient transmisivity **T** a koeficient storativity **S**, efektivní pórovitost **e_f** a specifická vydatnost **q**.



Obr. 16: Provádění hydrodynamických zkoušek (archiv T. Charvát). Vedle testovaného vrtu je vidět zařízení na měření průtoku a hladiny, výtlačné potrubí a přenosný počítač k sběru digitálních dat a jejich vyhodnocování.



Obr. 17: Ukázka graficko-početního vyhodnocení stoupací zkoušky dle Jacoba (archiv T. Charvát). Obrázek ukazuje tzv. křivku hydrodynamické zkoušky, tzn. vývoj hladiny testovaného nebo pozorovaného vrtu v čase v závislosti na čerpání konstantního množství vody. Pro vyhodnocení hydrodynamické (čerpací) zkoušky je podstatný střední úsek získané křivky – úvodní úsek je deformován vlivem testovaného objektu a koncový úsek je zkreslen vlivem okrajových podmínek testovaného kolektoru; pouze střední úsek křivky odráží hydraulické vlastnosti testovaného kolektoru. Stanovení tohoto tzv. reprezentativního úseku křivky (situace je málokdy tak jasná jako na ukázaném příkladu) hydrodynamické zkoušky je nejdůležitějším krokem vyhodnocení hydrodynamické zkoušky a velmi závisí na zkušenostech odpovědného řešitele, vlastní výpočet hydraulických parametrů je pak již jen mechanickým krokem dosazení hodnot do příslušných vzorců.

Hydrodynamické zkoušky lze vyhodnocovat dvěma základními přístupy, a to metodami ustáleného a metodami neustáleného proudění. Metody ustáleného proudění využívají tzv. Dupuit-Thiemovy vzorce. K nejčastěji používaným metodám vyhodnocování čerpacích a stoupacích zkoušek při hydrogeologickém průzkumu patří metody neustáleného proudění, kdy v podmínkách kvaziustáleného proudění platí Jacobova logaritmická aproximace Theisovy studňové funkce.

Průběh nejčastěji používané čerpací zkoušky spočívá v tom, že z vrtu je po určitou dobu čerpáno konstantní množství podzemní vody a v příslušných časových intervalech se měří pokles hladiny v čerpaném vrtu. Po ustálení hladiny podzemní vody, kdy již nedochází k její změně, je čerpání ukončeno a je zahájena stoupací zkouška. Opět je zaznamenáván nárůst (nástup) hladiny podzemní vody a stoupací zkouška je ukončena po nastoupání hladiny, v ideálním případě na původní úroveň před zahájením čerpací zkoušky. Vyhodnocení takto provedených hydrodynamických zkoušek se nejčastěji provádí graficko-početní metodou dle Jacoba, dalších metod je ale celá řada. K vyhodnocení slouží jednoduché i složitější počítačové programy.

Doba trvání hydrodynamických zkoušek, resp. skutečné dosažení ustáleného stavu při čerpací zkoušce, ovlivňuje přesnost určení hydraulických parametrů. Přesnějších hodnot se dosahuje vyhodnocováním dlouhodobějších hydrodynamických zkoušek (obvykle v délce trvání 14 – 28 dní), při kterých se vedle hladiny podzemní vody ve zkoumaném objektu sledují hladiny podzemní vody v okolních pozorovacích objektech.

Získané hydraulické parametry slouží k doplnění znalostí o hydrogeologickém prostředí, k výpočtům rychlosti proudění podzemní vody, pro stanovení využitelné vydatnosti zdrojů podzemní vody, pro modelová řešení migrace znečištění a následný návrh sanace znečištěných podzemních vod.

Poměrně často se k orientačnímu zjištění základních hydraulických vlastností kolektoru používají tzv. „slug testy“. Jde o druh expresní hydrodynamické zkoušky, při níž se vyvolává jednorázový zásah do zvodně okamžitým vpuštěním určitého objemu vody do vrtu (metoda jednorázového nálevu) anebo jednorázovým odběrem určitého objemu vody z vrtu (metoda jednorázového odběru). Jednorázový zásah do zvodně se může způsobit i jednorázovým vytlačení určitého objemu vody z rovnovážné polohy hladiny zatlačením tělesa definovaného objemu. Je třeba zdůraznit, že extrémně krátká doba trvání těchto zkoušek (často jen desítky minut nebo první hodiny) způsobuje i jejich omezenou vypovídací schopnost. Stejně jako u všech ostatních hydrodynamických zkoušek platí zásada, že nám charakterizují hydraulické vlastnosti prostředí do vzdálenosti, kam sahá vliv této zkoušky. Tedy čím kratší zkouška, tím se testuje bližší okolí vrtu a získané výsledky je obvykle problematické aplikovat na větší území. Pro testování větších území a hydrogeologických struktur (např. za účelem studia okrajových podmínek kolektorů, využitelné vydatnosti, ovlivnění blízkých studní apod.) slouží dlouhodobější hydrodynamické zkoušky (pro tyto účely je většinou třeba zkoušek o délce 7-10 a někdy i více dnů).

4.6 Metody modelování

Matematické modelování je v rámci hydrogeologického průzkumu při řešení kontaminovaných míst velmi užitečným nástrojem. Umožňuje lepší pochopení procesů probíhajících v horninovém prostředí a následnou simulaci navržených sanačních zásahů, čímž přispívá k výběru optimální sanační technologie. Je potřeba si však uvědomit, že věrohodnost matematického modelu je vždy závislá na kvalitě a množství vstupních údajů.

Při řešení kontaminovaných míst probíhá modelování obvykle ve 2 krocích. Nejdříve je vytvořen samostatný model proudění podzemní vody, na který navazuje model transportu kontaminace. Je třeba zdůraznit, že model proudění podzemní vody vytváří základní rámec úvah o transportu kontaminace (zjednodušeně řečeno, směry šíření kontaminace a rychlost jejího šíření nemůže překročit základní rámec proudění podzemní vody v saturevané i nesaturevané zóně (s jistou výjimkou difúzně-disperzních procesů, jejich význam je ale v naprosté většině praktických řešených případů pod uvažovanou přesností závěrů průzkumu, tzn. jednotky a někdy i desítky metrů; difúzně-disperzní procesy ovlivňují pohyb kontaminačního mraku v úrovni desítek cm, max. v jednotkách metrů; jejich relativní význam roste se snižující se propustností prostředí, mohou být tedy pro migraci kontaminantů velmi důležité v málo propustném prostředí hydrogeologických izolátorů nebo kompaktních hornin krystalinika – tzv. hydrogeologického masívu).

Transportní model je nadstavbový model nad modelem proudění podzemní vody a zobrazuje postup konkrétní chemické látky (kontaminantu v geologickém prostředí) zohledňující uplatňované transportní procesy (vedle advekce působením proudění podzemní vody obvykle zahrnuje procesy adsorpce, hydrodynamické disperze a degradace). Méně obvyklé transportní procesy (např. volatilizace – odtěkávání, chemické reakce apod.) je třeba řešit individuálně, komerční modelovací softwarem většinou nezahrnuje. Z nejběžněji používaných komerčních modelů zahrnujících jak proudění podzemní vody, tak transport látek, lze jmenovat např. platformy MODFLOW nebo FEFLOW.

Je třeba ještě zmínit existenci geochemických reakčních modelů, které se podrobně zabývají geochemickými procesy a reakcemi mezi látkami, podzemní vodou a horninovým prostředím. Jejich výstupy a závěry mohou být dobře použity pro výše zmíněné transportní modely a jejich zpřesnění. Příkladem takovýchto modelů mohou být např. PHREEQC, WATEQ4F nebo MINTEQA2.

Modelů existuje několik druhů, přičemž nejrozšířenějším typem jsou modely numerické, kdy je geologická a hydrogeologická situace reprezentována pomocí samostatných konečných bloků.

Existuje několik základních přístupů k matematické formulaci modelového řešení, které jsou založeny na různých přístupech matematického vyjádření modelovaného prostředí a procesů – metoda konečných prvků, konečných objemů nebo konečných diferencí. Princip použitého modelu a postup jeho zpracování je obsažen ve zprávě o použití modelu. Výpočet probíhá na základě základních rovnic pro proudění podzemní vody a zákona o zachování hmoty.

Sestavování matematického modelu probíhá v několika krocích:

- definování cílů, otázek, na které má modelové řešení odpovědět (zadání modelu)
- sběr dat – kvalita modelu závisí na množství a kvalitě vstupních dat, obvykle zjištěných průzkumem; matematický model proto nelze chápat jako náhradu za nedostatečně provedený průzkum. Použitý modelový software je schopen vytvořit matematický model a jeho simulace i na základě velmi malého množství dat, jeho vypovídací schopnost je ale pak velmi omezena.
- vytvoření koncepčního modelu (tedy základní myšlenkové představy o probíhajících procesech a struktuře geologického prostředí, které umožní zjednodušeně popsat a schematizovat prostředí a procesy v něm probíhající pro účely matematického popisu)
- výběr matematického modelu – sofistikovaná záležitost náležející odborníkovi, který zpracovává model. Po seznámení s charakterem problému a geologického prostředí vybere vhodný software, který bude použit.

- tvorba modelové sítě, zadání parametrů a okrajových podmínek – tzv. diskretizace modelovaného prostředí neboli schematizace, zjednodušení, aby toto prostředí a procesy v něm bylo možné popsat (definovat) matematickými metodami
- kalibrace a validace modelu: Kalibrace modelu je taková úprava modelu, jejímž cílem je dosáhnout optimální shody mezi modelovanými a reálně zjišťovanými daty. Kalibrace modelu se obvykle provádí v úvodní fázi modelu, kdy se model přizpůsobuje existujícím skutečným datům, a později se provádějí kalibrační aktualizace, když je k dispozici určitá časová řada dalších změřených dat, která ukáží shodu či disproporci s dříve zpracovaným modelem. U dlouhodobějších úkolů s trvajícím monitoringem podzemních vod kvantitativním či kvalitativním) je proto velmi důležité provádět v čase aktualizace modelu, protože tím model poskytuje pravdivější časové simulace modelovaných jevů směrem do budoucnosti. Validace je hodnocení reprezentativnosti modelu z pohledu simulovaných procesů, tedy zda odpovídá teoretickým znalostem o modelovaných procesech a charakteru prostředí.
- citlivostní analýza (sensitivity analysis) – jde o důležitou informaci (zvláště pro bilanční výpočty), s jakou přesností dat (vstupních i výstupních) model počítá, a tedy s jak malými procesy a jevy je model schopen počítat. Logicky platí, že s čím podrobnějšími údaji je schopen model počítat, tím je náročnější na kvalitu vstupních dat, tím je celý model větší a náročnější na výpočet, a tedy je i časově náročnější a dražší.
- interpretace výsledků: Nelze opomíjet tvůrčí interpretaci zpracovaného modelu. Ve většině případů model zpracovává odborník neznající konkrétní lokalitu, který pracuje jen s dodanými daty, nemůže tedy v modelu aplikovat speciální okolnosti, které mnohou být s lokalitou spojeny. Odpovědný řešitel musí výstupy matematického modelu aplikovat na konkrétní lokalitu; očekává se od něho tedy podrobná znalost podmínek lokality a současně aspoň rámcová znalost modelových postupů. Odpovědný řešitel tedy musí být z odborného hlediska renomovaný odborník.

Na základě známých vstupních údajů se vytváří koncepční model, umožňující převod reálného přírodního prostředí na zjednodušený modelový systém, který je možno řešit pomocí existujících programových kódů. Nezbytná je generalizace zjištěných a naměřených dat, neboť jejich komplexní zahrnutí do modelu většinou není proveditelné. Na druhé straně je nutno si uvědomit, že čím věrněji se koncepční model přiblíží terénním podmínkám, tím přesnější výsledky bude dosaženo.

Po zadání úvodních parametrů probíhá kalibrace modelu. Tato část je obvykle časově nejnáročnější částí celého modelovacího procesu a závisí na ní schopnost modelu podávat reálné výsledky. V průběhu kalibrace dochází k modifikaci původních vstupních parametrů modelu tak, aby model byl schopen produkovat v terénu naměřená data (úroveň hladiny podzemní vody, velikost přítoků a odtoků, koncentrace kontaminantů v monitorovacích vrtech atd.).

Výsledkem modelového řešení je:

- vyhodnocení stávajícího systému (např. stanovení ochranných pásem čerpaných vrtů, předpověď šíření kontaminace, stanovení procesů přirozené atenuace)
- stanovení účinků nových zásahů do prostředí ve formě časoprostorových simulací (např. vliv čerpání nových vrtů, posouzení variant sanačního zásahu)

4.7 Geofyzikální metody

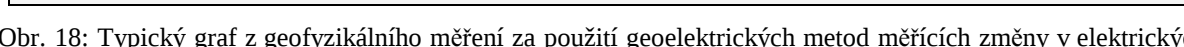
Geofyzikální metody jsou v hydrogeologickém průzkumu široce využitelné. Jde o tzv. nepřímé průzkumné metody, které na základě měření různých fyzikálních polí a veličin usuzují na geologické, hydrogeologické a kontaminační poměry konkrétní lokality. Jedná se o metody nedestruktivní, to znamená, že nijak nepoškozuji měřenou lokalitu, ani na ní nezanechávají žádné stopy či pozůstatky omezující její využití (např. průzkumné vrtty). Jde i o metody výrazně levnější než vrtný průzkum. Na druhou stranu pro optimální interpretaci geofyzikálních dat je třeba je provázet s přímými informacemi o měřeném prostředí, které lze získat obvykle z vrtného průzkumu. Opěrné vrtné profily jsou tak zásadní pro průzkum lokality, a informace mezi nimi (tedy jejich plošná i vertikální interpretace) nám může velmi zpřesnit geofyzikální průzkum.

Jejich předností je také relativní rychlost realizace prací a jejich šetrnost vůči životnímu prostředí. Postup prací není vázán na provoz těžkých mechanismů. Geofyzikální aparatury jsou snadno přenosné, a proto pohyb geofyzikální skupiny v terénu nezpůsobuje žádný závažný zásah do vlastnických práv majitele pozemku. Přednost je samozřejmě dáována termínům prací, kdy je na zemědělských pozemcích využíváno období vegetačního klidu, závisí to ale na požadavcích objednatele prací. Geofyzikální metody v hydrogeologii řeší zejména následující úkoly:

- vysledování zvodněných tektonických linií, na kterých se v puklinovém prostředí soustřeďuje proudění podzemní vody, případně i znečišťujících látek
- stanovení mocností kvartérních zvodněných struktur, což je zásadní informace pro navrhování hloubky vrtů a studní využívajících např. fluvialní šterkopískové náplavy v údolích vodních toků
- stanovení zvodnělých vrstev (například vymezení pískovcových či písčitých vrstev vůči vrstvám jílu, slínů, jílovců slínovců a dalších méně propustných hornin); jde o velmi důležitou informaci pro popis např. pánevního prostředí, kde existuje několik zvodněných kolektorů nad sebou, a tak identifikaci vrstev, které jsou předmětem konkrétního průzkumu, zvláště hlubších zón pod povrchem (hlouběji než 20-50 m)
- sledování směru proudění podzemní vody (v případě nedostatečné hustoty monitorovací sítě průzkumných vrtů lze získat dodatečné informace o směru proudění podzemní vody pomocí geofyziky za předpokladu významné difference vodivosti podzemní vody a horninového prostředí)
- zjišťování průběhu struktur s funkcí bariéry vůči pohybu podzemních vod (jde tedy o stanovení okrajů zvodněných struktur, typu hydraulických okrajových podmínek a jejich plošného rozšíření a vymapování)

Při průzkumech pro hydrogeologické účely se nejčastěji využívají metody geoelektrické a seismické. Menší využití má metoda gravimetrická, magnetometrická či průzkum pomocí radiometrických metod. Velmi užitečné jsou karotážní metody (tzn. geofyzikální měření ve vrtech) pro komplexní vyhodnocení hydrogeologického průzkumného vrtu. Rozsah této příručky nedovoluje podrobně popsat principy jednotlivých geofyzikálních metod, a proto odkazujeme na příručku MŽP speciálně zaměřenou na geofyzikální průzkum Možnosti geofyzikálních metod při ověřování nejasných strukturně geologických, popřípadě jiných vztahů na lokalitách při průzkumu a nápravě kontaminovaných míst, viz

[http://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/metodiky_ekologicke_zateze/\\$FILE/OES-Moznosti_gf_metod_Akt09-20092603.zip](http://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/metodiky_ekologicke_zateze/$FILE/OES-Moznosti_gf_metod_Akt09-20092603.zip).



0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 50 51 52 53 54 55 56 57 58 59 60 61 62 63 64 65 66 67 68 69 70 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80 81 82 83 84 85 86 87 88 89 90 91 92 93 94 95 96 97 98 99

Homola V Grmela A : Hydro

Melioris I. Mucha I. Pospišil P.: Podzemná voda – metro

Pastuszek E.: Terminologický slovník pro hydrogeology (pracovní dosud nepublikovaný)

Šilar J. a kol.: Všeobecná hydrogeologie. Karolinum, UK Praha 1992.

Šrámek O., Datel J., Mls J.: Kontaminační hydrogeologie. Karolinum

Tourková I.: Hydrogeologie ČVUT Praha 2005

9 1 1 9 9 9

PŘÍLOHY

I. SLOVNÍK DŮLEŽITÝCH POJMŮ

II. PRÁVNÍ PŘEDPISY PRO HYDROGEOLOGICKÉ PRÁCE

I. SLOVNÍK DŮLEŽITÝCH POJMŮ

Pojmy jsou v souladu s právě vycházející ČSN 75 01 10 Terminologie hydrologie a hydrogeologie, která nahrazuje předchozí platné normy ČSN 76 65 30 a ČSN 76 65 32. Nejzákladnější termíny pak upravuje ČSN 75 01 01 Vodní hospodářství – Základní terminologie. Některé uváděné definice jsou zjednodušené pro účely předkládaného materiálu.

anizotropie	závislost vlastností prostředí na směru, ve kterém se měří; prostředí může mít v různých směrech odlišné vlastnosti, např. různou hodnotu koeficientu hydraulické vodivosti; opak izotropie
artéská zvědeň	zvědeň shora uzavřená nepropustným stropem (izolátorem, artéským stropem) s napjatou hladinou; po provrtání stropního izolátoru vystoupí voda na příslušnou piezometrickou tlakovou hladinu, jež je nad úroveň terénu.
báze odvodnění podzemních vod	místo, k němuž odtékají podzemní vody určitého zvodněného systému a kde vystupují na povrch, resp. do povrchových toků; přírodními bázemi odvodnění podzemních vod jsou zpravidla údolí povrchových toků; místní báze odvodnění podzemních vod se potom kryje s místní erozní bází.
bilance podzemní vody	kvantitativní vztah mezi prvky, určující změnu zásoby podzemní vody za dané časové období v uvažovaném území
biodegradace	biologický rozklad látek realizovaný zejména prostřednictvím mikroorganismů, při němž dochází v důsledku jejich metabolické činnosti k přeměně různých látek (zejména organických) na jednodušší látky (např. biodegradace ropných látek)
celková pórovitost	poměr objemu všech pórů (bez ohledu a jejich tvar, rozměry, původ a vzájemnou komunikaci) k celkovému objemu prostředí, rozděluje se na otevřenou a uzavřenou
čerpací zkouška	druh hydrodynamické zkoušky, při které se podzemní voda z kolektoru odebírá čerpáním pomocí vhodného čerpacího zařízení
Darcyův zákon	lineární závislost mezi filtrační rychlostí v (resp. průtočným množstvím Q) a piezometrickým (hydraulickým) gradientem I
depresní kužel	prostor mezi depresní plochou a původní hladinou podzemní vody nesníženou odběrem podzemní vody; snížení hladiny vznikající při čerpání podzemní vody z hydrogeologického objektu zpravidla s plošně radiálním přítokem
difuze	samovolné pronikání molekul či iontů z oblasti vyšší koncentrace do oblasti nižší koncentrace vlivem tepelného pohybu částic.
disperze	při studiu migrace v podzemní vodě proces rozptylování migrující látky v proudící podzemní vodě. Tento proces je dle anizotropie prostředí odlišný v podílném příčném a příčně-vertikálním směru.
DNAPL's	samostatná kapalná fáze nevodné (organické) látky s měrnou hmotností (hustotou) větší než voda (např. různé druhy chlorovaných uhlovodíků - PCE, TCE apod.).
dosah deprese	vzdálenost od vertikální osy jímacího objektu k místu výskytu hladiny podzemní vody, neovlivněné tímto odběrem

drenážní báze	místo, k němuž dotékají podzemní vody z určitého zvodněného systému, kde mohou podzemní vody vystupovat na povrch nebo vtékat do povrchových toků
efektivní pórovitost	podíl pórového prostoru k celkovému objemu horniny, ve kterém dochází ke skutečnému proudění tekutin vlivem gravitace
erozní báze	dno nejhlubšího údolí vodoteče, které je odvodňovací úrovní určité širší oblasti s trvalým odtokem
evapotranspirace	1. vypařování z povrchu území společně s transpirací 2. objem nebo výška vrstvy vody vypařené z povrchu území společně s transpirací za určitý časový interval
heterogenita	různorodost (např. horninového prostředí, kolektoru) mající nestejnou strukturu; soustava má různé vlastnosti ve svých různých částech
hladina podzemní vody	1. v geometrickém smyslu plocha horního ohraničení zvodně (volná hladina), napjatá hladina viz hladina zvodně napjatá 2. v energetickém smyslu rovnovážná plocha odpovídající velikosti měrné energie podzemní vody, t.j. plocha tvořená piezometrickými úrovněmi (statickými hladinami) myšlených vrtů do dané zvodně (výtláčná hladina, piezometrická hladina, potenciometrická hladina, volná hladina) 3. hladina vody ve vrtu (statická hladina, dynamická hladina)
hladina zvodně napjatá	tlaková plocha horního omezení zvodně, kde se podzemní voda nalézá pod vyšším tlakem, než je tlak atmosférický;
hladina zvodně volná	hladina podzemní vody omezující shora nenapjatou zvodeň; jde o plochu horního omezení zvodně, která je pod tlakem rovným tlaku atmosférickému
hloubka hladiny podzemní vody	svislá vzdálenost hladiny podzemní vody od terénu
homogenita	stejnorodost (např. horninového prostředí, kolektoru)
horninové prostředí	souhrn zemin (nejen půdy a zvětraliny, ale i antropogenní navážky), hornin, podzemní vody a půdního vzduchu v podloží zájmového území
hydraulický gradient (sklon, spád)	úbytek výšky tlakové čáry nad zvolenou srovnávací rovinou připadající na jednotku délky proudu ve směru proudění a vyjádřený sklonem tlakové čáry
hydrodynamická zkouška	zkouška, při které se v hydrogeologickém objektu (vrtu, studni, apod.) hydraulicky působí na zvodněný systém a pozorují se účinky tohoto působení za účelem určení hydrodynamických parametrů a jiných charakteristik horninového prostředí
hydrogeologická struktura	část geologického prostředí, v níž nastává souvislý oběh podzemní vody; určitá strukturní geologická jednotka (část geologického prostoru), která se liší od jiných částí geologického prostoru společným uceleným a spojitým oběhem podzemních vod (od oblasti napájení přes oblast tranzitu až po oblast odvodnění)
hydrogeologický izolátor	horninové těleso, jehož propustnost je ve srovnání s bezprostředně sousedícím horninovým prostředím o tolik menší, že gravitační voda se jím může pohybovat mnohem nesnadněji za jinak stejných hydraulických podmínek; je to horninové těleso s výrazně (řádově) nižší propustností než je propustnost horninového prostředí v jeho bezprostředním sousedství

hydrogeologický kolektor	horninové těleso, jehož propustnost je ve srovnání s bezprostředně sousedícím horninovým prostředím o tolik větší, že gravitační voda se jím může pohybovat mnohem snadněji za jinak stejných hydraulických podmínek; existují jednoduché a složené kolektory; jde o prostředí umožňující významnou akumulaci, proudění či odběr podzemní vody
hydrogeologický objekt	zpravidla vrt nebo studna, která zasahuje do kolektoru podzemní vody a dá se využít k průzkumu nebo monitoringu podzemní vody, nebo k jejímu čerpání
hydrogeologický poloizolátor	hydrogeologický izolátor uložený v horninovém prostředí v takové pozici, že skrze něj protéká za daných piezometrických podmínek nezanedbatelně velký průtok podzemní vody do přiléhajícího kolektoru
hydroizohypsa	spojnice bodů o stejné úrovni nadmořské výšky volné hladiny zvodně měřené ve stejném čase
hydroizopieza	spojnice bodů o stejné piezometrické úrovni napjaté hladiny měřené ve stejném čase
hydrologická bilance	porovnání přírůstků a úbytků vody a změn vodních zásob v povodí, území nebo ve vodním útvaru za daný časový interval
hydrosféra	soustava zahrnující veškerou vodu na Zemi (včetně vody v ovzduší) ve všech skupenstvích a formách
infiltrace	proces pronikání a pohyb části spadlých srážek povrchovým porézním prostředím půdního profilu (vsakování)
infiltrační oblast	území v hydrogeologické struktuře, kde nastává pronikání povrchové vody ze zemského povrchu do horninového prostředí
Jacobova aproximace studňové funkce	termín z oblasti hydrauliky podzemní vody a vyhodnocování hydrodynamických zkoušek (též nepřesně Jakobovo zjednodušení); zjednodušení Theisovy rovnice neustáleného radiálního přítoku ke studni navržené Jacobem (1950) a založené na aproximaci Theisovy studňové funkce W(u) ; zjednodušení lze aplikovat ve většině běžných případů
jímací území	území, ve které je odebírána voda (povrchová či podzemní) pomocí jímacích objektů
kapilární tráseň	prostor úplné saturace v horninovém prostředí bezprostředně nad saturevanou zónou, ve kterém je volně nepohyblivá, tzv. kapilární voda (tj. voda udržovaná kapilárními silami), jejíž tlak je nižší než atmosférický
koeficient (součinitel) hydraulické vodivosti K	rovná se číselně darcyovské rychlosti při jednotkovém hydraulickém gradientu, má rozměr rychlosti a vyjadřuje se v m.s^{-1} ; již nepoužívaným synonymem je koeficient filtrace značený k , případně k_f
koeficient storativity (zásobnosti) S	charakterizuje množství vody, které lze odebrat z hydrogeologického kolektoru; míra zásobnosti kolektoru je definovaná jako objem vody, který se uvolní ze zásoby v kolektoru z jednotkové plochy kolektoru při jednotkovém snížení piezometrické hladiny; bezrozměrný; rozlišuje se koeficient pružné storativity S_p (ve zvodních s napjatou hladinou) a koeficient volné storativity S_v (ve zvodních s volnou hladinou). S_v je číselně roven efektivní pórovitosti a je obvykle výrazně vyšší než S_p .
koeficient transmisivity (průtočnosti) T	charakterizuje míru schopnosti horninového tělesa propouštět vodu; je definován jako součin koeficientu filtrace K a mocnosti zvodně m ; číselně se rovná objemovému průtoku zvodněným kolektorem jednotkové šířky a zvodněné mocnosti m při jednotkovém hydraulickém gradientu; vyjadřuje se v $\text{m}^2.\text{s}^{-1}$; je měřítkem využitelnosti zvodněného kolektoru pro jímání podzemní vody

koncepční model	soubor podstatných informací a přijatých zjednodušujících předpokladů, týkajících se vymezení, parametrů hydrogeologické struktury a fyzikálně-chemických procesů (např. souvisejících s prouděním podzemní vody nebo výskytem a šířením znečištění), na kterých je založeno sestavení matematického modelu
kontaminace	přítomnost cizorodé nežádoucí látky (znečištění) v dané složce horninového prostředí (voda, hornina, půdní atmosféra).
kontaminant (polutant)	cizorodá nežádoucí látka v dané složce horninového prostředí (voda, hornina, půdní atmosféra)
krasová propustnost	propustnost horniny daná existencí krasových dutin
laminární proudění	proudění, při kterém jsou trajektorie částic tekutiny zhruba rovnoběžné; tímto způsobem proudí podzemní vody při malých rychlostech, při rychlostech větších se může laminární charakter proudění narušovat a proudění může přejít do proudění turbulentního.
litosféra	horninový obal Země tvořený zemskou kůrou a nejsvrchnějšími vrstvami zemského pláště
LNAPL's	samostatná kapalná fáze nevodné (organické) látky s měrnou hmotností (hustotou) menší než- voda; nejčastěji se setkáváme s ropnými látkami a látkami skupiny BTEX (aromatické uhlovodíky, areny)
měrná elektrická vodivost	schopnost vody vést elektrický proud; míra obsahu iontově rozpuštěných látek (zjednodušeně celkové mineralizace); vyjadřuje se v mS/m.
minerální voda	podzemní voda, která má specifické vlastnosti fyzikální a chemické, které ji odlišují od prosté podzemní vody; Dle české legislativy (lázeňský zákon č. 163/2001 Sb.) se minerální vodou pro léčebné využití rozumí přirozeně se vyskytující podzemní voda původní čistoty s obsahem rozpuštěných pevných látek nejméně 1 g/l nebo s obsahem nejméně 1 g/l rozpuštěného oxidu uhličitého nebo s obsahem jiného pro zdraví významného chemického prvku anebo která má u vývěru přirozenou teplotu vyšší než 20 °C nebo radioaktivitu radonu nad 1,5 kBq/l.
mobilita znečištění	schopnost cizorodé (nežádoucí) látky šířit se v některé ze složek horninového prostředí
monitoring	spojité nebo pravidelně opakované sledování vybraných parametrů, funkcí či změn určitého systému
nálevová zkouška	druh hydrodynamické zkoušky, při které se hydrogeologický objekt plní vodou za atmosférického tlaku
nesaturovaná zóna	prostor v horninovém prostředí mezi povrchem terénu a svrchní úrovní kapilární trásně, kde vlhkost je menší než celková pórovitost a tlaková výška je menší než 0
oblast napájení zvodněného systému	oblast, z níž vstupují atmosférické srážky, povrchové nebo podzemní vody do zvodněného systému
odtok celkový	souhrn všech složek odtoku procházejícího závěrovým profilem za daný časový interval
odtok hypodermický	složka celkového odtoku, která odtéká do sítě vodních toků těsně pod povrchem terénu, aniž by dosáhla hladiny podzemní vody. Tento tok může být bezprostřední nebo zpožděný podle dosažené hloubky pod terénem a propustností horninového prostředí

odtok podzemní vody	1. proudění podzemní vody vlivem hydraulického gradientu z oblasti napájení do oblasti výtoku, 2. objem podzemní vody odtéká z povodí nebo z jiného územního celku za časovou jednotku
odtok povrchový	složka celkového odtoku, která stéká z povodí do sítě vodních toků po povrchu reliéfu
ohnisko znečištění	prostor, kde došlo k primární či sekundární (druhotné) akumulaci cizorodých (nežádoucích) látek v horninovém prostředí
okrajové podmínky zvodněného systému	hydraulické podmínky, kterými se řídí výměna vody mezi zvodněným systémem a jeho okolím (v teorii hydrauliky podzemní vody se rozlišují okrajové podmínky I., II. a III. druhu). Hmotnou realizací okrajových podmínek zvodněného systému jsou hranice zvodněného systému
oxidačně-redukční potenciál Eh	kvantitativní ukazatel oxidačně-redukčního stavu přírodní vody nebo prostředí, vyjadřovaný ve voltech nebo milivoltech; může nabývat kladných i záporných hodnot; závisí na koncentraci oxidovaných a redukovaných forem prvků, na teplotě roztoku a částečně i na hodnotě pH.
piezometr	vrt určený k monitorování piezometrického napětí ve zvolené hloubce zvodně nebo k zonálnímu sledování jakosti vody, otevřený jen v krátkém definovaném hloubkovém úseku
piezometrická hladina zvodně	ideální plocha představující geometrické místo bodů, v nichž se tlak zvodně rovná tlaku atmosférickému, tedy geometrické místo piezometrických úrovní měřených nebo měřitelných ve vrtech nebo piezometrech v dané zvodni; piezometrická hladina nenapjaté zvodně má průběh blízký skutečnému povrchu zvodně, t.j. volné hladině, avšak obě plochy nelze ztotožňovat; piezometrická hladina napjaté zvodně se označuje někdy jako výtláčná hladina.
piezometrická výška	součet tlakové a polohové výšky (tj. výška tlakové čáry nad zvolenou srovnávací rovinou).
podpovrchová voda	zahrnuje veškerou vodu ve všech skupenstvích v zemské kůře
podzemní voda	voda v kapalném skupenství přirozeně se vyskytující pod zemským povrchem v pásnu nasycení (v saturevané zóně) v přímém styku s horninami; za podzemní vodu se považuje též voda protékající drenážními systémy a voda ve studních. Z hlediska hydrogeologie je za podzemní vodu obvykle považována i voda vyskytující se pod zemským povrchem mimo saturevanou zónu, tedy v kapilární třásní a v nesaturevané zóně. Občas se používá nesprávný termín spodní voda.
pór (průlina)	dutina přírodního původu v hornině. V širším slova smyslu všechny volné prostory v hornině (průliny, pukliny, kaverny); podle velikosti dělíme póry na gravitační obsahující gravitační vodu, kapilární s vodou vázanou kapilárními silami a subkapilární, kde převládá voda vázaná adsorpčními silami
povrchová voda	voda tekoucí po zemském povrchu nebo zadržaná v umělých nádržích nebo přirozených depresích na zemském povrchu
povrchový odtok	složka celkového odtoku, která stéká z povodí do sítě vodních toků po povrchu reliéfu
pozorovací vrt	též monitorovací vrt, hydrogeologický objekt hloubený strojním způsobem sloužící pro měření hladiny podzemní vody, odběr vzorků a terénní měření
pramen	přirozený soustředěný vývěr podzemní vody na zemský povrch nebo pod hladinou povrchového hydrologického útvaru

prameniště	1. území se soustředěným výskytem pramenů, které jsou ve vzájemném hydrologickém vztahu 2. nevhodné označování jímacího území ve vodárenském slangu
propustnost	schopnost horninového prostředí propouštět tekutiny účinkem hydraulického gradientu
průlinová propustnost	propustnost horninového prostředí daná existencí vzájemně propojených průlin, kterými může proudit tekutina pod vlivem hydraulického gradientu
přírodní léčivá voda	přírodně se vyskytující minerální voda, která má vlastnosti vhodné pro léčebné využití a o níž bylo vydáno osvědčení podle lázeňského zákona
přirozená atenuace	přírodní procesy vedoucí ke snižování obsahu nebo koncentrace kontaminantu v horninovém prostředí, například ředění, mezifázové změny (těkání, vysrážení), biologická či chemická degradace, adsorpce, difúzně-disperzní procesy atd.)
půda	přírodní vrstva na zemském povrchu vznikající z povrchových zvětralin a organických zbytků; na rozdíl od zeminy je vždy oživenou vrstvou zemské kůry na rozhraní s atmosférou
půdní voda	část podpovrchové vody obsažené v půdě bez ohledu na skupenství, zpravidla nevytváří souvislou hladinu; dělí se na vodu adsorpční, kapilární a gravitační; vytváří celkovou vlhkost půdy včetně volné vodní páry obsažené v půdních pórech
puklinová propustnost	propustnost horninového prostředí daná existencí vzájemně propojených puklin, kterými může proudit tekutina pod vlivem hydraulického gradientu
režim podzemní vody	souhrn zákonitostí změn kvantitativních a kvalitativních charakteristik podzemní vody v čase a prostoru
rozvodnice podzemní vody	myšlená linie procházející nejvyššími body piezometrické hladiny podzemní vody a rozdělující proudy podzemní vody; odděluje jednotlivá hydrogeologická povodí; může mít odlišný průběh od geografické (orografické) rozvodnice
sanační vrt	hydrogeologický objekt hloubený strojním způsobem sloužící pro sanaci znečištěného horninového prostředí a podzemní vody (nejen sanační čerpání, ale např. i vsakování vody, vtlačení dalších tekutin apod.)
saturovaná zóna (pásмо nasycení)	prostor v horninovém prostředí, ve kterém jsou póry nebo pukliny zcela zaplněny podzemní vodou; tlaková výška je větší než 0 a vlhkost je rovna celkové pórovitosti
snížení hladiny podzemní vody	zvětšení hloubky hladiny podzemní vody vlivem umělého zásahu, nejčastěji vlivem čerpání nebo drenáže
sonda	objekt hloubený za pomoci ručního nářadí do nesaturované nebo saturované zóny (sonda vrtaná, zarážená, kopaná)
specifická vydatnost	podíl vydatnosti Q odebírané z objektu (vrtu, studny) čerpáním nebo vypouštěním přelivu a velikosti odpovídajícího ustáleného snížení hladiny s
srážky	výsledek kondenzace nebo sublimace vodních par v ovzduší nebo na povrchu území, předmětů a rostlin
stav hladiny	vzdálenost měřené hladiny od zvoleného odměrného bodu (okraj pažnice, skruže apod.)

stopovací zkouška	zkouška, při níž se zjišťuje existence hydraulické komunikace a efektivní rychlost pohybu podzemní vody tak, že se do vrtu nebo jiného objektu vloží určité množství indikátoru (stopovací látky, stopovače) a v pozorovacích objektech v předpokládaném směru proudění se sleduje přítomnost indikátoru a časové změny jeho koncentrace
Theisova rovnice	základní rovnice neustáleného plošně radiálního proudění do studny, ze které se odebírá konstantní vydatnost Q
transpirace	1. přechod vody v důsledku fyziologických procesů z rostlin do ovzduší 2. objem nebo výška vrstvy vody vydané rostlinami při transpiraci vztažena k určité ploše území a určitému časovému intervalu
turbulentní proudění	proudění, při kterém nejsou trajektorie jednotlivých částic rovnoběžné, chaoticky se proplétají a částičky kapaliny na rozdíl od laminárního proudění přecházejí z jedné vrstvy do druhé; vzniká při větších rychlostech proudění a ve větších dutinách; turbulentní proudění podzemní vody vzniká ve velmi propustných horninách např. v blízkosti studny; úplné turbulentní proudění podzemní vody v běžných přírodních podmínkách vzniká pouze ve zkrasovělých horninách; jde o typické proudění rychle proudící vody v povrchovém toku
úroveň hladiny	Vzdálenost měřené hladiny od srovnávací roviny (obvykle od hladiny moře), udává se v m n.m.
vsakovací objekt	Hydrogeologický objekt (vrt, studna, sonda, rýha, výkop, nádrž) do nesaturované nebo saturované zóny sloužící pro vtlačování nebo vsakování tekutin do horninového prostředí
vtlačovací zkouška	druh hydrodynamické zkoušky, při které se hydrogeologický objekt plní vodou nebo vzduchem za tlaku vyššího, než je atmosférický
vydatnost pramene (hg. objektu)	množství podzemní vody vyvěrající z pramene (odebírané nebo odtékající z hg. objektu) za časovou jednotku (obvykle sekundu)
výpar	objem nebo výška vrstvy vypařované vody vztažena k určitému časovému intervalu a určité ploše
vývěr	jev nebo proces vytékání podzemní vody na zemský povrch
základní odtok	složka celkového odtoku tvořená vývěrem podzemních vod do sítě vodních toků
zdroj podzemní vody	podzemní voda v hydrogeologickém kolektoru (zvodeň, vodní útvar) využívaná pro odběr vody; často je jako zdroj podzemní vody nesprávně označován vlastní jímací objekt (studna, vrt)
zdroj znečištění	místo nebo prostor, kde došlo nebo dochází k průniku cizorodých (nežádoucích) látek do jednotlivých složek životního prostředí (zdrojem znečištění může být i přítomnost odpadů na povrchu či v podzemí nebo kontaminované části stavebních konstrukcí)
zemina	vrstva horniny na zemském povrchu, jejíž částice nejsou vzájemně pevně spojeny nebo zpevněny; jde o pojem nadřazený pojmu půda;
znečištění (kontaminace)	stav, kdy se v důsledku lidské činnosti v životním prostředí vyskytují chemické látky a další škodliviny pro dané prostředí cizorodé svou podstatou nebo koncentrací nebo množstvím
zvodeň	souvislá akumulace podzemní vody v hornině vytvářející hydraulicky jednotné těleso (vodní útvar) v pásnu nasycení; zvodeň může být s volnou nebo napjatou hladinou

zvodeň s napjatou hladinou	akumulace podzemní vody, která se vyznačuje vyšším hydrostatickým tlakem v úrovni hladiny než je atmosférický tlak
zvodeň s volnou hladinou	akumulace podzemní vody, jejíž hladina (svrchní omezení) je pod tlakem atmosférickým

II. PRÁVNÍ PŘEDPISY PRO HYDROGEOLOGICKÉ PRÁCE

(rozumí se v platném aktuálním znění k dubnu 2010 ve znění pozdějších předpisů, viz http://www.mzp.cz/cz/platne_pravni_predpisy)

1.1 Legislativa obecně

40/1964 Sb., občanský zákoník

513/1991 Sb., obchodní zákoník

505/1990 Sb. (novelizace č. 119/2000 Sb.) Zákon o metrologii

22/1977 (novelizace č. 71/2000 Sb.) Zákon o technických požadavcích na výrobky

1.2 Legislativa pro geologické práce

Zákony:

44/1988 Sb. Zákon o ochraně a využití nerostného bohatství (horní zákon)

61/1988 Sb. Zákon o hornické činnosti, výbušninách a o státní báňské správě

62/1988 Sb. Zákon o geologických pracích

Vyhlášky:

206/2001 Sb. Vyhláška MŽP o osvědčení odborné způsobilosti projektovat, provádět a vyhodnocovat geologické práce

282/2001 Sb. Vyhláška MŽP o evidenci geologických prací

368/2004 Sb. Vyhláška MŽP o geologické dokumentaci

369/2004 Sb. Vyhláška MŽP o projektování, provádění a vyhodnocování geologických prací, oznamování rizikových geofaktorů a o postupu při výpočtu zásob výhradních ložisek

1.3 Legislativa pro řešení znečištění vod (nakládání s vodami, atd.)

Zákon:

254/2001 Sb. Zákon o vodách (vodní zákon)

Vyhlášky (výběr):

137/1999 Sb. Vyhláška Ministerstva životního prostředí, kterou se stanoví seznam vodárenských nádrží a zásady pro stanovení a změny ochranných pásem vodních zdrojů

- 431/2001 Sb. Vyhláška Ministerstva zemědělství o obsahu vodní bilance, způsobu jejího sestavení a o údajích pro vodní bilanci
432/2001 Sb. Vyhláška Ministerstva zemědělství o dokladech žádosti o rozhodnutí nebo vyjádření a o náležitostech povolení, souhlasů a vyjádření vodoprávního úřadu
20/2002 Sb. Vyhláška Ministerstva zemědělství o způsobu a četnosti měření množství a jakosti vody
125/2004 Sb. Vyhláška ke vzoru poplatkářského hlášení a přiznání k odebrané pozemní vodě
391/2004 Sb. Vyhláška o rozsahu údajů v evidencích stavu povrchových a podzemních vod
142/2005 Sb. Vyhláška o plánování v oblasti vod
450/2005 Sb. Vyhláška o náležitostech nakládání se závadnými látkami

1.4 Další legislativa související se životním prostředím

Zákony:

- 17/1992 Sb. Zákon o životním prostředí
185/2001 Sb. Zákon o odpadech
477/2001 Sb. Zákon o obalech
114/1992 Sb. Zákon o ochraně přírody a krajiny
13/2002 Sb. Zákon o mírovém využívání jaderné energie a ionizujícího záření (atomový zákon)
183/2006 Sb. Zákon o územním plánování a stavebním řádu (stavební zákon)
167/2008 Sb. Zákon o předcházení ekologické újmě a o její nápravě

METODICKÉ PŘÍRUČKY MŽP

Viz http://www.mzp.cz/cz/metodiky_ekologicke_zateze

METODICKÉ POKYNY ČAH

Viz <http://www.cah.cz/?q=node/37>

Metodická informace č. 1/2002 k zákonu č. 256/2001 Sb. o pohřebnictví

Metodický pokyn České asociace hydrogeologů č. 1/2006 Pravidla pro projekci a provádění studen

Metodický pokyn České asociace hydrogeologů č. 2/2006 Pravidla pro projekci a provádění vrtů pro tepelná čerpadla systému země – voda

Metodický pokyn ČAH č. 1/2007 Vyjádření osoby s odbornou způsobilostí k povolení nakládat s podzemní vodou

Metodický pokyn ČAH č. 1/2008 Vyjádření osoby s odbornou způsobilostí k zasakování odpadních vod do půdních vrstev