



evropský
sociální
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Univerzita Jana Evangelisty Purkyně

Fakulta životního prostředí

Management podzemních vod

**Petr Kohout
Vít Kodeš
Josef Datel
Svatopluk Šeda
Zbyněk Vencelides**

**Ústí nad Labem
2014**



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Název: Management podzemních vod

Autor: RNDr. Petr Kohout
Mgr. Vít Kodeš, Ph.D.
RNDr. Josef Datel, Ph.D.
RNDr. Svatopluk Šeda
RNDr. Zbyněk Vencelides, Ph.D.

Vědecký redaktor: Ing. Martin Neruda, Ph.D.

Recenzenti: RNDr. Martin Milický
RNDr. Ferdinand Herčík

© **Nakladatel:** Univerzita J. E. Purkyně v Ústí n. Labem, Fakulta životního prostředí

Tato publikace vznikla v rámci projektu OPVK EnviMod – Modernizace výuky technických a přírodovědných oborů na UJEP se zaměřením na problematiku ochrany životního prostředí.

Reg. č.: CZ.1.07/2.2.00/28.0205

Neprodejný výtisk

ISBN 978-80-7414-807-1 (brož.)

ISBN 978-80-7414-874-3 (online: pdf)

PŘEDMLUVA

Skripta Management podzemních vod RNDr. Petra Kohouta et al. jsou velice dobrým studijním materiálem pro studenty Fakulty životního prostředí UJEP v Ústí nad Labem na bakalářské i magisterské úrovni. Zároveň i pro studijní program Vodní hospodářství, jehož inovace probíhá na FŽP UJEP, budou tato skripta velice vhodným studijním podkladem. Kompletně zpracovaná problematika podzemní vody zatím chybí v české odborné literatuře. Dostatek kvalitních skript o podzemní vodě je k dispozici pouze v angličtině. Podobně postupně vyjde dalších 6 vodohospodářských skript v rámci projektu OPVK EnviMod.

Ing. Martin Neruda, Ph.D.
Proděkan UJEP

ÚVOD

Podzemní vody jsou cenným přírodním bohatstvím a právem jsou považovány za nejdůležitější zdroj pro zásobování obyvatelstva vodou. V mnohých oblastech světa se jedná o limitovaný a mnohdy těžko obnovitelný zdroj, a proto je jejich využití vyhrazeno především pro tyto účely. V ČR tvoří odběry podzemních vod více než 47 % z celkového množství využití pitné vody (Zpráva o stavu vodního hospodářství, 2009); 53 % tvoří zdroje povrchových vod. Na kvantitativním a kvalitativním stavu podzemních vod jsou rovněž závislé četné biotopy jako prameny, vodní toky, údolní nivy a stojaté vody, mokřady apod. Změny množství a kvality podzemních vod závažným způsobem ovlivňují stav a využívání krajiny a kvalitu života obyvatelstva. Podzemní vody se nacházejí pod zemským povrchem, a často dochází k mylným představám, že jsou omezeně zranitelné vůči vnějším vlivům. Do určité míry to platí o podzemních vodách hlubokého oběhu, které mají poměrně značnou dobu zdržení v horninovém prostředí bez kontaktu s biosférou (v některých případech i stovky a více let).

Nejčastěji se ale setkáváme s podzemními vodami mělkého oběhu, jejichž zranitelnost je jen o něco málo menší než zranitelnost povrchových vod. Proto stále častěji čelíme problémům se snižujícím se množstvím podzemních vod využívaných vrty a studnami, ale také problémům spojených s jejich zhoršující se jakostí. Tyto jevy jsou v současné době způsobovány především antropogenními faktory (tedy různými zásahy člověka do přírodního a životního prostředí – odběry vod, odvodňování, meliorace, vodní stavby, znečišťování životního prostředí). Nezanedbatelný význam však mají i jevy spojené s klimatickými změnami - změna rozdělení srážek v průběhu roku, menší množství sněhu na horách, vyšší četnost extrémních jevů jako sucho a přívalové srážky (a s nimi spojené intenzivnější erozní procesy), vyšší teplota v průběhu roku atd.

Podzemní vody poskytují nejkvalitnější pitnou vodu pro zásobování obyvatelstva. Hluboký oběh podzemních vod, především ve významných pánevních strukturách jako česká křídlová pánev, polická pánev, třeboňská pánev aj.) obsahuje velmi značné strategické zásoby podzemních vod, které jsou jen omezeně ovlivnitelné současnými klimatickými jevy i antropogenními zásahy. Pro případ různých mimořádných situací (např. dlouhodobé sucho, rozsáhlé ekologické havárie apod.) jsou tak dobře využitelné pro krizové zásobování obyvatelstva pitnou vodou, a to i po značně dlouhou dobu. Na výskyt podzemní vody jsou často vázány velmi cenné a chráněné vodní a na vodu vázané ekosystémy. Význam podzemních vod je jedinečný jak pro přírodu, tak pro člověka, proto je nutné, aby se podzemním vodám věnovala vysoká pozornost a aby byla zajištěna jejich dostatečná ochrana.

Management podzemních vod zahrnuje veškeré činnosti spojené s využíváním a ochranou podzemních vod a řízení těchto činností. Podstatnou složkou managementu podzemních vod je získání a ověřování znalostí o využitelném množství podzemních vod konkrétního vodního útvaru a zabezpečování, že nedochází k neúnosnému vyčerpávání zdrojů podzemní vody a jejich kvality. Předmět managementu podzemních vod je úvodem do problematiky zajišťování dobrého stavu podzemních vod a udržitelného využívání vodních útvarů podzemních vod, na kterou je v současné době kladen jak národními, tak evropskými legislativními předpisy kladen veliký důraz.

RNDr. Petr Kohout
Autor

1 ZÁKLADY HYDROGEOLOGIE

1.1 VĚDNÍ OBOR HYDROGEOLOGIE

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 nejrůznější úkoly vodního hospodářství a ochrany životního prostředí.

Její hlavním cílem je vyhledávání zdrojů podzemní vody, hodnocení její jakosti a využitelného množství, návrhy jejího optimálního využití a ochrany (MP MŽP, 2010). Kromě toho řeší hydrogeologie i problematiku ochrany podzemních vod, jak z hlediska ochrany množství, tak kvality. Například již v 19. století byla řešena ochrana zdrojů minerálních vod (např. časté střety s důlní činností v severozápadních Čechách – např. legendární průval podzemních vod na dole Döllinger u Teplic 1879). Průzkumné práce týkající se zhoršené jakosti podzemní vody v důsledku kontaminace různými chemickými látkami a na ně navazující nápravná opatření (tzv. sanace) znečištění podzemních vod se řeší cca od šedesátých let dvacátého století.

Dnes hydrogeologové vyhledávají nové zdroje podzemních vod včetně stanovení kvality zdrojů a jejich vydatnosti, starají se o ochranu stávajících zdrojů podzemní vody, navrhují ochranná pásma vodních zdrojů, řeší technické úkoly spojené s odvodňováním staveb, důlních děl, pozemků, zabývají se výpočty využitelného množství podzemních vod apod. Základem každého hydrogeologického průzkumu, ať už je jeho účel jakýkoliv, je co nejpřesnější představa o hydrogeologických poměrech území. Ta zahrnuje především informace o geometrii a vnitřní stavbu příslušné hydrogeologické struktury, o místech infiltrace a drenáže podzemní vody, o hloubce podzemní vody pod terénem, o propustnosti, pórovitosti, rozpukání a dalších charakteristikách zvodnělých hornin, o směru a rychlosti proudění podzemní vody a o jejím chemickém složení.

Hydrogeologii lze rozdělit do různých specializací, jako je například všeobecná hydrogeologie, kontaminační hydrogeologie, ložisková hydrogeologie, hydrogeologie minerálních vod, inženýrská hydrogeologie, regionální hydrogeologie, hydrogeochemie atd.

Využívání podzemních vod bylo samozřejmě součástí celé historie lidstva. Už pravěký člověk si všiml lepší jakosti vod z pramenů než povrchové vody a kolem pramenních vývěrů vznikala četná pravěká sídliště našich předků. Hydrogeologie jako vědní obor se ale začíná celosvětově rozvíjet až během 19. století, v souvislosti s rozvojem společnosti a obecného lidského poznání. Tlak na vyšší kvalitu pitné vody za účelem zabránění šíření chorob obrátil pozornost odborníků (v počátcích geologů, lékařů a biologů) na evidentně kvalitnější a čistší podzemní vody. V ČR je rozvoj oboru hydrogeologie neoddělitelně spojen se jménem prof. Oty Hynie (1899-1968), který se stal prvním českým profesorem hydrogeologie na Univerzitě Karlově a založil zde první katedru hydrogeologie na tehdejší Geologicko-geografické fakultě (dnes Přírodovědecké fakultě), kterou vedl až do své smrti na sklonku 60. let.

Z pozdějších událostí rozvoje hydrogeologie v ČR je nutno zmínit období regionálně hydrogeologických výzkumů (financovány jako státní výzkumné úkoly), které od 60. do 80. let 20. století zajistily velmi dobrou hydrogeologickou prozkoumanost celého území ČR; výsledky těchto prací jsou dodnes hojně využívány v nových průzkumech a při

řešení různých vodohospodářských úkolů (závěrečné zprávy, hydrogeologické mapy, vrtné profily, výsledky čerpacích zkoušek a chemických analýz jsou k dispozici v celostátním geologickém archívu Geofond, který spravuje Česká geologická služba a je využitelný pro všechny zájemce).

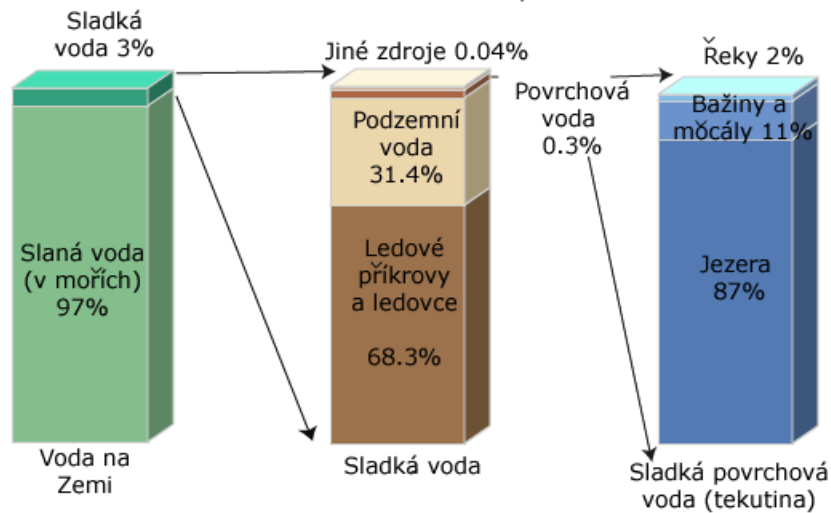
Období po roce 1990 je spojeno s důrazem na odstraňování starých ekologických škod v různých průmyslových areálech. Zastaralé a mnohdy opuštěné průmyslové provozy, sklady a skládky odpadů zůstaly po předchozím socialistickém režimu, který ochraně životního prostředí nevěnoval potřebnou pozornost. Podobné problémy masivního znečištění byly zjištěny také v četných vojenských prostorech, ať už české armády nebo ruské armády, dislokované v ČR do roku 1991 na více než 80 místech (největší jejich soustředění bylo v oblasti Milovic sv. od Prahy). Velká část odborných hydrogeologů se proto přeorientovala na problematiku kontaminace vod (podzemních i povrchových) a dalších složek životního prostředí (půdy, zeminy, horniny, atmosféra) a v průběhu let řešila odstraňování znečištění na stovkách těchto lokalit v celé ČR; tyto práce doposud probíhají a jsou hrazeny ze státního rozpočtu. V současné době se blíží konec této etapy a zaměření hydrogeologie se pravděpodobně opět začne spíše sblížovat se zájmy vodárenství a zásobování obyvatelstva pitnou vodou, tedy ke svému klasickému zaměření, jak hydrogeologie ostatně existuje i v okolních zemích.

1.2 ZÁKLADNÍ POJMY

1.2.1 Výskyt a oběh vody na Zemi

Veškerá voda na Zemi se souhrnně nazývá hydrosférou. Zahrnuje vodu atmosférickou (vodní pára, kapalné a pevné srážky), vodu povrchovou (oceány, moře, vodní toky, ledovce, jezera, močály), vodu podpovrchovou (především voda podzemní a voda půdní) a vodu v organismech (v biosféře). Cca 97 % veškeré vody je obsaženo ve světovém oceánu (cca $1,33 \times 10^9$ km³), jde tedy o slanou vodu. Zbylá 3% tvoří sladká voda. Z celkového množství sladké vody je 68,3% vody obsaženo v ledovcích, 31,4% je voda podzemní, cca 0,2% připadá na vodu povrchovou, atmosférickou a ostatní. Je tedy zřejmé, že největší zásoby sladké vody, které jsou dobře využitelné pro člověka, tvoří podzemní voda (obr.1.1).

Rozdělení zásob vody na Zemi



Obr. 1.1 Zásoby vody na Zemi (zdroj:

<http://water.usgs.gov/edu/watercyclezech.html#global>)

Pro vodu je charakteristický neustálý oběh, který se vyznačuje neustálou výměnou vody mezi jednotlivými složkami hydrologického oběhu (obr. 1.2). Tento oběh je spojen se změnami skupenství vody. Zdrojem energie potřebné k oběhu vody v přírodě je Slunce (výpar, atmosférická cirkulace) a Země (pohyb vody vlivem gravitace).



Obr. 1.2: Koloběh vody (zdroj: <http://water.usgs.gov/edu/watercyclezech.html#global>)

Slunce ohřívá vodu v oceánech, a ta se vypařuje ve formě vodní páry do vzduchu. Stoupající vzdušné proudy unášejí vodní páru výše do atmosféry, kde nižší teplota poté způsobí kondenzaci vodní páry a její přeměnu do formy oblaků. Vzdušné proudy dále ženou oblaka nad zemí, a částice vody tvořící oblaky se srážejí, rostou a poté vypadávají z oblohy jako srážky.

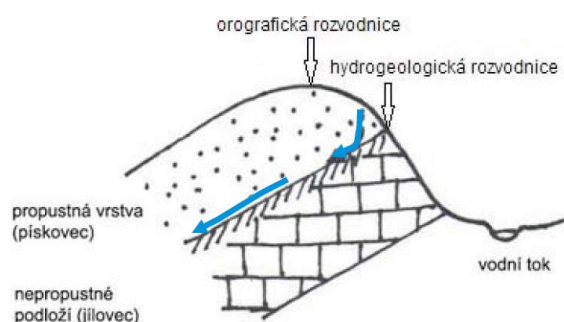
Některé srážky padají jako sníh a mohou se hromadit jako ledové čepice a příkrovy či ledovce. V teplejším klimatu sníh s příchodem jara většinou taje a voda vytváří celoplošný odtok z tajícího sněhu. Srážky, které spadnou na pevninu, odtékají ve formě povrchového a podzemního odtoku. Voda stékající po povrchu (**povrchový odtok**) napájí potoky a řeky, ty poté odvádějí vodu do oceánů. Potoky a řeky jsou rovněž napájeny z pramenů a skrytých příronů podzemních vod – to je důvod, proč v řekách teče voda i v dobách delšího sucha. Do horninového prostředí vstupuje naprostá většina vody **infiltrací** (vsakem). Vsak probíhá buď z atmosférických srážek (déšť, tání sněhu) nebo z vody z povrchových vodotečí a nádrží (tzv. **influxe** - vcezení). Dešťová voda je zpravidla (v závislosti na druhu povrchu a jeho propustnosti) pohlcována do pórů v půdě a pohybuje se dále vertikálně ve směru gravitace k hladině podzemní vody. Další část srážek se odpaří z povrchu rostlin nebo půdy. Půdní voda je také částečně odčerpávána evapotranspirací, zbylá část pak dosáhne hladiny podzemní vody a dotuje tak její množství. Podzemní voda poté proudí propustnými horninami a nakonec je odvodněna vývěrem na povrch nebo příronem do vodního toku v drenážní oblasti (obvykle v údolích vodních toků nebo terénních depresích) jako tzv. **podzemní odtok**.

Do hydrologického oběhu významně zasahuje i člověk, který část vody z něho dočasně odebírá pro vodárenské zásobování, zavlažování apod. a po použití tuto vodu zase vrací zpět jako vodu odpadní, která má často nevyhovující kvalitu. (Kohout et al., 2001).

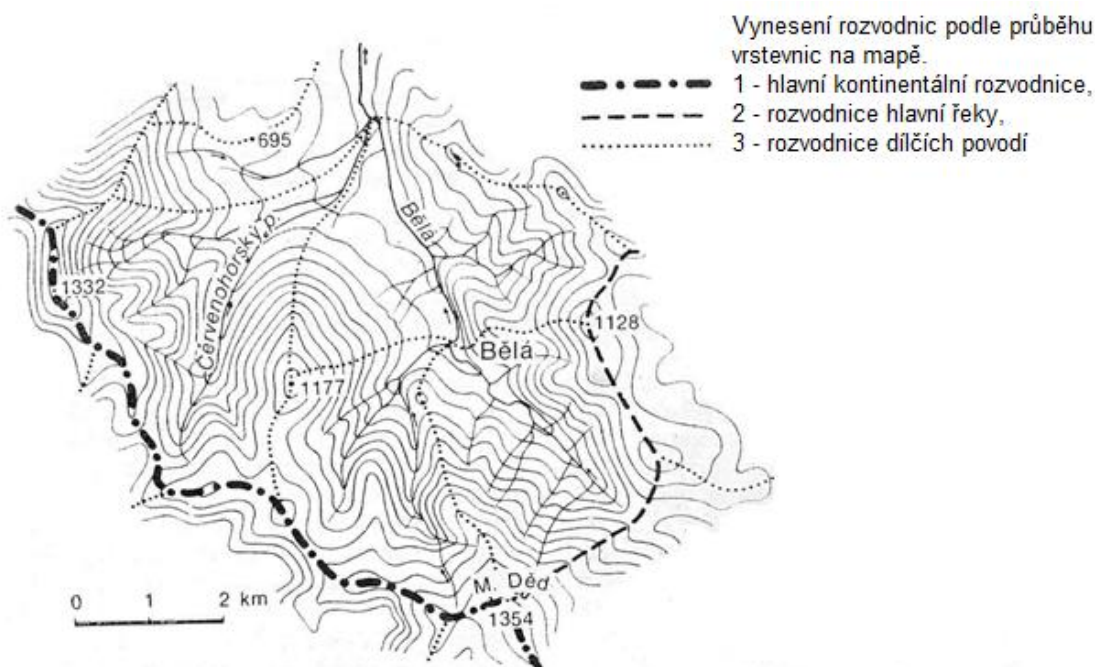
1.2.2 Povodí

Povodí je území, které je soustředěně odvodňováno (např. vodním tokem a jeho přítoky, pramenním vývěrem nebo jejich soustavou apod.). Hranicí povodí je rozvodnice, která probíhá po terénních hřbetech a vyvýšeninách, které oddělují dané povodí od povodí sousedních. Povodí vymezené v tomto smyslu se nazývá **povodí orografické** (hydrologické) – obr. 1.4.

V terénech s propustnými horninami při povrchu je třeba rozlišovat ještě **povodí hydrogeologické**, neboť jeho hranice se nemusí shodovat s povodím orografickým. Poloha hydrogeologické rozvodnice není stálá, ale mění se podle stavu hladiny podzemní vody. Zvláště v krasových územích se může hydrogeologické povodí významně lišit od orografického, proto na jeho přesném zjištění velmi záleží (obr.1.3).



Obr. 1.3: Vztah mezi orografickou a hydrogeologickou rozvodnicí (upraveno dle Ruda A.)



Obr. 1.4: Hydrologické povodí jako území soustředěně odvodňované a ohraničené rozvodnicí (Netopil, 1984)

1.2.3 Vodní režim v povodí, hydrologická bilance, celkový odtok a jeho složky

Vodní režim je definován jako souhrn zákonitostí kvantitativních a kvalitativních změn hydrologických jevů v čase a prostoru. Dominantní vliv na vodní režim má úhrn srážek a jejich časové rozdělení. Dále je vodní režim v povodí ovlivňován hydrologickými vlastnostmi a základními charakteristikami povodí (plocha a svažitost). Vodní režim významně ovlivňuje také funkce a provoz vodních děl, způsob hospodaření na zemědělské a lesní půdě (struktura pěstovaných plodin a kultur, druhová a věková skladba lesních porostů). Významný vliv mají také hydropedologické vlastnosti půd a propustnost hornin – kolektorů, resp. izolátorů. Odtokové poměry povodí ovlivňují i ostatní pozemky, zvláště zpevněné plochy sídlišť a intravilánů.

Zdrojem povrchových a podzemních vod jsou atmosférické srážky. Rozčlenění srážek na jednotlivé složky je základem pro řešení rovnice hydrologické bilance.

Hydrologická bilance porovnává přírůstky a úbytky vody a změny vodních zásob v definovaném prostoru (např. v povodí, v hydrogeologickém rajonu, nebo v katastru obce) za daný časový interval.

Rovnice hydrologické bilance: (jednotlivé členy se uvádí v různých jednotkách, nejčastěji v mm/ m², neboli v l/m². Při hodnocení kvantitativního stavu útvarů podzemních vod, posuzování zdrojů podzemních vod a jejich odběry vod se uvádí v l/s/km².

Rovnice hydrologické bilance se uvádí v různých tvarech (Grmela, 2014).

$$H_{\text{srážky}} = H_{\text{evapotranspirace}} + H_{\text{povrch. odtok}} + H_{\text{podz..odtok}} \pm H_{\text{přetoky z jiné oblasti}} \pm H_{\text{odběry a vypouštění}} \pm H_{\text{změna zásob vody}}$$

Bilance se obvykle řeší pro hydrologicky uzavřenou oblast, nejčastěji povodí a pro zvolený časový cyklus, běžně pro **hydrologický rok** (tj. od 1.11. do 31.10. následujícího roku), nebo kalendářní rok, principiálně ji však lze zpracovat pro jakékoliv definované území a časový úsek, pokud jsou k dispozici příslušná data.

Údaje o **srážkách** jsou pro hydrologickou bilanci poskytovány ze sítě srážkoměrných stanic ČHMÚ, případně z účelových pozorování tam, kde není možné využít data ČHMÚ. ČHMÚ standardně poskytuje hydrometeorologická data (srážky, teploty, průtoky na povrchových tocích, vydatnost pramenů, kolísání hladin podzemních vod v denních průměrných hodnotách).

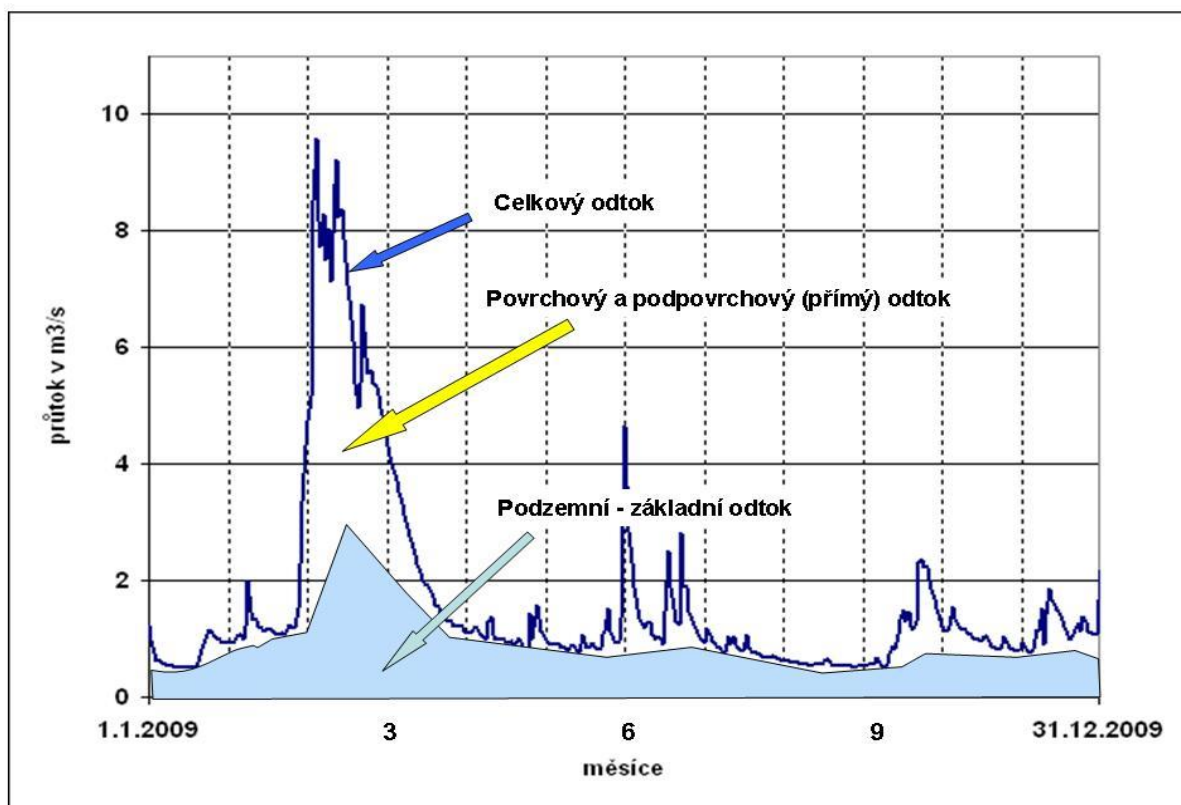
Evapotranspirace je nejvýznamnější, ale poměrně obtížně stanovitelná složka bilance, která se skládá z **přímého výparu** (z volné hladiny, z povrchu terénu, z povrchu rostlin), a ze spotřeby vody rostlinami (**nepřímý výpar**). Obvykle se stanovuje empiricky na základě dlouhých řad klimatických měření (srážky, teplota, vítr, vlhkost vzduchu aj.). Evapotranspiraci lze za přesně definovaných podmínek stanovit experimentálně např. lyzimetry, ale jejich malá plocha (nejčastěji max. jednotky m^2) ztěžuje přenos výsledků na plochy povodí. V případě znalosti ostatních členů hydrologické bilanční rovnice může být evapotranspirace výpočtovou veličinou.

Celkový odtok (průtok) protékající uzávěrovým profilem toku za daný časový interval je tvořen třemi složkami (Kliner, Kněžek, Olmer et al. 1978):

- **Povrchový odtok**, tzv. ron, představuje část srážkové vody, která se nevsákla, ani se nevypařila a odtéká po povrchu.
- **Hypodermický (podpovrchový) odtok**, je odtok vody v půdní vrstvě těsně pod terénem v pásmu aerace.
- **Základní (podzemní) odtok** je tvořen přítokem z podzemní vody v pásmu nasycení (skryté přírony do toku a prameny). Základní odtok lze v mnoha sledovaných profilech ztotožnit s přírodními zdroji podzemních vod.

Vyčlenění základního odtoku z celkového odtoku se nazývá **separace hydrogramu**, viz obr. 1.5. Vyčlenění povrchového a hypodermického odtoku je vzhledem k relativně krátké době jejich trvání obtížné. Proto se v některých bilancích zavádí tzv. **přímý odtok**, který je součtem povrchového a hypodermického odtoku. Při **separaci hydrogramu** se pak z celkového odtoku vyčleňuje jen základní a přímý odtok – obr. 1.5. V poslední době se v řadě modelových hydrologických bilancí část hypodermického odtoku přiřazuje k základnímu odtoku, takže se vyčleňuje jen základní a povrchový odtok viz obr. 1.5.

Celkový odtok výrazně kolísá v závislosti na srážkách, základní odtok zajišťuje průtok v toku v době bez atmosférických srážek. Časový průběh odtoku vody na toku v uvažovaném profilu se nazývá **hydrogram**. Průtok na povrchových tocích je měřen na síti profilů ČHMÚ, případně může být měřen i na speciálně stanovených profilech. Průtoky se v síti ČHMÚ měří v hodinových intervalech a převádějí se na denní průměry.



Obr. 1.5: Hydrogram denních průtoků Mohelky v Chocnějovicích, orientační separace povrchového, podpovrchového a podzemního odtoku v rajonu 4410 (denní průměry)

Přetoky podzemní a povrchové vody ze sousední oblasti se uvažují, pokud řešené území není hydrologické nebo hydrogeologické povodí, ale jinak definované území. Zde se ukazuje výhodnost stanovení území jako hydrologické či hydrogeologické povodí, protože v takovém případě přetoky z okolí přes rozvodnici budou nulové, což plyne z definice rozvodnice. Speciálním případem mohou být přetoky podzemní vody z kolektorů umístěných vertikálně nad, či pod bilancovaným kolektorem; řešení těchto případů je velmi složité a obvykle se neobjede bez hydraulického modelu proudění podzemní vody.

Odběry a vypouštění je člen shrnující zásahy člověka do hydrologické bilance – odběry pitné vody, užitkové vody, zavlažování, výroba elektrické energie, odvodňování dolů, staveb, pozemků, vypouštění odpadních a důlních vod aj. Tyto složky bilance jsou velmi důležité v případě, že se významná část podzemních vod odvádí (jako vodárenský odběr) mimo bilancované povodí. Je třeba zdůraznit, že tento problém není zatím ani v některých bilancích ČHMÚ vyřešen (Vlnas, 2011).

Změny akumulace vody v zájmovém území za dané období jsou výsledkem změn v klimatických charakteristikách a ve využívání vody. Skládají se ze změn zásob povrchových vod (což je charakterizováno změnou hladiny vody v nádržích a tocích), změnou zásob podzemních vod (odrazem je změna hladiny podzemní vody v monitorovacích vrtech).

Příklad hydrologické bilance sousedících hydrogeologických rajonů (HGR) v povodí Jizery, uvádí tab. 1.1. Oba rajony jsou významně odlišné z hlediska litologie, což se zřetelně projevuje na jejich hydrologické bilanci a následně také v možnostech jímání podzemních vod – obr. 1.6

Tabulka 1.1 : Rozdělení základních složek hydrologické bilance v hydrogeologických rajonech 4410 - Jizerská křída pravobřežní a 4430 Jizerská křída levobřežní

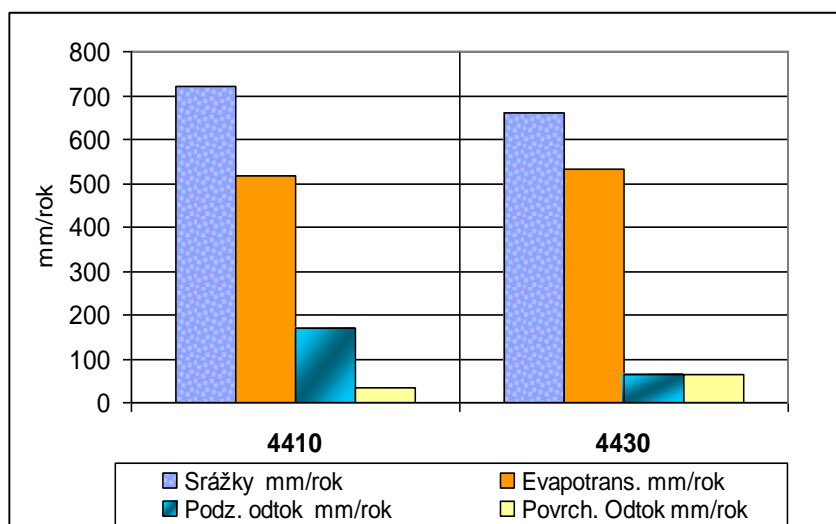
HGR	Plocha km ²	Srážky mm/rok	Evapotrans. mm/rok	Podz. odtok mm/rok	Povrch. odtok mm/rok
4410	685	720	517	170	33
4430	409	661	531	64	66

HGR	Plocha km ²	Srážky l/s/km ²	Evapotrans. l/s/km ²	Podz. odtok l/s/km ²	Povrch. odtok l/s/km ²	Podz. odtok celkem l/s
4410	685	22,8	16,4	5,4	1,0	3692
4430	409	21,0	16,8	2,0	2,1	830

Pozn. Tabulka uvádí orientační hydrologickou bilanci HGR 4410 a 4430, s využitím předběžných výsledků hydrologického modelu BILAN (Kašpárek L. et al. 2012)

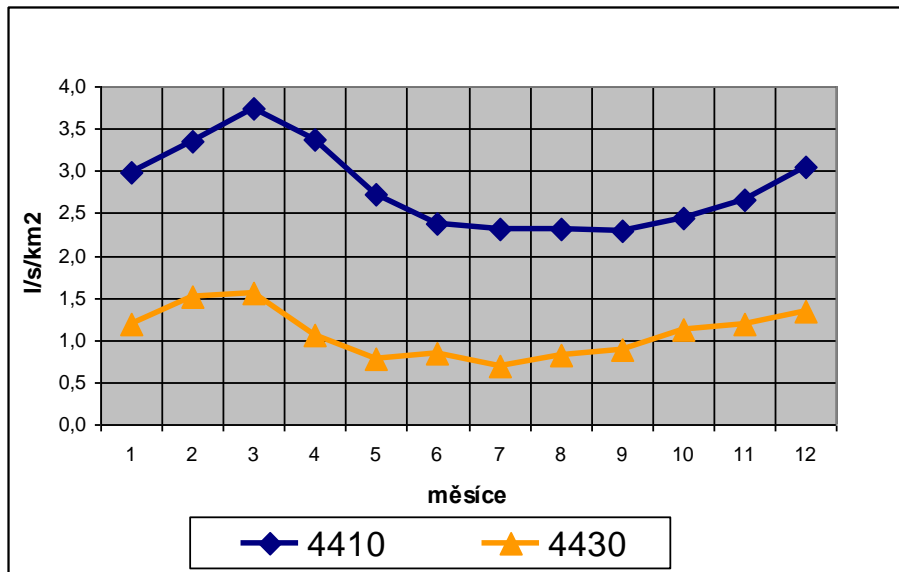
V hydrogeologickém rajonu 4410 - Jizera pravobřežní je na povrchu vyvinut významný kolektor v pískovcích jizerského souvrství, který umožňuje nadprůměrnou infiltraci srážek a tvorbu podzemního odtoku. Tyto faktory jsou předpokladem pro velké soustředěné vodárenské odběry (jímací území Dolánky, Libíč s celkovou kapacitou 350 l/s).

V hydrogeologickém rajonu 4430 - Jizera levobřežní jsou na povrchu vyvinuty jílovce teplického souvrství, které mají velmi nízkou schopnost infiltrovat srážky. Jejich filtrační parametry jsou řádově nižší než u rajonu 4410, takže významné vodárenské odběry nelze v tomto rajonu realizovat. Z obr. 1.6 je patrné, že přes blízké hodnoty sumy srážek a evapotranspirace v obou rajonech jsou zdroje podzemních vod v rajonu 4410 2,7 x vyšší než v rajonu 4430. Po převedení specifických bilančních údajů (mm/rok/m²) na l/s/km² a plochu rajonů (druhá část tabulky 1.1) lze získat celkové hodnoty přírodních zdrojů podzemních vod pro příslušný hydrogeologický rajon.



Obr. 1.6: Rozdělení základních složek hydrologické bilance

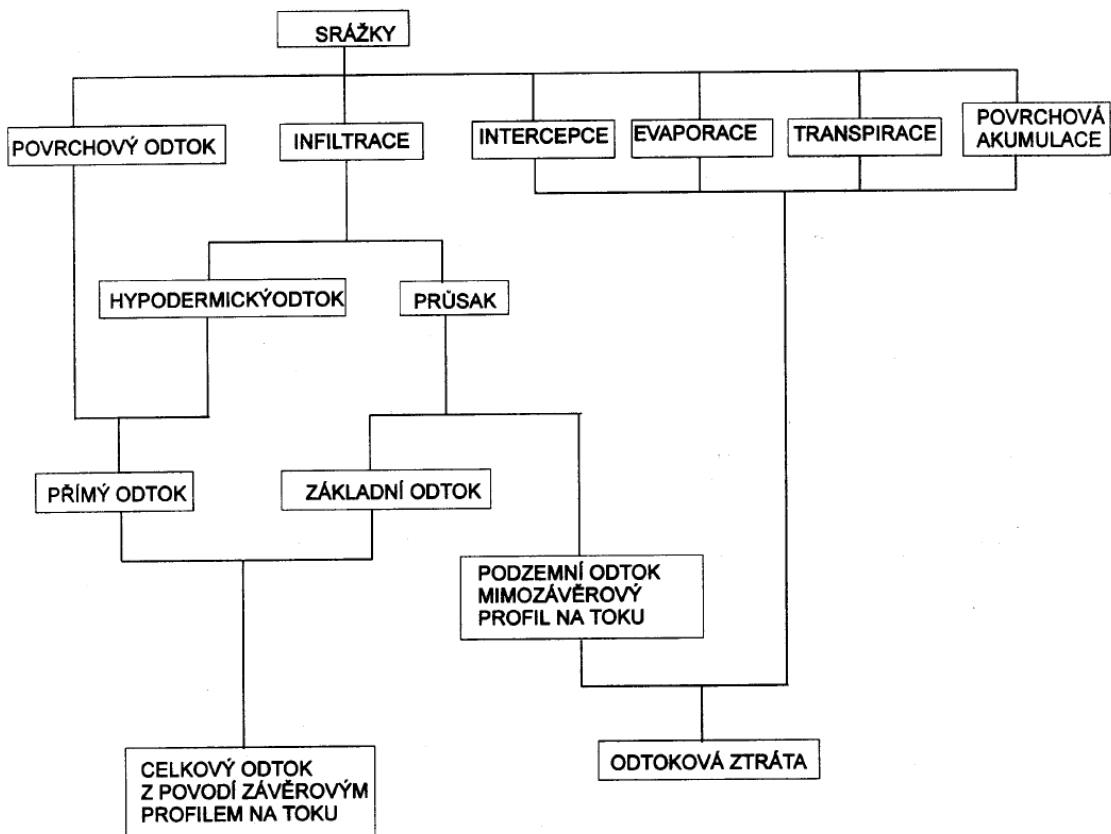
Ke stanovení zdrojů podzemních vod se většinou používají různé metody separace celkového odtoku v uzávěrovém profilu příslušného povodí. ČHMÚ standardně aplikuje Eckhardovu metodu stanovení základního odtoku (Vlnas, 2011), který se v optimálním případě ztotožňuje se zdroji podzemních vod. – obr. 1.7.



Obr. 1.7 : Specifika podzemního odtoku HGR 4410, 4430 stanovená separací hydrogramu metodou Eckharta (měsíční průměry 2007- 2011, ČHMÚ)

Z obr. 1.7 je zřejmé, že podzemní odtok značně kolísá, což může komplikovat zásobování pitnou vodou v oblastech, kde jsou zdroje podzemních vod ve srovnání s odběry nízké.

Schéma odtokového procesu uvádí obr. 1.8.



Obr. 1.8: Schéma odtokového procesu (Schola Humanitas)

1.2.4 Podzemní voda, její členění a výskyt, hladina podzemní vody

Podzemní voda je veškerá voda v kapalném skupenství pod zemským povrchem, bez ohledu na to, zda vytváří souvislou hladinu či nikoliv. Podzemní vodou není voda, která je fyzikálně či chemicky vázaná v minerálech a horninách (např. krystalová voda), podzemní vodou není ani voda v plynném skupenství, která se vyskytuje v půdní atmosféře. Za podzemní vodu obvykle není považována tzv. půdní voda, tzn. voda obsažená v půdě při styku s atmosférou.

Podzemní voda je součástí **zemské hydrosféry**. Podzemní voda je dále i součástí tzv. **geosféry** neboli geologického prostředí. Vyskytuje se pouze pod zemským povrchem a její **pohyb, chemické složení a fyzikální vlastnosti** jsou určovány **charakterem horninového prostředí**, v němž se podzemní voda vyskytuje. Interakce podzemní vody a horninového prostředí je oboustranná, podzemní voda svou přítomností ovlivňuje charakter horninového prostředí a horninové prostředí ovlivňuje množství a jakost podzemní vody.

Podzemní voda je nedílnou součástí zemské **biosféry** a **antroposféry**. Celá řada organismů se adaptovala na život v prostředí podzemních vod (především bakterie, ale lze jmenovat i organismy vyšší vyskytující se v jeskyních, studnách, pramenních vývěrech apod.). Ty svou činností také ovlivňují vlastnosti podzemní vody. Nesporně velmi významnou roli na ovlivňování podzemních vod hraje člověk, zvláště v silně urbanizovaných a industrializovaných, případně zemědělsky silně využívaných územích. (Kohout et al., 2001).

Podle původu může být podzemní voda členěna na vodu:

- juvenilní,
- vadózní.

Juvenilní podzemní voda vystupuje k povrchu z nitra Země. Vyskytuje se např. ve vulkanických oblastech nebo v blízkosti hlubokých zlomových struktur. Tvoří obvykle velmi malou část podzemní vody, u mělkých vod se většinou vůbec neuvažuje, u vod hlubšího oběhu může způsobovat přínos specifických a neobvyklých chemických prvků, plynů apod. Často se uplatňuje u minerálních a léčivých vod.

Vadózní podzemní voda vzniká průsakem srážkové vody pod zemský povrch, jde tedy o vodu, která je běžnou součástí světového hydrologického cyklu. Část této vody může být po dlouhá geologická období uzavřena mezi nepropustnými vrstvami a tuto podzemní vodu pak označujeme jako fosilní.

Některá podzemní voda může být i organického původu, např. část naftových vod v okolí ropných ložisek.

Podle toho, jak voda z povrchu prostupuje horninovým prostředím, rozlišujeme podle stupně nasycení tato pásma (obr. 1.9):

- **nesaturovaná zóna** (provzdušnělé pásmo, zóna aerace)
 - půdní pásmo,
 - mezilehlé pásmo,
 - pásmo kapilární třásně,
- **saturovaná zóna** (pásmo zvodnělé, pásmo nasycení)

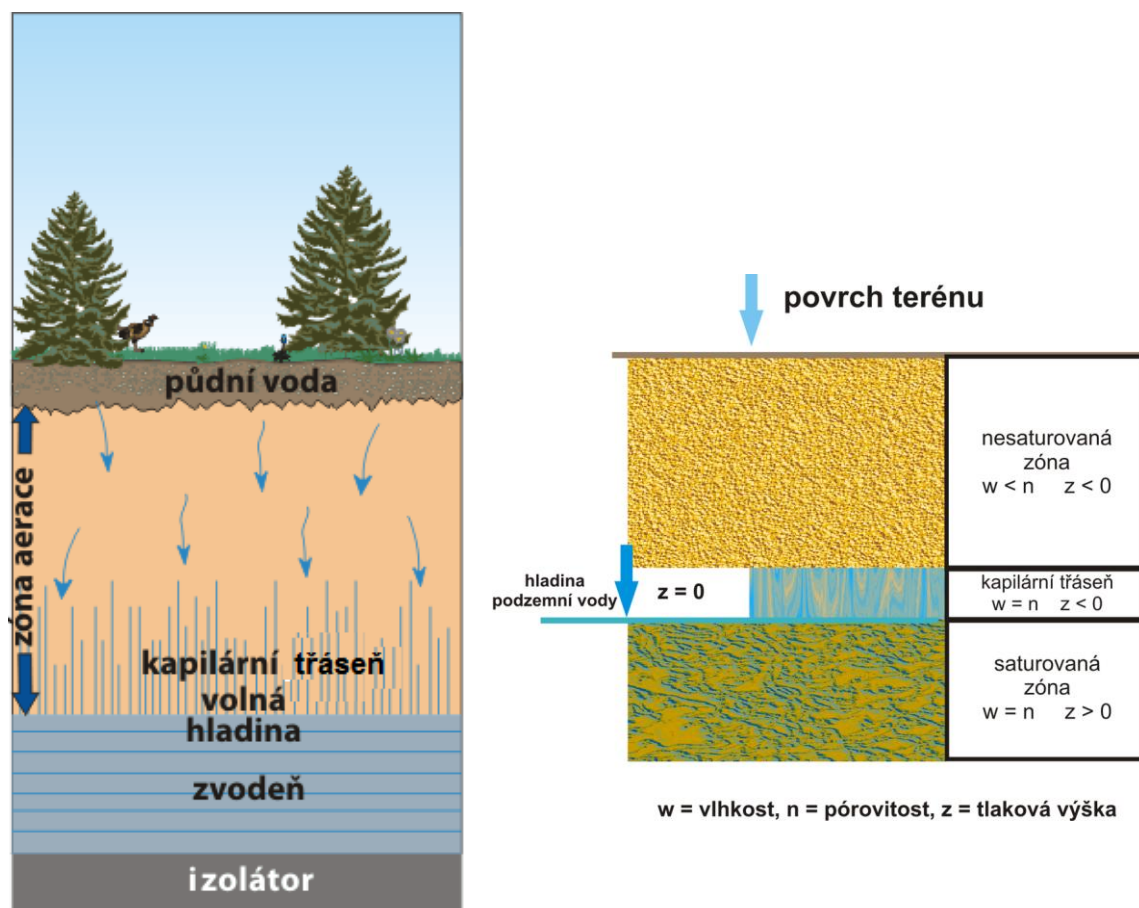
Nesaturovaná zóna

Jedná se o zónu nad hladinou podzemní vody, v níž **vlhkost w** je menší než **celková pórovitost n** (tzn. ne všechny póry jsou vyplněné vodou). V pórech horninového prostředí je přítomna kapalná fáze (voda) ve formě vlhkosti a plynná fáze (půdní vzduch). Pohyb kapalin se děje převážně ve vertikálním směru a pro jeho rychlost je důležitým parametrem právě vlhkost.

Pásma kapilární třásně je charakteristické vzlínáním vody ze spodního zvodnělého pásma. Všechny póry jsou zde vyplněné vodou, voda v pórech má ale **negativní pórový tlak ($z < 0$)**, není tedy volně pohyblivá a nemůže být jímána, např. čerpáním. Výška kapilární třásně závisí nepřímo na velikosti pórů horninového prostředí, protože se zde uplatňují **kapilární síly**. V jemnozrnných jílovitých a prachovitých zeminách může dosahovat až několika metrů, v hrubozrnných štěrcích jen jednotky cm.

Saturovaná zóna

Zóna v horninovém prostředí, kde tlak vody v pórech je **pozitivní ($z > 0$)** a obsah **vlhkosti w** je roven **celkové pórovitosti n** - viz obrázek 1.9. Veškerý pórový prostor je vyplněn vodou. Voda se zde pohybuje vlivem hydraulického gradientu. Saturovaná zóna je prakticky shodná s pojmem **zvodněný kolektor**.



Obr. 1.9: Zonalita saturace horninového prostředí vodou (upraveno ČSG a Wikipedie)

Podle toho, jak je voda vázána a jak se pohybuje, rozeznáváme vodu hygrokopickou, kapilární a gravitační.

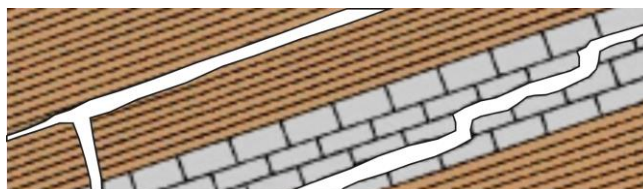
Hygroskopická voda je forma vody, která vzniká v hornině při pohlcování par, jedná se o kategorii vody adsorpční. **Adsorpční voda** je pevně poutána adsorpčními silami povrchu zrn, v kapalném stavu je prakticky nepohyblivá. Vyskytuje se v horninách jen při velmi nízké vlhkosti. **Kapilární voda** je voda, jejíž pohyb je ovlivňován převážně kapilárními silami. **Gravitační voda** je voda, jejíž pohyb je určován gravitačními silami. V zóně saturace převažuje gravitační voda.

Zákon č. 254/2001 o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon) používá pro označení podzemní vody v porovnání s hydrogeologickou terminologií mírně odlišnou definici (viz. **kapitola 2.2**).

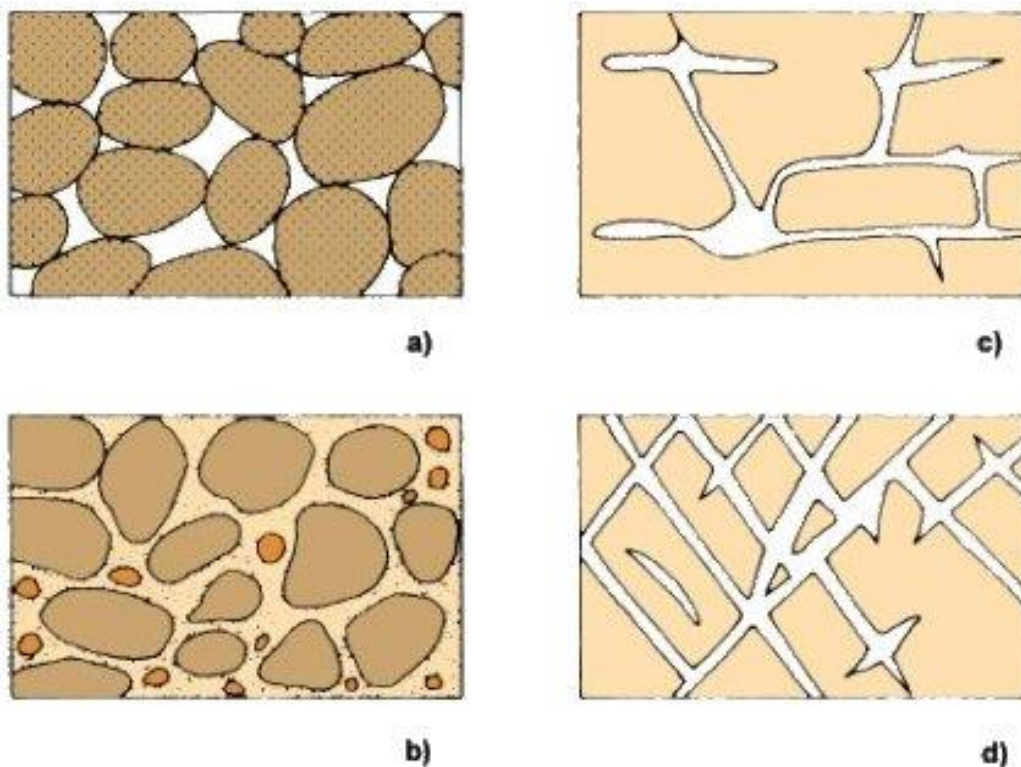
V zahraniční literatuře se pojem **podzemní voda** obvykle vztahuje jen **pro vodu v zóně saturace**, v **nesaturované zóně** se obvykle používá termín **soil water**, jehož překlad do češtiny je obtížný, protože nabízející se termín půdní voda je vyhrazen vodě v přípovrchové vrstvě půdy v užším slova smyslu.

Podzemní voda s běžným obsahem rozpuštěných látek (kterým nesplňuje požadavky na vodu minerální či léčivou, 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.).

Podzemní voda se vyskytuje v dutinách hornin (obrázek 1.10 a 1.11). Ty rozdělujeme na **póry** (průliny), **pukliny** a **krasové dutiny**. Výskyt různých typů dutin závisí na petrografických a geologických charakteristikách horninového prostředí (typ horniny, zrnitost, struktura a textura, soudržnost, tektonické postižení, zvětrání apod.). Podle typů dutin pak hovoříme o tzv. **průlinové propustnosti** (např. v prostředí štěrkopískových náplavů nebo některých hrubozrnných pískovců) a **puklinové propustnosti** (většina hornin krystalinika – žuly, ruly apod., ale i mnohé zpevněné sedimenty - prachovce, slínovce apod.). Někdy se zvláště uvádí **krasová propustnost** (především ve vápencích., vápnitých pískovcích) vyznačující se existencí extrémně velkých dutin s vysokou průtočností. Propustnost těchto hornin už přestává být funkcí horniny samé, ale jde o vlastnosti přímo těchto krasových dutin, protože proudící vodu v nich lze nejlépe popsat teorií proudění vody v otevřených korytech. Některé horniny mají tzv. dvojí propustnost, nejčastěji průlinovo-puklinová. To je typické např. pro dobře zpevněné pískovce, které mají ještě významný podíl průlinové propustnosti, ale současně mohou být rozpukány a podzemní voda bude využívat puklinové systémy v těchto horninách. **(podrobněji je problematika popsána v kapitole 1.3)**.



Obr. 1.10 Ukázka krasových dutin ve vhodných horninách (obvykle vápence). Podzemní voda soustředěně proudí v hornině v několika málo preferovaných cestách, což má za následek vznik vydatných pramenních vývěrů.



Obr. 1.11: Vliv struktury a textury porézního prostředí na propustnost: a) dobře vytříděný zrnitý materiál, jehož částice vytvářejí vlastní pórovitý systém; b) špatně vytříděný zrnitý materiál s malými částicemi vyplňujícími velké póry; c) částečně uzavřený nespojitý systém vzniklý v neporušených sedimentárních horninách v důsledku působení vody; d) otevřený nespojitý systém vzniklý v neporušených sedimentárních horninách v důsledku mechanického porušení (podle Freeze, Cherry, 1979)

Hladina podzemní vody

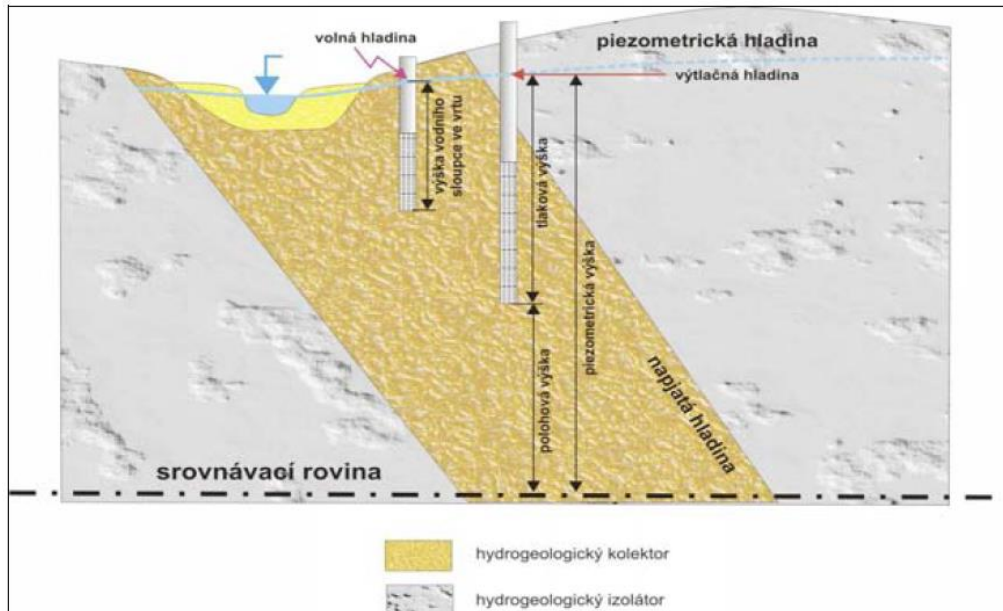
Hladina podzemní vody tvoří rozhraní mezi saturevanou zónou a nesaturevanou zónou v horninovém prostředí. Hladina podzemní vody je významným parametrem pro porozumění zákonitostí stavu zvodně a pohybu podzemní vody v kolektoru (obr.1.12).

Podle **tlakových poměrů na hladině** rozlišujeme hladinu podzemní vody **volnou** nebo **napjatou** (piezometrickou). Pokud je na povrchu zvodně tlak rovný tlaku atmosférickému, nazýváme **hladinu volnou**. Při naražení zvodně s volnou hladinou (např. vrtem) se úroveň hladiny nezmění, zůstane ve stejné úrovni.

Pokud se podzemní voda nachází v propustném prostředí (kolektoru) shora i zezdola ohraničeném relativně nepropustnými horninami (izolátory) a toto prostředí zcela vyplňuje, na povrchu zvodně bývá vyšší tlak než atmosférický a při naražení podzemní vody hladina vystoupí výše, než byla naražena (do takové výšky, jaká odpovídá jejímu tlaku). Takovou hladinu nazýváme **hladinou napjatou** nebo **piezometrickou**. Pokud při naražení zvodně s napjatou hladinou vystoupí nad úroveň terénu, nazýváme tuto **zvodeň artéskou** (nazvána podle kraje Artois v pařížské pánvi, kde byl tento jen prvně pozorován). Tuto hladinu podzemní vody nazýváme **napjatou s pozitivní výtlačnou výškou**). Pokud při naražení napjaté hladiny nedojde k vystoupaní nad úroveň terénu, nazýváme ji **napjatou hladinou s negativní výtlačnou výškou**.

Hladina podzemní vody je ukazatelem energie, tj. hydraulického potenciálu podzemní vody. Z ní můžeme proto zjišťovat proudění podzemní vody, jeho směr i velikost. Z časového vývoje hladiny podzemní vody můžeme usuzovat na přírodní

i antropogenní změny v hydrogeologických poměrech. Pokud používáme termín hladina podzemní vody (volná či piezometrická), mějme na paměti, že jde vždy o plochu (hladinou tedy nemůžeme nazvat bodový údaj o jejím měření). Ze základních fyzikálních pouček plyne, že plocha (rovina) je definována třemi body neležícími v přímce, pokud tedy chceme definovat sklon (= spád, gradient) hladiny podzemní vody, musíme znát minimálně její 3 body neležící v přímce (ve vrtu, ve studni, ve výkopu, v pramenním vývěru apod.).

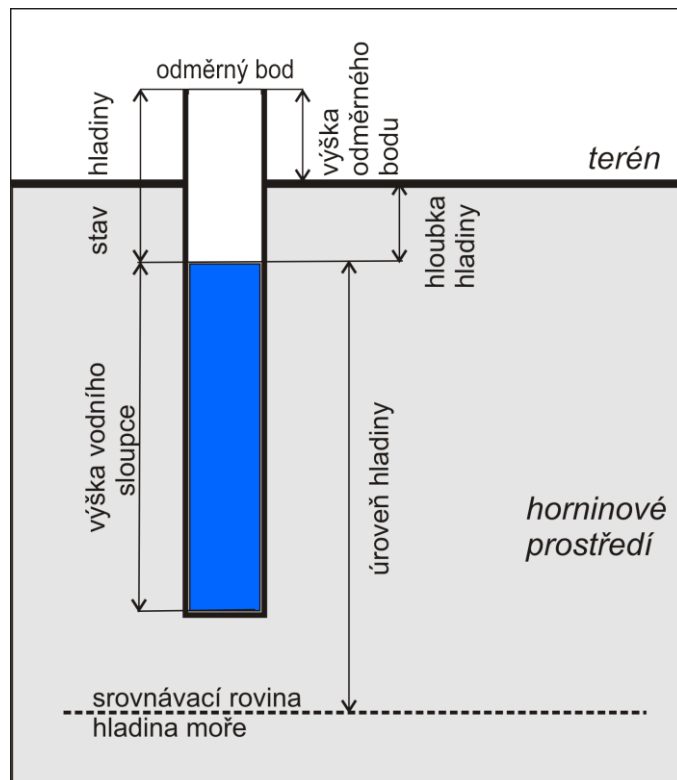


Obr. 1.12: Znázornění některých pojmů při měření hladiny podzemní vody a piezometrické úrovně. (MP MŽP, 2010)

Bodové údaje charakterizující polohu hladiny podzemní vody lze dále rozlišovat:

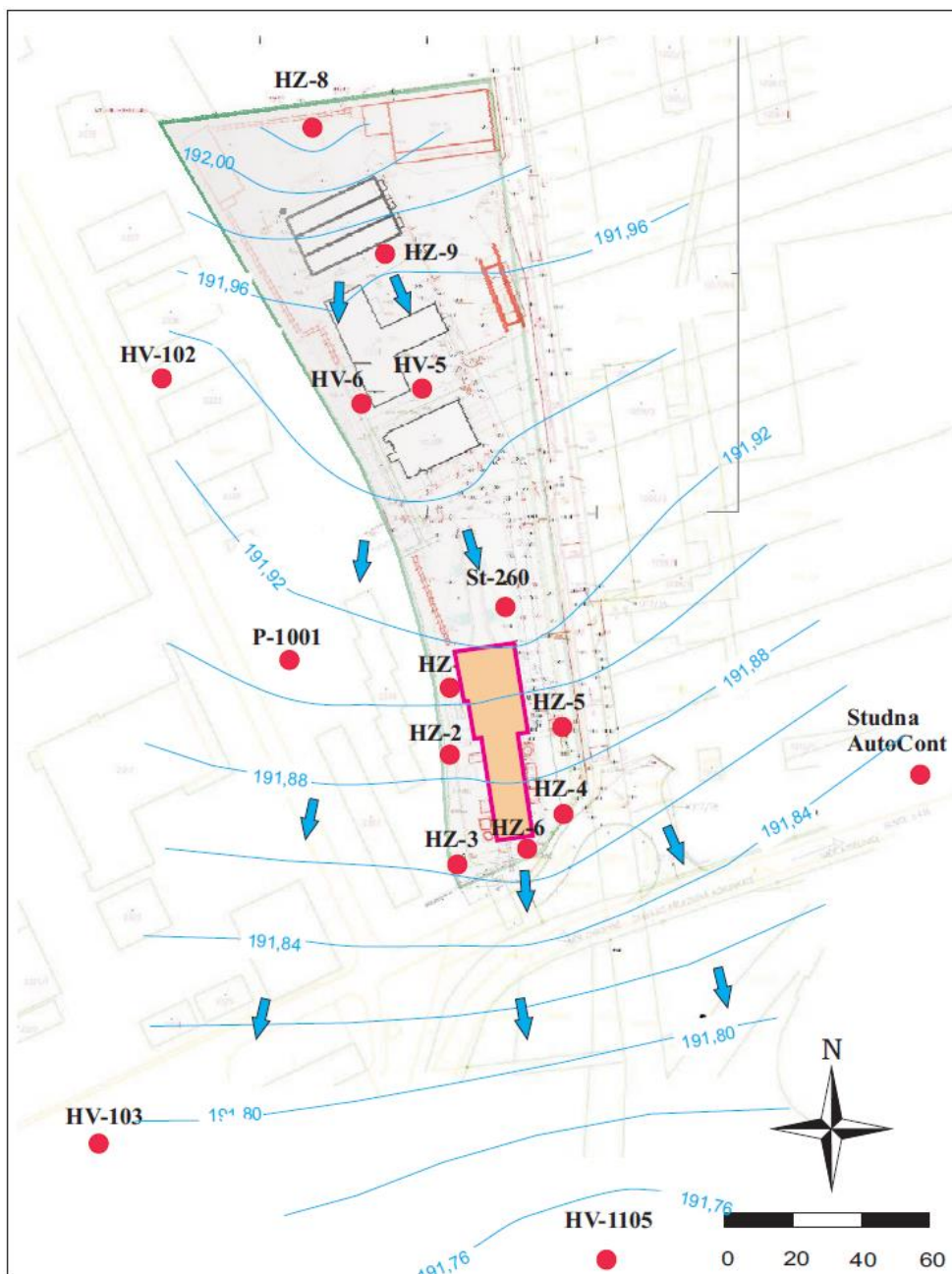
- **Stav hladiny** podzemní vody je vzdálenost hladiny od odměrného bodu (např. okraj pažnice, okraj skruží apod.). Stav hladiny podzemní vody se v čase mění vlivem přírodních i antropogenních činitelů. Tyto změny mají charakter dlouhodobých změn (např. pozvolným poklesem drenážní báze, vyčerpáváním statických zásob podzemní vody apod.), pravidelného kolísání (kolísání srážek nebo odběrů, slapové jevy) nebo rychlého kmitání (účinek zemětřesení nebo jiných seismických vlivů).
- **Úroveň hladiny** podzemní vody (volná nebo piezometrická) je nadmořská výška hladiny (v některých případech se úroveň hladiny může chápat vzdálenost hladiny od jiné srovnávací roviny než je nadmořská výška). Používá se též termín piezometrická výška.
- **Hloubka hladiny** podzemní vody je vzdálenost hladiny od terénu. Jde o důležitý údaj především pro účely zemních prací, zakládání staveb, odvodňování pozemků apod.
- **Výška vodního sloupce** je vzdálenost hladiny podzemní vody od dna vrtu nebo studny.

Znázornění popisovaných pojmů je uvedeno na následujícím obrázku (obr. 1.13).



Obr. 1.13: Znázornění pojmů při měření hladiny podzemní vody

Pokud známe úroveň hladiny podzemní vody jedné zvodně nejméně ve 3 bodech, které neleží na přímce (např. změření hladiny vody ve 3 vrtech), můžeme sestrojiti tzv. **hydroizohypsy** - čáry spojující místa se stejnou nadmořskou výškou (v případě napjaté hladiny můžeme hovořit o **hydroizopiezách**) - viz obr. 1.14. Z průběhu hydroizohyps můžeme zjistit **sklon hladiny podzemní vody**, který je kolmý k jejich průběhu. Ve směru sklonu hladiny podzemní voda proudí, proto z mapy hydroizohyps jsme schopni určit **směr proudění podzemní vody**. K detailnímu studiu se někdy konstruuje tzv. **proudnice** – tj. čáry určující směr proudění podzemní vody v konkrétních místech; jsou vždy kolmé na hydroizohypsy, resp. hydroizopiezy. Pokud nás zajímá hloubka podzemní vody pod terénem, sestrojují se tzv. **hydroizobaty** - čáry spojující místa stejné hloubky podzemní vody pod terénem.



Obr. 1.14: Hydroizohypsy hladiny podzemní vody a stanovení směru proudění podzemní vody (Kohout, 2013)

1.2.5 Hydrogeologický kolektor, izolátor, struktura

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, se nazývá **hydrogeologický kolektor**. Horninové těleso, jehož propustnost je ve srovnání s bezprostředně sousedícím horninovým prostředím o tolik menší, že gravitační voda se jím za jinak stejných hydraulických podmínek může pohybovat mnohem nesnadněji, je **hydrogeologický izolátor**. Oba pojmy se uvažují relativně - tj. tatáž hornina, která má mezi méně propustnými horninami funkci kolektoru (např. poloha hlinitého písku mezi

polohami jílu), může uvnitř relativně propustnějších hornin působit jako izolátor (např. tatáž písčité poloha uvnitř mocné polohy čistých štěrků). Není správné tvrdit, že izolátor je tvořen nepropustnou horninou. Každá hornina je určitým způsobem propustná a jde pouze o relativní vztah k okolí, které může být více nebo méně propustné. Kolektor a izolátor jsou pojmy vztahující se k horninovému prostředí, tzn. že nemusí nutně obsahovat podzemní vodu. Hovoříme proto o **zvodněných, částečně zvodněných a nezvodněných kolektorech** (totéž platí i o izolátorech, v nichž se obvykle také nachází podzemní voda, byť v menším množství a spíše kapilárně či sorpčně vázaná). Obvykle se dvě sousední horniny mohou nazvat kolektorem a izolátorem, pokud je rozdíl jejich propustnosti minimálně 1,5-2 řády.

Někdy se používá pro charakterizaci izolátorů detailnější dělení na **poloizolátor** a **izolátor**. Za **poloizolátor** je považováno prostředí, vyznačující se relativně nižší propustností v porovnání se sousedícím kolektorem, ale umožňující určitý pohyb a průtok podzemní vody napříč poloizolátorem. Naproti tomu **izolátor** je prostředí se zcela zanedbatelnou propustností.

Gravitační podzemní voda obsažená v kolektoru vytvářející souvislou akumulaci v hornině, tzn. hydraulicky jednotné těleso (vodní útvar) v pásmu nasycení, nazýváme **zvodeň**. Horním povrchem zvodně je hladina podzemní vody. Je třeba proto rozlišovat mezi pojmy kolektor (horninové prostředí) a zvodeň (těleso podzemní vody v kolektoru).

Podle podle charakteru svrchního omezení zvodně rozlišujeme následující základní typy zvodní:

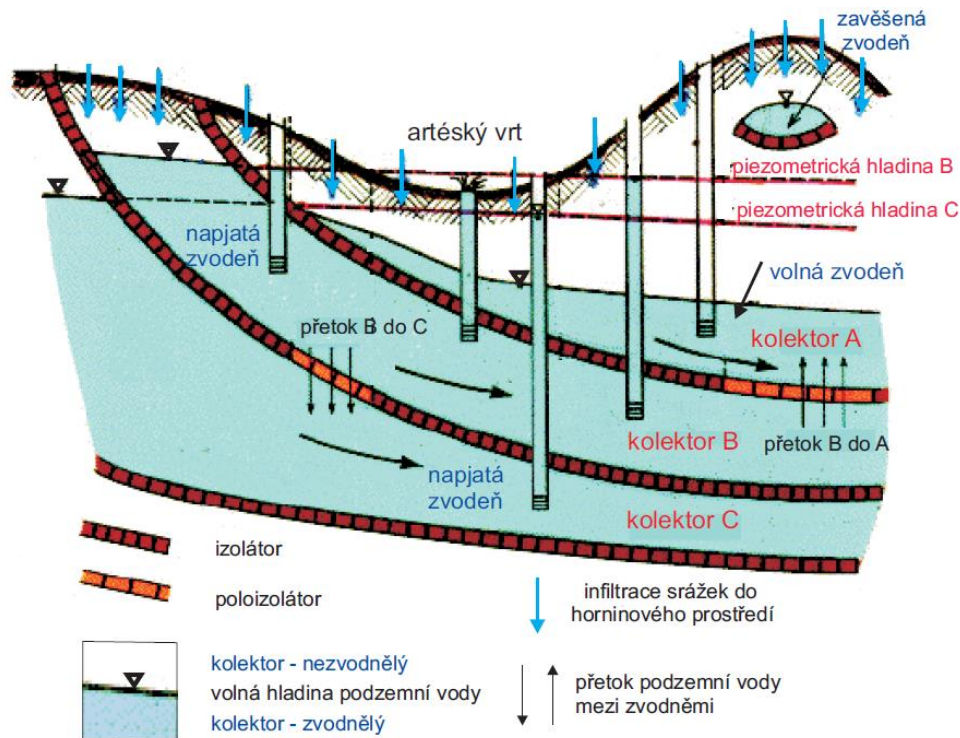
- zvodně volná, tj. s volnou hladinou podzemní vody (unconfined aquifer),
- zvodně napjatá, tj. s napjatou hladinou podzemní vody (confined aquifer),
- zvodně zavěšená (perched aquifer).

Zvodně volná představuje zvodně s takovou hladinou podzemní vody, na níž působí tlak, který se rovná tlaku atmosférickému. Svrchní hranici zvodně tvoří tzv. hydrogeologická hranice (nestabilní, proměnná s dotací nebo úbytkem vody v systému); spodní hranici tvoří geologická hranice (stabilní, daná např. rozhraním vrstev). Nad hladinou podzemní vody se nalézá tzv. nesaturovaná zóna (pásmo provzdušnění nebo aerace); pod hladinou podzemní vody, kde jsou póry nebo pukliny zcela vyplněny vodou (saturovaná zóna). Při naražení zvodně (např. vrtem) hladina zůstane ve stejné úrovni.

Zvodně napjatá se vytváří v hydrogeologickém kolektoru, který je z obou stran obklopen izolátory (svrchní i spodní hranice zvodně je geologická). Hladina podzemní vody má vyšší hydrostatický tlak, než je atmosférický tlak, proto by vystoupila nad strop kolektoru, pokud by zde byla propustná vrstva nebo se nacházel vrt (studna). Takovou hladinu nazýváme hladinou napjatou nebo piezometrickou (viz. též kapitola 1.2.4).

Zvodně zavěšená odpovídá hydraulicky jednotné akumulaci volné podzemní vody nacházející se uvnitř nesaturované zóny nad povrchem lokálních hydraulických izolátorů.

Objasnění pojmů je patrné z obrázku 1.15.



Obr. 1.15: Znázornění hydrogeologické struktury a typů zvodní

Pod pojmem **hydrogeologická struktura** rozumíme geologické prostředí, v němž nastává ucelený oběh podzemní vody. Zahrnuje infiltrační území, oběhové cesty, místa akumulace a místa drenáže (odvodnění). Hydrogeologický režim je souhrn zákonitostí, které ovlivňují vznik, výskyt, pohyb a složení podzemní vody v horninovém prostředí a jejich změny v čase. V některých pracích se místo pojmu hydrogeologická struktura používají termíny **geohydrodynamický systém** či **zvodněný systém**. Existuje několik hlavních typů hydrogeologických struktur, které se vytvářejí v různých geologických podmínkách. Tyto struktury lze rozdělit na:

- **struktury s průlinovou propustností horninového souboru a volnou hladinou podzemní vody**, obvykle v prostředí kvartérních a terciérních sedimentů blízko povrchu,
- **struktury s puklinovou či průlino-puklinovou propustností horninového souboru s volnou až mírně napjatou hladinou podzemní vody** v prostředí hornin krystalinika a starších sedimentárních komplexů,
- **struktury pánevní s puklino-průlinovou propustností horninového souboru s volnou až napjatou hladinou podzemní vody**. Nejvýznamnějšími pánevními hydrogeologickými strukturami jsou česká křídová pánev, polická pánev a jihočeské pánve). V těchto strukturách existují nejvýznamnější a největší zásoby kvalitních podzemních vod v ČR,
- **struktury s krasovou a pseudokrasovou propustností horninového souboru s velkou rychlostí proudění podzemní vody** (karbonátové horniny a horniny s intenzivním tektonickým porušením).

1.2.6 Prameny a další vývěry podzemní vody

Podzemní voda vyvěrá z hydrogeologické struktury na **povrch přirozeně** (v místě drenáže této struktury) nebo **vlivem umělého zásahu** (vrt, štola apod.). Přirozený vývěr je zakončením oběhu podzemní vody, která se vývěrem na povrch mění na vodu povrchovou.

Hydrogeologická struktura se může odvodňovat ve formě **skrytých vývěrů** (např. do fluvialních sedimentů toku nebo přímo do koryta toku) nebo jako **pramen** (vývěr na povrch). Skryté vývěry i prameny mohou být soustředěné do 1 místa, mohou tvořit linii (např. podél propustné tektonické zóny), nebo mohou tvořit plošně rozptýlené vývěry a prameniště.

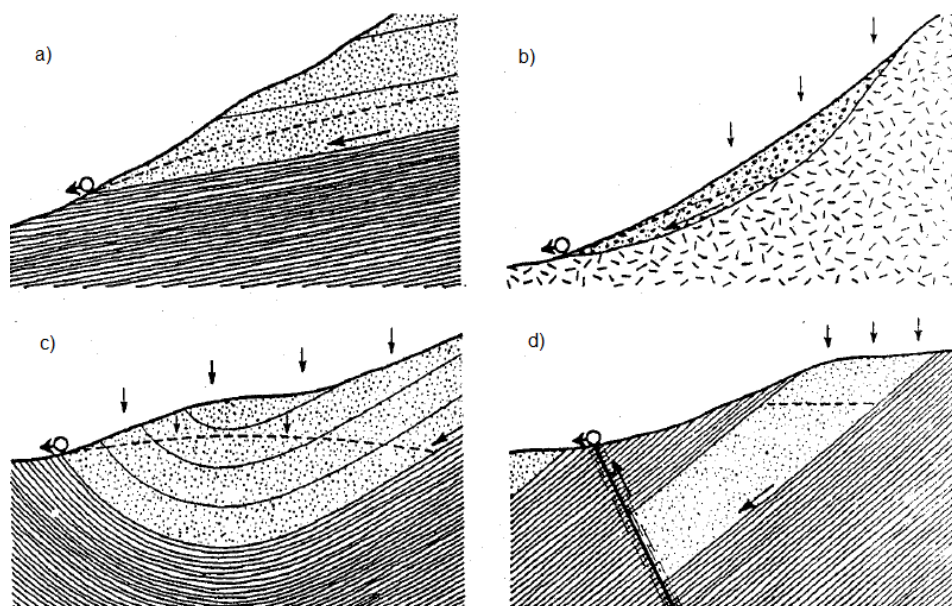
Skryté vývěry se projevují postupným nebo náhlým zvýšením průtoku povrchového toku bez viditelného přítoku povrchové vody. Vývěry podzemní vody se mohou projevovat i trvalými zamokřenými plochami v jinak suchém území, vlhkostními společenstvy rostlin apod.

Základní charakteristikou pramene je jeho vydatnost v l/s, důležitou charakteristikou je kolísání vydatnosti v čase a dále teplota vody a její kolísání. Z těchto charakteristik můžeme usuzovat na původ vyvěrající vody, velikost a hloubku oběhu. Čím více vydatnost pramene kopíruje s jistým zpožděním průběh atmosférických srážek, tím je oběh pramene mělký a doba zdržení vody v horninovém prostředí menší. Podobně prameny mělkého oběhu kopírují průběh sezónních změn teplot. Čím hlubší a vzdálenější oběh podzemní vody, který se pramenem odvodňuje, tím je vydatnost pramene stálější, nezávislejší na aktuálních srážkách a také teplota je stálější, případně její výkyvy jsou výrazně zpožděné oproti průběhu atmosférických teplot.

Nedílnou součástí sledování pramenů je zjišťování kvality a složení vyvěrající vody, její změny a kolísání v čase. Je třeba se zabývat i některými souvisejícími jevy, jako např. existence různých sedimentů, srážení minerálů z vyvěrající vody, výrony plynů atd.

Existuje velké množství klasifikací pramenů. Např. podle **směru proudění** podzemní vody směrem k vývěru dělíme prameny na **sestupné, vzestupné a přetékavé** (bariérové). Podle **geologického původu** můžeme rozlišovat prameny **vrstevné, puklinové, suťové, zlomové, krasové**, podle **morfologické situace** rozlišujeme prameny **údolní, svahové, terasové, vrcholové**, podle **časové stálosti** můžeme vydělit prameny **stálé, pravidelně a nepravidelně kolísavé, občasné**, atd.

Ukázky základních typů pramenů jsou znázorněny na obrázku 1.16.



Obr. 1.16: Základní typy pramenů: a) – vrstevný, b) - suťový, c) – přetékavý, d) – vzestupný podle zlomu. Tečkované polohy – **kolektory**, šrafované - **izolátory** (upraveno dle Kettner, 1954)

1.2.7 Zdroje podzemních vod, zásoby podzemních vod a využitelné množství podzemních vod

Důležitou součástí hodnocení podzemních vod je zjišťování jejich množství za účelem jejich využití. Toto bilancování podzemních vod probíhá pro jednotlivé hydrogeologické struktury rozčleněné v souladu s legislativními předpisy na hydrogeologické rajony, případně pro vodní útvary (**podrobněji je problematika popsána v kapitole 2.2 a 2.3**).

Ocenění zdrojů podzemních vod je důležitým kvantitativním podkladem, zejména při oceňování využitelného množství podzemních vod. Velikost zdrojů podzemních vod vymezuje časové limity a proměnlivost přítoku podzemních vod do určitého území v rámci bilančního celku. Rozlišují se tři typy zdrojů podzemních vod: přírodní, indukované a umělé (Krásný, 2012).

Přírodní zdroje podzemní vody představují množství podzemní vody v přírodních podmínkách obnovitelné a průběžně obnovované infiltrací srážek (vsakem), vcezením z povrchových toků a nádrží, ale také přetékáním z okolních zvodněných systémů (kolektorů) do **hodnocené hydrogeologické struktury** (viz. **kapitola 1.2.3**). Přírodní zdroje podzemních vod jsou vyjadřovány v l/s, v m³/s či jiných objemových jednotkách za čas jako veškeré přírodní zdroje podzemních vod určitého hydrogeologického celku anebo jako jejich specifická hodnota vztažená na plochu příslušného hydrogeologického celku (v l.s⁻¹.km⁻²).

Indukované zdroje podzemní vody představují množství podzemní vody, které přitéká do hydrogeologické struktury v důsledku tlakových změn na hranicích této struktury vyvolaných umělým zásahem (obvykle jímáním podzemní vody). Indukované zdroje vznikají nejčastěji vytvořením hydraulických podmínek pro vznik nebo zvětšení infiltrace z recipientů povrchové vody - břehová infiltrace (např. v blízkosti jímacího území), dále vytvořením hydraulických podmínek pro přetékání podzemních vod

z nadložních, podložních nebo ze sousedních kolektorů nebo pro vznik a zvětšení infiltrace ze srážek (Krásný, 2012).

Umělé zdroje podzemní vody jsou vytvářeny doplňováním vody do hydrogeologické struktury v důsledku lidské činnosti, ať již samovolně (např. úniky z vodovodních a kanalizačních sítí), nebo záměrně (např. umělé infiltrace povrchových vod pro zvýšení disponibilního množství přírodních zdrojů – příkladem je Vodárna Káraný) – Krásný, 2012.

Kromě zdrojů podzemní vody jsou možnosti využívání podzemních vod významně ovlivněny **akumulačními schopnostmi prostředí**, určujícími objem podzemní vody v příslušném hydrogeologickém celku, tj. zásoby podzemních vod (dříve statické zásoby). Zásoby podzemních vod dělíme na **gravitační** a **pružné**.

Gravitační zásoby je termín používaný pro objem gravitačně pohyblivé vody v hydrogeologické struktuře (v kolektorech s volnou hladinou statické zásoby odpovídají objemu pórů zvodněné části kolektoru, tedy pórovitosti). V napjatých kolektorech pak hrají roli i tzv. **pružné zásoby podzemních vod**. Je to objem vody, který se uvolní po snížení piezometrického napětí ze zvodněného kolektoru v důsledku pružnosti kolektoru, tj. zvětšení objemu akumulované vody v souvislosti s její objemovou stlačitelností (**podrobněji je problematika popsána v kapitole 1.3**).

Bez průběžného doplňování zdrojů podzemní vody (tzv. **dynamické složky zásob podzemních vod**) by se při dlouhodobém využívání podzemních vod odčerpávaly pouze gravitační a pružné zásoby, a hladina podzemní vody by tak trvale klesala, až by se kolektor zcela osušil. Zásadní je proto stanovit velikost odběrů podzemní vody v každé hydrogeologické struktuře jen do takové velikosti, která je nižší než přírodní zdroje, tedy množství, které se průběžně doplňuje. Obvykle nestačí, když jsou odběry na úrovni přírodních zdrojů, protože musíme počítat i s potřebným zachovaným odtokem podzemní vody, který zajistí tzv. minimální zůstatkové průtoky na vodních tocích v době sucha kvůli ochraně vodních a na vodu vázaných ekosystémů, v některých případech je třeba zachovat průtok na tocích pro potřeby vodních elektráren, pro potřeby chladicí vody pro jaderné elektrárny apod. Aby nevznikaly problémy s napjatostí vodní bilance, povolené odběry musí být výrazně nižší než vypočtené přírodní zdroje podzemních vod.

V této souvislosti byl proto definován termín **využitelné množství podzemní vody**. Jde o takové množství podzemní vody, které lze z technickoekonomického hlediska racionálně získávat z hydrogeologického kolektoru při daném režimu využití, při vyhovující jakosti vody během uvažovaného období využití, za akceptovatelného ovlivnění okolního životního prostředí a odtokových poměrů povrchových vod.

Trvale využitelné množství podzemní vody (sustainable groundwater development) je vyjadřováno disponibilními přírodními, popř. indukovanými či umělými zdroji podzemní vody v určitém hydrogeologickém celku sníženými o množství vody, které je nezbytné k zachování ekologické rovnováhy, spočívající např. v udržení potřebného minimálního toku ve vodních tocích, zamezení zániku pramenů a vysychání mokřadů. Situace, kdy jsou tyto limity překročeny a dochází k větším odběrům podzemní vody, bývá označována jako nadměrné čerpání, „těžba“ podzemních vod (Krásný, 2012).

1.3 POHYB PODZEMNÍ VODY V HORNINOVÉM PROSTŘEDÍ

Jak již bylo uvedeno v kapitole 1.2.1, podzemní voda v horninovém prostředí je součástí hydrologického cyklu, tj. dochází k jejímu pohybu v horninovém prostředí - proudění. Toto proudění probíhá jak v horizontálním (subhorizontálním), tak i ve vertikálním směru. V nenasycené zóně horninového prostředí převládá vertikální složka, v nasycené zóně horizontální složka proudění. Podzemní voda se dostává do pohybu především účinkem gravitace a proudí propustnými polohami ve směru úbytku energetického potenciálu, vyjádřeného piezometrickou výškou. Rychlost proudění je obecně dána hydraulickým gradientem (gradientem piezometrické výšky, pro kolektory s volnou hladinou gradientem úrovně hladiny podzemní vody) a odporem, který klade proudící podzemní vodě horninové prostředí.

Problematikou zákonitostí, chování a proudění podzemních vod v horninovém prostředí se zabývá **hydraulika podzemních vod**. Z hlediska hydrauliky podzemní vody jsou významné ty charakteristiky horninového prostředí, které určují jeho schopnost vést a akumulovat vodu. Tyto charakteristiky jsou závislé na objemu a geometrii (rozměrech a vzájemném propojení) volných prostorů v horninovém prostředí.

1.3.1 Typy horninového prostředí z hlediska hydrauliky

Volné prostory v horninovém prostředí je možné rozdělit do dvou kategorií: **póry** a **pukliny**.

Póry vznikly současně se vznikem horniny, například jako prostory mezi zrny při sedimentaci klastického materiálu. Porézní horninové prostředí je možné si představit jako spleť vzájemně propojených kanálků. Póry v horninovém prostředí mají různou velikost a můžeme je rozdělit do několika kategorií:

1. Ultrakapilární póry - které jsou tak malé, že nemohou obsahovat částice tekutiny, tj. jsou menší než střední volná dráha molekuly tekutiny. Tyto póry se nepodílejí na proudění podzemní vody, jsou ale důležité pro další procesy, např. rozpouštění.

2. Kapilární póry – jsou takového rozměru, že dvě nemísitelné kapaliny jsou uvnitř póru odděleny rozhraním, jehož tvar je určen tvarem póru a silami, které působí na rozhraní. Vznikají kapilární menisky. Kapilární póry lze dále rozdělit do dvou subkategorií:

- **Jemné kapilární póry** jsou takové póry, ve kterých je voda vázána kapilárními silami a je většinou nemobilní. Transport rozpuštěných látek do jemných kapilárních pórů probíhá zpravidla pouze difúzí, na základě koncentračního gradientu.
- **Hrubé kapilární póry** jsou takové póry, ve kterých se ještě uplatňují kapilární síly, ale ve kterých dochází k proudění vody. Tyto póry se podílejí hlavní měrou na proudění podzemní vody a transportu rozpuštěných látek v horninovém prostředí.

3. Makropóry (nekapilární póry) – velké póry, ve kterých se již neuplatňují kapilární síly. Proudění vody v těchto pórech může být i turbulentní. Makropóry se uplatňují spíše v hydrogeologii, tj. v proudění půdní vody.

Podíl objemu pórů na celkovém objemu horninového prostředí se nazývá **porozita - m** (popř. celková porozita), podíl objemu té části pórů, která se podílí na proudění podzemní vody k celkovému objemu horniny je tzv. **efektivní** nebo **účinná porozita - m_e**.

Velikost efektivní porozity je vždy menší, než celková porozita. Celková porozita u nezpevněných hornin se pohybuje mezi 0,25 a 0,70. Nejnižší hodnoty dosahuje celková porozita u špatně vytříděných písků a štěrkopísků, nejvyšší hodnoty může dosahovat celková porozita u jíly. Naproti tomu, efektivní porozita dosahuje nejvyšších hodnot u štěrků a hrubozrnných písků (0,16 – 0,20), nejnižší hodnot (0,01 – 0,05) dosahuje pro jíly. Je tedy patrné, že jíly se vyznačují největším rozdílem mezi celkovou a efektivní porozitou. Je to důsledek vysokého zastoupení ultrakapilárních a jemných kapilárních pórů na celkové porozitě.

Dalším fenoménem, podílejícím se na proudění podzemní vody v horninovém prostředí jsou **pukliny**. Pukliny představují zpravidla síť volných prostor deskovitého tvaru, které vznikly sekundárně, v důsledku uvolňování mechanického napětí v horninovém masívu, např. při jeho chladnutí, nebo v důsledku tektonických pohybů. Pukliny se uplatňují pouze ve zpevněných horninách a představují velmi často zóny preferovaného proudění v horninovém prostředí. V puklinách může docházet i k turbulentnímu proudění.

Na základě podílu jednotlivých typů na celkové propustnosti horninového prostředí je možné propustnost kolektoru charakterizovat jako:

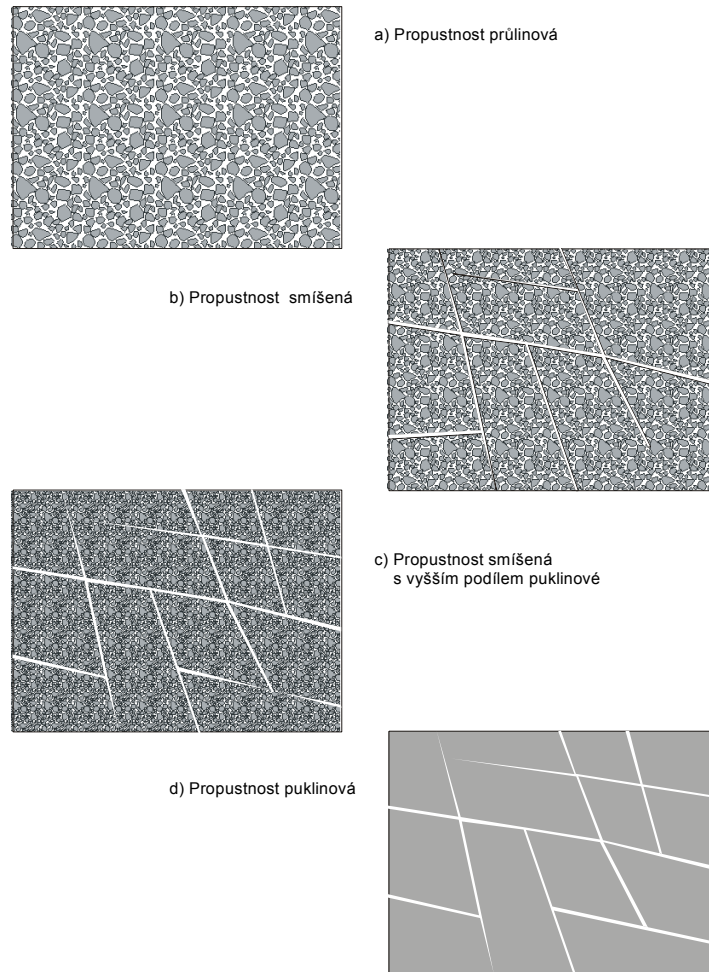
a) Průlinovou – k proudění dochází pouze nebo převážně v hrubých kapilárních pórech (průlinách). Typickým prostředím s průlinovou propustností jsou nezpevněné kvartétní sedimenty (písky, štěrkopísky apod.). Pro průlinové prostředí byla odvozena většina vzorců a hydraulických modelů.

b) Smíšenou – proudění probíhá jak v hrubých kapilárních pórech, tak i v puklinách. Na takovéto prostředí lze většinou aplikovat většinu vzorců a modelů, odvozených pro průlinové prostředí. **Je však nutné zohlednit některá omezení, například možnou přítomnost preferovaných cest proudění, tj. např. puklin s vysokou vodivostí, které mohou zásadním způsobem zkreslit výsledky hodnocení hydrodynamických zkoušek.** Typickým příkladem smíšené propustnosti mohou být kolektory české křídové pánve.

c) Puklinovou – proudění probíhá především v puklinách horninového masívu. Pokud je síť puklin rovnoměrná a pravidelná, lze v regionálním měřítku použít některé postupy a modely odvozené pro průlinové prostředí. Extrémním příkladem puklinového prostředí jsou krasové vápencové oblasti - tzv. **krasová propustnost** bývá také vydělována jako zvláštní typ propustnosti.

V případě, že horninový masív má, kromě puklinové propustnosti, významný objem pórů, transport do prostorů mimo puklinu probíhá většinou difuzí.

Typy propustnosti jsou znázorněny na obrázku 1.17.



Obr. 1.17: Typy propustnosti horninového prostředí

Horninové prostředí lze charakterizovat také podle prostorového rozložení propustnosti. V případě, že sledovaná vlastnost má v každém bodě horninového prostředí ve všech směrech stejnou velikost, je **prostředí izotropní**. Pokud velikost dané vlastnosti závisí na směru, jedná se o **anizotropní prostředí**.

Pokud je propustnost v různých bodech horninového prostředí různá, prostředí je **nehomogenní**, pokud jsou vlastnosti v každém bodě horninového prostředí stejné, je prostředí **homogenní**. **Přírodní prostředí je možné většinou charakterizovat jako nehomogenní a anizotropní.**

1.3.2 Darcyho zákon

V polovině 19. století byl francouzským inženýrem Henry Darcym experimentálně odvozen vztah o zákonitostech proudění vody v porézním horninovém prostředí. Darcy zkoumal zákonitosti proudění vody v trubcích, naplněných různými druhy písku. Zjistil, že objem vody, která za časovou jednotku proteče trubcí, je přímo úměrný rozdílu piezometrické úrovně hladiny na začátku a na konci trubice, průřezu trubice a nepřímo úměrný délce použité trubice. Konstanta úměrnosti - **koeficient hydraulické vodivosti** - vyjadřuje odpor porézního prostředí vůči proudění vody.

Darcyho zákon lze vyjádřit podle vztahu:

$$Q = k \cdot \frac{h_1 - h_2}{L} \cdot S$$

kde Q - průtok trubicí ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)

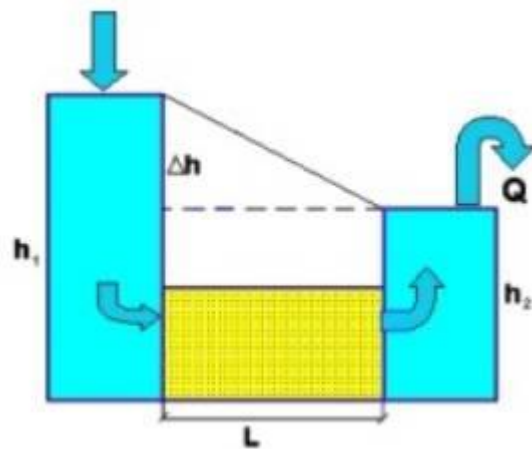
h_1 - piezometrická výška na začátku trubice (m)

h_2 - piezometrická výška na konci trubice (m)

L - délka trubice (m)

S - plocha průřezu trubice (m^2)

k - koeficient hydraulické vodivosti ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)



Obr. 1.18: Znárodnění Darcyho pokusu (podle Marschalko M.)

Zobecníme-li výše uvedený vzorec pro jednotkový průměr válce a pro proudění v souřadnicovém systému v kladném směru osy x , lze Darcyho zákon psát v obecném tvaru:

pro jednorozměrný systém

$$\bar{v} = -k \cdot \frac{dh}{dx}$$

nebo

pro třírozměrný systém

$$\bar{v} = -k \cdot \text{grad}(h)$$

kde \bar{v} - filtrační rychlost proudění (průtok jednotkovým průřezem kolektoru)

$\text{grad}(h)$ - hydraulický gradient.

Je tedy zřejmé, že filtrační rychlost je **vektor**, který má směr maximálního gradientu hydraulického potenciálu (který určen piezometrickou výškou, respektive úrovní hladiny podzemní vody) a velikost přímo úměrnou tomuto spádu. Protože ve skutečnosti voda neproudí celým průřezem trubice (trubice je vyplněna pískem), ale pouze částí pórů (efektivní porozita m_e), **filtrační rychlost v** není skutečnou rychlostí částic vody v horninovém prostředí, ale rychlostí zdánlivou, jakou by se voda v trubici pohybovala v případě, že by vyplňovala celý objem trubice. Skutečnou **lineární rychlost v_{lin}** prostupu vody porézním horninovým prostředím, potřebnou například při odhadu šíření kontaminace je možné vypočítat dělením filtrační rychlosti **efektivní porozitou m_e** :

$$v_{lin} = \frac{\bar{v}}{m_e}$$

Pozn.:

Z Darcyho zákona tedy vyplývá, že **koeficient hydraulické vodivosti k** (rozměr $m.s^{-1}$) vyjadřuje velikost odporu, který klade porézní horninové prostředí proudící vodě o dané kinematičké viskozitě za ustálených podmínek. Koeficient hydraulické vodivosti odpovídá průtoku vody jednotkovým průřezem porézního prostředí při jednotkovém hydraulickém gradientu.

Je potřeba rozlišovat **koeficient hydraulické vodivosti** a **koeficient propustnosti**, který je nezávislý na vlastnostech proudící kapaliny a je označován **K** . Vztah koeficientu hydraulické vodivosti a koeficientu propustnosti je možné vyjádřit rovnicí:

$$k = K \frac{\gamma}{\eta} = K \frac{g}{\nu}$$

- kde γ - měrná tíha vody
- η - dynamická viskozita vody
- g - tíhové zrychlení
- ν - kinematičká viskozita vody

Vzhledem k tomu, že přírodní horninové prostředí je zpravidla anizotropní, může mít hodnota **koeficientu hydraulické vodivosti k** v každém směru jinou velikost. Obecně se tedy jedná o tenzor. Zpravidla největší rozdíl je mezi velikostí hodnoty koeficientu hydraulické vodivosti v horizontálním a ve vertikálním směru, jejichž poměr se běžně pohybuje okolo 10.

1.3.3 Další hydraulické charakteristiky zvodněného horninového prostředí

Hydraulické charakteristiky zvodněných formací horninového prostředí dělíme na **odporové charakteristiky**, **kapacitní charakteristiky** a **kapacitně-odporové charakteristiky** (Šráček, 2003).

Odporové charakteristiky

Odporové charakteristiky definují schopnost zvodněného horninového prostředí propouštět kapaliny. Základními odporovými charakteristikami jsou už dříve uvedené koeficient hydraulické vodivosti k a koeficient propustnosti K .

Dalším parametrem je **koeficient transmisivity (transmisivita) T** ($\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$). Je to veličina, která definuje schopnost zvodněného kolektoru jednotkové šířky průtočného průřezu o dané mocnosti propouštět určité množství vody s danou kinematickou viskozitou při hydraulickém gradientu rovném jedné (ČSN 750110). Jedná se o veličinu, zohledňující vliv mocnosti zvodněného kolektoru na průtok, protože při stejné hodnotě koeficientu hydraulické vodivosti protéká zvodní o vyšší mocnosti větší objem kapaliny (Šráček, 2003). Vztah ke koeficientu hydraulické vodivosti je možné definovat vztahem:

$$T = k \cdot H$$

kde H - nasycená mocnost kolektoru

Další odporovou charakteristikou je parametr **specifická vydatnost q** ($\text{l} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$), která udává podíl čerpaného množství a odpovídajícího ustáleného snížení hladiny ($q = Q/s$). Tato hodnota definuje vydatnost vrtu při snížení hladiny nebo piezometrické úrovně vody ve vrtu o 1 m. Specifická vydatnost je v praxi svou hodnotou blízká velikosti koeficientu transmisivity (pokud se neprojeví vliv okrajové podmínky).

Podle zkušeností z praxe se hodnoty koeficientu hydraulické vodivosti pohybují u velmi dobře propustných materiálů (štěrkopísky, písky a hrubozrnné pískovce) v řádu 10^{-2} až $10^{-4} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Hodnoty 10^{-5} – $10^{-6} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ukazují na ulehlé písky, pískovce, prachovce apod. Řád $10^{-7} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ a nižší charakterizuje horniny poloizolátorů a velmi málo propustných kolektorů (jílovce, slínovce, krystalinikum aj.). U pevných hornin mohou být hodnoty koeficientu hydraulické vodivosti do značné míry ovlivněny rozpukáním, které propustnost prostředí i řádově zvyšuje.

Klasifikace transmisivity podle Krásného (1977) je uvedena v tabulce 1.2, klasifikace horninového prostředí podle koeficientu hydraulické vodivosti podle Jetela (1982) v tabulce 1.3.

Tabulka 1.2: Klasifikace kolektoru podle transmisivity

q ($\text{l} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$)	T ($\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$)	třída průtočnosti	označení průtočnosti	vodohospodářský význam
> 5,0	> $6 \cdot 10^{-3}$	I	velmi vysoká	velké soustředěné odběry
5,0	$6 \cdot 10^{-3}$	II	vysoká	soustředěné odběry menšího významu
1,0	10^{-3}	III	střední	rozptýlené, nevelké odběry místního významu
0,1	10^{-4}	IV	nízká	jednotlivé, nepravidelně využívané odběry pro místní zásobování
0,01	10^{-5}	V	velmi nízká	jednotlivé, nepravidelně využívané odběry pro místní zásobování s omezenou spotřebou
0,001	10^{-6}	VI	nepatrná	zajištění místního zásobování je i při omezené místní spotřebě obtížné, často nemožné

Tabulka 1.3: Klasifikace hornin podle koeficientu hydraulické vodivosti

k m.s ⁻¹	třída propustnosti	označení hornin podle stupně propustnosti
>1.10 ⁻²	I	velmi silně propustné
>1.10 ⁻³	II	silně propustné
>1.10 ⁻⁴	III	dosti silně propustné
>1.10 ⁻⁵	IV	mírně propustné
>1.10 ⁻⁶	V	dosti slabě propustné
>1.10 ⁻⁷	VI	slabě propustné
>1.10 ⁻⁸	VII	velmi slabě propustné
<1.10 ⁻⁸	VIII	nepatrně propustné

Kapacitní charakteristiky

Kapacitní charakteristiky popisují schopnost zvodněného horninového prostředí akumulovat a uvolňovat kapalinu.

Základní veličinou je **zásobnost (storativita) S** (bezrozměrná veličina), která udává schopnost kolektoru uvolnit určitý objem vody při poklesu tlaku. U zvodně s volnou hladinou je to objem vody uvolněný gravitací z jednotkového objemu a nazývá se **volná zásobnost S_v**. U zvodně s napjatou hladinou je to objem uvolněné vody při poklesu piezometrické úrovně o 1 m a používá se pro něj pojem **pružná zásobnost S_p**.

Velikost volné storativity (přibližně odpovídá velikosti efektivní porozity) je možno odhadovat podle různých autorů v odborných publikacích. Jeho hodnota pro šterky, šterkopísky a hrubozrnný písek se pohybuje v rozmezí 15 - 35 %, u písků a pískovců dosahuje 5 až 20 %. U jílu, jílovců, prachovců a jílovitých pískovců dosahuje jednotek %, pro břidlice a vápence vychází v rozsahu 0,5 - 5 %. U pevných hornin v přírodním prostředí opět zvyšuje hodnoty rozpukanost.

Kapacitně-odporové charakteristiky

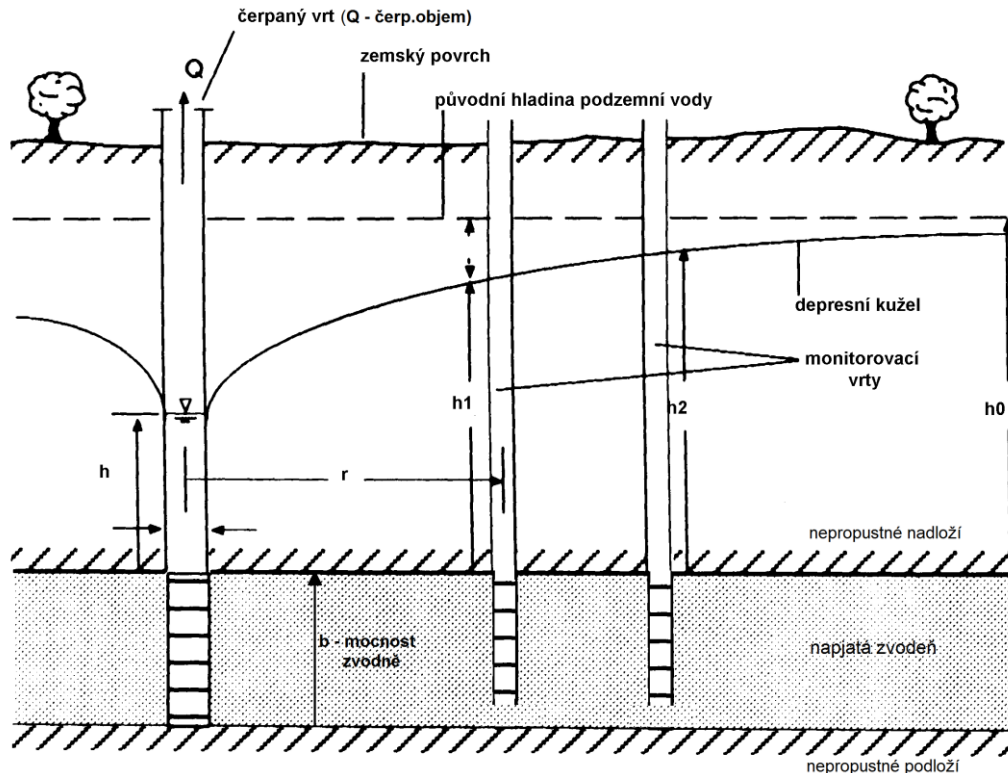
Tyto charakteristiky popisují rychlost šíření hydraulických vzruchů ve zvodněném kolektoru.

Koeficient vodivosti (hydraulické difuzivity) a (m².s⁻¹) je mírou rychlosti šíření změn tlaku nebo ovlivnění hladiny ve zvodněném systému. Je dán poměrem koeficientu transmisivity a storativity:

$$a = \frac{T}{S}$$

1.3.4 Ovlivnění kolektoru čerpáním

Pokud začneme vodu z porézního prostředí čerpat, dojde v čerpaném vrtu vlivem odběru vody ke snížení piezometrické úrovně (hladiny). Voda začne proudit z okolí do perforovaného úseku filtru čerpaného vrtu a v jeho okolí se začíná vytvářet převážně symetrické snížení piezometrické úrovně (hladiny) – tzv. **depresní kužel**. Vertikální řez depresním kuželem je znázorněn pro napjatou zvodně na obrázku 1.19.



Obr. 1.19: Řez depresním kuželem (upraveno dle Todd,1980)

Neustálené proudění (ve smyslu hydrauliky podzemních vod) definujeme jako vytváření depresního kužele v okolí vrtu, které je provázeno změnami hladiny nebo čerpaného množství. Po určité době nastane vyrovnání čerpaného množství a přítoku vody z okolí vrtu a dojde ke stabilizaci depresního kužele. Nastává **ustálené proudění**. Ke vzniku kvaziustáleného proudění může dojít přechodně i v důsledku režimního zvýšení hladiny podzemní vody a zvětšení přítoku vody.

Hydrodynamické zkoušky navrhované a prováděné podle neustáleného proudění podzemní vody umožňují přesnější definování hydrogeologických poměrů, zvláště při existenci pozorovacích objektů.

Vlivem vytvoření depresního kužele dochází ke snížení nasycené mocnosti kolektoru směrem k čerpanému bodu. To znamená, že se **sníží průtočnost** a schopnost horninového prostředí vést vodu. Současně roste vtoková rychlost vody do čerpaného vrtu, může docházet k turbulentnímu proudění, ke strhávání částic horninového prostředí do vrtu (tzv. pískování) i k jeho znehodnocení. Snížení hladiny během čerpání vrtu by nemělo z tohoto důvodu v žádném případě přesáhnout 1/3 vodního sloupce ve vrtu.

Při vymezení ochrany blízkých zdrojů (studní, vrtů) před negativním dopadem čerpání vrtu je nezbytné definovat dosah čerpání **R** (tj. poloměr depresního kuželu). Pro jeho stanovení lze využít také celou řadu empirických výpočtů:

např. **Sichardtův** vztah pro **volnou zvodeň** (Kyrieleis, 1930):

$$R = 3000x(h_0 - h)x\sqrt{k}$$

kde **h₀** – mocnost volné zvodně, **h** – snížení hladiny, **k** – koeficient hydraulické vodivosti.

nebo **Cooper-Jacobův** vztah pro **napjatou zvodeň** lze využít:

$$R = \sqrt{2,25xTx \frac{t}{S}},$$

kde **T** – koeficient transimisivity, **S** – zásobnost (storativita), **t** – doba čerpání.

1.3.5 Hydrodynamické zkoušky

Hydrodynamická zkouška (dále HDZ) je operací, při které se v hloubeném díle (vrtu, studni, šachtě apod.) hydraulicky působí na zvodněný systém (čerpáním, přetokem, nálevem vody apod.) a pozorují se výsledky tohoto působení za účelem určení hydrodynamických parametrů a jiných charakteristik horninového prostředí. V praxi se nejčastěji používají čerpací zkoušky, ale existuje řada dalších typů zkoušek jako tzv. slug-testy, přetokové, stoupací, nálevové, tlakové zkoušky aj. Hydraulické působení v průběhu hydrodynamické zkoušky se projevuje na změnách hladiny na pozorovaných objektech a tyto změny jsou zaznamenávány a vyhodnocovány. Celkové snížení hladiny podzemní vody integruje všechny vlivy zastížené v okolí testovaného objektu. Při navrhování hydrodynamických zkoušek je vhodné se řídit platnou ČSN 73 6614 Zkoušky zdrojů podzemní vody.

Uspořádání a provedení hydrodynamických zkoušek se navrhuje podle cílů hydrogeologických prací, např. pro:

- a) **vodárenský cíl** - stanovení maximálního využitelného množství, nebo ověření požadovaného množství podzemní vody pro zásobování pitnou vodou, míra ovlivnění přírodních podmínek v okolí jímání,
- b) **inženýrský cíl** - návrh odvodnění stavebních jam, umělé snížení hladiny podzemní vody, stanovení odpovídajících čerpaných množství a míry ovlivnění okolí,
- c) **zjištění fyzikálních vlastností a chemického a biologického složení** podzemní vody při odběru reprezentativních vzorků vody,
- d) **ochrana podzemních vod** - návrhy optimálního čerpání při sanaci podzemní vody a zásahů pro zamezení dalšího šíření znečištění,
- e) **průzkumný cíl** - ověření hydrogeologických poměrů v okolí zkoušeného vrtu a definování systému proudění podzemní vody pro další rozhodování.

Zároveň bývá cílem HZD získání dalších informací průzkumného charakteru:

1. funkce zkoumaných objektů,
2. objasnění hydraulických spojitostí mezi jednotlivými objekty,
3. definování komunikace podzemní vody mezi jednotlivými kolektory,

4. určení hydraulických parametrů a vlastností zkoušeného kolektoru,
5. stanovení vlivu horizontálních a vertikálních okrajových podmínek (vodoteče, ohraničení kolektoru, tektonické linie, vertikální přetékání mezi kolektory aj.),
6. určení rychlosti a směrů pohybu podzemní vody.

Zkoušky je možno podle délky trvání rozdělit na:

- expresní - v trvání hodin nebo desítek minut,
- ověřovací - do 24 hodin,
- krátkodobé - v délce 1 až 3 dny,
- dlouhodobé - do 21 dní,
- poloprovozní - delší než 21 dní.

Při zkoušení vrtu bez dalších pozorovacích objektů je možno provádět zkoušky expresní nebo ověřovací, krátkodobé pro zjištění existence nebo vlivu okrajové podmínky v okolí vrtu. Jsou-li v blízkosti čerpaného vrtu pozorovací objekty, řídí se délka zkoušky odhadovanými hydraulickými parametry a vzdáleností těchto vrtů tak, aby došlo k jejich ovlivnění. Vzdálenost pozorovacích vrtů by měla odpovídat hydraulickým vlastnostem kolektoru. Pak je navrhována zkouška až 3 denní nebo i delší. Minimální ovlivnění hladiny pozorovacího vrtu v průběhu zkoušky by mělo dosáhnout zhruba 20 cm (změnu <10 cm často nelze vyhodnotit).

Dlouhodobé a poloprovozní zkoušky pro ověřování možností jímání podzemních vod se navrhují v několika depresích.

Expresní a ověřovací čerpací zkoušky na vrtech bez pozorovacích objektů mohou být negativně ovlivněny v důsledku vtokových odporů na plášti vrtu a objemu vody ve vrtu. K významným chybám při vyhodnocení dochází zvláště při vytvoření velkého snížení hladiny vody ve vrtu (vlivem vzniku dodatečných odporů při velkých vtokových rychlostech, turbulentního proudění nebo překročením kritické vtokové rychlosti), které je v rozporu i s podmínkami všech metod vyhodnocení zkoušek.

Druhy hydrodynamických zkoušek

Základním typem HDZ jsou **čerpací zkoušky**. Ty je možno provádět s konstantním čerpaným množstvím, nebo při konstantním snížení hladiny podzemní vody ve vrtu.

Zkouška s konstantním snížením je nejjednodušší a navrhuje se v případě, kdy nejsou k dispozici pozorovací vrty a kdy čerpané množství nelze odhadnout. Snížení hladiny ve vrtu by mělo dosahovat max. 1/3 sloupce vody ve vrtu, obvykle stačí snížení o 1 až 2 m od původní ustálené úrovně hladiny.

Stanovení čerpaného množství při zkoušce s $Q = \text{konst.}$ se provádí podle informací ze starších průzkumů pro snížení hladiny max. o 1/4 až 1/3 sloupce vody ve vrtu, nebo na základě orientační zkoušky. Ta vychází ze zkušenosti, že po 2 hodinách čerpání je dosaženo asi poloviny snížení hladiny, které bude vytvořeno po 1 dni čerpací zkoušky. Při orientační zkoušce se tedy udržuje hladina na polovině předpokládaného snížení po dobu 2 hodin a použitá vydatnost čerpání se ponechá pro vlastní čerpací zkoušku. Ta následuje po opětovném nastoupení hladiny ve vrtu na původní úroveň (většinou další den).

Nálevové zkoušky se navrhují v případech, kdy je hladina vody ve velkých hloubkách, nebo při velmi nízkých propustnostech kolektoru a nemožnosti čerpání. Měly by se provádět formou zasakování konstantního množství, nebo udržováním

hladiny na určené zvýšené úrovni po dobu několika hodin. Měření hladiny je nutno provádět v trubce nebo PE hadici zapuštěné pod hladinu ve vrtu.

Přetokové zkoušky je možno provádět na artéských vrtech s piezometrickou úrovní hladiny nad terén a odpovídají čerpacím zkouškám s konstantním snížením.

Stoupací zkoušky by měly trvat alespoň 1/2, nejlépe 2/3 délky čerpací (nebo nálevové či přetokové) zkoušky, nebo doby čerpání do začátku ustalování hladiny u delších čerpacích zkoušek. Při sledování pozorovacích sond se musí potvrdit nástup hladin v ovlivněných vrtech k původní úrovni před začátkem čerpání.

Slug-testy jsou zvláštním typem expresní zkoušky pro stanovení koeficientu hydraulické vodivosti, kdy krátkodobě dochází k umělému vyvolání změny hladiny podzemní vody ve vrtu. Testy v principu odpovídají nálevové zkoušce. Výsledky definují horninové prostředí pouze v těsném okolí vrtu. Jejich velkou předností je možnost ověření vrtů velmi malých průměrů, vrtů s kontaminací a vrtů v prostředí s nízkou propustností. Při zkoušce nedochází k čerpání podzemní vody.

Průběh hydrodynamických zkoušek (záznam snížení hladiny, nebo pokles vydatnosti zkoušeného vrtu) se zaznamenává podle speciálního protokolu v časové řadě, přizpůsobené pro grafické vyhodnocování hydrodynamických zkoušek v logaritmickém měřítku. Tento záznam se označuje jako protokol pro neustálené proudění.

Vyhodnocování hydrodynamických zkoušek

Vyhodnocení hydrodynamických zkoušek se opírá o teorii neustáleného proudění v okolí čerpané studně. Základní rovnici, popisující snížení hladiny podzemní vody s ve vzdálenosti r od osy čerpaného vrtu odvodil C.V. Theis:

$$s = \frac{Q}{4\pi \cdot T} \int_u^{\infty} \frac{e^{-u}}{u} du = \frac{Q}{4\pi \cdot T} W(u)$$

$$u = \frac{r^2 \cdot S}{4T \cdot t}$$

kde S - koeficient jímavosti

T - koeficient transmisivity

t - čas

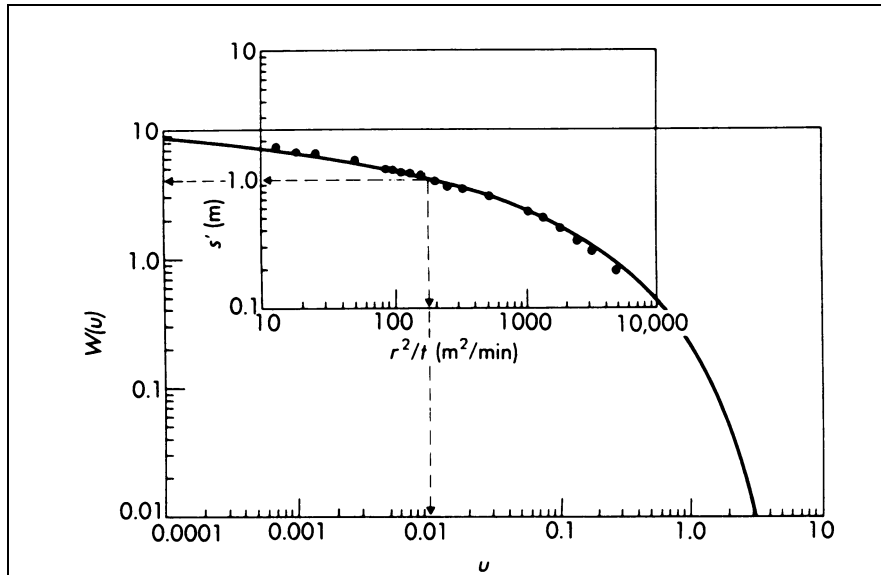
Q - čerpané množství

$W(u)$ je integrální exponenciální funkce, známá jako **Theisova studňová funkce**. Argument u studňové funkce je bezrozměrný a s rostoucím časem klesá. Graf **$W(u)$** proti u , respektive $1/u$, vyneseny v log - log měřítku se nazývá standardní **typová křivka**.

Metoda vyhodnocení je založena na faktu, že vztah mezi u a **$W(u)$** je shodný jako vztah mezi s a r^2/t . Při grafickém vyhodnocení je provedeno porovnání hodnot **snížení s** ve vztahu k r^2/t (záznam hydrodynamické zkoušky) vyneseny v log - log měřítku a typové křivky. Po dosažení nejlepší shody mezi vnesenými naměřenými hodnotami a typovou křivkou je možné odečíst vzájemně si odpovídající hodnoty s a **$W(u)$** , resp. u a r^2/t .

Po dosažení těchto parametrů do výše uvedených rovnic lze vypočítat hledané hodnoty **S** a **T**.

Z porovnání vnesených naměřených dat se standardní typovou křivkou lze usuzovat na vliv okrajových podmínek, zastížených v dosahu deprese. Pro kvantifikaci jejich vlivu byly odvozeny speciální upravené formy standardních křivek, zohledňující daný typ okrajové podmínky. Superpozice naměřených terénních dat přes standardní typovou křivku je znázorněna na obrázku 1.20.



Obr. 1.20: Proložení dat typovou křivkou.

Pro vyhodnocení hydrodynamických zkoušek byly odvozeny zjednodušené tvary Theisovy rovnice, které jsou založeny na jejím převedení na lineární tvar. Toto zjednodušení bývá nazýváno Jacobova aproximace:

$$s = \frac{2,3 \cdot Q}{4\pi T} \log\left(\frac{2,25Tt}{r^2 S}\right)$$

Tato rovnice je v log - normálním zobrazení rovnicí přímkou. Vyneseme-li naměřená data snížení s proti logaritmu času $\log t$, je možné proložit těmito daty přímkou - viz obrázek 1.21.

Hledané hydraulické parametry je možné vypočítat ze sklonu této přímkou a z hodnoty t_0 , kde t_0 je čas ve kterém protíná přímka proložená daty osu x (čas, ve kterém je snížení rovno nule):

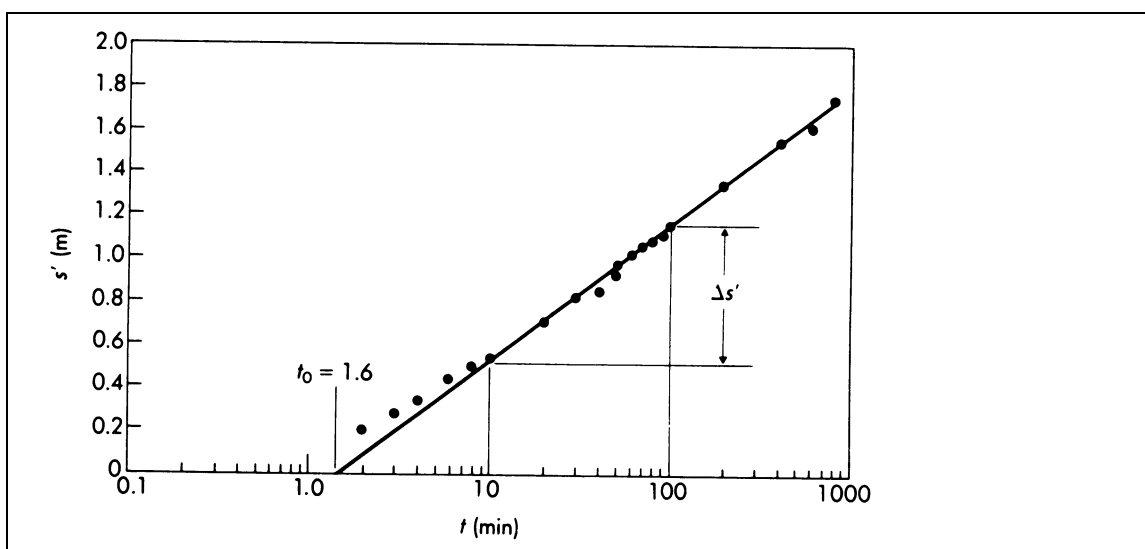
$$T = \frac{2,3Q}{4\pi\Delta s} \cong \frac{0,183Q}{\Delta s}$$

kde Δs - snížení za jeden logaritmický cyklus času.

Hodnotu **storativity S** lze vypočítat ze vztahu:

$$S = \frac{2,25 \cdot T \cdot t_0}{r^2}$$

Zjednodušené řešení je možné použít pro orientační vyhodnocení v delších časech od začátku čerpací zkoušky. Zároveň zjednodušené řešení zastírá vliv okrajových podmínek.



Obr. 1.21: Jacobova aproximace

1.3.6 Hydraulické modelování

Velmi užitečným nástrojem v hydrogeologii je modelování proudění podzemní vody v horninovém prostředí, popřípadě modelování transportu rozpuštěných látek a jejich interakcí. Modelování může přinést důležité informace, jejichž získání by jinak bylo velmi drahé, nebo zcela nemožné, např. odhady důsledků plánovaného hydraulického zásahu do přirozeného režimu podzemní vody.

Typickými otázkami, na které hledáme odpověď pomocí modelu, jsou například:

- Je naše představa o systému proudění ve zkoumané lokalitě (tzv. koncepční model lokality) reálná a správná?
- Kde umístit monitorovací vrty tak, aby určitě zastihly sledovaný jev?
- Kolik vody můžeme čerpat dlouhodobě z určité hydrogeologické struktury?
- Jak se změní hladiny podzemní vody v okolí, pokud začneme využívat vodní zdroj?
- Může kontaminace ze známého zdroje znečištění zasáhnout vodárenské zdroje a za jak dlouho? Jaká bude výsledná koncentrace v čerpané studni?
- Kolik vrtů potřebujeme a jaké minimální čerpané množství vody je nutné pro pokrytí kontaminovaného území hydraulickou clonou?

Model v obecném významu můžeme definovat jako zjednodušený popis nějakého skutečného stavu, skutečné situace. V hydraulice se pojmem model rozumí zpravidla aproximace hydrogeologické struktury, nebo její části v laboratorních podmínkách, nebo matematickým popisem. Často bývá používán termín **numerický model**, popřípadě **matematický model**. Tento termín je třeba nezaměňovat s termínem **konceptní model**, který představuje ucelenou představu o zkoumaném systému v grafické, popřípadě textové formě a který je používán například v procesu hodnocení rizik (např. Metodický pokyn MŽP Analýza rizik kontaminovaného území, MŽP 2011).

Modelování proudění podzemní vody je možné provádět různým způsobem; například zmenšením měřítka lokality v laboratoři v nádržích s pískem (fyzikální modely), interpretací systému proudění pomocí elektrických obvodů a v současné době zejména pomocí matematického popisu. Matematický popis proudění podzemní vody vychází z rovnic, vyjadřujících fyzikální děje uvnitř hydrogeologického kolektoru. Řídící rovnice proudění je obecně nelineární parciální diferenciální rovnice II. řádu, která vyjadřuje zákon zachování hmoty a Darcyho zákon.

Obecná forma řídicí rovnice proudění má tento tvar:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(K_x \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_y \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_z \frac{\partial h}{\partial z} \right) = S_s \frac{\partial h}{\partial t} - R$$

kde

K_x, K_y, K_z jsou složky tenzoru koeficientu hydraulické vodivosti

S_s je specifická storativita

h je hydraulická výška.

V současné době je k dispozici řada softwarových produktů, které jsou použitelné pro modelování proudění podzemní vody a transportu rozpuštěných látek. Řada komerčních produktů je koncipována jako grafické rozhraní pro simulační model MODFLOW, vyvinutý americkou geologickou službou USGS. MODFLOW představuje jakýsi standard mezi simulačními programy a existuje pro něj řada navazujících programů pro simulaci transportu, včetně geochemických interakcí, například MT3D, RT3D, PHT3D atd. Programy z této skupiny využívá řada komerčních produktů, jako jsou Visual MODFLOW (Schlumberger Water Services), Groundwater Modelling System (GMS – Aquaveo), Processing MODFLOW (Simcore), atd. Kromě softwarových produktů, založených na programu USGS MODFLOW existují i další softwarové programy, využívající jiné metody řešení řídicí rovnice, například FEFLOW (DHI-WASY), FEMWATER, AQUA3D apod.

Rozdíly mezi těmito produkty jsou především v přístupu k simulaci proudění podzemní vody podle typů propustnosti (průlinové x puklinové), komfortu jejich obsluhy a v jejich možnostech modelování transportu a interakcí rozpuštěných látek. Existuje skupina modelů s obecným použitím k simulaci proudění podzemní vody a transportu rozpuštěných látek a modely specializované na řešení jednotlivých speciálních problémů, které zpravidla nelze simulovat obecnými modely (např. BIOPLUME pro simulaci přirozené biodegradace ropných látek v kolektoru). Zásadní nevýhodou složitějších modelů, zejména transportních a trojrozměrných prostorových modelů je potřeba velkého množství dat, v případě transportních modelů také podélná a příčná disperzivita, sorpční charakteristiky, reakční parametry ap. U prostorových

trojrozměrných modelů je třeba znát i vertikální rozložení hydraulických parametrů (koeficientu hydraulické vodivosti, storativity, porozity apod.).

Použití složitějších modelů, s vyšším počtem požadovaných parametrů může paradoxně způsobit snížení spolehlivosti simulace v nutnosti důsledku aproximace většího množství vstupních parametrů.

Výsledek modelového řešení, tj. shoda modelu s realitou, nezávisí tolik na konkrétním použitém programovém vybavení jako na zkušenosti a schopnostech pracovníka, který model sestavil.

1.4 CHEMICKÉ A FYZIKÁLNÍ VLASTNOSTI PODZEMNÍ VODY

Voda je složitým heterogenním systémem pravého roztoku vody (s rozpuštěnými molekulami, ionty a komplexy), který tvoří s dalšími složkami suspence (směs vody s pevnými částicemi), případně emulze (směs vody s jinou kapalinou). Součástí přírodních vod jsou dále mikroorganismy.

Podzemní vody obvykle hodnotíme podle:

- fyzikálně-chemických ukazatelů,
- chemického složení,
- izotopického složení,
- mikrobiologického složení apod.

Vlastnosti podzemních vod jsou určovány různými fyzikálními, chemickými a geologickými procesy, ke kterým dochází během oběhu podzemní vody v horninovém prostředí, kdy je voda v přímém styku s okolními horninami, přičemž nezanedbatelný vliv mají i biochemické procesy související s činností bakterií ovlivňujících formu a geochemický oběh různých prvků.

Tyto procesy probíhají v heterogenních přírodních systémech na styku vody s minerály a plyny, které se vyskytují v horninovém prostředí. Látky mohou přitom přecházet z pevné a plynné fáze do roztoku podzemní vody (rozpuštění) nebo naopak roztok podzemní vody opouští (srážení, evaze plynů, adsorpce). Procesy probíhají neustále v závislosti na fyzikálních a chemických parametrech prostředí, kterým podzemní voda protéká, a proto se její složení a další vlastnosti neustále mění. Prostředí podzemních vod je dynamický systém, proto se jejich složení a další vlastnosti mění i místo od místa (uplatňují se zde procesy difúze a disperse, mísení různých typů vod apod.), výsledek analýzy vzorku podzemní vody má proto jen bodovou hodnotu (jak co do místa, tak času odběru) a jeho extrapolace na okolí vrtu či na celou zvědeň nebo delší časové období může být problematická.

Je důležité si uvědomit, že procesy ovlivňující fyzikálně-chemické parametry vody pokračují i po odběru vzorku (a uplatňují se i procesy nové související s podmínkami, v nichž se voda po odběru nově ocitla - jiné tlakové a teplotní poměry, únik plynů, světlo aj.), proto je velmi důležité vzorek vody odebrat a dopravit do laboratoře co nejrychleji a za předem definovaných podmínek (často včetně stabilizace vzorku) a co nejvíce parametrů stanovit přímo na místě odběru. Některé analyty (např. sulfan H_2S) je nutné stabilizovat bezprostředně po odběru, jinak dochází k jejich významným ztrátám.

1.4.1 Fyzikálně-chemické vlastnosti podzemních vod

Teplota přírodních vod se může pohybovat od 0 °C do několika set stupňů, zejména v závislosti na hloubce oběhu a geotermálním gradientu. Pro pitnou vodu je optimální teplota 8-15 °C. V rozmezí těchto teplot se pohybuje většina podzemní vody „běžného“ oběhu (tj. oběhu, jehož hloubka nepřesahuje první stovky metrů). U podzemní vody mělkého a rychlého oběhu může teplota vody kolísat během roku podle aktuální teploty vzduchu (podle velikosti tohoto kolísání můžeme usuzovat na hloubku oběhu podzemní vody). Podzemní vody hlubokého oběhu, s výrazným uplatněním při přenosu geotermální energie mohou mít teplotu výrazně vyšší a využívají se v lázeňství a pro získávání tepelné energie.

Tlak podzemní vody je ve většině případů určen hydrostatickým tlakem, tj. výškou vodního sloupce od piezometrické hladiny k měřenému bodu. V uzavřených kolektorech, kde může být voda stlačována tlakem okolní horniny, může být tlak větší než hydrostatický (v krajním případě se může blížit až litostatickému).

Měrná hmotnost (hustota) přírodních vod je dána množstvím rozpuštěných látek, teplotou a tlakem. U naprosté většiny přírodních vod můžeme počítat s hodnotou okolo 1000 kg/m³ (mořská voda má 1027 kg/m³). Velmi mineralizované solanky mohou dosahovat měrné hmotnosti až 1300 kg/m³. S teplotou měrná hmotnost klesá (při 70 °C má voda měrnou hmotnost 978 kg/m³).

Elektrická vodivost roztoku závisí na koncentraci, druhu a mocenství rozpuštěných iontů (elektrolytů) a na teplotě. V analýzách bývá zvykem uvádět vodivost v milisiemensích na metr při 25 °C. Běžné vody mají vodivost v jednotkách až desítkách mS/m, v solankách však může být vodivost až v jednotkách tisíc mS/m (vodivost je zhruba mírou koncentrace roztoku). S teplotou vodivost mírně stoupá.

Faktor pH je mírou chemické aktivity vodíkových iontů (protonů) v roztoku a charakterizuje kyselost (pH<7) nebo zásaditost (pH>7) prostředí, což má zásadní vliv na chemické složení vod a charakter jednotlivých látek v roztoku. Hodnota pH prostých podzemních vod se obvykle pohybuje mezi 5,5 až 7,5. To se týká i většiny minerálních vod (Pitter, 1999).

Oxidačně-redukční (redoxní) potenciál Eh je mírou oxidačně-redukčního stavu vody a udává se ve voltech V (měří se elektrický potenciál vůči vodíkové elektrodě). Tak jako pH charakterizuje aktivitu vodíkových iontů, potenciál Eh je mírou aktivity elektronů v prostředí. Běžné hodnoty Eh v podzemních vodách jsou přibližně od -0,4 do +0,7 V, oxidační zóna je charakterizována hodnotami Eh>0,5 V. V zásadě můžeme říci, že v prostředí pod souvislou hladinou podzemní vody převládá spíše redukční prostředí (čím hlouběji, tím více redukční). Oxidační prostředí se vyskytuje v zóně aerace a v saturované zóně při hladině podzemní vody (do jaké hloubky, to do značné míry závisí na směru a velikosti vertikální složky proudění).

1.4.2 Chemické vlastnosti podzemních vod

Rozpuštěné látky ve vodách můžeme dělit podle různých kritérií na přirozené a kontaminující, anorganické a organické, hlavní a vedlejší apod.

Látky rozpuštěné ve vodě mají různou formu, vyskytují se jako nedisociované molekuly, jednoduché ionty, iontové páry a komplexy. Forma výskytu látek ve vodě závisí především na pH a Eh prostředí. Složení vod vzniká na základě různých geochemických procesů, jejichž podstatou je fyzikálně-chemická interakce mezi vodou, minerály a plyny. Tyto procesy můžeme rozdělit do 5 základních skupin:

- prosté rozpouštění, evaze a srážení plynů a solí (hydratace, dehydratace, disociace),
- hydrolýza látek,
- oxidace a redukce složek, které mohou měnit svůj oxidační stav,
- adsorpce, desorpce, iontová výměna,
- osmotická filtrace.

Geochemické procesy ve vodách a mezi vodami a jejich okolím mohou být reversibilní (pokud jsou chemické reakce dostatečně rychlé a proudění podzemní vody dostatečně pomalé, aby se vytvořila chemická rovnováha), nebo ireversibilní (stav, kdy nelze dosáhnout chemické rovnováhy, vzhledem k rychlosti reakcí - chemický stav vody závisí na mechanismech a rychlostech reakcí). Rovnovážným modelováním chemického složení vod se zabývá **geochemická termodynamika**, zatímco mechanismy a rychlosti geochemických procesů jsou předmětem studia **reakční kinetiky**.

Hlavními kationty ve vodách jsou kationty sodíku (Na^+), draslíku (K^+), hořčíku (Mg^{2+}) a vápníku (Ca^{2+}). Hlavními anionty jsou hydrogenuhličitan (HCO_3^-), chloridy (Cl^-) a sírany (SO_4^{2-}), případně antropogenní dusičnany (NO_3^-). Tyto složky jsou někdy označovány jako **makrosložky chemického složení** podzemních vod a v různém množství se vyskytují prakticky ve většině přírodních vod, kde tvoří většinu rozpuštěných látek. Na jejich základě se podzemní vody dělí podle různých hydrochemických klasifikací na různé typy a skupiny přírodních vod. Hlavními neutrálními molekulami jsou molekuly kyseliny křemičité (H_4SiO_4) a uhličitě (H_2CO_3).

Jako tzv. **vedlejší složky** podzemních vod se nejčastěji zmiňují amonné ionty (NH_4^+), kationty železa (Fe^{2+}), manganu (Mn^{2+}), stroncia (Sr^{2+}), fluoridy (F^-), jodidy (I^-), dusitany (NO_2^-), fosforečnany (H_2PO_4^-). Jejich výskyt ve vodách je také běžný, jejich koncentrace však většinou nejsou takové, aby byly rozhodující pro klasifikaci vod.

Ostatní látky (prakticky celá periodická soustava prvků) bývají řazeny mezi tzv. **stopové složky** podzemních vod a jejich zjištění v podzemních vodách je obvykle jen otázkou hranice detekce analytické metody. Jejich zvýšený obsah podobně jako vysoký obsah vedlejších složek je známkou nevyhovující jakosti podzemních vod, která může být způsobena přírodními vlivy (např. vysoké obsahy kovů v okolí rudných ložisek) nebo antropogenním znečištěním (úniky škodlivin z průmyslových procesů, ze zemědělských hnojiv, skladů škodlivých látek, skládek odpadů apod.).

V přírodních vodách jsou kromě anorganických látek obsaženy i mnohé organické látky. Ty mohou být přírodního původu (huminové látky, fenoly, aminokyseliny, mastné kyseliny, ropné látky v okolí ložisek uhlovodíků apod.), z větší části však organické látky zvláště v podzemních vodách vystupují jako kontaminanty, tzn. látky znečišťující vody a pocházející z činnosti člověka. Může se jednat o látky, které se vyskytují v přírodě i přirozeně (fenoly, ropné uhlovodíky), řada organických kontaminantů jsou však látky, které se v přírodě nevyskytují a jsou přírodě cizí (např. chlorované uhlovodíky včetně polychlorovaných bifenyly - PCB).

Mírou obsahu oxidovatelných organických látek je parametr chemická spotřeba kyslíku CHSK (manganistanem nebo dichromanem), mírou obsahu biologicky

rozložitelných organických látek je biologická spotřeba kyslíku BSK. K dalším zjišťovaným chemickým parametrům vody patří tvrdost vody, která je mírou obsahu Ca a Mg.

Pod pojmem **celková mineralizace** rozumíme součet všech rozpuštěných látek ve vodě udávaný v mg/l.

V přírodě se tak vyskytují:

- **vody velmi málo mineralizované** s koncentrací rozpuštěných látek do 100 mg/l (například ve vyvřelých horninách),
- **vody málo mineralizované** s koncentrací rozpuštěných látek 100 - 200 mg/l (například v přeměněných horninách),
- **vody středně mineralizované** s koncentrací rozpuštěných látek 200 – 500 mg/l (především v tvrdých usazeninách s křemítem nebo s vápnitokřemítem tmelem),
- **vody se zvýšenou mineralizací** s koncentrací rozpuštěných látek 500 – 1000 mg/l (například v měkkých usazeninách s vápnitým nebo jílovitým tmelem),
- **vody vysoko mineralizované** s koncentrací rozpuštěných látek nad 1000 mg/l (zpravidla v měkkých usazeninách například s vysokým obsahem chloridů nebo síranů).

Alkalita vody je mírou obsahu disociovaných slabých kyselin ve vodě (především kyseliny uhličitá), **aciditu** tvoří volné silné kyseliny a nedisociované slabé kyseliny rozpuštěné ve vodě. Exaktním vyjádřením celkového obsahu iontů ve vodě je tzv. iontová síla, která má význam při výpočtu chemických rovnováh.

1.4.3 Izotopické složení podzemních vod

Přírodní vody obsahují různé stabilní i radioaktivní izotopy rozpuštěných prvků, z jejichž koncentrace a vzájemného poměru lze usuzovat na genezi a stáří vod. Většina přírodních vod je slabě přirozeně radioaktivní, radioaktivita je způsobena převážně izotopy ^{222}Rn (rozpuštěný plyn), ^{226}Ra a ^{238}U . Český masív patří k oblastem s nejvyšší přirozenou radioaktivitou na světě, zvláště v některých oblastech (např. v prostředí některých granitoidních plutonů).

Zvláštní význam mají izotopy ^{14}C a ^3H , které se nejčastěji používají pro zjišťování stáří vod a dalších přírodnin (tzv. radioizotopové datování).

1.4.4 Kontaminace podzemních vod

Kontaminace podzemní vody je stav, kdy došlo ke zhoršení kvality vody přímým nebo nepřímým působením člověka. Míru kontaminace posuzujeme vždy vzhledem k pozadovým hodnotám dané lokality, případně vůči zvolenému nebo požadovanému kritériu (limity uvedené v právním předpisu, technické normě, správním rozhodnutí apod.). Pro některé účely se stejná kontaminace může jevit jako nevýznamná, pro jiné

účely bude vylučovat jakékoliv použití kontaminované vody - míra kontaminace je tedy hodnota relativní.

Kontaminaci podzemních vod mohou způsobovat anorganické i organické látky, samostatnou problematikou je bakteriální znečištění vod. Řada kontaminujících látek je v přírodním prostředí běžně přítomna, často i ve vysokých koncentracích (např. železo nebo mangan v některých podzemních vodách). I když jsou v takovém případě překročeny požadované limity (např. pro pitnou vodu), nemluvíme v tomto případě o kontaminaci, protože jde o přirozený jev vyplývající z charakteristiky daných geologickým podmínek. Naopak jiné látky se v přírodě přirozeně nevyskytují (např. některé organické látky) a jejich sebemenší výskyt je proto důkazem kontaminace podzemní vody.

Anorganické kontaminanty

K běžným anorganickým kontaminantům patří různé kovy, dále sloučeniny dusíku, chloru a síry. Vesměs jde o látky, které jsou také přirozenou složkou podzemních vod (extrémní koncentrace kovů můžeme nalézt např. v okolí rudních ložisek). Formy jejich výskytu závisejí na charakteristikách prostředí (především pH, Eh), ale i na výskytu dalších látek a jejich vzájemném působení. Za nejnebezpečnější běžné anorganické kontaminanty lze považovat toxické prvky Hg, Cd a Pb, příp. Cr^{VI} a As, z méně běžných je pak jedním z nejtoxičtějších prvků Pu, příp. Be a Tl.

V tabulce 1.4 jsou uvedena průmyslová odvětví a jednotlivé výroby s ohledem na potenciální kontaminaci kovy.

Tabulka 1.4: Zdroje kovů v životním prostředí (Synáčková, 1996)

Výroba	Výskyt sloučenin prvků
Těžba a zpracování rud	Fe, Zn, Hg, As, Se, Mn, Cu
Hutní průmysl	Al, Cr, Mo, Ni, Pb, V
Těžba uhlí	Fe, Al, Mn, Ni, Cu, Zn
Strojírenství, povrchová úprava kovů	Cr, Cu, Ni, Zn, Cd, Fe, Al
Chemický průmysl	Fe, Al, W, Mo, Zn, Pb, Cu, Hg
Barvy, laky, pigmenty	Hg, Cr, Pb, Zn, Ti, Al, Ba, Sr, Mn, As, Se
Buničina, papír	Ti, Zn, Al, Ba, Sr, Cr, Se, Cu, Hg
Zpracování kůží	Cr, Al, Fe
Textilní průmysl	Cu, Zn, Cr, Pb, Fe
Polygrafický průmysl	Zn, Cr, Ni, Cd, Cu, Pb
Elektrotechnika	Ag, Se, Ge, Mn, Ni, Pb, Cu, Hg
Spalování uhlí	As, Ti, Al, Ge, Se, Hg, Be, Zn, Mo, Ni, Pb, Sb
Spalování topných olejů	V, Ni, Zn, Cu
Pesticidy	Hg, As, Cu, Zn, Ba
Průmyslová hnojiva	Cd, Mn, As
Koroze potrubí	Fe, Pb, Cu, Ni, Zn, Cr
Automobilová doprava	Pb

Dusíkaté látky se mohou vyskytovat ve formě dusičnanů, dusitanů, amonných iontů a amoniaku. Nejběžnějšími formami dusíku v podzemních vodách jsou dusičnany

a amonné ionty. Jejich zdrojem jsou především umělá a statková hnojiva a splaškové vody.

Chlor se v podzemní vodě vyskytuje především ve formě chloridů, jejichž zdrojem jsou u nás hlavně splaškové vody a solení silnic. Síra se v podzemních vodách vyskytuje hlavně jako sírany, případně sulfidy. Jejím zdrojem jsou některé průmyslové odpadní vody (koželužny, úpravny uhlí a ropy, neutralizační stanice, výroba celulózy), vysoké koncentrace jsou časté v důlních vodách.

Organické kontaminanty

Organické látky významnou měrou ovlivňují vlastnosti a jakost podzemních vod. Vody mohou obsahovat nespočetné množství organických látek a není reálné je všechny analyzovat. Při analýze se proto zaměřujeme na látky běžné a zdravotně nebo jinak závadné. Z hlediska výskytu v podzemních vodách a chování v horninovém prostředí můžeme vydělit některé důležité skupiny organických látek.

Nejběžnějším kontaminantem podzemních vod je skupina tzv. **ropných látek**. Pod tímto pojmem rozumíme velmi různorodou a početnou směs organických sloučenin s rozdílnými vlastnostmi (organické látky nepolární i polární, příměs anorganických látek). Např. v benzínu bylo identifikováno přes 600 různých sloučenin v měřitelném množství. K **ropným látkám** patří produkty ze zpracování ropy, zejména pohonné hmoty (benziny, motorová nafta, letecký petrolej), dále hydraulické oleje, transformátorové oleje, topné oleje, řezné emulze, maziva, lakové a lékařské benzíny apod. Ropa a ropné látky unikají do životního prostředí zejména při haváriích, ke kterým dochází v důsledku technických závad na zařízeních nebo nevhodnou manipulací jak při výrobě a zpracování těchto produktů, tak i při jejich přepravě, skladování a použití. Rozhodující vlastností ropných látek důležitou pro jejich pohyb v horninovém prostředí je jejich měrná hmotnost, která je menší než voda. Z hlediska zdravotní škodlivosti a mobility jsou nejvýznamnější složkou ropných látek **těkavé aromatické uhlovodíky** (především benzen, toluen a xyleny). Významně škodlivé jsou i **polycyklické aromatické uhlovodíky** (benzo(a)pyren je jedním z nejsilnějších karcinogenů), jejich mobilita v prostředí je však nižší.

Velmi častým kontaminantem podzemních vod jsou **chlorované uhlovodíky**. Jde o mnohem škodlivější a toxičtější látky než ropné produkty, řada z nich jsou prokázané karcinogeny a další mají toxické a ekotoxické účinky. Jde o syntetické produkty nevyskytující se v přírodě. **Alifatické chlorované uhlovodíky** se běžně používají jako rozpouštědla a odmašťovadla (především tetrachlorethen a trichlorethen), mají měrnou hmotnost větší než voda a jsou většinou těkavé. K **aromatickým chlorovaným uhlovodíkům**, které jsou netěkavé a velmi stabilní, patří mj. chlorbenzeny a **polychlorované bifenyly** (PCB).

Z dalších organických látek se jako běžné kontaminanty vyskytují **tenzidy** (součást pracích prostředků, smáčedel, pěnidel aj.), **fenoly** (v odpadních vodách při zpracování uhlí, ropy a při výrobě celulózy). Zvláštní skupinou jsou chemicky velmi různorodé **pesticidy**. Jde o látky různého chemického charakteru určené k hubení rostlinných a živočišných škůdců. Některé z nich (obvykle fungicidy a insekticidy) se obvykle silně sorbují na půdní komplex, v podzemních vodách se s nimi setkáváme poměrně zřídka, naopak polárnější látky, které jsou dobře rozpustné ve vodě a méně se sorbují (obvykle herbicidy) se v podzemních vodách vyskytují často, a to zejména metabolity vznikající

degradací mateřských herbicidů. Propagace tzv. obnovitelných zdrojů energie jako ekologické alternativy k tradičním zdrojům vede v České republice k významné kontaminaci podzemních vod pesticidy používanými hlavně k ošetřování „energetických“ plodin, jako je řepka a kukuřice, na rozdíl od herbicidů používaných pro ošetřování obilnin, které podzemní vody nekontaminují v takovém rozsahu.

V tabulce 1.5 jsou uvedeny nejčastěji se vyskytující pesticidy a jejich metabolity v podzemních vodách (Kodeš, 2014).

Tabulka 1.5: Pesticidy s nejčastějšími nálezy v podzemních vodách v roce 2013

Látka	Poznámka	Funkce	Plodina	Spotřeba v roce 2012 (kg)	% vzorků pozitivních	% vzorků nad limit	Maximální koncentrace (µg/l)
Chloridazon desphenyl	metabolit	herbicide	Řepka	40359	29.7	27.1	36.1
Aalachlor ESA	metabolit	herbicide	Řepka	0	25.6	16.2	7.41
Metazachlor ESA	metabolit	herbicide	Řepka	186977	20.8	13.2	4.41
Metolachlor ESA	metabolit	herbicide	kukuřice, řepka, řepa	76871	19.4	10.3	8.28
Acetochlor ESA	metabolit	herbicide	kukuřice, řepka	173604	12.3	6.4	4.04
Atrazin 2-hydroxy	metabolit	herbicide	Kukuřice	0	10.3	3.0	7.26
Atrazin desethyl	metabolit	herbicide	Kukuřice	0	10.0	1.5	0.647
Metolachlor OA	metabolit	herbicide	kukuřice, řepka, řepa	76871	7.3	3.3	1.54
Atrazin desethyldeisopropyl	metabolit	herbicide	Kukuřice	0	7.4	1.5	0.272
Metazachlor OA	metabolit	herbicide	kukuřice, řepka, řepa	76871	4.7	4.1	2.38
Acetochlor OA	metabolit	herbicide	kukuřice, řepka	173604	5.5	2.6	2.07
Hexazinon		herbicide	lesnictví – buřeň	0	4.4	0.9	0.343
Aalachlor OA	metabolit	herbicide	Řepka	0	3.0	0.8	0.305
Bentazon		herbicide	luskoviny, obiloviny, píceiny, kukuřice	16276	2.7	1.1	0.253
Terbuthylazin hydroxy	metabolit	herbicide	Kukuřice	111639	2.0	0.2	0.715
Terbuthylazin desethyl	metabolit	herbicide	Kukuřice	111639	1.8	0.2	0.217
Chloridazon	metabolit	herbicide	Řepka	40359	1.4	0.3	0.31
Clopyralid		herbicide	řepka, řepa, obiloviny, kukuřice	15222	1.2	0.3	8.42
Propachlor ESA	metabolit	herbicide	zelenina,	0	0.8	0.8	1.172
Aminopyralid	metabolit	herbicide	Řepka	3450	1.1	0.5	0.812
Metribuzin desaminodiketo	metabolit	herbicide	Brambory	4579	1.2	0.3	0.44
Chlorotoluron		herbicide	Obiloviny	91315	0.8	0.6	0.553
Terbuthylazin		herbicide	Kukuřice	111639	1.2	0.2	0.276
Isoproturon		herbicide	Obiloviny	141164	0.6	0.3	0.425
Azoxystrobin		fungicide	obiloviny, chmel, řepka	33754	0.6	0.3	0.384
Metolachlor		herbicide	kukuřice, řepka, řepa	76871	0.8	0.2	0.166
Lenacil		herbicide	Řepka	4954	0.8	0.2	0.12
MCP		herbicide	Obiloviny	11917	0.5	0.2	0.61
Tebuconazole		fungicide	obiloviny, chmel, réva, ovoce	150320	0.3	0.2	1.46
MCPA		herbicide	obiloviny, píceiny, ovoce	56950	0.3	0.2	0.76
Dimethachlor		herbicide	Řepka	54927	0.3	0.2	0.149

Výskyt a pohyb kontaminantů v horninovém prostředí

Kontaminant se v horninovém prostředí může vyskytovat v různých formách, což má významný dopad na jeho pohyb a distribuci. Poznání mechanismů migrace kontaminantu v prostředí je zásadní pro provádění průzkumu znečištění horninového prostředí a podzemní vody a vyhodnocování jeho následných dopadů na složky životního prostředí a lidské zdraví.

Z hlediska výskytu a migrace je nutno rozlišit především nesaturovanou a saturovanou zónu.

Kontaminant vniká do horninového prostředí ve většině případů z povrchu. Po vsaku pod povrch terénu se dostává do **nesaturované zóny**, kde se vlivem gravitace pohybuje v zásadě ve vertikálním směru dolů k hladině podzemní vody. Zejména v případě kontaminace organickými látkami tvoří půdní pokryv v nesaturované zóně klíčovou bariéru, kde probíhají významné procesy jako je degradace (bakteriální, fotolytická, hydrolytická), adsorpce na půdním materiálu (jílové částice, organická hmota), které zamezují vstupu kontaminantu do horninového prostředí.

Pro kontaminaci podzemních vod jsou důležité nejen fyzikálně-chemické vlastnosti kontaminantů a jejich perzistence, ale i vlastnosti prostředí, které transport kontaminantů významně ovlivňují. Základními vlastnostmi ovlivňujícími chování většiny polutantů v životním prostředí jsou: perzistence látky, adsorpční charakteristiky, rozpustnost ve vodě a těkavost.

Perzistence je charakterizována poločasem rozpadu, což je čas potřebný na to, aby se polovina množství látky rozpadla a přeměnila na produkty tohoto rozpadu. Pro charakterizaci perzistence se nejčastěji používají poločasy rozpadu v půdě, hydrolýzou a fotolýzou. Poločas rozpadu v půdě nejkompexněji vystihuje perzistenci látky a je ovlivněn zejména rozkladnými procesy vyvolanými **bakteriální aktivitou**, dále **fotolýzou i hydrolýzou**. V závislosti na podmínkách je degradace dané látky ovlivňována výše zmiňovanými procesy v různé míře. V půdním prostředí může bakteriální degradace být klíčovým procesem v případě, že prostředí je dostatečně oživeno bakteriemi. Například naprostá většina pesticidů jsou organické látky, pokud mikroorganismy přicházejí do styku s těmito látkami, „naučí“ se jejich molekuly rozkládat. Rychlost této degradace roste s rostoucí teplotou a roste s délkou expozice mikroorganismů těmito látkám (Leahy and Colwell, 1990). V případě malého bakteriálního oživení prostředí, nebo když mikroorganismy nejsou schopny danou látku degradovat, mohou v závislosti na vlastnostech látky v procesu degradace převládnout procesy hydrolýzy nebo fotolýzy. Látky nepodléhající degradaci jsou schopny setrvávat v životním prostředí po delší dobu, a tak mají větší potenciál ho kontaminovat. Z hlediska ochrany podzemních vod před kontaminací cizorodými látkami, jsou látky s poločasem rozpadu v půdě větším než 30 dní považovány za potenciální kontaminanty (Kerle et al., 1996; Rao and Hornsby, 2001).

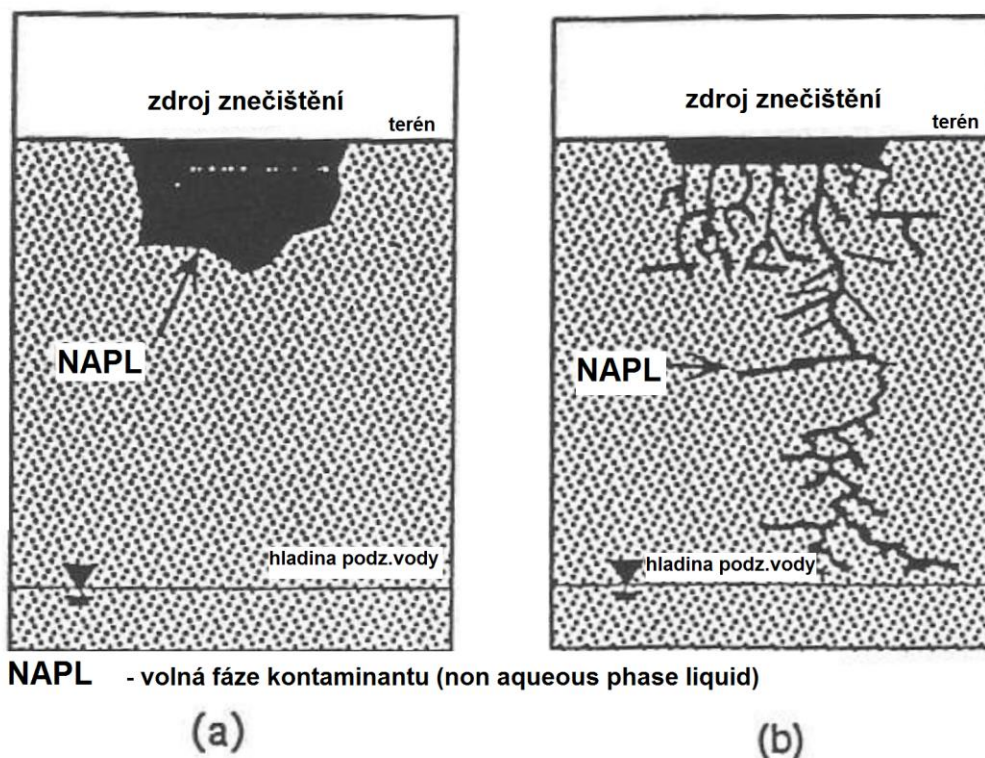
Adsorpce je vedle degradace jedním z klíčových faktorů hrající významnou úlohu při transportu látek nesaturovanou zónou. Látky s větším adsorpčním potenciálem mají tendenci se vázat na povrch pevných částic, takto nasorbované molekuly nepodléhají na rozdíl od molekul přítomných v půdní vodě degradaci. Základními adsorpčními charakteristikami jsou **rozdělovací koeficient oktanol-voda K_{ow}** , většinou udávaný jako dekadický logaritmus $\log K_{ow}$ a **rozdělovací koeficient organický uhlík-voda K_{oc}** . Vztah

mezi oběma rozdělovacími koeficienty je popsán v literatuře, souhrn používaných vztahů pro přibližný přepočítání mezi těmito dvěma koeficienty uvádí Fetter (1999).

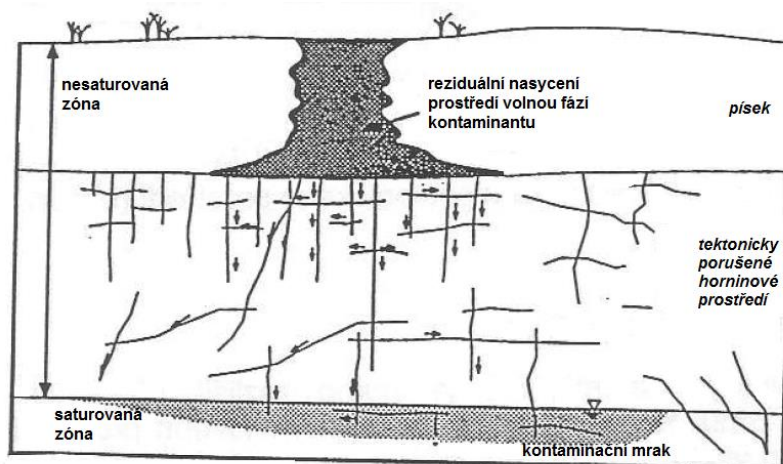
Látky dobře rozpustné ve vodě bývají zpravidla významnými kontaminanty podzemních vod, pokud jsou dostatečně stabilní. **Rozpustnost ve vodě** bývá zpravidla nepřímo úměrná adsorpčním vlastnostem látek, tzn. látky dobře rozpustné ve vodě mají zpravidla tendenci se nesorbovat na půdních částicích ani neakumulovat v tukových tkáních. Naopak špatně rozpustné látky zpravidla mají tendenci se dobře sorbovat na pevných částicích a akumulovat v tucích. Vztahy mezi **rozpustností** a K_{oc} byly posáány v literatuře, přehled empiricky zjištěných vztahů mezi rozpustností a K_{oc} uvádí Fetter (1999). Látky s rozpustností větší než 3 mg/l, jsou považované v Kalifornii za potencionální kontaminanty podzemních vod (Johnson, 1991).

Těkavost ovlivňuje schopnost látek kontaminovat podzemní vodu. Těkavé látky nejsou schopny kontaminovat podzemní vodu v takové míře jako látky netěkavé, jelikož za příhodných podmínek vytěkají dříve, než dojde k jejich transportu půdním profilem. Těkavost látek je dána hodnotou **Henryho konstanty**.

Horniny s průlinovou porozitou jsou kontaminovány v celém objemu znečištěného „komína“, který znečištění vytvoří mezi povrchem a hladinou podzemní vody. Vlivem difúzně-disperzních procesů se tento komín do hloubky mírně rozšiřuje. V prostředí **puklinové porozity je horninové prostředí kontaminováno nestejně**, hlavní znečištění je soustředěno na nejpropustnějších puklinách a teprve se zpožděním se objevuje v menších puklinách nebo vlivem difuze i uvnitř bloků masivní horniny (analogie obr. 1.22). Směr šíření znečištění může být i dočasně odlišný od vertikálního sestupného směru v závislosti na směru propustných puklin (viz obr. 1.23).



Obr. 1.22: Šíření kontaminace v nesaturované zóně s průlinovou (a) a puklinovou (b) porozitou (Bedient et al. 1999)



Obr. 1.23: Naznačené směry šíření kontaminantu v jednotlivých puklinách nesaturované zóny (Bedient et al. 1999)

Proti vertikálnímu pohybu kontaminantu vlivem gravitace působí adsorpční síly, kterými je část kontaminantu (tzv. reziduální nasycení) vázána na povrch půdních a horninových zrn. Tato zbytková kontaminace zůstává v půdách a horninách nesaturované zóny (i po přerušení dotace kontaminantu na povrchu) a dlouhodobě kontaminuje prosakující vodu z povrchu, která směřuje k hladině podzemní vody. U těkavých kontaminantů (např. benzíny, aromatické uhlovodíky, těkavé chlorované uhlovodíky apod.) dochází dále k jejich částečnému přechodu do plynné fáze, kdy sytí půdní atmosféru nesaturované zóny (obr. 1.26). U kontaminantů podléhajících přirozeným biodegradačním procesům (např. ropné látky) dochází k jejich snižování během průchodu nesaturovanou zónou i tímto způsobem.

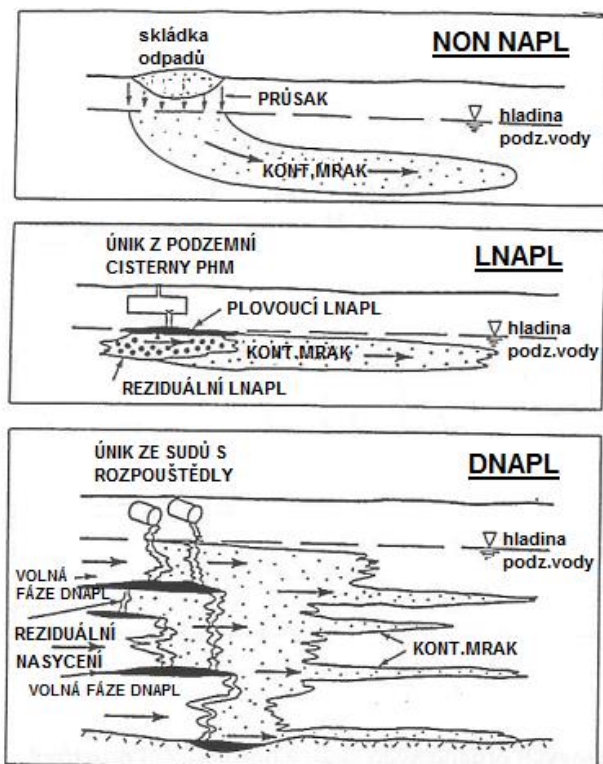
Výsledkem těchto procesů může být významné snížení množství kontaminantu, které pronikne až k hladině podzemní vody, ve srovnání s množstvím, které se vsáкло. Jak velké může být toto snížení, závisí na mnoha faktorech: na sorpčních vlastnostech kontaminantu, sorpční schopnosti půdního a horninového prostředí, ochotě kontaminantu k biodegradačním procesům a k přechodu do plynné fáze, mocnosti nesaturované zóny, vertikální propustnosti půd a hornin aj.

Jakmile kontaminant pronikne k hladině podzemní vody, projeví se odlišné vlastnosti kontaminantů, které podle jejich chování můžeme rozdělit v zásadě do 3 skupin (obr. 1.24) :

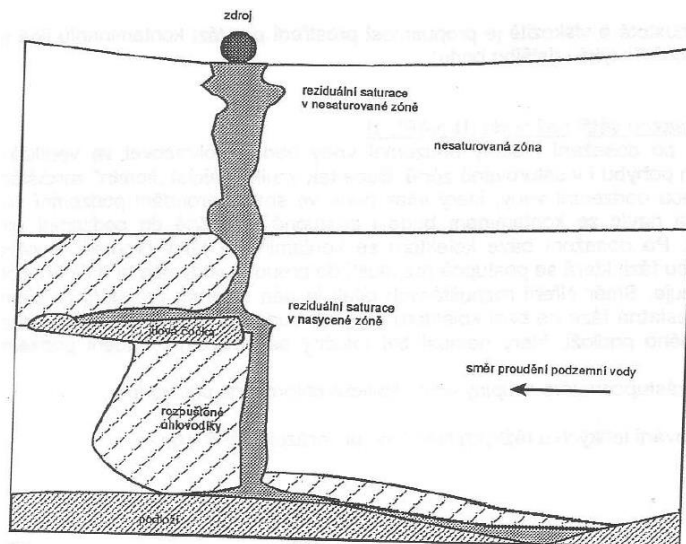
- **kontaminanty dobře rozpustné ve vodě** (většina anorganických látek, organické látky polárního charakteru), označované anglickou zkratkou **NON-NAPL's** (non non-aqueous phase liquid): tyto látky se budou postupně rozpouštět do podzemní vody a ve směru jejího proudění se bude šířit kontaminační mrak rozpuštěného kontaminantu, který bude postupně zasahovat hlubší a hlubší části zvodně. Typickými častými kontaminanty podzemních vod v ČR z této skupiny jsou dusičnany popřípadě amonné ionty a polární pesticidy (zejména herbicidy),
- **kontaminanty omezeně rozpustné ve vodě**, jejichž měrná hmotnost je menší než voda (především ropné látky), označované anglickou zkratkou **LNAPL's**

(light non-aqueous phase liquid): budou se soustřeďovat na hladině podzemní vody, kde postupně mohou vytvořit samostatnou kapalnou fázi. Částečně se budou do podzemní vody rozpouštět, a tak kontaminovat svrchní část zvodně (maximálně do několika metrů pod hladinu). Směr šíření rozpuštěných látek i samostatné fáze je dán směrem proudění podzemní vody. V případě velkých a rychlých změn v úrovni hladiny podzemní vody však může dočasně dojít k zanoření samostatné fáze kontaminantu pod hladinu nebo naopak, k zavěšení fáze v určité výšce nad hladinou. Je třeba mít na paměti, že vzhledem k odlišné hustotě a viskozitě je propustnost prostředí pro fázi kontaminantu jiná než pro vodu (což se týká i dalšího bodu),

- **látky omezeně rozpustné ve vodě, jejichž měrná hmotnost je větší než voda** (typickým zástupcem této skupiny jsou chlorované uhlovodíky), označované anglickou zkratkou **DNAPL's (dense non-aqueous phase liquid)**: tyto látky po dosažení hladiny podzemní vody budou pokračovat ve vertikálním sestupném pohybu i v saturované zóně. Bude tak vznikat jakýsi „komín“ znečištění i pod hladinou podzemní vody, který však bude ve směru proudění podzemní vody roznášen a navíc se kontaminant bude i postupně částečně do podzemní vody rozpouštět. Po dosažení báze kolektoru se kontaminující látky hromadí a vytváří samostatnou fázi, která se postupně rozpouští do proudící vody nad ní a dlouhodobě ji kontaminuje. Směr šíření rozpuštěných látek je dán směrem proudění podzemní vody, samostatná fáze na bázi kolektoru se však bude pohybovat (vlivem vysoké specifické hmotnosti) ve směru sklonu nepropustného podloží, který nemusí být totožný se směrem proudění podzemní vody (obr. 1.25).

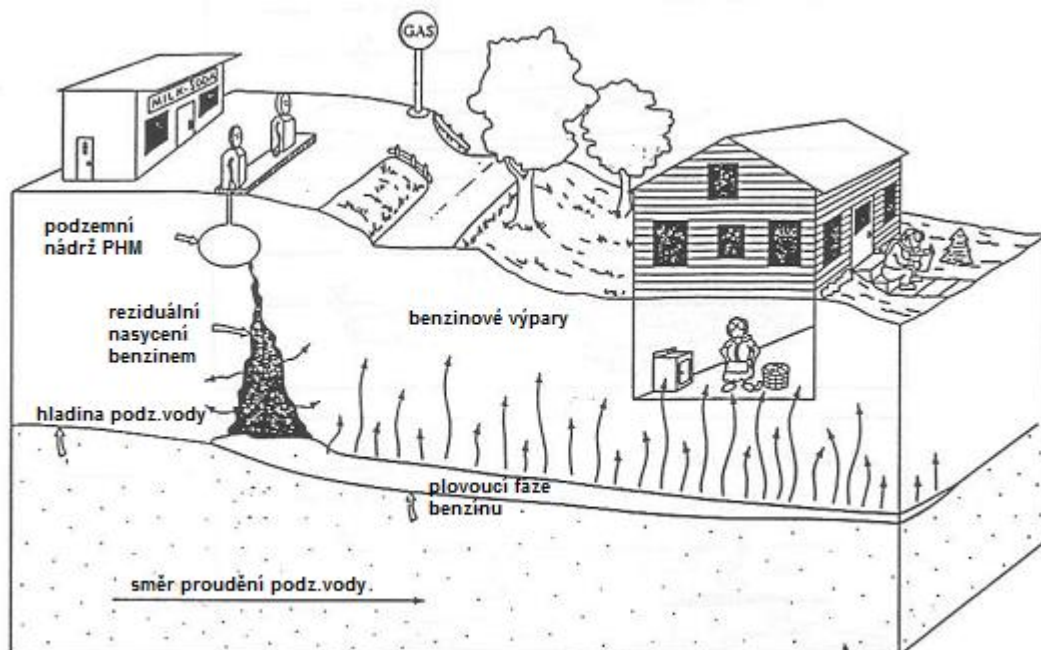


Obr. 1.24: Šíření rozpuštěných látek (NON NAPL), látek lehčích než voda (LNAPL) a látek těžších než voda (DNAPL) v saturované zóně (upraveno dle Pankow, Cherry 1996)

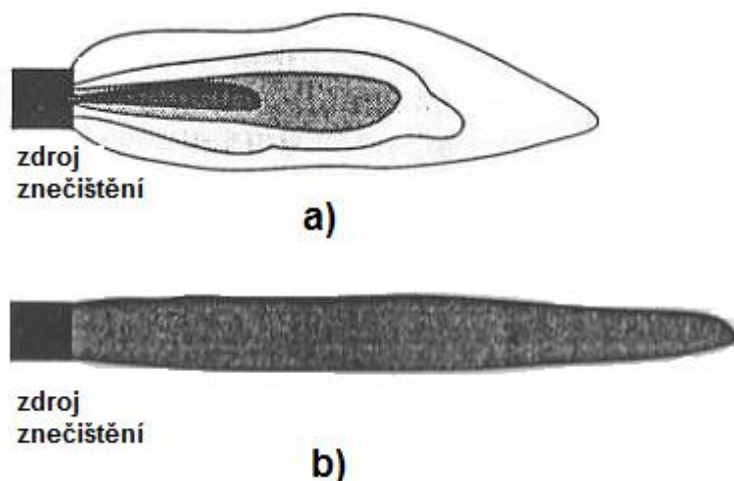


Obr. 1.25: Šíření DNAPL's po nepropustném podloží v jiném směru než proudí podzemní voda (upraveno dle Fetter 1999)

Rozpuštěný kontaminant v podzemní vodě není jen pasívně unášený proudem podzemní vody (tzv. **advекcí**), ale působí na něho i další migrační parametry. Uplatňují se zde opět **adsorpční procesy** na povrchu horniny, které se projeví zpožděním (tzv. **retardací**) šíření kontaminantu za rychlostí proudění podzemní vody. Za určitých podmínek se mohou projevit i **biodegradační procesy** a u těkavých kontaminantů i **přechod do plynné fáze** (obr. 1.26). V některých případech mohou být významné **difúzně-disperzní procesy**, které rozšiřují kontaminační mrak podélně, do stran i vertikálně (disperze podélná, příčná a vertikální) - viz obrázek 1.27.

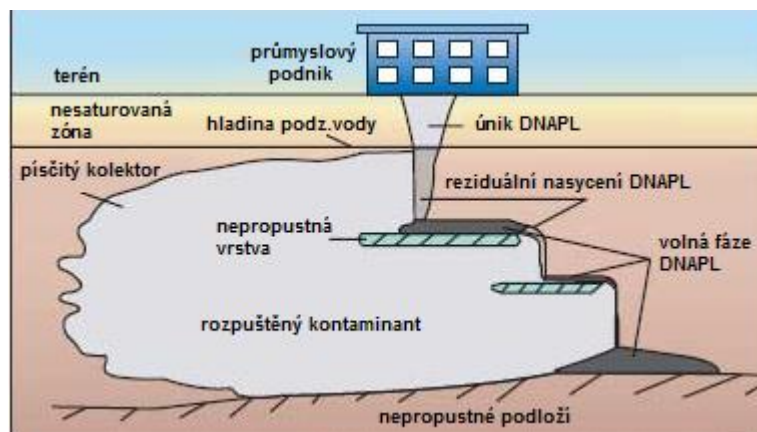


Obr. 1.26: Přechod těkavého kontaminantu do plynné fáze v nesaturované i saturované zóně (Fetter 1999)



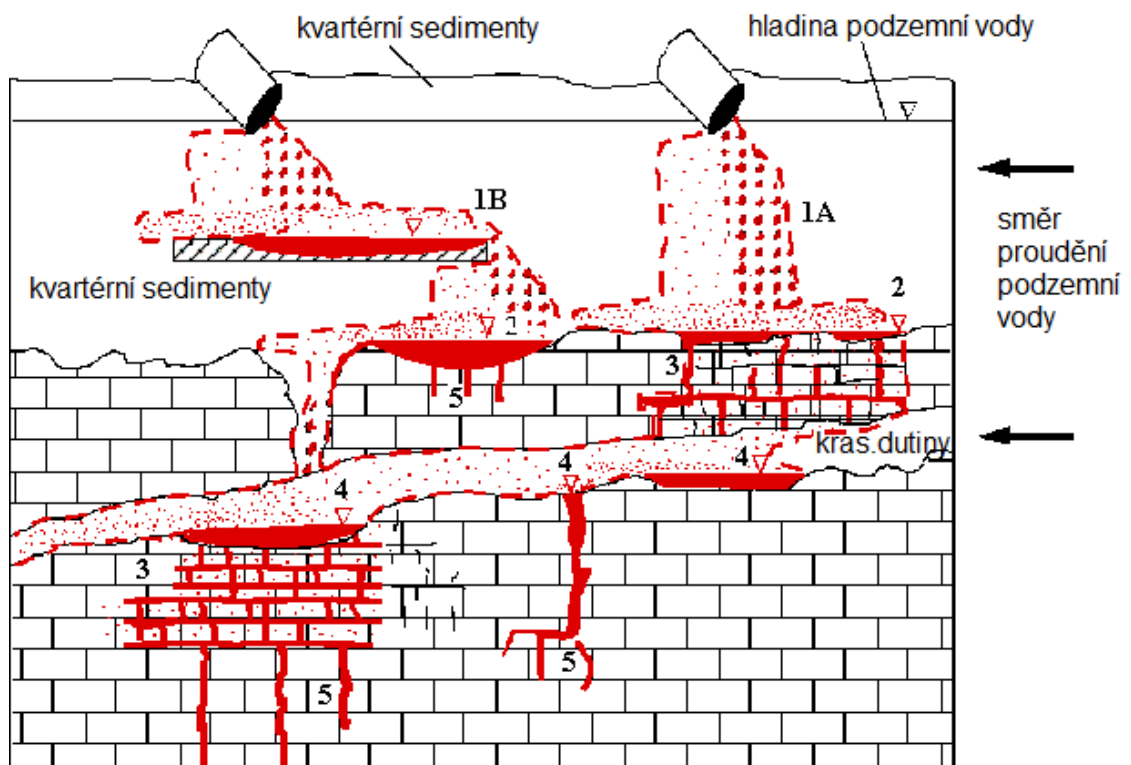
Obr. 1.27: Tvar kontaminačního mraku při uplatnění advekce a difúzně-disperzních procesů (a) a jen při advektivním šíření (b) (upraveno dle Bedient et al. 1999)

Velké nepravidelnosti v geometrii kontaminačního mraku mohou způsobit nehomogenity horninového prostředí (obr. 1.28). Čočky a polohy nepropustných hornin mohou dočasně zdržovat sestupný proud kontaminantu, případně ho odklonit do strany. Může se na nich vytvářet dočasné akumulace samostatné fáze kontaminantu a mohou i adsorbovat významné množství látek, které pak budou dlouhodobě a postupně kontaminovat okolní prostředí.



Obr. 1.28: Vliv nehomogenit (poloh nepropustných hornin) na šíření kontaminace (upraveno dle Pankow, Cherry 1996)

V případě puklinového prostředí bývá zvideň zasažena velmi nerovnoměrně (obr. 1.29), kontaminant se soustřeďuje na nejpropustnějších (preferovaných) cestách, po nichž se dočasně může šířit i jiným směrem, než je proudění podzemní vody. Vlivem difuze se postupně dostává z puklin i dovnitř jednotlivých bloků horniny, odkud opět jako reziduální kontaminace dlouhodobě znečišťuje protékající vodu, i když hlavní část kontaminace již odtekla nebo byla sanována.



1 záchyt znečištění v kvartérních sedimentech
 1A zbytkové znečištění DNAPL
 1B souvislá fáze DNAPL na málo propustné poloze kvartérních sedimentu

3 šíření znečištění v podloží difuzí

4 souvislá fáze DNAPL v krasových dutinách

2 souvislá fáze DNAPL na zpevněném podloží

5 šíření fáze DNAPL tektonickými poruchami



vápence s krasovými dutinami



málo propustná poloha v kvartérních sedimentech



tektonicky porušené vápence



souvislá fáze DNAPL



rozpuštěný kontaminant



zbytkové znečištění DNAPL

Obr. 1.29: Šíření kontaminantu v saturované zóně s různými typy puklinové porozity a naznačená difuze znečištění z puklin do bloků horniny (upraveno dle Pankow, Cherry 1996)

Úkolem průzkumných prací bývá objasnění a kvantifikace všech výše naznačených jevů a procesů, aby bylo možné správně zhodnotit nebezpečnost existující kontaminace a potřebu její sanace na bezpečné zbytkové hodnoty.

2 UDRŽITELNÉ VYUŽÍVÁNÍ ZDROJŮ PODZEMNÍ VODY

2.1 VÝZNAM ZDROJŮ PODZEMNÍ VODY, MANAGEMENT PODZEMNÍCH VOD

V preambuli Směrnice Evropského parlamentu a rady 2006/118/ES (o ochraně podzemních vod před znečištěním a zhoršováním stavu) se uvádí, že podzemní vody jsou cenným přírodním zdrojem, který by měl být chráněn před zhoršováním stavu a před chemickým znečištěním. Podzemní vody jsou nejcitlivějším a v Evropské unii největším sladkovodním zdrojem, a především také hlavním zdrojem pro zásobování veřejnosti pitnou vodou v mnoha oblastech. Obdobně i zákon č. 254/2001 Sb. – zákon o vodách, zdůrazňuje hlavní účel využití podzemních vod jako zdroje pitné vody. Z těchto důvodů je nezbytné podzemní vody ve vodních útvech využívaných k odběru pitné vody nebo uvažovaných k takovému využití v budoucnu chránit tak, aby se zamezilo zhoršování kvality těchto vodních útvarů.

Problematika udržitelného využívání zdrojů podzemních vod obsahuje široké množství faktorů souvisejících s riziky jejich ohrožení jako je:

- vyčerpání zdrojů podzemních vod,
- redukce průtoku povrchových toků,
- ohrožení vodních ekosystémů a na nich přímo závislých suchozemských ekosystémů,
- poklesy terénu, změny kvality podzemní vody.

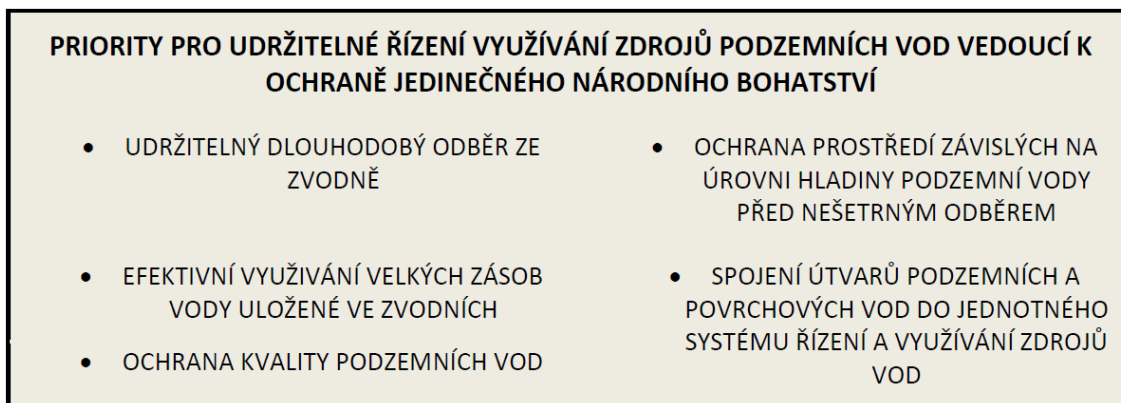
Každá hydrogeologická struktura je jedinečným systémem, a proto vyžaduje podrobnou analýzu existujících vztahů mezi velikostí přírodních zdrojů a jejich využíváním (spotřebou) pro zabezpečení udržitelného stavu.

Naléhavost ochrany podzemních vod a potřeba porozumět fungování vodního režimu v hydrogeologických strukturách narůstá s neřízeným a nekontrolovaným využíváním zdrojů, s rostoucími umělými zásahy do hydrogeologických struktur (např. při využívání geotermální energie) a rovněž s měnícími se klimatickými podmínkami.

Zdroje podzemních vod je proto nezbytné využívat plánovitě a řídit tak, aby nedocházelo k jejich dlouhodobému poškození.

Udržitelnost zdrojů je chápána jako takové využívání zdrojů podzemní vody, které v dlouhodobém časovém horizontu nevyvolává nepřijatelné ekologické, ekonomické, ani sociální následky. Vždy je nutné definovat udržitelnost zdrojů podzemní vody komplexně v celém hydrologickém systému, jehož jsou podzemní vody součástí (Alley et al, 1999).

Hlavní zásady pro udržitelné řízení využívání zdrojů podzemních vod jsou shrnuty na obrázku 2.1.



Obr. 2.1: Definování priorit pro management podzemních vod ve Spojeném království Velké Británie a Severního Irska (Alley et al, 1999)

2.2 PRÁVNÍ VYMEZENÍ OCHRANY A NAKLÁDÁNÍ S PODZEMNÍMI VODAMI

2.2.1 Legislativní a související předpisy Evropské unie

Rámcová směrnice o vodě (Směrnice 2000/60/ES)

Ochrana a nakládání s podzemními vodami jsou v rámci Evropského společenství upraveny řadou směrnic. Přelomový význam zejména z pohledu systematické ochrany vod při jejich udržitelném hospodářském využívání má Směrnice 2000/60/ES Evropského parlamentu a rady z 23. října 2000, ustavující rámec pro činnost Společenství v oblasti vodní politiky.

Směrnice 2000/60/ES (rámcová směrnice o vodách) obecně zavádí hospodaření a ochranu vod nikoliv po administrativních hranicích, ale po oblastech vzájemně souvisejících hydrologicky – povodích a v nich se nacházejících vodních útvarech.

Směrnice definuje:

- „**útvár povrchové vody**“ jako samostatný a významný prvek povrchové vody, jako jsou jezero, nádrž, tok, řeka nebo kanál, část toku, řeky nebo kanálu, brakické vody nebo úsek pobřežních vod,
- „**zvodnělou vrstvou**“ tj. podzemní vrstva nebo souvrství hornin nebo jiných geologických vrstev o dostatečné pórovitosti a propustnosti umožňující buď významné proudění podzemních vod, nebo odběr významných množství podzemních vod,
- „**útvár podzemních vod**“ jako příslušný objem podzemních vod ve zvodněné vrstvě nebo vrstvách,
- „**povodí**“ jako území, ze kterého veškerý povrchový odtok odtéká sítí potoků, řek a případně i jezer do moře v jediném vyústění, ústí nebo deltě toku,
- „**dílčí povodí**“ jako území, ze kterého veškerý povrchový odtok odtéká systémem potoků, řek a případně i jezer do určitého místa vodního toku (obvykle jezero nebo soutok řek),
- „**oblast povodí**“ - území pevniny a moře tvořené jedním nebo více sousedícími povodími, společně s podzemními a pobřežními vodami, které k nim přísluší,
- „**stav povrchových vod**“ jako obecné vyjádření stavu útvaru povrchové vody určené buď ekologickým, nebo chemickým stavem, podle toho, který je horší,

- *„dobrý stav povrchových vod“, kterým se rozumí takový stav útvaru povrchové vody, kdy je jeho jak ekologický, tak chemický stav přinejmenším „dobrý“,*
- *„stav podzemních vod“, kterým se rozumí obecné vyjádření stavu útvaru podzemní vody určené buď kvantitativním, nebo chemickým stavem, podle toho, který je horší,*
- *„dobrý stav podzemních vod“, kterým se rozumí takový stav útvaru podzemní vody, kdy je jeho jak kvantitativní, tak chemický stav přinejmenším „dobrý“,*
- *„ekologický stav“, kterým se rozumí vyjádření kvality struktury a funkce vodních ekosystémů spojených s povrchovými vodami.*

Směrnice požaduje po členských státech:

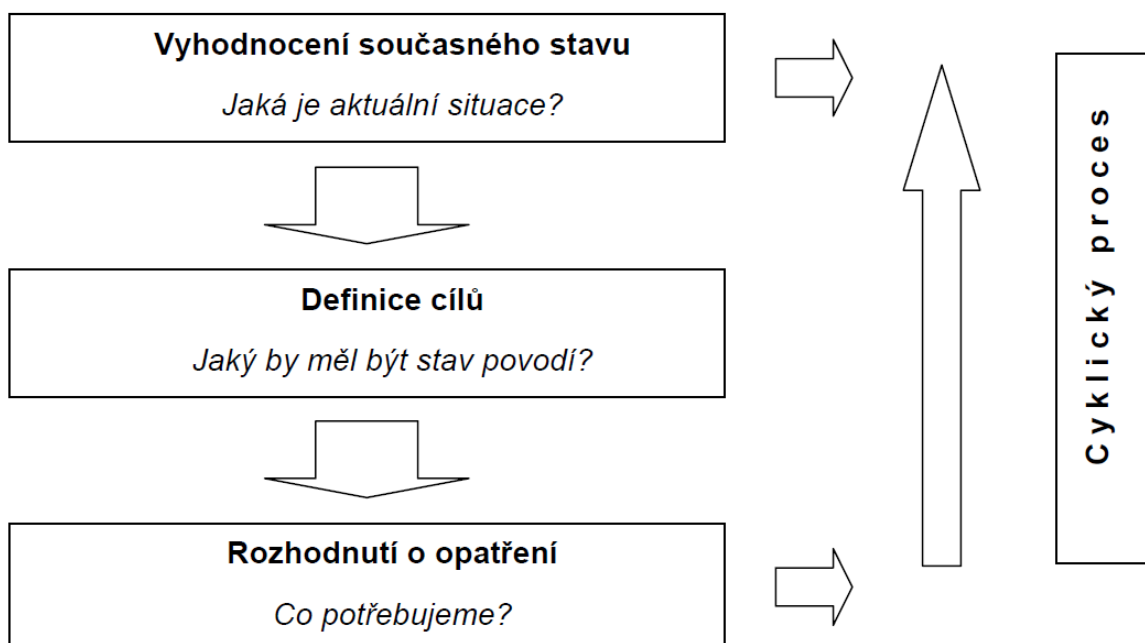
- *vymezit jednotlivá povodí na svém území a přiřadit je k jednotlivým oblastem povodí,*
- *ustanovit na svém území příslušný orgán (organizaci), který bude uplatňovat pravidla směrnice v rámci každé oblasti povodí, jež leží na jejich území,*
- *zajistit dosažení environmentálních cílů stanovených směrnicí a vzájemně spolupracovat při koordinaci a naplňování programů nápravných opatření v celé oblasti povodí.*

Environmentálními cíli pro podzemní vody je směrnicí zamýšleno:

- *provedení nezbytných opatření k zamezení nebo omezení vstupů znečišťujících látek do podzemních vod a k zamezení zhoršení stavu všech útvarů podzemních vod,*
- *zajištění ochrany, zlepšení stavu a obnovy všech útvarů podzemních vod a zajištění vyváženého stavu mezi odběrem podzemních vod a jejich doplňováním s cílem dosáhnout dobrého stavu podzemních vod nejpozději do roku 2015,*
- *provedení nezbytných opatření za účelem účinného snížení znečišťování podzemních vod, aby došlo ke zvratu jakéhokoli významného a trvalého vzestupného trendu koncentrace jakékoli znečišťující látky jako důsledku dopadů lidské činnosti.*

Směrnice požaduje shromažďování informací o přírodních charakteristikách povodí a vodních útvarů, o antropogenních vlivech, které na ně působí či mohou působit a hodnocení jejich ekologického, chemického nebo kvantitativního stavu. V případě, že vodní útvary nedosahují dobrého stavu, musí být navržena a realizována opatření na eliminaci negativních důsledků vlivů.

Implementace a dosažení environmentálních cílů pro jednotlivá povodí a vodní útvary je plánovitý proces – **vodohospodářské plánování**, který vede ke zpracování a praktickému uplatňování **plánu povodí**. Tento proces je uskutečňován v **šestiletých cyklech**, jeho etapy jsou znázorněny na následujícím schématu (obr.2.2).



Obr. 2.2: Koncepce vodohospodářského plánování (MZe, MŽP, 2004)

Plán povodí musí být sestaven pro každou oblast povodí. Je to dokument strategického plánování, který se vypracovává v průběhu procesu plánování pro účely integrovaného vodního hospodářství. Součástí plánu povodí je proces analyzování a monitorování, stanovování cílů a zvažování opatření na udržení nebo zlepšení stavu vod.

Plán povodí má několik funkcí, především je však jeho smyslem zaznamenat současný stav vodních útvarů v oblasti povodí, stanovit v hrubých rysech, jaká opatření jsou plánována na splnění environmentálních cílů, a má sloužit jako hlavní mechanismus pro předávání zpráv Komisi a veřejnosti. Rámcová směrnice o vodní politice stanovuje cyklický proces, tzn. plány povodí jsou sestavovány, uplatňovány a poté přehodnocovány každých šest let.

Příprava plánu povodí se uplatňuje etapovitě v následujících krocích:

1. Vyhodnocení současného stavu.
2. Definice environmentálních cílů.
3. Rozhodnutí o programu opatření.
4. Sestavení plánu povodí.

Ad 1) Vyhodnocení současného stavu

Vyhodnocení současného stavu je tvořeno 3 kapitolami:

- Obecný popis oblasti povodí.
- Identifikace významných vlivů a vyhodnocení jejich dopadu.
- Ekonomická analýza užívání vody.

Zpracování charakteristik podzemních vod a vyhodnocení dopadů významných antropogenních vlivů na podzemní vody obsahuje dvě základní etapy – výchozí a další charakterizace. Při **výchozí charakterizaci** jsou vymezeny útvary podzemních vod, zpracovány jejich přírodní charakteristiky, je provedena inventarizace významných

vlivů na základě celorepublikových dat a shromážděna a zpracována data z existujícího monitoringu podzemních vod. Pro všechny vymezené útvary podzemních vod je na základě shromážděných dat zpracována analýza vlivů a dopadů a identifikovány útvary, které v cílovém roce pravděpodobně nesplní environmentální cíle. Pro tyto útvary se provádí **další charakterizace**, tj. na základě regionálních dat se ověřuje, jestli skutečně hrozí nedosažení environmentálních cílů.

Hodnocení rizik pro podzemní vody vychází z toho, že u podzemních vod může trvat dlouhou dobu, než se po znečištění obnoví jejich kvalita. Pokud je dosažení dobrého stavu do cílového roku technicky neproveditelné nebo neúměrně nákladné, mohou být stanoveny nižší cíle. Útvary podzemních vod, pro něž byly takové nižší cíle stanoveny, musejí být identifikovány a zároveň musí být provedeno vyhodnocení proveditelnosti přirozené nebo uměle podpořené obnovy.

Monitorování je úkol, který velkou měrou souvisí s hodnocením rizik a hodnocením účinnosti opatření v procesu plánování přijímaných ke splnění environmentálních cílů. Rámcová směrnice popisuje tři **typy programů monitorování** s různými informačními účely:

- **Situační monitoring**, který se zaměřuje především na zdokonalení hodnocení, které vodní útvary jsou, či nejsou rizikové z hlediska dosažitelnosti environmentálních cílů podle Rámcové směrnice. Jeho součástí je monitoring kvantitativního stavu a vývoje zátěže podzemních vod znečišťujícími látkami.
- **Provozní monitoring** se zaměřuje výhradně na ty vodní útvary, které jsou na základě hodnocení rizik a programů situačního monitoringu identifikovány z hlediska dosažitelnosti environmentálních cílů jako rizikové. Provozní monitoring musí vycházet z indikátorů, které jsou citlivé vůči identifikovaným vlivům. Součástí tohoto programu je rovněž monitoring úrovně hladiny podzemních vod, aby bylo možné hodnotit rizikovost útvarů podzemních vod podle jejich kvalitativního stavu.
- **Průzkumný monitoring** se používá k nalezení odpovědi na otázku, proč je vodní útvar rizikový. Měl by pomoci při návrhu příslušných vodohospodářských opatření.

Smyslem **ekonomické analýzy užívání vody** je vytvořit účinnou politiku poplatků v oblasti vody, která povede k efektivnímu využívání vodních zdrojů a zajistí přispívání k úhradě nákladů na vodohospodářské služby. Ekonomická analýza užívání vody shrnuje informace o **hospodářském významu užívání vody**, **prognóze trendů** pro další období (základní scénář), **analýze návratnosti nákladů vodohospodářských služeb** a o zhodnocení použitých přístupů, získaných informacích a požadavcích na následné práce.

Ad 2) Definování environmentálních cílů a rozhodnutí o programu opatření

Rámcová směrnice definuje tři **hlavní environmentální cíle** pro vodní útvary:

- Zabránit dalšímu zhoršování stavu vodních útvarů.
- Obnovení dobrého stavu vodních útvarů do cílového roku.
- Dosažení cílů pro chráněné oblasti.

Pro dosažení environmentálních cílů se vypracovává program opatření. **Program opatření** spočívá v definování regulačních nebo základních opatření pro každou oblast povodí, která budou nezbytná ke splnění cílů stanovených pro cílový rok v plánu oblasti povodí.

K základním opatřením patří tzv. **sdužený přístup**, tzn. vodní politika by měla být založena na regulaci znečišťování u zdroje stanovením hodnot emisních limitů a definování norem kvality životního prostředí. Součástí základních opatření je i používání ekonomických nástrojů. Má být vzata v úvahu **zásada návratnosti nákladů na vodohospodářské služby**, včetně nákladů na životní prostředí a vodní zdroje, spojené s poškozením nebo nepříznivým ovlivněním vodního hospodářství, a to zejména v souladu s **principem – znečišťovatel platí**. Pro tento účel bude nezbytná ekonomická analýza vodohospodářských služeb založena na dlouhodobé předpovědi nabídky a poptávky po vodě v oblasti povodí.

Ad 3) Sestavení plánu povodí

Plány povodí jsou sestavovány, uplatňovány a poté přehodnocovány každých šest let.

V současné době jsou zpracovány plány povodí, které obsahují konečný přehled kvalitativních a kvantitativních cílů, jichž bude třeba dosáhnout do roku 2015.

Směrnice 2006/118/ES o ochraně podzemních vod před znečištěním a zhoršováním stavu

Směrnice 2006/118/ES Evropského parlamentu a rady ze dne 12. prosince 2006, o ochraně podzemních vod před znečištěním a zhoršováním stavu, stanoví specifická opatření s cílem předcházet a kontrolovat znečišťování podzemních vod.

K těmto opatřením patří zejména ustanovení:

- kritérií pro hodnocení dobrého chemického stavu podzemních vod a
- kritérií pro zjišťování a změnu významných a trvalých vzestupných trendů a pro definování počátku změny trendu.

Směrnice definuje:

- *„normu jakosti podzemní vody“ jako normu environmentální kvality vyjádřenou jako koncentrace určité znečišťující látky nebo skupiny znečišťujících látek anebo hodnota ukazatele, která nesmí být překročena z důvodu ochrany lidského zdraví a životního prostředí. Normy jakosti podzemní vody jsou definovány pro znečišťující látky – dusičnany a účinné látky v pesticidech včetně metabolitů, produktů rozkladu a reakčních produktů,*
- *„prahovou hodnotu“ jako normu jakosti podzemní vody stanovenou členskými státy, na jejichž základě jsou útvary podzemních vod označovány za rizikové z hlediska nedosažení dobrého chemického stavu podzemních vod,*
- *„významný a trvalý vzestupný trend“ jako jakékoli statisticky a z hlediska životního prostředí významné zvýšení koncentrace znečišťující látky nebo skupiny znečišťujících látek anebo hodnoty ukazatele znečištění v podzemní vodě rizikových útvarů podzemních vod,*
- *„vstup znečišťující látky do podzemní vody“ jako přímé nebo nepřímé zavedení znečišťující látky do podzemních vod v důsledku lidské činnosti,*
- *„úroveň pozadí“ jako koncentraci látky nebo hodnota ukazatele, která odpovídá nulové či velmi nízké antropogenní změně ve srovnání s nenarušenými podmínkami,*
- *„výchozí úroveň“ jako průměrnou hodnotu naměřenou alespoň v referenčních letech 2007 a 2008 na základě monitorovacích programů prováděných podle směrnice 2000/60/ES nebo, v případě látek identifikovaných po uplynutí*

uvedených referenčních let, v průběhu prvního období, pro něž je dostupné reprezentativní období monitorovacích údajů.

Směrnice požaduje po členských státech:

- *používat při hodnocení chemického stavu útvaru nebo skupiny útvarů podzemních vod normy jakosti podzemní vody (definované směrnicí 2006/118/ES) a prahové hodnoty, které musí být stanoveny na celostátní úrovni na úrovni oblasti povodí nebo části mezinárodního povodí, nebo na úrovni útvaru či skupiny útvarů podzemních vod,*
- *provádět hodnocení kvantitativního a chemického stavu podzemních vod, identifikovat významný a trvalý vzestupný trend a definovat počátek změny trendu,*
- *zajistit, aby program opatření stanovený v plánech povodí zahrnoval veškerá nezbytná opatření k zamezení vstupu jakýchkoli nebezpečných látek do podzemních vod z difúzních a z bodových zdrojů,*
- *dodržovat harmonogram stanovený směrnicí pro zavádění příslušných opatření.*

Nitrátová směrnice (Směrnice Rady 91/676/EHS o ochraně vod před znečišťováním způsobeném dusičnany ze zemědělských zdrojů)

Cílem této směrnice je snižovat znečišťování vod, které je způsobované nebo jehož příčinou jsou dusičnany ze zemědělských zdrojů a předcházet dalšímu takovému znečišťování. Jako nástroj využívá vymezení tzv. **zranitelných oblastí**, kde se vyskytují povrchové nebo podzemní vody znečištěné dusičnany ze zemědělských zdrojů, zejména využívané nebo určené jako zdroje pitné vody, v nichž koncentrace dusičnanů přesahuje hodnotu 50 mg/l nebo mohou této hodnoty dosáhnout, nebo povrchové vody, u nichž v důsledku vysoké koncentrace dusičnanů ze zemědělských zdrojů dochází nebo může dojít k nežádoucímu zhoršení jakosti vody. Zemědělské hospodaření ve zranitelných oblastech dále upravuje akční program nitrátové směrnice.

QA/QC směrnice (Směrnice 2009/90/ES kterou se podle směrnice Evropského parlamentu a Rady 2000/60/ES stanoví technické specifikace chemické analýzy a monitorování stavu vod)

Tato směrnice stanoví technické specifikace chemické analýzy a monitorování stavu vod v souladu s čl. 8 odst. 3 směrnice 2000/60/ES. Stanoví minimální pracovní kritéria pro metody analýzy používané členskými státy při monitorování stavu vod, sedimentu a živých organismů, jakož i pravidla prokazování kvality výsledků analýz. Směrnice stanovuje povinnost, aby veškeré metody analýzy, včetně laboratorních, běžných a online metod, které se používají pro účely programů monitorování chemického stavu vod prováděných podle směrnice 2000/60/ES, byly schváleny a zaznamenány v souladu s normou EN ISO/IEC–17025 (Posuzování shody - Všeobecné požadavky na způsobilost zkušebních a kalibračních laboratoří) nebo jinými rovnocennými normami přijatými na mezinárodní úrovni. Dále stanovuje pravidla pro minimální pracovní kritéria metod použitých analýz a způsob zpracování naměřených hodnot pro účely hodnocení stavu vod.

Metodické materiály k implementaci Rámcové směrnice o vodách

Za účelem spolupráce a koordinace implementačních činností se členské státy a Komise dohodly na zavedení tzv. Společné implementační strategie (CIS), která má zajistit sdílení informací a výměnu dat, testování a zavádění jednotlivých nástrojů, které byly v rámci strategie vyvinuty. Metodické pokyny jsou vydávány, aby pomohly při implementaci jednotlivých prvků Rámcové směrnice o vodách. Poskytují souhrnný metodický přístup, který je však potřeba přizpůsobit konkrétním podmínkám jednotlivých členských států EU.

Seznam metodických pokynů týkající se podzemních vod:

- Guidance document No. 7: Monitoring under the Water Framework Directive.
- Guidance document No. 15: Guidance on Groundwater Monitoring.
- Guidance document No. 16: Guidance on Groundwater in Drinking Water Protected Areas.
- Guidance document No. 17: Guidance on preventing or limiting direct and indirect inputs in the context of the Groundwater directive 2006/118/EC.
- Guidance document No. 18: Guidance on Groundwater Status and Trend Assessment.

Tyto metodické pokyny jsou v anglickém originále k dispozici ke stažení z WFD CIRCA na adrese: http://ec.europa.eu/environment/water/water-framework/facts_figures/guidance_docs_en.htm

2.2.2 Legislativní a související předpisy v České republice

Zákon o vodách (Zákon č. 254/2001 Sb.)

Zákon č. 254/2001 Sb. o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon) je základní právní normou pro ochranu a nakládání s vodami v České republice a implementuje požadavky evropského práva pro místní podmínky.

Zákon mj. upravuje **právní vztahy k podzemním vodám, vztahy fyzických a právnických osob k využívání podzemních vod**, jakož i **vztahy k pozemkům a stavbám**, s nimiž výskyt těchto vod přímo souvisí, a to **v zájmu zajištění trvale udržitelného užívání** těchto vod, **bezpečnosti vodních děl** a **ochrany před účinky povodní a sucha**. Účelem zákona je též přispívat k **zajištění zásobování obyvatelstva pitnou vodou** a k **ochraně vodních ekosystémů** a na nich **přímo závisících suchozemských ekosystémů**.

Zákon vymezuje **orgány státní správy** v oblasti ochrany a nakládání s vodami, kterou vykonávají vodoprávní úřady a Česká inspekce životního prostředí, a jejich povinnosti a pravomoci.

Vodoprávními úřady jsou:

- *obecní úřady,*
- *újezdní úřady na území vojenských újezdů,*
- *obecní úřady obcí s rozšířenou působností,*
- *krajské úřady,*
- *ministerstva jako ústřední vodoprávní úřad.*

V dalším textu jsou uvedeny základní pojmy, povinnosti a pravidla, které zákon vymezuje pro **oblast podzemních vod**.

Definice pojmů:

- **Podzemními vodami** jsou vody přirozeně se vyskytující pod zemským povrchem v pásnu nasycení v přímém styku s horninami; za podzemní vody se považují též vody protékající podzemními drenážními systémy a vody ve studních (definice je poněkud odlišná od hydrogeologické definice podzemních vod – viz. kapitola 1.2).

- **Útvar podzemní vody** je vymezené soustředění podzemní vody v příslušném kolektoru nebo kolektorech; kolektorem se rozumí horninová vrstva nebo souvrství hornin s dostatečnou propustností, umožňující významnou spojitou akumulaci podzemní vody nebo její proudění či odběr.

- **Hydrogeologický rajon** je území s obdobnými hydrogeologickými poměry, typem zvodnění a oběhem podzemní vody.

(Pojmy útvary a hydrogeologické rajóny jsou v podstatě totožné a odpovídají rozsahům dílčích povodí viz kap. 2.3).

- další pojmy jsou zcela shodné s pojmy použitými v evropských směrnicih (kapitola 2.2.1)

Statut podzemních vod:

- Podzemní vody dle znění zákona **nejsou předmětem vlastnictví a nejsou součástí ani příslušenstvím pozemku, na němž nebo pod nímž se vyskytují.**

Nakládání s podzemními vodami:

- Každý, kdo nakládá s podzemními vodami, je povinen dbát o jejich ochranu a zabezpečovat jejich hospodárné a účelné užívání.

Povolení k nakládání s podzemními vodami je třeba:

- k jejich odběru,
- k jejich akumulaci,
- k jejich čerpání za účelem snižování jejich hladiny,
- k umělému obohacování podzemních zdrojů vod povrchovou vodou,
- k jinému nakládání s nimi,
- k vypouštění odpadních vod do vod podzemních,
- k čerpání podzemních vod a jejich následnému vypouštění do těchto vod za účelem získání tepelné energie,
- k čerpání znečištěných podzemních vod za účelem snížení jejich znečištění a k jejich následnému vypouštění do těchto vod, popřípadě do vod povrchových.

Zjišťování a hodnocení stavu podzemních vod zahrnuje zejména:

- zjišťování množství a jakosti podzemních vod včetně jejich ovlivňování lidskou činností a zjišťování stavu vodních útvarů,
- vedení vodní bilance,
- zřízení, vedení a aktualizace evidence hydrogeologických rajonů a vodních nádrží, množství a jakosti podzemních vod, odběrů podzemních vod, chráněných oblastí přirozené akumulace vod, ochranných pásem vodních zdrojů, zdrojů podzemních vod pro využití jako zdroje pitné vody, zranitelných oblastí.

Plánování v oblasti vod a cíle ochrany vod.

Mezi **hlavní cíle ochrany podzemních vod** zákon zařazuje:

- *zamezení nebo omezení vstupů nebezpečných, zvláště nebezpečných a jiných závadných látek do těchto vod a zamezení zhoršení stavu všech útvarů těchto vod,*
- *zajištění ochrany, zlepšení stavu a obnova všech útvarů těchto vod a zajištění vyváženého stavu mezi odběry podzemní vody a jejím doplňováním, s cílem dosáhnout dobrého stavu těchto vod,*
- *odvrácení jakéhokoliv významného a trvajících vzestupného trendu koncentrace nebezpečných, zvláště nebezpečných a jiných závadných látek jako důsledku dopadů lidské činnosti, za účelem účinného snížení znečištění těchto vod.*

Cíle ochrany podzemních vod jsou prosazovány pomocí programů opatření definovaných v plánech povodí.

Zdroje podzemních vod a jejich ochrana:

- *zdroje podzemních vod jsou **přednostně vyhrazeny pro zásobování obyvatelstva pitnou vodou**. K jiným účelům může vodoprávní úřad povolit použití podzemní vody pouze, není-li to na úkor uspokojování zásobování pitnou vodou.*
- *K **ochraně vydatnosti, jakosti a zdravotní nezávadnosti zdrojů podzemních vod** využívaných nebo využitelných pro **zásobování pitnou vodou** s průměrným odběrem více než 10 000 m³ za rok a zdrojů podzemní vody pro výrobu balené kojenecké vody nebo pramenité vody **stanoví vodoprávní úřad ochranná pásma** opatřením obecné povahy. Ochranná pásma se dělí na **ochranná pásma I. stupně**, která slouží k ochraně vodního zdroje v bezprostředním okolí jímacího nebo odběrného zařízení, a **ochranná pásma II. stupně**, která slouží k ochraně vodního zdroje v územích stanovených vodoprávním úřadem tak, aby nedocházelo k ohrožení jeho vydatnosti, jakosti nebo zdravotní nezávadnosti.*

Poplatky za odběr podzemních vod:

- *Poplatek je stanoven při překročení odběru 6 000m³ podzemní vody z jednoho vodního zdroje za rok, resp. 500 m³ za jeden měsíc.*

Vypouštění odpadních vod do podzemních vod:

- *Přímé vypouštění odpadních vod do podzemních vod je zakázáno.*
- *Zcela výjimečně lze za přesně definovaných podmínek povolit vypouštění odpadních vod neobsahujících nebezpečné závadné látky nebo zvláště nebezpečné závadné látky z jednotlivých staveb pro bydlení, jednotlivých staveb pro rodinnou rekreaci nebo z jednotlivých staveb poskytujících ubytovací služby, vznikajících převážně jako produkt lidského metabolismu a činnosti v domácnostech přes půdní vrstvy do vod podzemních.*

Zákonem jsou dále plně implementovány požadavky Rámcové směrnice 2000/60/ES o vodách pro ochranu a hospodaření v oblastech povodí, pro vodohospodářské plánování a hodnocení stavu vodních útvarů a dosažení jejich dobrého stavu.

Vyhláška č. 5/2011 Sb. o vymezení hydrogeologických rajonů a útvarů podzemních vod, způsobu hodnocení stavu podzemních vod a náležitostech programů zjišťování a hodnocení stavu podzemních vod

Vyhláška obsahuje vymezení **hydrogeologických rajonů a vodních útvarů podzemních vod**. Dále definuje **způsob hodnocení stavu podzemních vod a monitorovací sítě**. Definuje v souladu se Směrnicí 2006/118/ES programy pro zjišťování a hodnocení stavu podzemních vod. Ve vyhlášce jsou uvedeny **normy jakosti podzemních vod** (referenční hodnoty) platné pro ČR.

Vyhláška č. 252/2003 Sb., o rozsahu údajů v evidencích stavu povrchových a podzemních vod a o způsobu zpracování, ukládání a předávání těchto údajů do informačních systémů veřejné správy

Vyhláška stanovuje způsob vedení a odpovědnost za vedení evidencí týkajících se podzemních vod v informačních systémech státní správy (dle požadavků zákona o vodách č.254/2001 Sb.).

Vyhláška š. 431/2001 Sb. o obsahu vodní bilance, způsobu jeho sestavení a o údajích pro vodní bilanci

Vyhláška definuje obsah, způsob a odpovědnost jednotlivých subjektů v procesu sestavení vodní bilance pro povrchové a podzemní vody.

Vodní bilance se skládá z:

- **Hydrologické bilance**, jejíž obsahem je porovnání přírůstků a úbytků vody s vyhodnocením změn vodních zásob v povodí, v hydrogeologickém rajonu, v území nebo ve vodním útvaru za daný časový interval z hlediska množství a jakosti vody, které charakterizuje prostorové a časové rozdělení oběhu vody v přírodním prostředí.
- **Vodohospodářské bilance**, jejíž obsahem je porovnání požadavků na odběry povrchové a podzemní vody, odběry přírodních léčivých a přírodních minerálních vod a vypouštění odpadních a důlních vod v jejich povolených, skutečných a výhledových hodnotách s využitelnou kapacitou vodních zdrojů z hlediska množství a jakosti vody. Vodohospodářská bilance hodnotí dopady lidské činnosti na povrchové a podzemní vody v uvažovaném místě a čase.
- **Souhrnné vodní bilance**.

Odběratelé povrchových nebo podzemních vod, jakož i ti, kteří využívají přírodní léčivé zdroje nebo zdroje přírodních minerálních vod a vody, které jsou vyhrazenými nerosty, a dále ti, kteří vypouštějí do vod povrchových nebo podzemních vody odpadní nebo důlní v množství přesahujícím v kalendářním roce 6 000 m³ nebo 500 m³ v kalendářním měsíci, ohlašují údaje pro vodní bilanci v rozsahu a četnosti uvedené v této vyhlášce.

Vyhláška č. 24/2011 Sb. o plánech povodí a plánech pro zvládání povodňových rizik

Tato vyhláška upravuje obsah plánů povodí a plánů pro zvládání povodňových rizik, dále upravuje obsah základních a doplňkových opatření pro ochranu vod, podrobnosti etap zpracování návrhů plánů, způsob a formu zpracování předběžného vyhodnocení povodňových rizik, způsob stanovení oblastí s významným povodňovým rizikem, obsah a způsob zpracování map povodňového nebezpečí, map povodňových rizik a formy jejich zveřejnění, způsob zpřístupnění přípravných prací, návrhů plánů povodí a návrhů plánů pro zvládání povodňových rizik pro aktivní zapojení uživatelů vody a veřejnosti, jakož i způsob zpracování plánů.

Nařízení vlády č. 416/2010 Sb. o ukazatelích a hodnotách přípustného znečištění odpadních vod a náležitostech povolení k vypouštění odpadních vod do vod podzemních

Nařízení vlády definuje ukazatele a hodnoty přípustného znečištění odpadních vod (emisní standardy) pro ukazatele chemická spotřeba kyslíku (CHSK-Cr), biologické spotřeby kyslíku (BSK-5), amonné ionty (NH_4^+), nerozpuštěné látky, celkový fosfor a mikrobiologické ukazatele (*Escherichia coli* a enterokoky). Dále definuje podmínky povolení k vypouštění do podzemních vod včetně minimální četnosti měření množství a znečištění vypouštěných odpadních vod.

Nařízení vlády č. 262/2012 Sb. o stanovení zranitelných oblastí a akčním programem ve znění Nařízení vlády č. 117/2014 Sb.

Nařízení vlády obsahuje vymezení zranitelných oblastí na základě identifikace povrchových nebo podzemních vod znečištěných nebo ohrožených dusičnany ze zemědělských zdrojů. Zranitelné oblasti jsou vymezeny pomocí katastrálních území. Nařízení vlády stanovuje akční program obsahující pravidla zemědělské výroby ve zranitelných oblastech.

2.3 ÚTVARY PODZEMNÍCH VOD V ČESKÉ REPUBLICĚ

2.3.1 Vymezení útvarů podzemních vod

Území České republiky náleží do třech mezinárodních oblastí povodí, a to do mezinárodní oblasti povodí Labe, mezinárodní oblasti povodí Odry a mezinárodní oblasti povodí Dunaje. V rámci České republiky je dále vymezeno deset dílčích povodí:

- mezinárodní oblast povodí Labe:
 - dílčí povodí Horního a středního Labe,
 - dílčí povodí Ohře, Dolního Labe, a ostatních přítoků Labe,
 - dílčí povodí Horní Vltavy,
 - dílčí povodí Dolní Vltavy,
 - dílčí povodí Berounky,
- mezinárodní oblast povodí Odry:
 - dílčí povodí Lužické Nisy a ostatních přítoků Odry,
 - dílčí povodí Horní Odry,

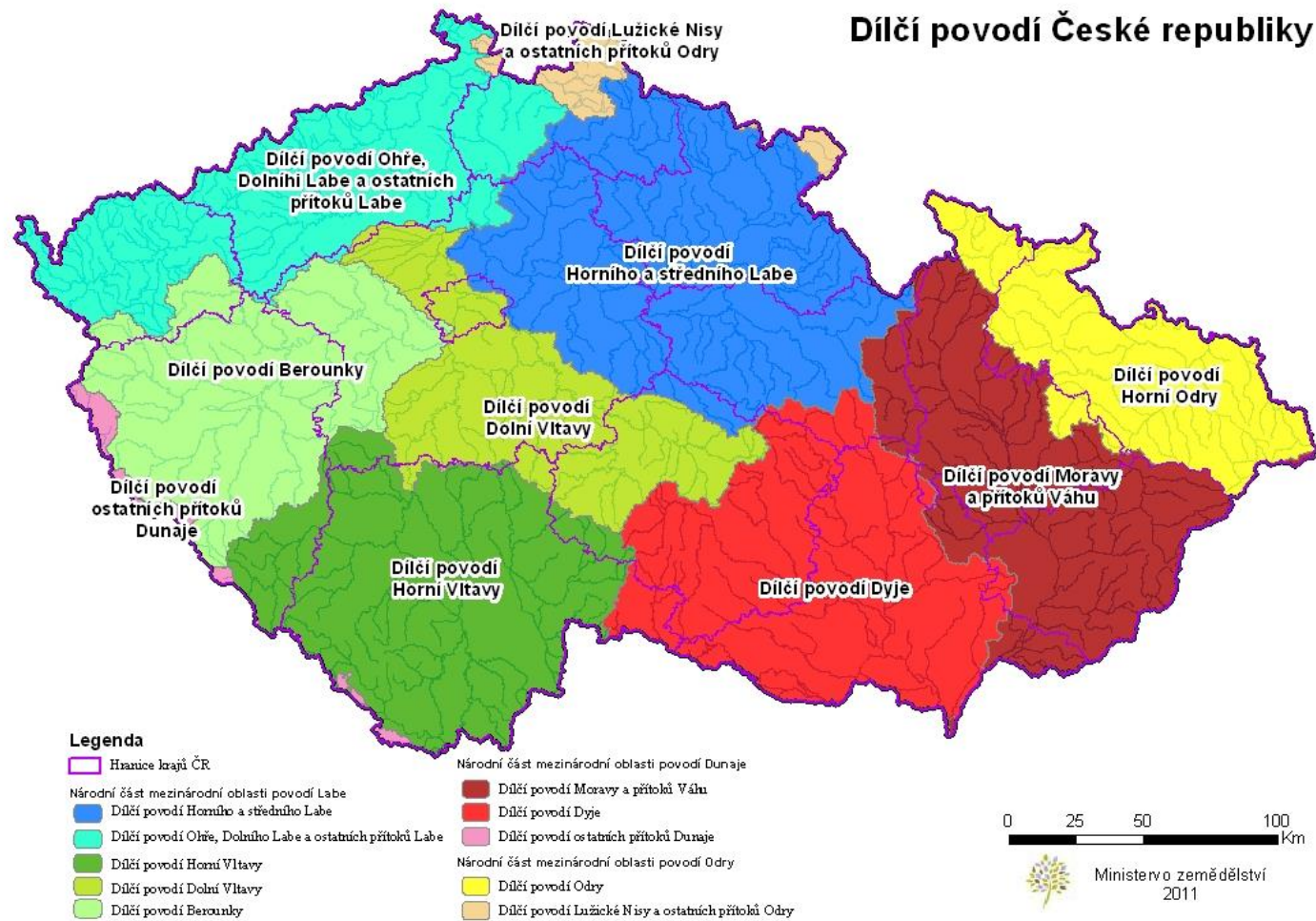
- mezinárodní oblast povodí Dunaje:
 - dílčí povodí Moravy a přítoků Váhu,
 - dílčí povodí Dyje,
 - dílčí povodí ostatních přítoků Dunaje.

Vymezení dílčích povodí na území ČR je znázorněno na obrázku 2.3.

Správu povodí vykonávají podle § 54 zákona č. 254/2001 Sb., o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon), státní podniky Povodí. Rozdělení jednotlivých dílčích povodí mezi státní podniky Povodí je uvedeno v tabulce 2.1. Náplní správy povodí je souhrn činností spojených se správou vodních toků, se zjišťováním a hodnocením stavu povrchových a podzemních vod v daném dílčím povodí a s dalšími činnostmi podle tohoto zákona.

Tabulka 2.1: Rozdělení správy dílčích povodí v České republice

název	spravovaná dílčí povodí
Povodí Labe, s.p.	<ul style="list-style-type: none"> • dílčí povodí Horního a středního Labe, • dílčí povodí Lužické Nisy a ostatních přítoků Odry
Povodí Vltavy, s.p.	<ul style="list-style-type: none"> • dílčí povodí Horní Vltavy, • dílčí povodí Dolní Vltavy, • dílčí povodí Berounky, • dílčí povodí ostatních přítoků Dunaje
Povodí Ohře, s.p.	<ul style="list-style-type: none"> • dílčí povodí Ohře, Dolního Labe, a ostatních přítoků Labe
Povodí Moravy, s.p.	<ul style="list-style-type: none"> • dílčí povodí Moravy a přítoků Váhu, • dílčí povodí Dyje
Povodí Odry, s.p.	<ul style="list-style-type: none"> • dílčí povodí Horní Odry



Obr. 2.3: Vymezení dílčích povodí na území České republiky (Kepřtová, 2014)

V rámci podzemních vod je činnost správců povodí vázána nejen na dílčí povodí, ale rovněž na **hydrogeologické rajony**, tj. na území s obdobnými hydrogeologickými poměry, typem zvodnění a oběhem podzemních vod, a na útvary podzemní vody - vymezené soustředění podzemní vody v příslušném kolektoru nebo kolektorech.

Hydrogeologické rajony, společně s **vodními útvary podzemních vod** jsou **základními bilančními jednotkami pro hodnocení stavu podzemních vod**.

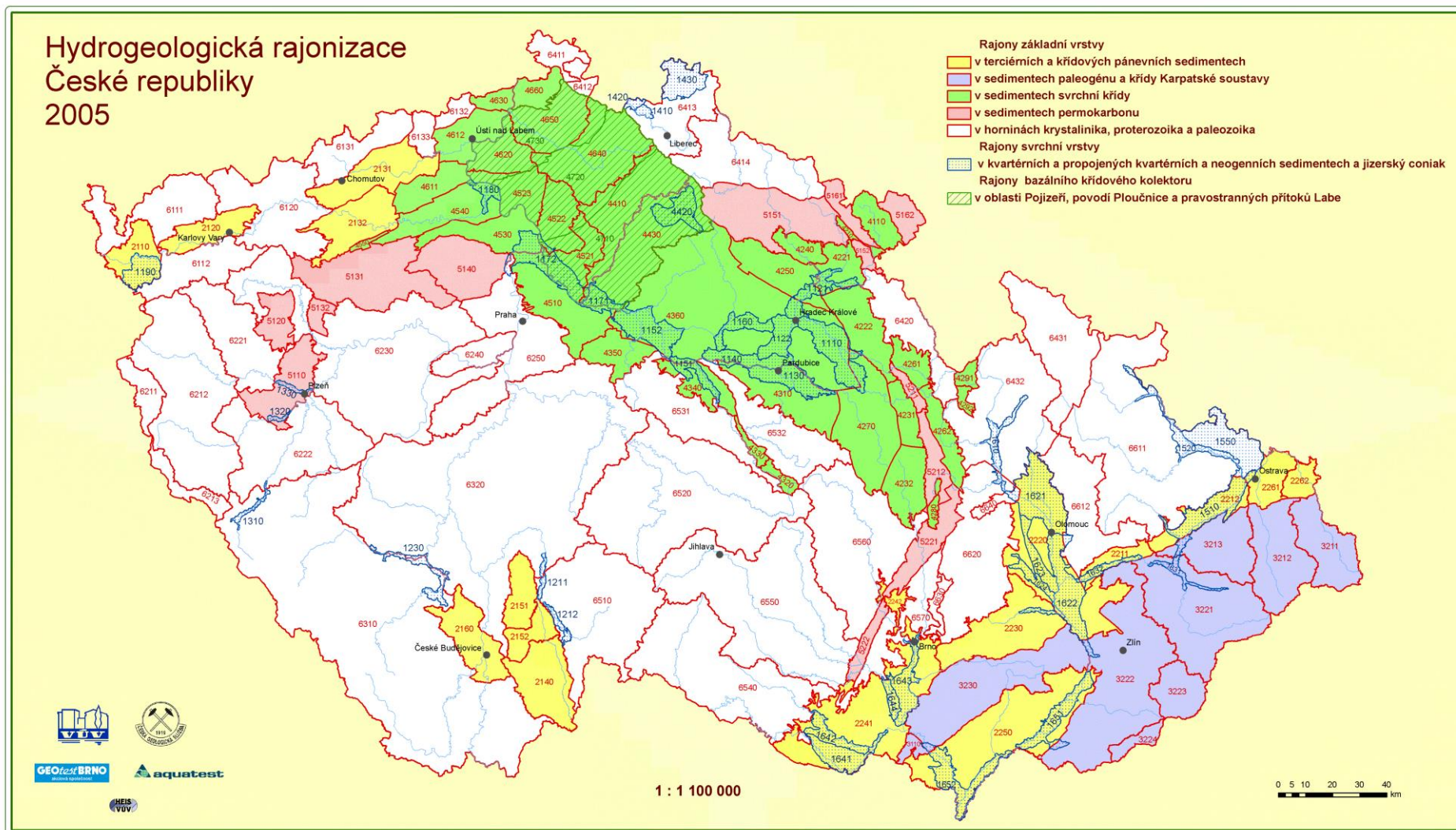
Nově byly rajony vymezeny na základě hydrogeologické rajonizace z roku 2005 a následně uzákoněny vyhláškou č. 5/2011 Sb., o vymezení hydrogeologických rajonů a útvarů podzemních vod, způsobu hodnocení stavu podzemních vod a náležitostech programů zjišťování a hodnocení stavu podzemních vod. První krok vymezení vychází z přírodních podmínek podzemních vod jako je systém proudění a hranice hydrogeologických struktur. Útvary podzemních vod byly vymezeny podle revidovaných hydrogeologických rajonů, které již 30 let fungují v ČR jako základní jednotky pro bilancování množství podzemních vod.

Z hlediska přírodních charakteristik se útvary podzemních vod dělí na vlastní útvary a skupiny útvarů. V útvarech podzemních vod plošně převládá jeden vymežitelný kolektor, případně více kolektorů pod sebou, skupiny útvarů podzemních vod jsou charakterizovány pestrou směsí lokálních kolektorů. **Základním kritériem pro vymezení útvarů podzemních vod** byla podmínka definování **bilanční jednotky a jednoznačné definování všech fází oběhu vody**: infiltrace – proudění, akumulace – odvodnění. Zároveň bylo přihlédnuto k hydrogeologickým poměrům natolik, aby bylo možno útvary podzemních vod hodnotit jako relativně homogenní jednotky z hlediska chemického stavu.

Na území České republiky je vymezeno celkem 175 útvarů podzemní vody, umístěných na 152 hydrogeologických rajonech. 111 hydrogeologických rajonů se nachází v základní vrstvě, 38 rajonů ve vrstvě svrchní a 3 rajony v bazálním křídovém kolektoru. Přehled rozdělení rajonů je uveden v tabulce 2.2. Na obrázku 2.4 jsou jednotlivé hydrogeologické rajony na území České republiky znázorněny.

Tabulka 2.2. Přehled rozdělení hydrogeologických rajonů na území ČR (Olmer, 2010)

1	Rajony v kvartérních a propojených kvartérních a neogenních sedimentech	37 rajonů
2	Rajony v terciérních a křídových pánevních sedimentech	17 rajonů
3	Rajony v sedimentech paleogénu a křídý Karpatské soustavy	9 rajonů
4	Rajony v sedimentech svrchní křídý	40 rajonů
5	Rajony v sedimentech permokarbonu	13 rajonů
6	Rajony v horninách krystalinika, proterozoika a paleozoika	36 rajonů
CELKEM		152 rajonů
Z toho:		
	v základní vrstvě	111 rajonů
	ve svrchní vrstvě	38 rajonů
	ve vrstvě bazálního křídového kolektoru	3 rajony



Obr. 2.4: Hydrogeologická rajonizace České republiky (VÚV TGM,2005)

2.3.2 Charakteristika útvarů podzemních vod

Obecný popis útvarů podzemních vod

K jednotlivým **hydrogeologickým rajonům** jsou připojeny jejich **základní charakteristiky**, které zahrnují následující údaje (VÚV TGM,2005):

- obecné údaje:
 - ID útvaru / skupiny, ID kolektoru,
 - název útvaru, název kolektoru,
 - oblast povodí podle administrativního rozdělení,
 - oblast povodí (mezinárodní),
 - plocha (km²),
- vybrané přírodní charakteristiky:
 - typ zvodnění: lokální, souvislé,
 - útvar / skupina,
- hydrogeologické charakteristiky (vztahující se ke kolektoru v případě útvaru či k horninovému prostředí v případě skupin útvarů):
 - geologický útvar: kvartér, neogén, paleogén, křída, permokarbon; proterozoikum, paleozoikum a krystalinikum,
 - litologie: štěrkopísek, písek, písek a hlína, atd.,
 - typ propustnosti: průlinová, puklinová, krasová, průlino-puklinová, puklino-průlinová,
 - transmisivita: rozpětí podle řádu,
 - celková mineralizace,
 - chemický typ,
 - typ hladiny: volná, napjatá (negativní), artézská (napjatá pozitivní),
 - mocnost (pouze útvary),
 - souvrství (pouze křídové útvary): klikovské, merboltické, březenské,
 - podrobná stratigrafická jednotka (pouze křídové útvary): senon, spodní santon, ..
 - hodnoty přírodních zdrojů podzemních vod

Na základě uvedených charakteristik je možno rozdělit hydrogeologické rajony do tří skupin, které se liší způsobem oběhu podzemní vody, a budou tak vyžadovat i odlišný způsob hodnocení přírodních zdrojů podzemních vod (Olmer, 2010):

- hydrogeologické rajony s výskytem souvislého zvodnění,
- hydrogeologické rajony s nesouvislým zvodněním,
- hydrogeologické rajony fluviálních sedimentů.

Hydrogeologické rajony se souvislým zvodněním zahrnují převážně pánevní struktury. Podzemní voda v nich proudí na velké vzdálenosti, často nezávisle na povrchové říční síti. Jde o hydrogeologické rajony v sedimentárních horninách s větším počtem superponovaných kolektorů. Oblast dotace, kde se podzemní voda doplňuje vsakem srážek, a oblast drenáže mohou být v podmínkách ČR vzdáleny až desítky kilometrů. V této skupině rajonů zpravidla orografické povodí neodpovídá hydrogeologickému povodí, avšak rozsah rajonu v zásadě respektuje uzavřený proudový systém podzemní vody.

Hydrogeologické rajony s nesouvislým zvodněním představují na území ČR nejpočetnější skupinu, která zaujímá přibližně 2/3 území. Zahrnují oblast hornin proterozoika, paleozoika a flyšových sedimentů a jsou charakteristické lokálním oběhem podzemní vody, závislým na srážko-odtokových poměrech, proto jsou tyto

rajony velmi citlivé na období sucha. Množství infiltrované vody je ovlivňováno zásadně plochou hydrogeologického povodí a morfologií terénu, a proto se v tomto typu hydrogeologických rajonů většinou ztotožňuje hydrogeologické povodí s orografickým povodím. V této skupině hydrogeologických rajonů je vyvinut kolektor v přípovrchové zóně rozpukání a rozvolnění hornin, zahrnující zvětralinový plášť a svrchní zvětralé a rozpukané pásmo skalního podkladu.

Hydrogeologické rajony v kvartérních fluviálních sedimentech jsou na území ČR tvořeny relativně dobře propustnými pleistocenními a holocenními štěrkopískovými sedimenty, uspořádanými většinou stupňovitě podél říčních toků do údolní nivy a vyšších terasových stupňů. Podzemní voda ve štěrkopískovém kolektoru údolní terasy je v přímé hydraulické spojitosti s povrchovou vodou toku. Dochází v ní k výměně podzemní a povrchové vody jak v prostoru, tak i v čase. Podzemní voda vyšších terasových stupňů je na stavu hladiny v toku nezávislá, je dotována vsakem srážek a přetokem z okolních vyšších povodí. V nižších terasových stupních se naopak výrazně projevuje režim povrchového toku a vliv umělých zásahů, který vyvolává zvýšenou infiltraci povrchové vody a vznik tzv. indukovaných zdrojů.

Na obrázku 2.5 je pro jednotlivé útvary podzemních vod znázorněno horninové prostředí, v němž se nacházejí, na obrázku 2.6 jsou znázorněny typy propustností kolektorů útvarů podzemních vod a na obrázku 2.7 pak převládající hydrochemické typy útvarů podzemních vod.

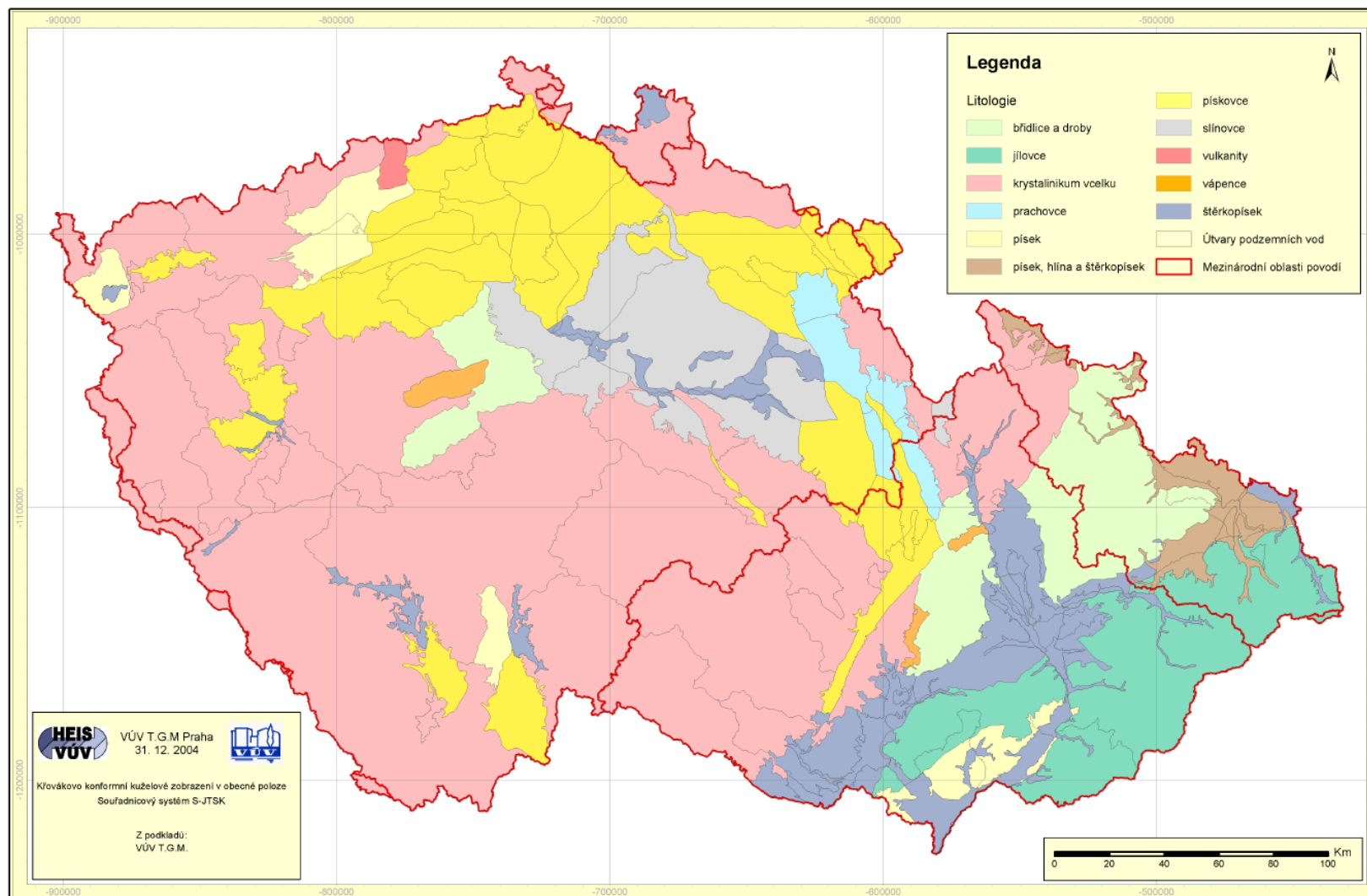
Vlivy na útvary podzemních vod, stanovení rizikových útvarů podzemních vod

Ve Zprávě České republiky pro Evropskou komisi (Zpráva 2005) jsou vyjmenovány významné vlivy na podzemní vody sestavené podle současných znalostí a dostupných údajů. Přehled jednotlivých typů vlivů na podzemní vody a zhodnocení jejich významnosti je uvedeno v tabulce 2.3.

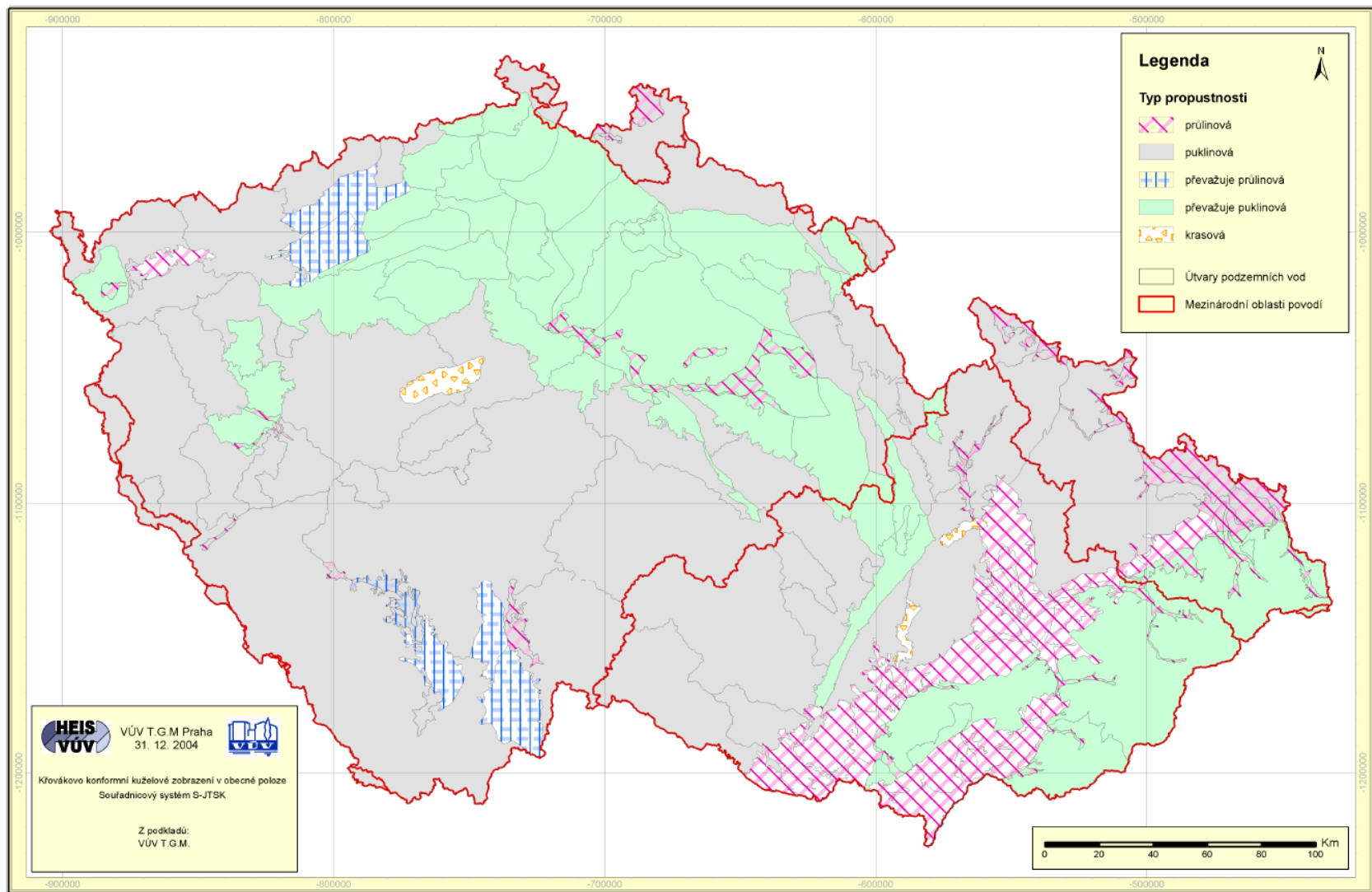
Tabulka 2.3: Přehled jednotlivých typů negativních vlivů na podzemní vody (VÚV TGM,2005)

Typ vlivu	Významnost	Hodnocené látky a ukazatele
Plošné zdroje znečištění		
zemědělství	velmi významné	dusík, pesticidy
neodkanalizované komunální znečištění	málo významné	dusík, fosfor
zastavěné plochy	významné*	plocha
atmosférická depozice	významné	dusík, síra
Bodové zdroje znečištění		
staré zátěže	velmi významné	relevantní prioritní a nebezpečné látky
skládky	významné**	relevantní prioritní a nebezpečné látky
ostatní bodové zdroje	významné*	relevantní prioritní a nebezpečné látky
Odběry		
odběry pro pitné účely	velmi významné	odebrané množství
ostatní odběry	významné	odebrané množství
Umělá infiltrace	málo významné	
Zasolování	málo významné	
Ostatní vlivy	významné*	

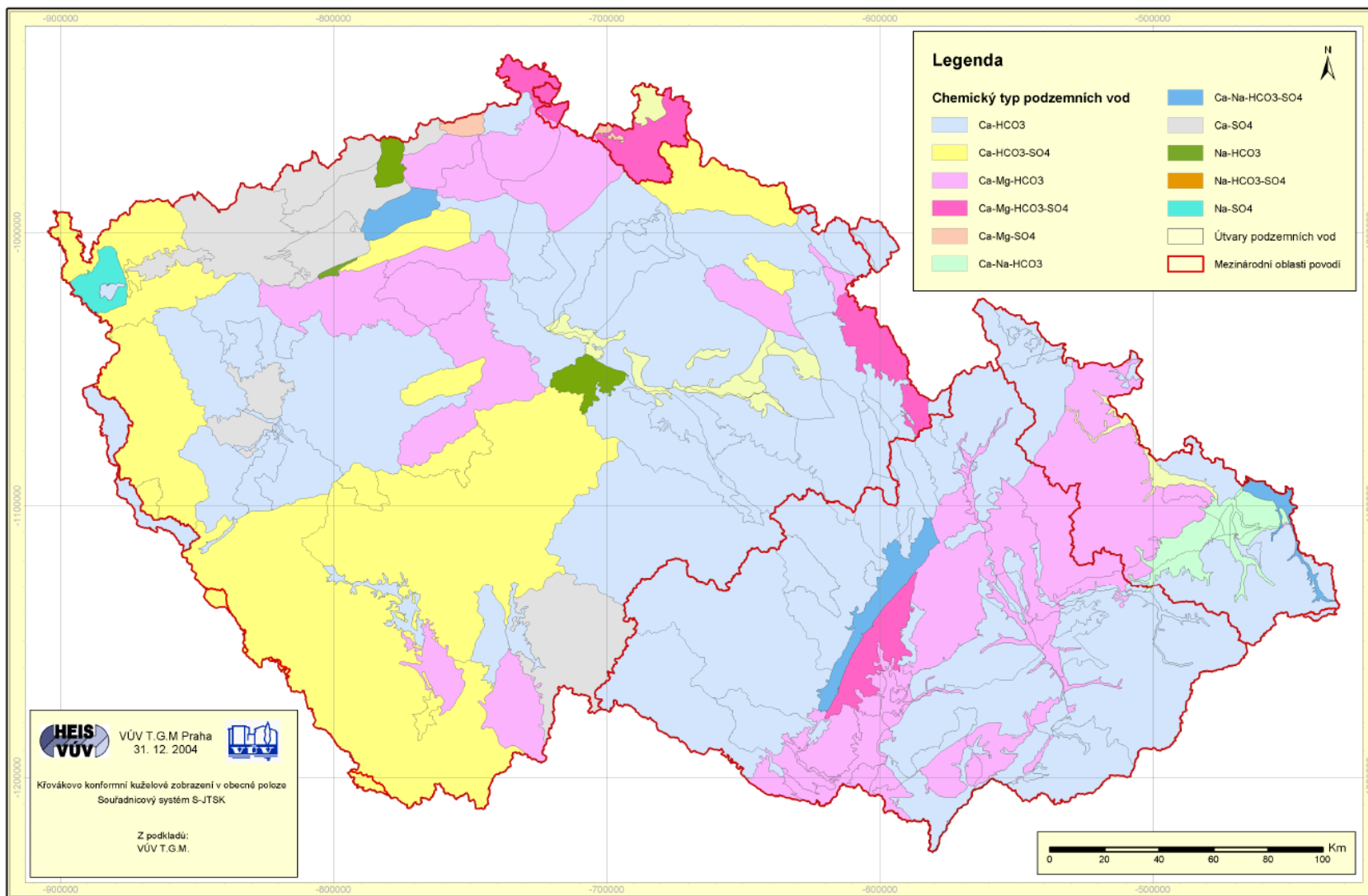
Vysvětlivky: * pouze lokálně
** pouze staré skládky



Obr. 2.5: Litologie převažujícího horninového prostředí útvarů podzemních vod (VÚV TGM,2005)



Obr. 2.6: Typ propustnosti útvarů podzemních vod (VÚV TGM,2005)



Obr. 2.7: Chemický typ útvarů podzemních vod (VÚV TGM, 2005)

Jednotlivé vlivy jsou ve smyslu vodohospodářského plánování cyklicky vyhodnocovány a podle výsledků zhodnocení jsou stanoveny rizikové útvary podzemních vod v rámci oblastí povodí. Přehledy rizikových útvarů jsou součástí plánů jednotlivých oblastí povodí. Na obrázku 2.8 jsou znázorněny rizikové útvary podzemních vod, které vyšly z úvodního hodnocení pro celou ČR z roku 2004 (VÚV TGM,2005).

Hospodářský význam užívání vody

Hodnocení významu užívání vody společně s údaji o negativních vlivech umožňuje při vodohospodářském plánování nalézt kompromisy mezi ekonomikou a životním prostředím, resp. nalézt cestu k hodnocení významných vodohospodářských problémů v oblasti povodí. Za tím účelem je v plánu povodí prováděna ekonomická analýza, vyjadřující souvislosti technických a socioekonomických dat s různými oblastmi užívání vody, prognózy trendů v hospodářském využívání vod v dalším období a analýza návratnosti nákladů na vodohospodářské služby.

Hodnocení významu užívání vody se zaměřuje na:

- socioekonomický význam sektorů, které svojí činností vyvolávají významné vlivy na vody a tím negativně ovlivňují jejich stav,
- socioekonomický význam sektorů těžících z dobrého stavu vod.

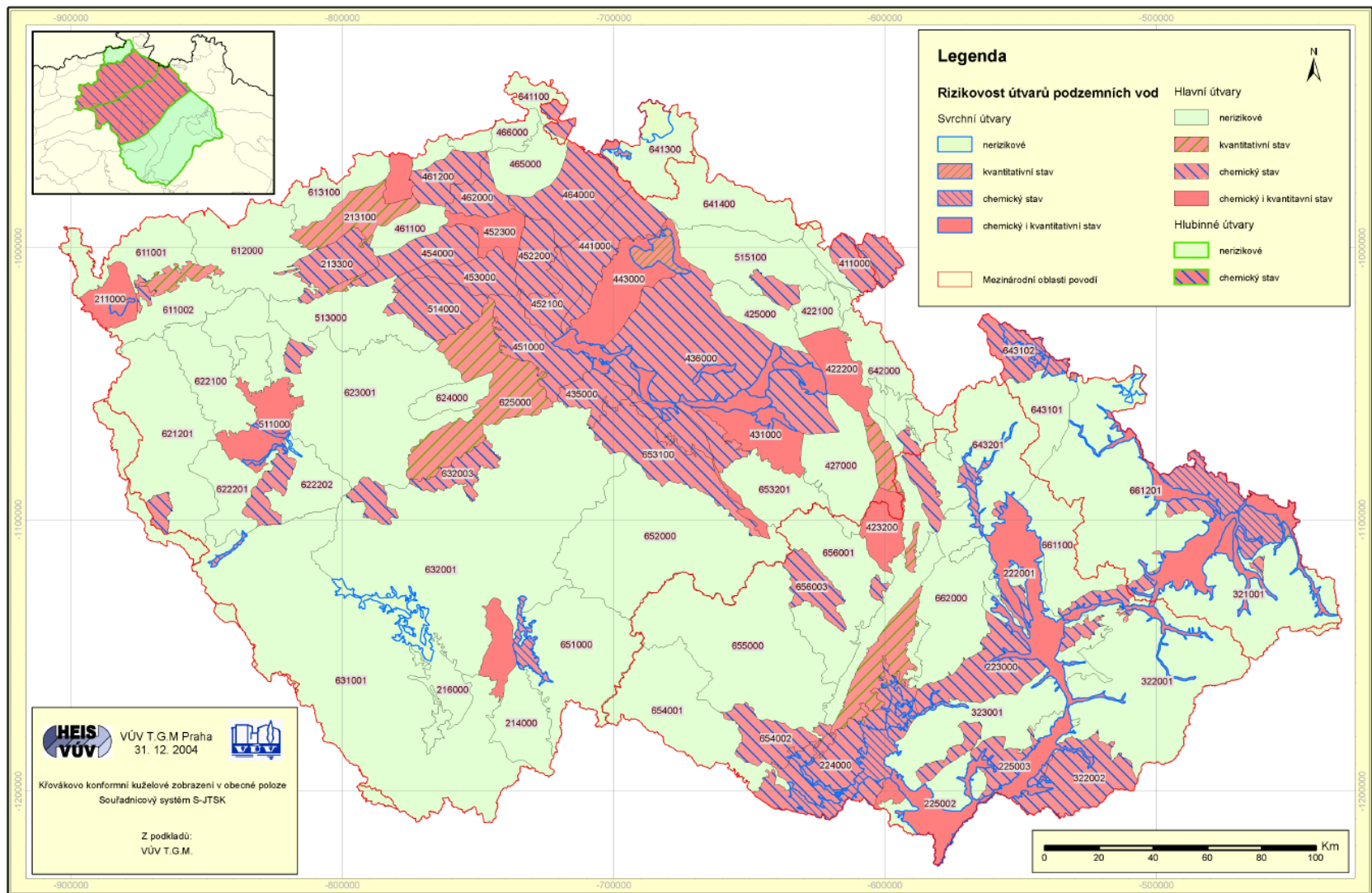
Rozvoj všech oblastí povodí je úzce svázán s užíváním vody. Vybudovaná vodohospodářská infrastruktura umožňuje užívání vody obyvatelstvem, sektory průmyslu, zemědělstvím a službami, případně ostatními sektory.

V tabulce 2.4 jsou uvedeny základní charakteristiky užívání vod v ČR za rok 2002 v jednotlivých sektorech (VÚV TGM,2005).

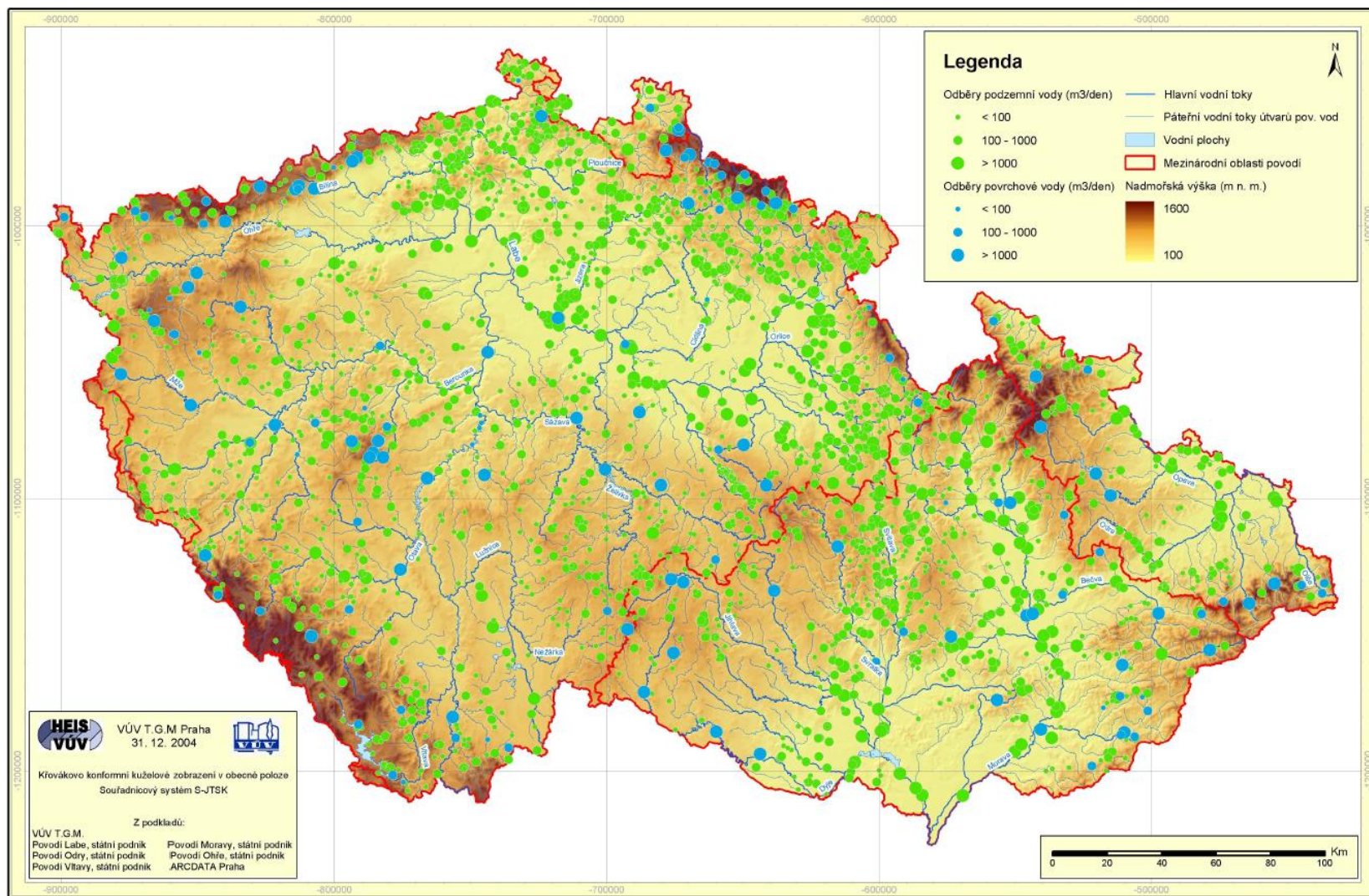
Tabulka 2.4: Charakteristiky užívání vod v ČR za rok 2002

užívání vody	technická data	oblast povodí Dunaje	oblast povodí Labe	oblast povodí Odry	celkem
Domácnosti zásobování pitnou vodou	množství odebrané podzemní vody (miliony m ³ /rok)	58	91,3	16,01	165,31
	množství odebrané povrchové vody (miliony m ³ /rok)	45,5	126	50,43	221,93
	množství dodané pitné vody (miliony m ³ /rok)	83,5	188	53,84	325,34
	počet připojených obyvatel na vodovody pro veřejnou potřebu	2485	5425	1229	9139
	počet obyvatel zásobených z individuálních zdrojů (v tisících)	307	698	69	1074
Domácnosti odvádění a čištění odpadních vod	počet obyvatel připojených na kanalizace (v tisících)	2180	4745	1008	7933
	počet obyvatel připojených na kanalizace s ČOV (v tisících)	1787	3882	900	6569
	počet ČOV	463	1237	145	1845
	množství odváděných odpadních vod (mil. m ³ /rok)	130	201,6	62,7	394,3
Zemědělství	množství odebrané podzemní vody (miliony m ³ /rok)	2,84	2,66	0,5	6
	množství odebrané povrchové vody (miliony m ³ /rok)	6,79	43,63	0,02	50,44
	množství vypouštěných odpadních vod (mil. m ³ /rok)	0,11	3	0	3,11
Energetika	množství užívané vody (miliony m ³ /rok)	114,4	505,7	0	620,1
	množství vypouštěných odpadních vod (mil. m ³ /rok)	19,4	47,9	0	67,3
ostatní průmysl (mimo služby)	množství užívané vody (miliony m ³ /rok)	27,6	359,2	106,4	493,2
	množství vypouštěných odpadních vod (mil. m ³ /rok)	21,9	306,1	83,8	411,8

Na obrázku 2.9 jsou znázorněna chráněná území pro odběry vod pro pitné účely v jednotlivých oblastech povodí.



Obr. 2.8: Rizikovost útvarů podzemních vod (VÚV TGM, 2005)



Obr. 2.9: Území vyhrazená pro odběr pitné vody pro lidskou spotřebu (VÚV TGM,2005)

2.3.3 Hodnocení stavu útvarů podzemních vod

Zjišťování a hodnocení stavu povrchových a podzemních vod slouží k zajišťování podkladů pro výkon veřejné správy podle tohoto zákona, plánování v oblasti vod a k poskytování informací veřejnosti a provádí se podle povodí povrchových vod a hydrogeologických rajonů podzemních vod.

Zjišťování a hodnocení stavu podzemních vod zahrnuje zejména (dle Zákona č.254/2001 Sb. o vodách):

- a) zjišťování množství a jakosti podzemních vod včetně jejich ovlivňování lidskou činností,
- b) vedení vodní bilance,
- c) zřízení, vedení a aktualizace evidence:
 1. hydrogeologických rajonů a vodních nádrží,
 2. množství a jakosti podzemních vod, stavu vodních útvarů,
 3. odběrů podzemních vod,
 4. mezinárodních oblastí povodí na území České republiky a dílčích povodí,
 5. chráněných oblastí přirozené akumulace vod,
 6. ochranných pásem vodních zdrojů,
 7. zdrojů podzemních vod, které jsou využívány nebo u kterých se předpokládá jejich využití jako zdroje pitné vody,
 8. citlivých oblastí,
 9. zranitelných oblastí.

Zjišťování a hodnocení stavu povrchových a podzemních vod a provozování informačních systémů veřejné správy provádějí správci povodí a další odborné subjekty, které za tím účelem pověřuje, zřizuje nebo zakládá Ministerstvo zemědělství, popřípadě Ministerstvo životního prostředí (dále jen "pověřené odborné subjekty"). Monitoring podzemních vod zajišťuje jako pověřený odborný subjekt Český hydrometeorologický ústav.

Pro hodnocení stavu útvarů podzemních vod se využívají výsledky získané ze sítě zjišťování stavu podzemních vod, analýz všeobecných a vodohospodářských charakteristik povodí a hodnocení dopadů lidské činnosti na stav útvarů podzemních vod.

Způsob hodnocení chemického stavu útvarů podzemních vod

Hodnocení chemického stavu útvarů podzemních vod se provádí pro všechny útvary podzemních vod jedenkrát za šest let. K hodnocení chemického stavu útvarů podzemních vod se používají normy jakosti podzemní vody a prahové hodnoty. Normy jakosti podzemní vody byly stanoveny pro dusičnany a pesticidy Evropskou komisí směrnici č. 2006/118/ES a jsou závazné pro všechny členské státy. Pro ostatní polutanty stanovují členské státy prahové hodnoty na národní úrovni, které mohou být jednotné pro celé území státu, ale mohou se stanovit rozdílně pro různá dílčí povodí, či dokonce útvary podzemních vod.

Výsledky hodnocení chemického stavu útvarů podzemních vod se vyjadřují klasifikací dobrý nebo nevyhovující.

Chemický stav útvaru podzemních vod se považuje za dobrý, pokud:

- a) výsledky programů monitoringu podzemních vod nevykazují žádné projevy vniků do útvarů podzemních vod, resp. tyto vniky nejsou takové, aby

způsobily nedosažení cílů ochrany vod souvisejících útvarů povrchových vod, zhoršení chemického nebo ekologického stavu těchto útvarů povrchových vod nebo poškození přímo závislých suchozemských ekosystémů,

- b) hodnoty norem jakosti podzemních vod a prahové hodnoty nejsou překročeny na žádném monitorovacím místě daného útvaru podzemních vod nebo skupiny útvarů podzemních vod.

Pokud je hodnota normy jakosti nebo prahové hodnoty překročena na jednom či více monitorovacích místech je pro tento útvar podzemních vod provedeno další dodatečné prošetření, které zhodnotí:

- dopad znečišťujících látek na útvar podzemních vod,
- množství a koncentrace znečišťujících látek, které jsou transportovány, nebo zda existuje pravděpodobnost, že by mohly být transportovány z útvaru podzemních vod do souvisejících povrchových vod nebo přímo závislých suchozemských ekosystémů,
- pravděpodobný vliv množství a koncentrací znečišťujících látek transportovaných do souvisejících povrchových vod a přímo závislých suchozemských ekosystémů,
- rozsah zasolování a jiných vniků do útvarů podzemních vod,
- ohrožení, které znečišťující látky v útvaru podzemních vod představují pro jakost vody určené k odběru pro lidskou spotřebu.

Chemický stav útvaru podzemních vod se považuje za dobrý, pokud výše uvedené šetření prokáže, že:

- a) koncentrace znečišťujících látek nepředstavují významné riziko pro životní prostředí, s případným přihlédnutím k rozsahu postižení útvaru podzemních vod,
- b) jsou splněny požadavky pro chráněné oblasti,
- c) funkce útvaru podzemních vod, z kterého jsou podzemní vody užívány pro různé potřeby společnosti, především pak pro zásobování obyvatel pitnou vodou, nebyla znečištěním významně narušena.

V ostatních případech je chemický stav útvaru podzemních vod považován za nevyhovující.

Způsob hodnocení kvantitativního stavu útvarů podzemních vod

Hodnocení kvantitativního stavu útvarů podzemních vod se provádí pro všechny útvary podzemních vod jedenkrát za šest let. Výsledky hodnocení kvantitativního stavu útvarů podzemních vod se vyjádří klasifikací dobrý nebo nevyhovující.

Kvantitativní stav se považuje za dobrý, pokud:

- a) úroveň hladiny podzemní vody v útvaru podzemních vod je taková, že využitelné množství zdroje podzemní vody není převyšeno dlouhodobým průměrným odebíraným množstvím a zároveň,
- b) úroveň hladiny podzemní vody není vystavena změnám způsobených lidskou činností, které by způsobily nedosažení cílů ochrany pro související útvary povrchových vod; jakékoli významné zhoršení stavu těchto vod; jakékoli významné poškození souvisejících suchozemských ekosystémů,

- c) změny ve směrech proudění podzemních vod v útvaru podzemních vod vyplývající ze změn úrovně hladiny se vyskytují dočasně nebo setrvale v prostorově omezené oblasti, ale neindukují vnikání znečišťujících látek, ani setrvalý a jasně identifikovatelný vliv lidské činnosti ve směru proudění, který by mohl způsobit takové vnikání.

V ostatních případech je kvantitativní stav útvaru podzemních vod považován za nevyhovující.

Program monitoringu podzemních vod

Program monitoringu podzemních vod se skládá z:

- a) Programu situačního monitoringu vod.
- b) Programu provozního monitoringu podzemních vod.
- c) Programu monitoringu kvantitativního stavu podzemních vod.

Program situačního monitoringu se navrhuje na základě analýz všeobecných a vodohospodářských charakteristik povodí a zhodnocení dopadů lidské činnosti na stav podzemních vod pro každé období platnosti plánů povodí. V rámci situačního monitoringu se v ČR provádí i screening nových polutantů, v případě ověření jejich výskytu v podzemních vodách jsou tyto polutanty sledovány i v rámci provozního monitoringu.

Program situačního monitoringu je podkladem zejména pro:

- hodnocení chemického stavu všech útvarů podzemních vod a identifikaci významných a trvalých vzestupných trendů znečišťujících látek,
- hodnocení dlouhodobého vývoje jakosti způsobeného změnami přírodních podmínek,
- hodnocení jakosti podzemních vod,
- vedení vodní bilance,
- účelné a efektivní návrhy na aktualizaci ostatních programů monitoringu,
- plánování v oblasti vod,
- mezinárodní monitorovací programy a pro potřeby spolupráce v mezinárodních oblastech povodí,
- doplnění a ověření výsledků analýz všeobecných a vodohospodářských charakteristik povodí a zhodnocení dopadů lidské činnosti na stav podzemních vod.

Program provozního monitoringu je prováděn v letech, kdy není realizován Program situačního monitoringu.

Program provozního monitoringu je podkladem zejména pro:

- hodnocení chemického stavu rizikových útvarů podzemních vod a identifikaci významných a trvalých vzestupných trendů znečišťujících látek,
- hodnocení jakosti podzemních vod,
- vedení vodní bilance,
- plánování v oblasti vod,
- mezinárodní monitorovací programy a pro potřeby spolupráce v mezinárodních oblastech povodí.

Program monitoringu kvantitativního stavu podzemních vod je podkladem zejména pro:

- hodnocení kvantitativního stavu útvarů podzemních vod,
- hodnocení režimu hladin a vydatnosti pramenů podzemních vod, včetně jejich dlouhodobých trendů a rovnováhy mezi doplňováním a odběry podzemních vod,
- vyhodnocení přírodních zdrojů podzemních vod,
- vedení vodní bilance,
- plánování v oblasti vod.

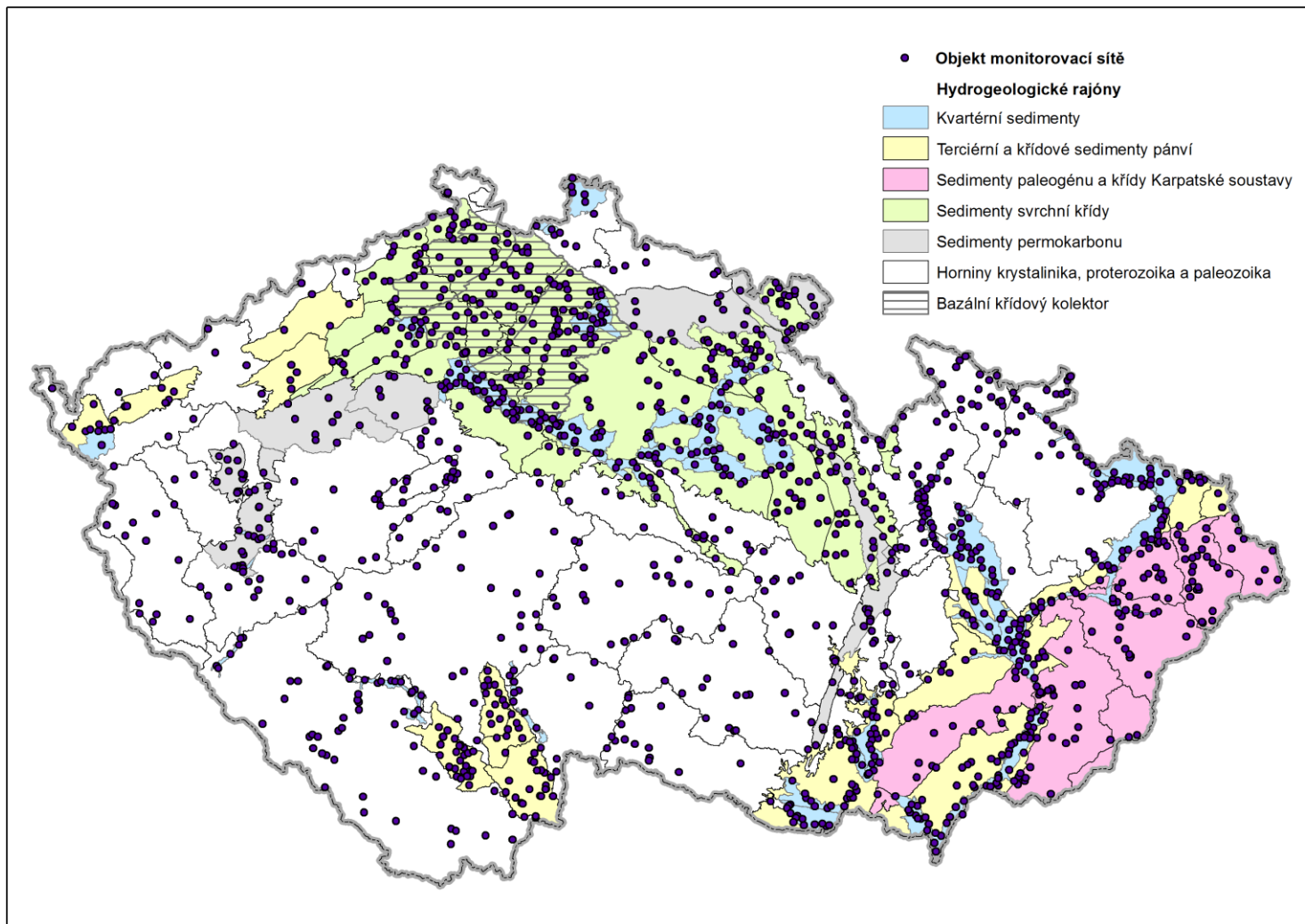
Na obrázku 2.10 je znázorněna monitorovací síť Českého hydrometeorologického ústavu pro provádění monitoringu kvantitativního stavu podzemních vod. Celkem se sleduje 1559 objektů, manuální měření hladin podzemní vody a vydatností pramenů se na objektech provádí 1x týdně, v případě automatizovaného měření pak 1x denně.

Na obrázku 2.11 je znázorněna monitorovací síť Českého hydrometeorologického ústavu pro provádění situačního a provozního monitoringu podzemních vod. V tabulce 2.5 je uveden přehled monitorovacích míst pozorovací sítě jakosti podzemních vod ČHMÚ a významných vodárenských zdrojů v roce 2014 v 7 vzorkovacích oblastech. Celkem se sleduje 662 objektů. Zpravidla se vzorkování objektů provádí 2x ročně, na jaře a na podzim.

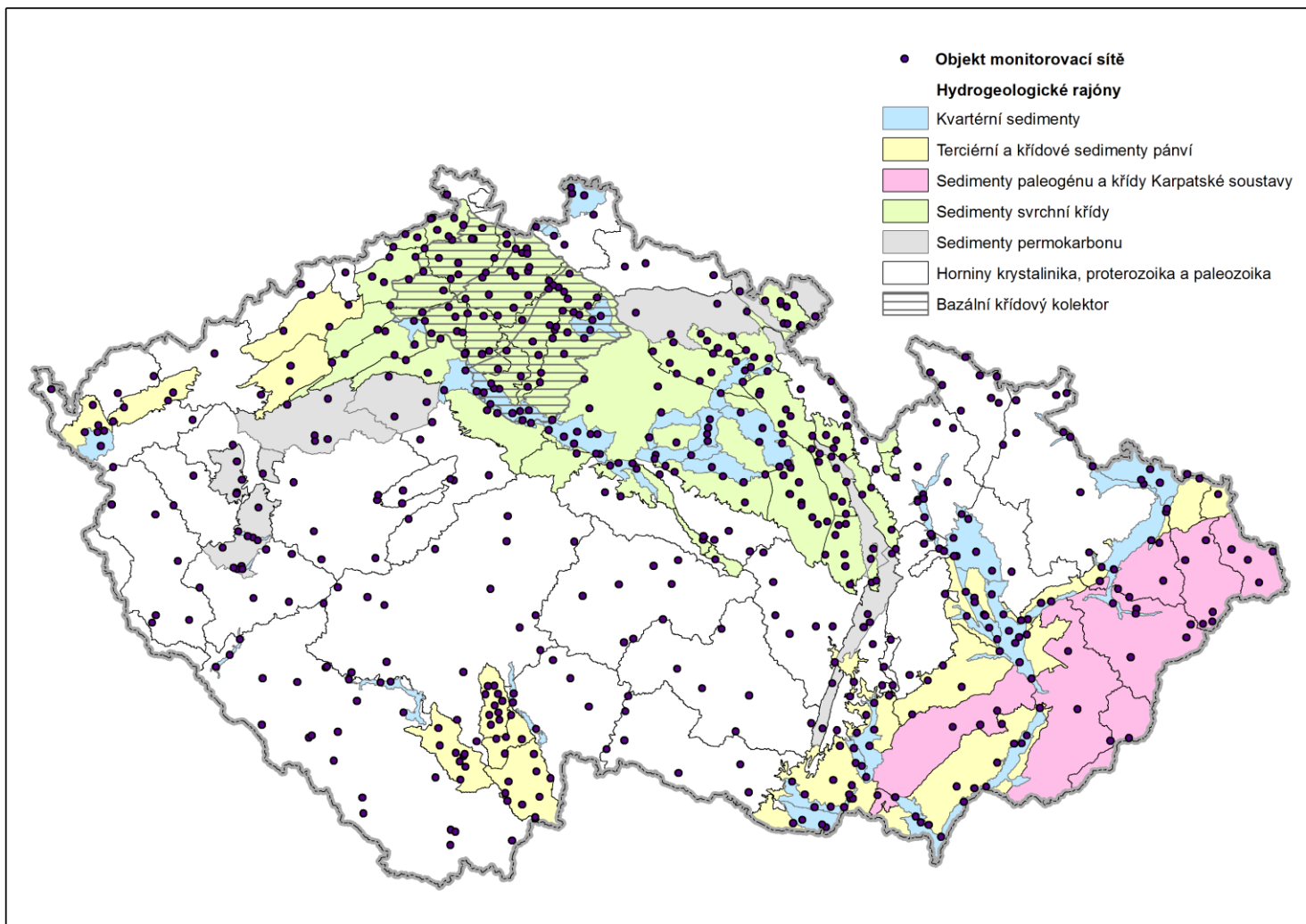
Tabulka 2.5: Přehled monitorovacích míst pozorovací sítě jakosti podzemních vod ČHMÚ

Oblast	Prameny	Vrty	Vodárenské zdroje	Celkem objektů
Severní Čechy	16	87	1	104
Střední Čechy	7	45	6	58
Jižní Čechy	29	57	3	89
Západní Čechy	32	48	1	81
Východní Čechy	21	93	19	133
Severní Morava	33	53	5	91
Jižní Morava	36	66	4	106

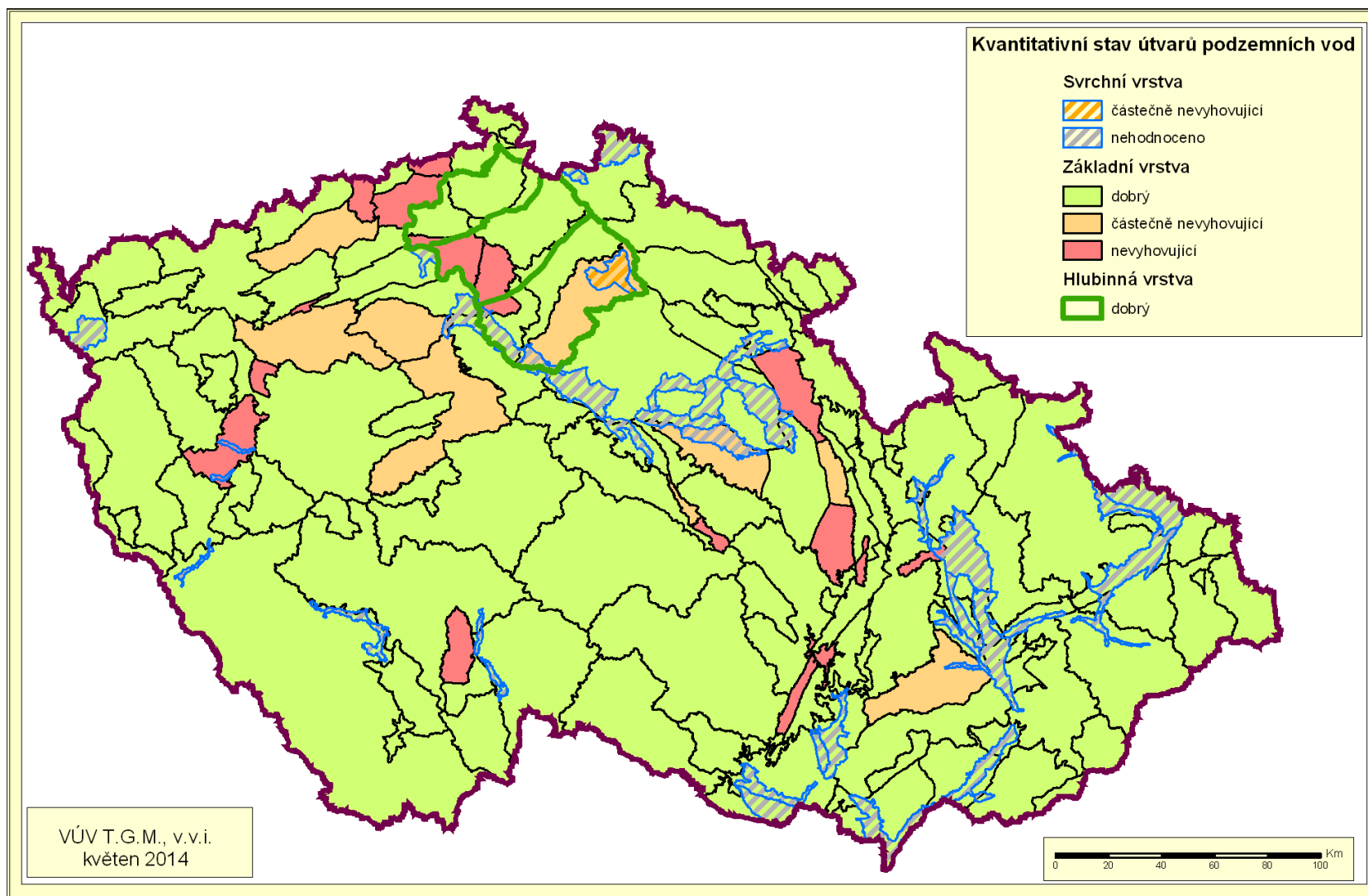
Vyhodnocení kvantitativního a chemického stavu podzemních vod v České republice pro období let 2007 – 2012 zpracoval v roce 2014 pro Ministerstvo životního prostředí ČR Výzkumný ústav vodohospodářský T.G.Masaryka podle podkladů ČHMÚ. Grafické znázornění kvantitativního stavu podzemních vod v ČR je uvedeno na obrázku 2.12 a chemického stavu na obrázku 2.13.



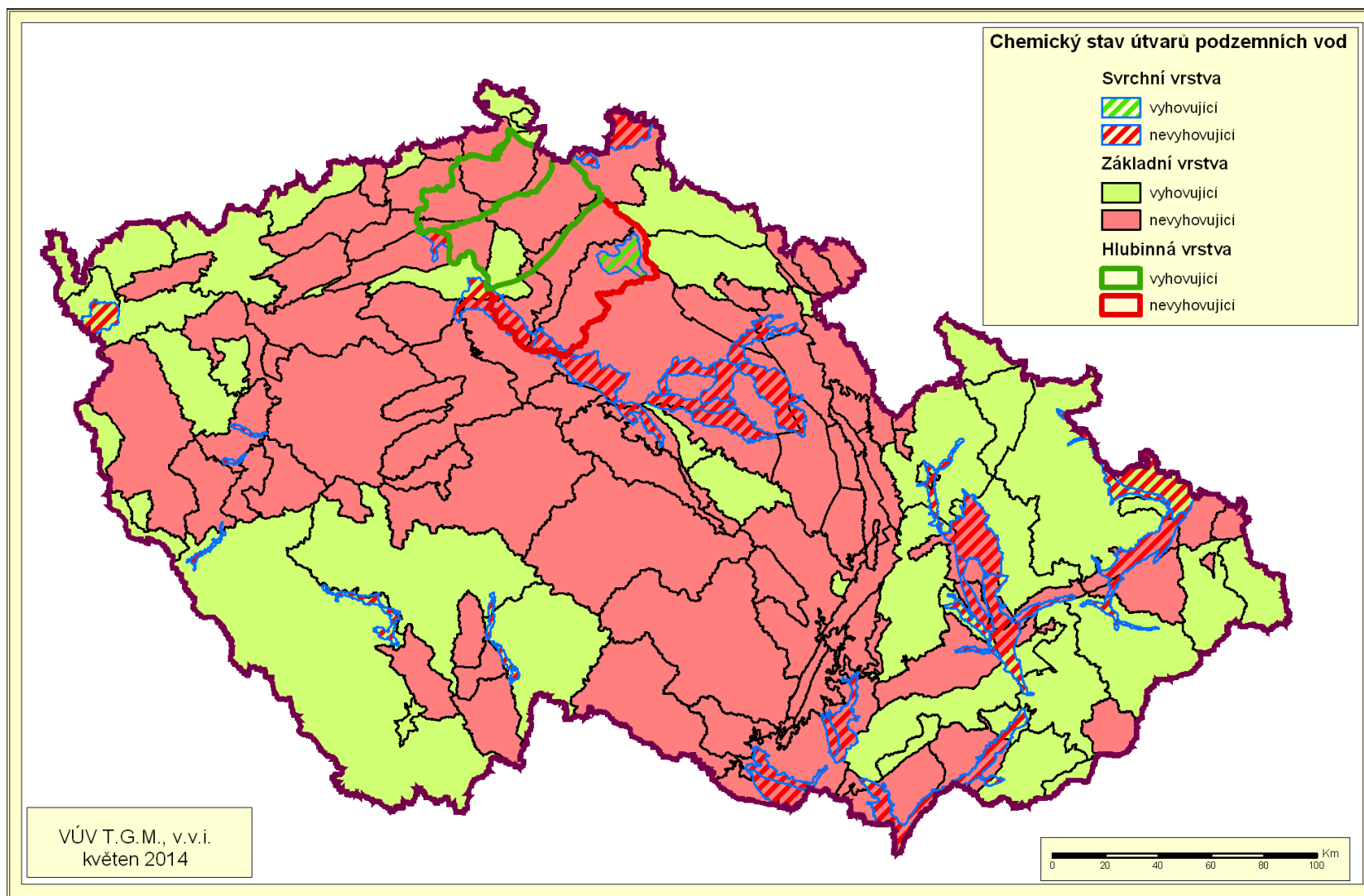
Obr. 2.10: Přehledná mapa lokalizace objektů monitoringu množství podzemních vod pro rok 2014



Obr. 2.11: Přehledná mapa lokalizace objektů monitoringu jakosti podzemních vod pro rok 2014



Obr. 2.12: Kvantitativní stav útvarů podzemních vod v období 2007 – 2012 (VUV TGM 2014)



Obr. 2.13: Chemický stav útvarů podzemních vod v období 2007 – 2012 (VUV TGM 2014)

2.4 INFORMAČNÍ SYSTÉMY O STAVU VOD V ČESKÉ REPUBLICE

2.4.1 Úvod

Efektivní rozhodování a uplatňování nástrojů environmentální politiky je podmíněno dostupností kvalitních a včasných informací. Přestože je informační základna rezortu životního prostředí neuvěřitelně široká, organizace, systémový sběr, vytěžování dat z různých zdrojů a jejich následná ověřitelnost jsou zásadními problémovými okruhy, které se v současnosti řeší. Součástí většiny projektů, jejichž cílem je budovat nebo rozvíjet informační systémy (IS) rezortních organizací, jsou definované služby, poskytované především pomocí webového rozhraní. IS tedy neslouží jen ke shromažďování informací o životním prostředí, ale jsou využívány také k jejich názornému zpřístupňování, agregovanému zpracování, prezentaci i k plnění některých povinností.

Informační systémy rezortu jsou vesměs organizačně soustředěny do jednotného informačního systému životního prostředí (JISŽP), protože povinnost MŽP zabezpečovat a řídit JISŽP vyplývá z odstavce (4) § 19 zákona č. 2/1969 Sb., o zřízení ministerstev a jiných ústředních orgánů státní správy ČR (tzv. kompetenčního zákona). JISŽP je v současné podobě spíše jakýmsi teoretickým konceptem charakteru distribuované databáze, jak je uvedeno v evidenčním listě IS o ISVS (o informačních systémech veřejné správy), a tvoří tak spíše jednotnou informační soustavu pro životní prostředí. JISŽP slouží k poskytování správních a informačních služeb a slučuje v sobě všechny neprovozní informační systémy rezortu MŽP včetně infrastruktury, systému řízení a plošného monitoringu na celém území České republiky, a to i v návaznosti na mezinárodní dohody.

JISŽP v současné době představuje formální označení pro soustavu samostatných informačních systémů vztahujících se k problematice životního prostředí. Tyto subsystémy jsou architektonicky navrženy, implementovány a provozovány jako samostatné dílčí informační systémy bez přímé integrace na společné referenční prostředí.

Účelem JISŽP je pořizování, správa, hodnocení dat a poskytování informací v oblasti životního prostředí. JISŽP spravuje obecně platná data, která jsou jednak přebírána od externích subjektů a jednak jsou pořizována i vlastní činností provozovatele IS.

V oblasti ochrany vod vyplývá povinnost předávat, shromažďovat a poskytovat data z požadavků zákona č. 254/2001 Sb. o vodách.

Ministerstvo životního prostředí spravuje informační systém veřejné správy pro evidenci:

- a) hydrogeologických rajonů a vodních útvarů včetně silně ovlivněných vodních útvarů a umělých vodních útvarů,
- b) množství a jakosti povrchových a podzemních vod, stavu vodních útvarů a ekologického potenciálu silně ovlivněných a umělých vodních útvarů,
- c) chráněných oblastí přirozené akumulace vod,
- d) ochranných pásem vodních zdrojů,
- e) citlivých oblastí,
- f) zranitelných oblastí,
- g) oblastí povrchových vod využívaných ke koupání,
- h) záplavových území,
- i) povrchových vod, které jsou nebo se mají stát trvale vhodnými pro život a reprodukci původních druhů ryb a dalších vodních živočichů.

Jako samostatnou součást informačního systému veřejné správy spravuje Ministerstvo životního prostředí registr chráněných oblastí, ve kterém v návaznosti na vodní útvary povrchové nebo podzemní vody eviduje oblasti a území vyžadující zvláštní ochranu podle tohoto zákona nebo zákona o ochraně přírody a krajiny.

Ministerstvo zemědělství spravuje informační systém veřejné správy pro evidenci:

- a) vodních toků a objektů na nich, jejich dílčích povodí a vodních nádrží,
- b) odběrů povrchových a podzemních vod, vypouštění odpadních a důlních vod a akumulace povrchových vod ve vodních nádržích,
- c) mezinárodních oblastí povodí na území České republiky a dílčích povodí,
- d) zdrojů povrchových a podzemních vod, které jsou využívány nebo u kterých se předpokládá jejich využití jako zdroje pitné vody,
- e) vodních děl k vodohospodářským melioracím pozemků.

Pro potřeby rozhodování a uplatňování nástrojů environmentální politiky v oblasti vodního hospodářství jsou k dispozici mnohé informační systémy.

Hydro-ekologický informační systém (HEIS) slouží ke shromažďování, vyhodnocování a prezentaci dat s vodní tematikou. Geografická databáze je vyvíjena a spravována pro tvorbu kartografických výstupů, analýzy dat v prostředí GIS a jejich vizualizaci (např. Mapy záplavových území ČR). Systém je spravován Výzkumným ústavem vodohospodářským T.G.Masaryka v.v.i.

Informačním systémem Monitoringu kvality vod na území ČR je **IS ARROW (Assessment and Reference Reports of Water Monitoring)**, který představuje sběrnou databázi vzorků kvality vod na území ČR zahrnující portál sběru dat odebraných vzorků vody a hodnotící portál kvality vod. Systém je spravován Českým hydrometeorologickým ústavem.

Informační systém veřejné správy - VODA (ISVS -VODA) prezentuje prostřednictvím jednotných přehledných a snadno dostupných aplikací informace o našich vodách a přispívá tak k lepší a včasné informovanosti nejen odborné veřejnosti.

Integrovaný systém plnění ohlašovacích povinností (ISPOP) umožňuje zpracování a příjem vybraných hlášení (ohlašovacích povinností) z oblasti životního prostředí v elektronické podobě a jejich další distribuci příslušným institucím veřejné správy. Zřizovatelem ISPOP a věcným garantem obsahu formulářů, tzn. ohlašovacích povinností, je Ministerstvo životního prostředí.

Systém evidence kontaminovaných míst (SEKM) je integrovaná databáze informací o starých ekologických zátěžích, resp. kontaminovaných místech, která představuje integrované, jednotné datové a softwarové prostředí a zpřístupnění těchto dat veřejnosti.

2.4.2 Hydro-ekologický informační systém (HEIS)

Hydroekologický informační systém (HEIS VÚV) je centrálním informačním systémem **Výzkumného ústavu vodohospodářského T.G.M, v.v.i.** (dále VÚV TGM), v oblasti vodního hospodářství a ochrany vod a informačním zdrojem pro řešitele ústavu a uživatele z řad veřejné správy a odborné i laické veřejnosti.

HEIS VÚV byl vybudován v polovině 90. let v gesci Ministerstva životního prostředí jako součást Hydroekologického informačního systému ČR (HEIS ČR), vytvořeného k zabezpečení jednotného informačního systému pro podporu státní správy ve vodním hospodářství a realizovaného v sedmi dílčích informačních systémech: nadregionálních IS Výzkumného ústavu vodohospodářského T.G.M. a Českého hydrometeorologického ústavu, a regionálních IS podniků Povodí Labe, Vltavy, Ohře, Moravy a Odry (ISyPo).

HEIS VÚV je v současné době součástí Jednotného informačního systému o životním prostředí Ministerstva životního prostředí ČR (JISŽP). Od roku 2003 je HEIS VÚV rovněž využíván k zabezpečení povinností (vedení vybraných evidencí) VÚV TGM, v.v.i., vztahujících se k problematice provozu informačních systémů veřejné správy (ISVS) v oblasti "voda". Vybrané

údaje HEIS VÚV jsou v rámci podávání zpráv o implementaci směrnic EU v oblasti voda a zpráv o stavu životního prostředí rovněž dále poskytovány Evropské komisi, Evropské agentuře pro životní prostředí a Mezinárodním komisím pro ochranu Labe, Odry a Dunaje.

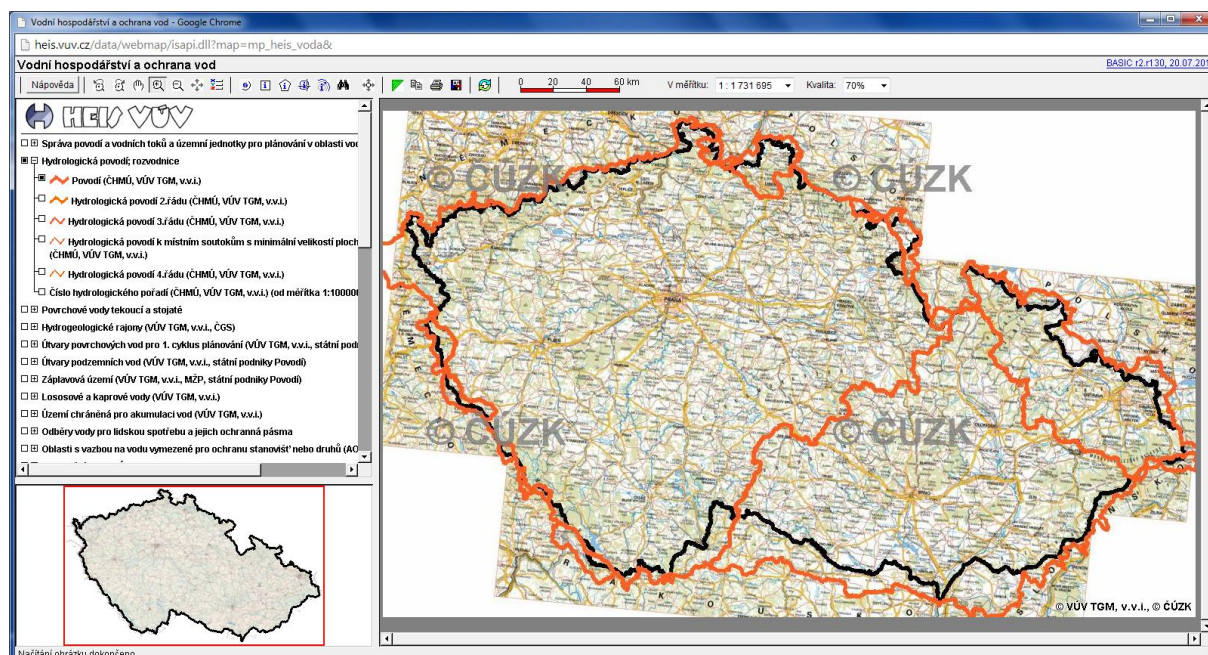
HEIS VÚV tvoří 3 základní subsystémy: (1) databáze údajů a informací z oblasti vodního hospodářství a ochrany vod, (2) subsystém "zpracování informací" zahrnující nástroje pro vyhodnocení primárních dat (modely množství a jakosti vod, statistické nástroje, nástroje pro analýzy geografických informací) a (3) subsystém "správa systému" sloužící potřebám systémového a databázového administrátora.

Databáze HEIS VÚV je rozdělena do dvou základních částí:

- Část "**Evidence zdrojů a užívání vod**" je navržena jako geodatabáze integrující široké spektrum geografických a atributních údajů z oblasti vodního hospodářství: obsahuje údaje subsystému **povrchových vod** (popis říční sítě, jejích charakteristik a jevů/objektů na ní se vyskytujících apod.), **subsystému podzemních vod** (hydrologické rajony, prameny, vrty, studny apod.), **subsystém užívání vod a vlivů na jejich stav** (odběry a vypouštění, vodní nádrže, využití vodní energie apod.) a **subsystému chráněných území** (chráněné oblasti přirozené akumulace vod, koupací oblasti apod.).
- Část "**Metainformace**" obsahuje údaje o projektech VÚV TGM, v.v.i. a informacích a datech v těchto projektech vytvořených.

Data evidencí jsou dostupná prostřednictvím **Vodohospodářského informačního portálu VODA MZe a MŽP** (<http://www.voda.gov.cz>) nebo prostřednictvím internetového portálu **HEIS VÚV** (<http://heis.vuv.cz/isvs>).

Prostřednictvím prohlížečích služeb je možné online prohlížení dat s využitím dostupných dotazovacích a prohlížečích nástrojů (práce s mapou, zadávání uživatelských dotazů/podmínek atp.). Uživatel potřebuje pouze vhodný internetový prohlížeč (stránky jsou testovány pro prohlížeče Opera, Firefox, Safari, Internet Explorer a Maxthon) a má k dispozici (podle svého výběru) prohlížečské služby založené na technologiích Java applet nebo HTML.



Obr. 2.14: Internetová strana hydroekologického informačního systému.

2.4.3 IS ARROW (Assessment and Reference Reports of Water Monitoring)

IS ARROW (Assessment and Reference Reports of Water Monitoring) je informačním systémem Monitoringu kvality vod na území ČR, který představuje sběrnou databázi vzorků kvality vod na území ČR zahrnující portál sběru dat odebraných vzorků vody a hodnotící portál kvality vod.

IS ARROW provozuje Český hydrometeorologický ústav jako Národní referenční středisko pro monitoring v rámci činností zajišťovaných pro MŽP. Systém umožňuje uložení a zpracování výsledků programů monitoringu týkající se sledování chemického stavu a ekologického stavu vod dle požadavků Směrnice Rady č. 2000/60/ES, ustavující rámec pro činnosti Společenství v oblasti vodohospodářské politiky (Rámcová směrnice) a jejich zveřejnění pro laickou i odbornou veřejnost.

Data o kvalitě vod na jednotlivých objektech programů monitoringu jsou dostupná prostřednictvím internetového portálu Českého hydrometeorologického ústavu (<http://hydro.chmi.cz/isarrow/>).

- detail objektu podzemních vod

Hydrogeologický rajón: Vlt.
 Typ objektu: VP7317
 Identifikátor: VP7317
 Název:
 Odběrný subjekt: VN-09
 Pomocný název:
 Monitoring chemie mezi roky: 2009-2013
 Souřadnice X: -661576
 Souřadnice Y: -1063710

Stavování časového rozsahu pro chemická data
 Rok od 2011 | Rok do 2014
 Matrice: Voda
 CAS No.:
 Skupina ukazatelů:
 Jakostní ukazatel:
 Mez stanovitelnosti:
 Rozsah naměřených hodnot:
 Hodnota od:
 Zobrazit časové řady | Chemické vzorky

Datum odběru	Id. vzorku	Odběr čerpaním	Detail
10.05.2011 08:20	23714/2011		
29.05.2012 10:45	37689/2012		
18.09.2012 11:10	70961/2012		
13.11.2013 15:15	PR1354376002		

Číslo vyhledaných záznamů : 4

Id. ukazatele	Ukazatel	Aspekt	Hodnota	Poznámka	Mez stanovitelnosti	Relativní chyba	Norma	Jednotka
BA0000	pH vody v terénu		7,07			1,4	elektrometrická	
BA0003	pH vody v laboratorii (25°C)		6,8			4,4	SOP OV 033	
BA0015	konduktivita v laboratorii		48,6	2		10	SOP OV 011	mS/m
BA0035	teplota vody v terénu		10,8			10	elektrometrická	°C
BA0040	oxidáční redukční potenciál		-93			10	elektrometrická	mV
BA0045	zákal v laboratorii		0,98	0,5		20	nefelometrický	NTU
BA0105	celková mineralizace		507			10	SOP OV 026.01	mg/l
CA0000	kyšlík rozpouštěný v terénu		2,3	0,2		10	elektrometrická	mg/l
CA0010	chemické spotřeby kyslíku manganistanem		0,89	0,5		25	SOP OV 016	mg/l
CB0010	uhlik rozpouštěný organický		1,9	1		20	SOP OV 307	mg/l
CB0025	hydrogenuhlíčitany		360	3		10	SOP OV 013	mg/l
CB0050	kyšelinová neutralizační kapacita do pH 4,5		5,9	0,05		10	SOP OV 024	mmol/l
CB0055	základová neutralizační kapacita do pH 8,3		0,66	0,05		10	SOP OV 045	mmol/l
CB0060	kyšelinová neutralizační kapacita do pH 8,3	<	0,05	0,05			SOP OV 024	mmol/l
CB0065	základová neutralizační kapacita do pH 4,5	<	0,05	0,05			SOP OV 045	mmol/l
CC0035	amoniové ionty		0,28	0,05		10	SOP OV 064	mg/l
CC0040	dusičany	<	0,005	0,005			SOP OV 003	mg/l
CC0045	dusičany	<	1	1			SOP OV 003	mg/l
CC0070	fosforečnany	<	0,05	0,05			SOP OV 003	mg/l
CD0000	chloridy		5,94	4		15	SOP OV 003	mg/l
CD0005	sířany		15,2	5		15	SOP OV 003	mg/l
CD0010	křemičitany		10,4	0,5		20	SOP OV 201	mg/l
CD0015	fluoridy		0,242	0,05		15	SOP OV 003	mg/l
CD0045	sodík		9,33	0,05		20	SOP OV 201	mg/l
CD0050	draslík		3,85	0,02		20	SOP OV 201	mg/l
CD0060	vápník		87,8	0,05		20	SOP OV 201	mg/l
CD0065	hořčík		12,8	0,02		20	SOP OV 201	mg/l
CD0075	tvrdość celková		2,72	0,05		20	SOP OV 201	mgval/l
DA0145	železo celková po filtraci		0,536	0,015		20	SOP OV 201	mg/l

Obr. 2.15: Ukázka z IS Arrow pro vybraný monitorovaný objekt

2.4.4 Informační systém veřejné správy - VODA (ISVS -VODA)

Gestorem **Vodohospodářského informačního portálu VODA** je **Ministerstvo zemědělství a Ministerstvo životního prostředí** ve spolupráci s dalšími ústředními vodoprávními úřady ČR, tj. Ministerstvo zdravotnictví, Ministerstvo dopravy a Ministerstvo obrany, v koordinaci s Ministerstvem vnitra.

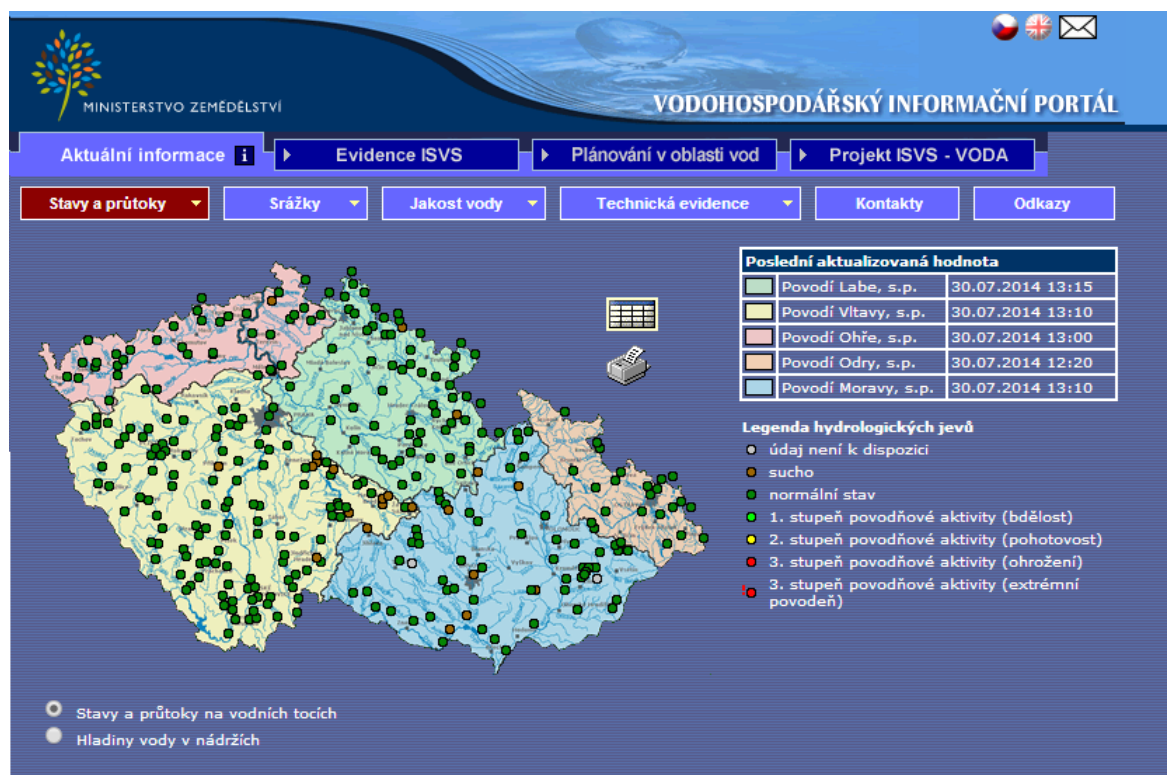
Prostřednictvím jednotných, přehledných a snadno dostupných aplikací zde zmiňované resorty prezentují široké veřejnosti věrohodné informace o našich vodách, a tak přispívají k její lepší a včasné informovanosti.

Informační portál poskytuje:

- **aktuální informace** z datových zdrojů správců Povodí o **stavech a průtocích na vybraných profilech, o srážkách a jakosti vody**,
- **evidenci** vodních toků a objektů na nich, jejich dílčích povodí a vodních nádrží, odběrů povrchových a podzemních vod, vypouštění odpadních a důlních vod a akumulace povrchových vod ve vodních nádržích, mezinárodních oblastí povodí na území České republiky a dílčích povodí, zdrojů povrchových a podzemních vod, které jsou využívány nebo u kterých se předpokládá jejich využití jako zdroje pitné vody, vodních děl k vodohospodářským melioracím pozemků, hydrogeologických rajonů a vodních útvarů včetně silně ovlivněných vodních útvarů a umělých vodních útvarů, množství a jakosti povrchových a podzemních vod, stavu vodních útvarů a ekologického potenciálu silně ovlivněných a umělých vodních útvarů, chráněných oblastí přirozené akumulace vod, ochranných pásem vodních zdrojů, citlivých oblastí, zranitelných oblastí apod.,
- plánování v oblasti vod (**plány jednotlivých oblastí povodí**), **výsledky** hodnocení vodních útvarů.

Informační portál je dostupný na internetových stránkách (<http://voda.gov.cz/portal/cz/>).

Na obrázku 2.16 je ukázka z informačního portálu.



Obr. 2.16: Ukázka z Vodohospodářského informačního portálu

2.4.5 Integrovaný systém plnění ohlašovacích povinností (ISPOP)

Integrovaný systém plnění ohlašovacích povinností (ISPOP) umožňuje **zpracování a příjem vybraných hlášení** (ohlašovacích povinností) z oblasti životního prostředí v elektronické podobě a jejich další distribuci příslušným institucím veřejné správy.

Legislativa z oblasti životního prostředí ukládá ekonomickým subjektům povinnost hlásit státní nebo veřejné správě informace o vlivu jejich ekonomické činnosti na životní prostředí. Tyto subjekty se tak stávají ohlašovatelí evidencí, příp. poplatků z oblasti životního prostředí, přičemž povinnost podání hlášení je uložena v příslušných právních normách. Povinností ohlašovatelů je doručit příslušná hlášení státním či veřejným institucím, které mají dotčenou právní normou uloženou povinnost hlášení kontrolovat, příp. vyměřovat poplatky.

Od roku 2014 se ohlašují nově přes ISPOP vodohospodářské agentury podle zákona č. 254/2001 Sb., o vodách mj. odběry podzemní vody (v množství překračující 6000 m³ za rok, resp. 500 m³ za kalendářní měsíc), odběry povrchových vod, vypouštění vod do vod povrchových a podzemních apod.

2.4.6 Systém evidence kontaminovaných míst (SEKM)

Systém evidence kontaminovaných míst (SEKM) je integrovaná databáze informací o starých ekologických zátěžích, resp. kontaminovaných místech, sloužící k pořizování, správě a prezentaci informací těchto dat veřejnosti. Provozovatelem databáze je Ministerstvo životního prostředí ČR, Odbor environmentálních rizik a ekologických škod.

Databázi je možné prohlížet po přihlášení se jako "veřejnost" na www.sekm.cz.

V databázi jsou evidovány kontaminované a potenciálně kontaminované lokality s vyhodnocením priorit dalšího řešení ekologické zátěže. Hodnocení zařazuje každou lokalitu jednoznačně do odpovídající kategorie podle toho, jaký postup vyžaduje v závislosti na její předpokládané či ověřené kontaminaci a na důsledcích či možných důsledcích této kontaminace pro lidské zdraví a životní prostředí. Povinnost provádět záznamy do databáze SEKM vyplývá z vyhlášky č.17/2009 Sb., o zjišťování ekologické újmy na půdě a z vyhlášky č.18/2009 Sb., kterou se mění vyhláška č.369/2004 Sb. o projektování a vyhodnocování geologických prací, oznamování rizikových faktorů a postupu při výpočtu zásob výhradních ložisek.

Databáze SEKM je určena především subjektům, které se ve své praxi zabývají lokalizací a evidencí kontaminovaných míst, jejich průzkumem, hodnocením zdravotních a ekologických rizik, monitorováním či sanací, a dále subjektům, které se zabývají problematikou zlepšování životního prostředí, ekologické újmy, ochrany vod a zlepšováním jejich stavu, ochranou a udržitelným využíváním půdního a horninového prostředí, ochranou zdraví obyvatel a předcházení rizik, zahlazováním následků hornické činnosti nebo při územním plánování a dalším rozhodování o využívání lokalit (např. podle stavebního zákona).

3 PODZEMNÍ VODA - ZDROJ PITNÉ VODY

3.1 OBECNĚ O JAKOSTI PODZEMNÍ VODY

Zdroje podzemní vody jsou ve smyslu § 29 zákona č. 254/2001 Sb. o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon) přednostně vyhrazeny pro zásobování obyvatelstva pitnou vodou a pro účely, pro které je využití pitné vody určeno zvláštními předpisy (například výroba potravin, apod.). Jejich jiné využití je možné pouze tehdy, není-li to na úkor uspokojování výše uvedených potřeb. Proč je podzemní voda tak cenná? Tato voda je totiž, na rozdíl od vody povrchové, zpravidla charakteristická dlouhodobou stálostí svých jakostních parametrů a menší mírou její zranitelnosti, a je obvykle použitelná pro pitné účely bez složitější technologické úpravy. Dále má jednu mimořádnou vlastnost a tou je obsah látek, které jsou v určitých množstvích nezbytné pro lidský organismus. Mezi ně patří například stopová množství těžkých kovů, vápník, hořčík, a případně dalších látek, které mohou podzemní vodě dodávat nejen nutriční hodnotu, ale i charakteristickou chuť.

3.1.1 Požadavky na jakost pitné vody

Pojmem pitná voda se označuje voda podzemní i povrchová, která bez úpravy nebo po její technologické úpravě je určena k pití, k vaření, k výrobě potravin, k očištění lidského těla a k čištění předmětů, které přicházejí do styku s potravinami nebo s lidským tělem. Pitná voda z podzemních zdrojů je jednou z nich a vyznačuje se zpravidla nejen velmi dobrou jakostí a nízkou mírou její zranitelnosti, ale i nezanedbatelnou nutriční hodnotou.

Na jakost pitné vody se vztahují předpisy hygienické, protože voda musí být nejen jakostní (tedy splňovat určité limity), ale zdravotně nezávadná i při jejím dlouhodobém využívání. Hygienické limity zahrnují mikrobiologické, biologické, fyzikální, chemické a organoleptické ukazatele a ty jsou dnes uvedeny ve vyhlášce č. 252/2004 Sb. ve znění pozdějších předpisů, kterou se stanoví hygienické požadavky na pitnou a teplou vodu a četnost a rozsah kontroly pitné vody. Jednotlivé ukazatele jsou začleněny do 3 skupin. První, nejrizikovější skupinu tvoří ukazatelé s nejvyšší meznou hodnotou (NMH), která nesmí být překročena a na toto překročení nelze udělit výjimku. Sem patří především látky toxické (například chlorované uhlovodíky, rtuť, aj.) a dále látky ukazující na fekální znečištění (enterokoky, *Escherichia coli*, apod.). Druhou skupinu tvoří ukazatele s mezní hodnotou (MH), jejíž překročení může být po určitou dobu tolerováno udělením výjimky k dočasnému užívání vody nesplňujícími stanovené limity, budou-li přijata opatření k nápravě tohoto stavu. Do této skupiny patří složky méně závažné pro lidský organismus: dusičnany, železo, hliník, sírany, koliformní bakterie, aj. Třetí skupinu tvoří ukazatele s doporučenou hodnotou (DH), kam patří například vápník a hořčík.

Nejdůležitějším kritériem pro použití vody k pitným účelům je zdravotní nezávadnost. Zárodky infekčních a parazitárních chorob se mohou do půdní vrstvy a následně do podzemní vody dostat ze živočišných hnojiv či odpadů. Mezi sledované mikrobiologické indikátory fekálního znečištění patří bakterie žijící ve střevním traktu teplotokrevných zvířat, jako jsou například enterokoky, koliformní bakterie, *Escherichia coli*, aj. Mezi chemické indikátory fekálního znečištění patří látky obsažené v moči a v tuhých fekáliích a sem patří m.j. amoniakální a dusitanový dusík, fosforečnany, chloridy, apod.

Dalším významným kritériem je organické znečištění pitné vody. To se stanoví jednak formou tzv. sumárních stanovení (polycyklické aromatické uhlovodíky, polychlorované bifenylly, pesticidy,

či obsah celkového organického uhlíku) a jednak formou individuálních stanovení vybraných látek (např. huminové kyseliny nebo jednotlivé pesticidní látky jako jsou bentazon, aldrin, antrazin, apod.).

Posledním významným kritériem jsou hodnoty a koncentrace fyzikálních a chemických ukazatelů. Sem patří zdravotně významné anorganické ukazatele: například arsen, berylium, kyanidy, apod., dále zdravotně významné organické ukazatele jako trichloretylen, tetrachloretylen, benzen, toluen, xyleny. Jiné sledované ukazatele mohou negativně ovlivnit jakost vody - pach, barva, pH, mangan a další látky jsou v pitné vodě přímo žádoucí - například vápník a hořčík.

Samostatným indikátorem v podzemních vodách jsou přírodní radionuklidy. Jejich limitní hodnoty jsou stanoveny ve vyhlášce č. 307/2002 Sb. o radiační ochraně jako směrné hodnoty, při jejichž překročení se voda do vodovodní sítě může dodávat jen v odůvodněných případech a dále jako mezní hodnoty, při jejichž překročení nesmí být voda do vodovodní sítě dodávána. Základní rozbor zpravidla zahrnuje stanovení objemové aktivity α a β a dále radonu 222. Doplňující rozbor, pokud jsou překročeny směrné hodnoty objemové aktivity α a β nebo radonu 222, pak zahrnuje stanovení především uranu a radia 226, případně dalších radioaktivních izotopů.

Jak je tedy zřejmé, jakost vod a jejich proměnlivost v čase si vyžadují pravidelný odběr vzorků vody na laboratorní analýzy s tím, že čím větší je zdroj, tím četnější musí být jeho sledování. Vlastní analýzy surové vody probíhají zpravidla ve dvou rozsazích jako tzv. krácený rozbor, při kterém se stanovuje minimálně 23 složek a jako rozbor úplný, zahrnující minimálně 60 složek. Ten je m.j. povinný při uvedení nového zdroje pitné vody pro veřejné zásobování do provozu. Kromě výše uvedených rozsahů rozborů se cíleně provádí sledování určitých složek nutných pro řízení úpravy vody, jako je například hodnota pH, koncentrace celkového železa, mikrobiologický rozbor, apod.

3.2 ZPŮSOBY JÍMÁNÍ PODZEMNÍ VODY

Pro jímání podzemní vody slouží objekty, které jsou zpravidla vodními díly. Před jejich realizací je tedy třeba získat rozhodnutí o umístění stavby dle §79 zákona č. 183/2006 Sb. o územním plánování a stavebním řádu (stavební zákon) a stavební povolení dle § 15 vodního zákona. Vodu je potom možno odebírat na základě povolení vodoprávního úřadu ve smyslu § 8 vodního zákona, které se zpravidla vydává současně s povolením stavby jímacího objektu. Podkladem pro projekci jímacích objektů podzemní vody jsou dokumentace záměru pro územní rozhodnutí a projektová dokumentace pro stavební povolení. Při přípravě těchto dokumentů je třeba vycházet z výsledků hydrogeologického průzkumu, který ověří, zda se v daném území nachází podzemní voda v potřebném množství a jakosti a současně stanoví, jaké parametry musí mít jímací objekt podzemní vody, aby mohl konkrétní vodní zdroj podzemní vody dlouhodobě využívat.

3.2.1 Hydrogeologický průzkum

Podobně jako v případě projektové přípravy pozemních či dopravních staveb, kdy je nezbytné realizovat geologický průzkum pro účely zakládání konkrétní stavby, je třeba i pro **projekci jímacích objektů** podzemní vody provést **hydrogeologický průzkum**. Ten se provádí v intencích geologických předpisů, především zákona č. 62/1988 Sb. o geologických pracích a Českém geologickém úřadu a vyhlášky č. 369/2004 Sb. o projektování, provádění a vyhodnocování geologických prací, oznamování rizikových geofaktorů a o postupu při výpočtu zásob výhradních ložisek.

Před projektováním jímacích objektů podzemní vody musí být v daném území dostatečně známy **geologické a hydrogeologické poměry** minimálně do hloubkové úrovně uvažovaného díla,

tj. musí být k dispozici dostatečně podrobné údaje především o horninovém souboru, o geometrických parametrech a hydrofyzikálních vlastnostech jednotlivých kolektorů a izolátorů a dále o tlakových poměrech podzemní vody vázané na jednotlivé zvodněné kolektory. Ty je možno získat především z **archivní dokumentace** průzkumných objektů, z **hydrogeologických map**, z **přímého měření** v terénu, apod. Pokud potřebné údaje k dispozici nejsou nebo jejich rozsah je nedostatečný, je třeba před zpracováním projektu jímacího objektu provést **podrobný hydrogeologický průzkum** v rozsahu umožňujícím výše uvedené údaje získat. Tyto práce zpravidla zahrnují nejen průzkumnou sondáž, ale i soubor doprovodných prací jako jsou čerpací zkoušky, režimní měření hladiny podzemní vody, laboratorní analýzy, mapovací práce, apod.

Existují dvě varianty technických parametrů průzkumných hydrogeologických děl prováděných pro účely projektové přípravy jímacích objektů podzemní vody. V rámci **první**, dnes nejrozšířenější varianty, se kalkuluje s tím, že průzkumné dílo bude v případě příznivých výsledků průzkumu po správním řízení a po případné stavební úpravě využito jako **jímací objekt podzemní vody**, tedy **vodní dílo**. V tom případě je nezbytné umístit průzkumný objekt tak, aby po ukončení průzkumu bylo možno vydat **rozhodnutí o umístění stavby** v místě průzkumného díla a současně aby toto dílo mělo příslušné technické parametry odpovídající požadavkům na vodní dílo určené k jímací podzemní vody. **Druhou variantou** průzkumných hydrogeologických děl prováděných pro účely projektové dokumentace jímacích objektů podzemní vody je takové **dílo**, s jehož **využitím nebo úpravou na vodní dílo se neuvažuje**. Tento postup se využívá v případech nízké geologické a hydrogeologické prozkoumanosti území, v území s významně heterogenními podmínkami zvodnění horninového souboru a obecně všude tam, kde je riziko negativního výsledku průzkumu zvýšené. Technické parametry těchto průzkumných děl jsou proto voleny úsporně a součástí hydrogeologického průzkumu je i likvidace průzkumného díla. Výsledkem prací obou variant průzkumu je **závěrečná zpráva o hydrogeologickém průzkumu**, která slouží jak pro účely dokumentace záměru pro územní řízení, tak pro projektovou dokumentaci nového jímacího objektu podzemní vody a pro povolení k odběru vody.

3.2.2 Typy jímacích objektů

Jímací objekty sloužící k odběru podzemní vody jsou specifikovány v ČSN 75 5115 Jímání podzemní vody, jejíž část týkající se umístování a zřizování jímacích objektů podzemní vody se stala novelizací vyhlášky č. 590/2002 Sb., o technických požadavcích pro vodní díla závaznou. Jímacími zařízeními dle této normy jsou:

- a) vrtané (trubní) studny,
- b) šachtové studny,
- c) šachtové studny s radiálními sběrači (radiální studny),
- d) jímací zářezy,
- e) pramenní jímky,
- f) ostatní.

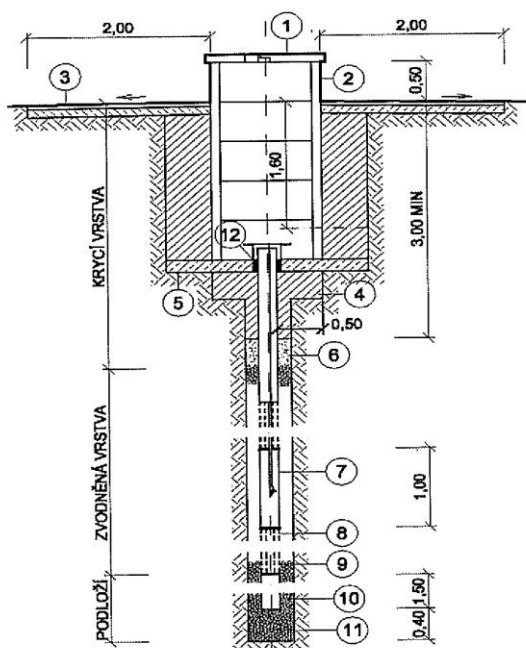
Vrtané studny

Ty jsou dnes nejčastějším druhem jímacích objektů podzemní vody. K hloubení jsou využívány vrtné soupravy s tím, že profil hloubení je vždy o něco větší než definitivní výstroj, do které se vkládá čerpadlo. Důvodem je potřeba vybudování šterkového filtru mezi stěnu vrtu a jeho výstroj ve zvodněných polohách a ve svrchní části potom těsnění navázané na okolní horninu, zabraňující vnikání povrchových vod a jejich splachů do jímací části vrtané studny. Využívají se různé technologie hloubení vrtaných studen (jádrový, nárazový, rotačně-valivý, drapákový), ale dnes

nejčastěji používaný je příklepový způsob vrtání se vzduchovým výplachem. Bližší upřesnění konstrukčních parametrů a způsobu hloubení jsou uvedeny v tabulce 3.1 a na obrázku 3.1.

Tabulka 3.1: Specifikace konstrukce a parametrů – vrtané studny

Druhy vrtných nástrojů	dláta, spirálové vrtáky, pístovky, kalovky, korunky
Druhy výplachů	bezvýplachový způsob, tzv. vrtání na sucho, kdy se na povrch mechanicky vynáší celé vrtné jádro či větší část horniny, nebo vrtání s výplachem (vodní, těžký, vzduchový), kdy se na povrch vynáší rozvrtaná horninová drť spolu s výplachem
Pažení	používá se ve svrchních částech vrtaných studen ke stabilizaci stěny, pažení je zpravidla ocelové nebo plastové (PVC)
Vystrojovací materiál	zpravidla ocelová nebo plastová (PVC, HDPE) zárubnice, průměry obvykle 120 až 300 mm. Ve zvodněných úsecích je zárubnice perforovaná
Filtrační obsyp	je závislý na charakteru prostředí, čím jemnější horninová zrna, tím větší je nutnost budování zaplášťových filtračních obsypů
Těsnění	instaluje se především ve svrchní části vrtaných studen, musí mít mocnost minimálně 30 mm a musí zasahovat do hloubky minimálně 3 m pod terén. Těsnění je jílové, cementové nebo cemento-jílové, navázané na okolní horninu. Při tlakové podzemní vodě s přetokem podzemní vody na terén musí být cementové těsnění instalováno do hloubky minimálně 5 m, opět s navázáním na okolní horninu. Těsnění se používá i v případě vícekolektorového zvodněného systému pro oddělení nebo zatěsnění některých zvodní, protože v každém jímacím objektu může být odebírána podzemní voda pouze z jedné zvodně
Čerpací technika	ruční pumpy, násoskový systém, sací čerpadla (max. do hloubky cca 7 m), nejčastější však ponorná čerpadla zavěšená na výtlačném potrubí. To je obvykle přichyceno na zhlaví vrtané studny
Doprovodné objekty	betonové nebo plastové manipulační šachtičky o průměru 1000 – 1500 mm sloužící pro instalaci čerpadla, ovládací techniky a měrné techniky s přechodem na přívodní řady



- 1 Krycí deska
- 2 Betonové skruže na cementovou maltu
- 3 Dlažba na cementovou maltu
- 4 Jílové těsnění
- 5 Betonová deska
- 6 Zásyp z písku
- 7 Zárubnice plná
- 8 Zárubnice děrovaná
- 9 Obsyp
- 10 Kalník
- 11 Vrstva kameniva - písku
- 12 Krytí zhlaví zabraňující přenášení hmotnosti šachty na zárubnici

Obr. 3.1: Vrtaná studna s úpravou pro motorové čerpadlo (dle ČSN 755115)

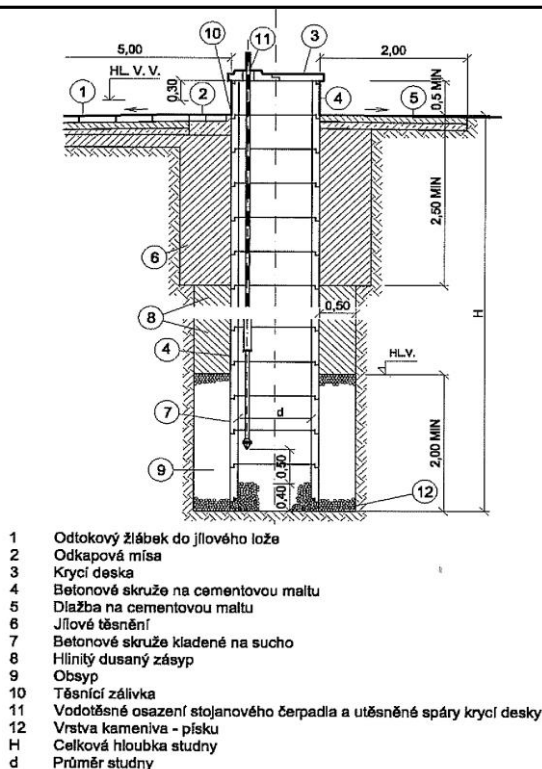
Dnes stále ještě používanou variantou vrtaných studen jsou studny jehlové (zarážené). Ty se provádějí výhradně v pískových a štěrkopískových sedimentech většinou v okolí povrchových vodních toků. Průměr je malý (5 – 7 cm), zarážená trubka je zpravidla ocelová, s perforačními otvory pod hladinou podzemní vody. Voda se využívá většinou pomocí ručních nebo horizontálních čerpadel, tzn. že jejich hloubka není zpravidla větší než 7 m.

Studny šachtové

Používají se v místech s vysokou hladinou podzemní vody a jejich hloubka je obvykle do 10 m, výjimečně více, častá je však i menší hloubka (do 3 m). Bližší upřesnění konstrukčních parametrů a způsobu hloubení jsou uvedeny v tabulce 3.2 a na obrázku 3.2.

Tabulka 3.2: Specifikace konstrukce a parametrů – šachtové studny

Způsoby hloubení	ručně nebo pomocí strojních rýpadel či drapákové vrtné soupravy
Druhy výplachů	bezvýplachový způsob, na povrch mechanicky vynáší vytěžená hornina
Pažení	K pažení se používá přímo vystrojovací materiál průběžně ukládaný do studen ke stabilizaci stěny
Vystrojovací materiál	většinou celokruhové betonové skruže Js 800–2000 mm, kdy voda do studny přitéká dnem, spárami mezi skružemi nebo uměle zhotovenými vtokovými otvory. Plášť nad vtokovými otvory musí být nepropustný a výstroj musí být vyvedena minimálně 0,5 m nad upravený terén.
Filtrační obsyp	symetrický nebo asymetrický, na horní (návodní) straně štěrkový obsyp o mocnosti minimálně 400 mm
Těsnění	na spodní straně těsnění (jílové, cementové, jílo-cementové). V přípovrchové vrstvě se po celém obvodu studny se instaluje těsnění (jílové, cementové) navazující na okolní horninu. Těsnění musí zasahovat do hloubky minimálně 2,5 m od terénu a jeho mocnost musí minimálně o 100 mm přesahovat filtrační obsyp
Čerpací technika	obdobná jako u studen vrtaných, častější je však využití ručních mechanických nebo sacích motorových čerpadel. S ohledem na průměr studen je možno použít i kalová čerpadla o větším průměru. Především v horských a podhorských oblastech je časté gravitační využití šachtových studen
Doprovodné objekty	Studna musí být ze shora zakryta zákrytovou deskou.



Obr. 3.2: Kopaná studna z betonových skruží (dle ČSN 755115)

Šachtové studny s radiálními sběrači (radiální studny)

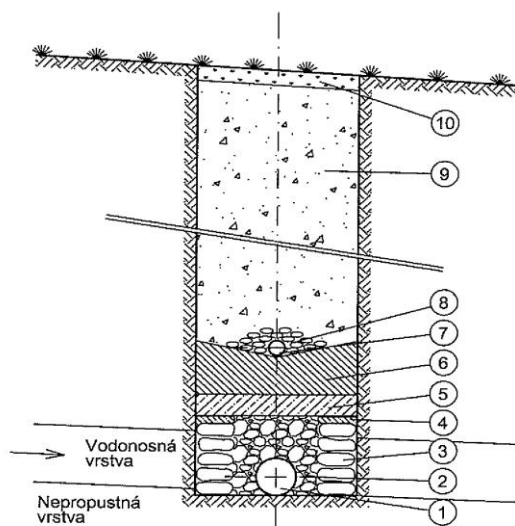
Dnes jsou prakticky nepoužívaným typem jímacích objektů. Ze širokoprofilové šachtové studny jsou vodorovně a radiálně raženy sběrače (jímací péra), čímž se zvyšuje jímací účinek studny. Použití je vhodné pouze do silně zvodnělých štěrkopísků a nezbytností je provedení předchozího hydrogeologického průzkumu. Ten stanoví především nejvhodnější vrstvu pro uložení sběračů, jejich počet, délku a průměr. Průměr šachtové studny musí umožnit nasazení zatlačovací soupravy.

Jímací zářezy

Provádějí se zpravidla v místech rozptýlených pramenných vývěřů nebo plošného, tedy nesoustředěného, mělkého podpovrchového odtoku podzemní vody zejména v členitém terénu hor a jejich podhůří. Umísťovány jsou na nepropustném podloží a jejich minimální hloubka činí 3 m. Otevřené zářezy nejsou přípustné. Bližší upřesnění konstrukčních parametrů a způsobu hloubení jsou uvedeny v tabulce 3.3 a na obrázku 3.3.

Tabulka 3.3: Specifikace konstrukce a parametrů – jímací zářezy

Způsoby hloubení	ruční nebo strojní hloubení rýpadlem
Druhy výplachů	bezvýplachový způsob, na povrch mechanicky vynáší vytěžená hornina
Pažení	pracovní pažení ke stabilizaci stěny používané při výkopech podle místních geologických podmínek
Vystrojovací materiál	nejčastěji se používá poloděrovaná kamenina, případně PVC, které jsou uloženy ve sklonu ve štěrkovém loži, které obklopuje v mocnosti minimálně 600 mm i jímací potrubí. Průměr výstroje je obvykle 100-250 mm, avšak vždy takový, aby průtočná rychlost při polovičním zaplnění jímacího potrubí byla min. 0,5 m/s. Pro zlepšení vtoku vody do děrovaného potrubí se ve výkopu budují, příčné, případně i podélné vzdouvací zítky.
Zaplášťový prostor	proti vnikání povrchových vod se jímací těleso chrání betonovou deskou nebo fólií s jílovou nadložní vrstvou umístěnou minimálně 2,5 m pod povrchem území. Na tuto desku nebo fólii se ukládá drenážní potrubí pro svedení a odvod přípoверхových splachů. Zářez nad těsněním se vyplní zhutněnou zeminou.
Čerpací technika	obvykle není využívána, voda z jímacích zářezů je obvykle gravitačně sváděna do sběrné jímky.
Doprovodné objekty	voda z jímacích zářezů je obvykle sváděna do sběrné jímky a odtud je dále odváděna do vodárenských objektů (vodojem, vodovodní řady)



- 1 Sběrné (perforované) potrubí (obvykle \varnothing 100-300 mm)
- 2 Štěrkový obsyp (obvykle o velikosti zrna 32-64 mm)
- 3 Rovnanina z kameně
- 4 Vyrovnávací beton
- 5 Betonová deska (obvykle tl. 10-15 cm)
- 6 Jílové těsnění (min tl. 20 cm)
- 7 Drenážní trubka (obvykle \varnothing 60-80 mm)
- 8 Štěrkový obsyp (obvykle o velikosti zrna 16-32 mm) krytý vhodnou geotextilií
- 9 Zához výkopkem
- 10 Vegetační krytí

Obr. 3.3: Horizontální jímací zářez – příčný řez (dle ČSN 755115)

Pramenní jímky

Slouží na rozdíl od jímácích zářezů k zachycení soustředných pramenů. Ty se dělí podle různých kritérií, takže máme prameny sestupné, vzestupné (artéské), další dělení je na prameny suťové, puklinové, krasové, nebo na údolní, svahové, apod. Pramenní jímka je klasickým typem vodárenského objektu, kde se nachází sběrná komora, kam voda natéká, potom je zde usazovací komora a následuje odběrná komora a armaturní komora. Podle směru výstupu podzemní vody k povrchu se pramenní jímka umísťuje buď přímo nad vývěr, nebo v případě bočního vývěru se přistavuje k obnažené skále.

Galérie a štoly

Dnes jsou spíše historií. Jedná se o průchozí horizontální objekty, kde je podzemní voda svedená do sběrného žlábků, nad kterým je zhotoven revizní chodníček. Voda je sváděna zpravidla do sběrné studny. Stavby tohoto druhu vždy vyžadují podrobný hydrogeologický průzkum.

Břehová a umělá infiltrace

Zvláštním typem jímání podzemní vody je způsob, kdy se využívá břehová nebo umělá infiltrace.

Břehová infiltrace představuje způsob jímání podzemní vody s využitím indukce (nasávání) vody z povrchového toku, kdy podzemní objekt (vrtaná studna, šachtová studna nebo jímací zářez) svým depresním účinkem zasáhne povrchový tok (řeka, jezero).

Umělá infiltrace je způsob jímání podzemní vody, kdy původní vodní zdroj podzemní vody je před místem jímání nabohacován dotací z jiného vodního zdroje povrchové nebo podzemní vody. Nejčastěji se používají zasakovací šachtové studny, případně vrtané studny nebo zářezy.

3.2.3 Uvedení jímacích objektů do provozu

Pro každé vodní dílo má jejich vlastník povinnost mít ve smyslu § 121 stavebního zákona k dispozici dokumentaci skutečného provedení stavby, a to pro účely uvedení stavby do provozu, pro účely jakýchkoliv změn ve vlastnictví nebo změn ve způsobu využití vodním díla určeného k jímání podzemní vody. Jedním z potřebných podkladů pro zpracování této dokumentace je i verifikace možnosti odběru podzemní vody v množství uvedeném v povolení dle § 8 vodního zákona a dále ověření potřebné jakosti vody. Pro tento účel se v závěrečné fázi výstavby vodního díla určeného k jímání podzemní vody zpravidla provádějí hydrodynamické zkoušky, spojené s odběrem vzorků odebírané vody na laboratorní analýzy. Na základě výsledků testování se potvrdí nebo modifikuje množství podzemní vody povolené k odběru a rovněž účel jejího využití.

3.3 OCHRANA VODNÍCH ZDROJŮ PODZEMNÍ VODY

Cílem ochrany podzemních vod je dle § 23 a zákona č. 254/2001 Sb. o vodách:

- zamezení nebo omezení vstupů nebezpečných, zvláště nebezpečných a jiných závadných látek do podzemní vody a zamezení zhoršení stavu všech útvarů podzemních vod,
- zajištění ochrany, zlepšení stavu a obnova všech útvarů těchto vod a zajištění vyváženého stavu mezi odběry podzemní vody a jejím doplňováním,

- odvrácení jakéhokoliv významného a trvalého vzestupného trendu koncentrace nebezpečných, zvláště nebezpečných a jiných závadných látek v podzemních vodách jako důsledku dopadu lidské činnosti, za účelem snížení znečištění těchto vod.

Pro tyto cíle se v rámci plánování v oblasti vod zpracovávají programy opatření, v nichž jsou obsažena základní a doplňková opatření směřující k dosažení cílů ochrany vod. Ty mají jednak preventivní charakter a jednak charakter cílených kroků směřujících ke snížení již existujícího nebo potenciálního znečištění podzemních vod.

Jedním ze základních a velmi účinných způsobů preventivní ochrany vod v ČR je stanovení **Chráněných oblastí přirozené akumulace vod (CHOPAV)**, pro ochranu vod využívaných pro pitné účely je to potom stanovení **ochranných pásem vodních zdrojů (OPVZ)**.

CHOPAV zahrnují oblasti, které pro své přírodní podmínky tvoří významnou akumulaci vod. Vymezeny jsou především v pramenních oblastech významných řek v pohraničních horách a dále v oblastech pánevních sedimentárních struktur a struktur říčních sedimentů v povodí Moravy. **Ochrana** se v těchto územích realizuje pomocí **taxativně stanovených zákazů**, jejichž rozsah je stanoven formou Nařízení vlády č. 40/1978 Sb., 10/1979 Sb. a 85/1981 Sb. Jedná se zejména o zákaz zmenšování rozsahu lesních porostů a jejich odvodnění, odvodňování zemědělských pozemků, o zákaz těžby rašelin, těžby nerostů, při kterých by byla obnažena souvislá hladina podzemní vody, těžby radioaktivních surovin, zákazu ukládání radioaktivních odpadů a ukládání oxidu uhličitého do hydrogeologických struktur s využívanými nebo využitelnými zásobami podzemních vod. Výjimku z těchto zákazů může udělit pouze Ministerstvo životního prostředí po předchozím souhlasu vlády.

K ochraně vydatnosti, jakosti a zdravotní nezávadnosti podzemních vod slouží **OPVZ**, která se stanovují formou opatření obecné povahy v intencích § 30 vodního zákona. Stanovení těchto pásem je vždy veřejným zájmem a zpravidla se vztahuje na zdroje s průměrným odběrem více než 10 000 m³/rok s tím, že vodoprávní úřad může v odůvodněných případech stanovit ochranná pásma i pro ochranu zdrojů s menší vydatností. Ochranná pásma se dělí na **ochranné pásmo I. stupně**, které slouží k ochraně vodního zdroje v bezprostředním okolí jímacího nebo odběrného zařízení a **ochranná pásma II. stupně**, která slouží k ochraně vodních zdrojů v území stanovených vodoprávním úřadem tak, aby nedocházelo k ohrožení jeho vydatnosti, jakostí nebo zdravotní nezávadnosti. Vždy se tedy jedná o ochranu vodního zdroje, tedy o masu vody využívané nebo využitelné pro uspokojování potřeb člověka, zejména pro pitné účely, zatímco vlastní jímací zařízení může být v případě potřeby chráněno ochranným pásmem vodního díla v intencích § 58 vodního zákona.

Stanovení ochranného pásma se provádí na základě **odborného podkladu**. Ten vychází z vyhlášky č. 137/1999 Sb. kterou se stanoví seznam vodárenských nádrží a zásady pro stanovení a změny ochranných pásem vodních zdrojů. Součástí podkladů pro stanovení ochranného pásma je i identifikace pozemků, které jsou do ochranného pásma začleněny, ale z podstaty opatření obecné povahy kterým se ochranná pásma stanovují, vyplývá, že podmínky ochrany vodního zdroje platí nejen pro vlastníky těchto pozemků ale pro každého, kdo se v ochranném pásmu pohybuje nebo zde vykonává nějakou činnost (Vrbová, Šeda, 2012).

Ochrana vodního zdroje je založena na principu **dvoupásmové ochrany**, kdy každé pásmo má jiný rozsah.

OPVZ I. stupně se v případě ochrany vodního zdroje podzemní vody vymezuje do vzdálenosti minimálně 10 m od odběrného zařízení, přičemž však vodoprávní úřad může v odůvodněných případech stanovit menší rozsah (například u zdrojů podzemní vody s napjatou hladinou podzemní vody, kdy hlouběji uložený zvodněný kolektor je kryt mocným stropním izolátorem). Současné znění vodního zákona taxativně stanovuje, že do OPVZ I. stupně je zakázán vstup a vjezd, přičemž

tento zákaz neplatí pro osoby, které mají právo vodu z vodního zdroje odebírat a případně i pro další osoby, je-li jejich vstup nebo vjezd upraven rozhodnutím nebo opatřením obecného povahy vodoprávního úřadu.

OPVZ II. stupně se stanovuje vně OPVZ I. stupně, nemusí na něj však bezprostředně navazovat. Na rozdíl od OPVZ I. stupně může být tvořeno nejenom jedním souvislým územím, ale také několika od sebe oddělenými územími (zónami) s tím, že takto navržené ochranné pásmo může být vodoprávním úřadem stanovováno po částech.

V OPVZ I. a II. stupně je zakázáno provádět činnosti poškozující nebo ohrožující vydatnost, jakost a zdravotní nezávadnost vodního zdroje. V opatření obecné povahy je tak stanoveno, které činnosti poškozující nebo ohrožující vydatnost, jakost a zdravotní nezávadnost vodního zdroje nelze v tomto pásmu provádět a naopak jaká technická opatření jsou v ochranném pásmu povinny provést osoby oprávněné k odběru vody nebo žadatelé o povolení k odběru vody, a to na svoje náklady. V případě stanovení činností poškozujících nebo ohrožujících vodní zdroj se tak jedná buď o zákazy nebo omezení v celé ploše ochranných pásem, nebo o zásahy a omezení vázané pouze na jednotlivé pozemky či jejich skupiny. Například v infiltračních oblastech, tj. v oblastech tvorby podzemní vody vsakem atmosférických srážek do půdní vrstvy, se tak může jednat o zákaz výstavby objektů, kde se skladují nebo se ve větším rozsahu manipuluje s nebezpečnými nebo zvláště nebezpečnými látkami, nebo o zákaz aplikace některých látek, například vybraných hnojiv či látek na ochranu rostlin. V centrálních částech pánevních struktur s mocným nadložním izolátorem se pak může jednat například o zákaz hlubších zásahů do horninového prostředí, které by nadložní izolátor mohly porušit. Do těchto činností patří m.j. vrty pro tepelná čerpadla, vrtané studny, hlubinné zakládání staveb, apod. (Šeda, 2006). Z uvedeného je zřejmé, že ochrana podzemních vod není záležitostí pouze ochrany povrchu terénu ale i prostorové ochrany příslušné části hydrogeologické struktury. Platí přitom, že za prokázané omezení užívání pozemků nebo staveb náleží vlastníkům těchto pozemků a staveb náhrada od osob oprávněných k odběru podzemní vody.

Zatímco **rozsah OPVZ I. stupně** je víceméně **taxativně dán** a závazně je stanoven i nejdůležitější limit, tj. zákaz vstupu a vjezdu, **rozsah OPVZ II. stupně** a charakter zákazů či limitů v jeho rámci je věcí **individuálního posouzení navrhovatele ochranného pásma**.

Metodické principy a kritéria pro vymezení ochranných pásem vodních zdrojů podzemních vod jsou funkcí řady faktorů, m.j.:

- charakteristiky vodního zdroje podzemní vody a geologické struktury, v níž se tato voda vytváří,
- typu jímacího objektu podzemní vody a velikosti odběru vody z něj,
- charakteristiky hydrogeologického povodí vodního zdroje,
- charakteristiky pokryvu, zástavby a hospodářského využívání území,
- existence bodových, liniových a plošných zdrojů potenciálního znečištění a jejich valorizace ve vztahu k riziku znečištění podzemní vody,
- interakce s půdou nebo interakce s jinými vodními ekosystémy, aj.

Z uvedeného je zřejmé, že žádný unifikovaný rozsah OPVZ II. stupně a limitů v něm stanovit nelze a individuální posouzení je tím nejlepším řešením. To však má jedno základní úskalí, kterým je z důvodu absence jakékoliv směrnice pro stanovení ochranných pásem vodních zdrojů podzemní vody subjektivní vnímání rizika ohrožení vodního zdroje. Proto se dnes v praxi setkáváme se situací, kdy zdroje s obdobnou vydatností situované v obdobných hydrogeologických strukturách mají až diametrálně odlišný rozsah OPVZ II. stupně. A protože současně platí, že i na dříve stanovená, tzv. pásma hygienické ochrany 2. stupně s členěním na vnitřní a vnější část, se pohlíží jako na současné OPVZ II. stupně, **vyžaduje současná situace v ochraně podzemních vod**

systemové řešení formou změny legislativních předpisů tak, aby podmínky ochrany podzemní vod v jednotlivých jímacích oblastech ČR byly srovnatelné a současně aby existoval funkční monitorovací systém pro účely kontroly účinnosti OPVZ jakožto institutu uplatňovaného ve veřejném zájmu.

Do sféry preventivní ochrany podzemních vod ještě nově náleží tzv. **zranitelné oblasti**, které se stanovují dle § 33 vodního zákona pro ta katastrální území jednotlivých obcí, v nichž **koncentrace dusičnanů v podzemní vodě přesahuje 50 mg/l** nebo tuto **koncentraci může přesáhnout**. Nařízení vlády č. 262/2012 Sb. ve znění pozdějších předpisů tato území stanovuje na dobu určitou (4 roky) a v těchto územích upravuje používání a skladování hnojiv a statkových hnojiv, střídání plodin a provádění protierozních opatření formou tzv. akčních programů.

Kromě preventivní ochrany podzemních vod uplatňovaných především prostřednictvím CHOPAV a OPVZ je ochrana podzemních vod řešena i formou cílených kroků směřujících ke snížení již existujícího nebo potenciálně hrozícího znečištění podzemních vod. Do této skupiny **cílené nápravy rizikového stavu** patří především **úprava nebo odstranění existujících staveb**, ze kterých unikají závadné látky v množství ohrožujících jakost podzemních vod, a dále tzv. **staré ekologické zátěže**, tj. místa, kde v minulosti znečištění proniklo do horninového prostředí nebo až do podzemních vod a míra samočisticích procesů nestačí v potřebném čase toto znečištění snížit na přijatelnou úroveň. Na těchto lokalitách se na základě výsledků průzkumných hydrogeologických prací zpracovávají tzv. analýzy rizika a v případě rizika významnějšího ohrožení vodních zdrojů podzemních vod dochází k následné sanaci znečištěných zemin a podzemních vod na úroveň stanovených cílových parametrů sanace a k následnému postsanačnímu monitoringu, verifikujícího účinnost sanačního zásahu.

Podzemní a samozřejmě i povrchové vody však požívají nejen výše uvedenou speciální ochranu, ale i tzv. **obecnou ochranu**, která je specifikována především v celé řadě paragrafů vodního zákona. Již § 1 uvedeného zákona uvádí, že v oblasti vod existují dva základní veřejné zájmy, a to zájem na jejich využívání a zájem na jejich ochraně. Paragraf 5 potom uvádí, že každý kdo, zachází s povrchovými nebo podzemními vodami, je povinen dbát o jejich ochranu a zabezpečit jejich hospodárné využívání. Ochrana vod a vodních poměrů je potom věnována hlava 5 vodního zákona, která zahrnuje problematiku obecné ochrany vodních poměrů, ochranu podzemních vod, ochranu vodních zdrojů, ochranu množství vod a ochranu jakosti vod. I právní předpisy z jiných oborů lidské činnosti požadavky na ochranu vod respektují a blíže specifikují. Sem patří například právní předpisy zabývající se ochranou přírodního prostředí, stavební předpisy, předpisy týkající se nakládání s odpady a skladováním a aplikace hnojiv, předpisy z oblasti rostlinolékařské péče, aj. Jejich společným cílem je, aby nedostatek vody, a to především kvalitní pitné vody, nebyl limitujícím faktorem rozvoje naší společnosti.

4 SLOVNÍK DŮLEŽITÝCH POJMŮ

Pojmy jsou v souladu s normou ČSN 75 01 10 Terminologie hydrologie a hydrogeologie, která nahrazuje předchozí platné normy ČSN 76 65 30 a ČSN 76 65 32. Nezákladnější termíny pak upravuje ČSN 75 01 01 Vodní hospodářství – Základní terminologie. Některé uváděné definice jsou zjednodušené pro účely předkládaného materiálu (MP MŽP, 2010).

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 zvodeň	zvodeň shora uzavřená nepropustným stropem (izolátorem, artéským stropem) s napjatou hladinou; po provrtání stropního izolátoru vystoupí voda na příslušnou piezometrickou tlakovou hladinu, jež je nad úrovní 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 na 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
Difúze	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 podélném příčném a příčně-vertikálním směru.
DNAPL's (dense non-aqueous phase liquid)	samostatná kapalná fáze nevodné (obvykle 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 (výtlačná 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 zvedeň; 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)
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 Jacobovo 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 kterém je odebírána voda (povrchová či podzemní) pomocí jímacích objektů
kapilární třáseň	prostor úplné saturace v horninovém prostředí bezprostředně nad saturovanou 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 $m \cdot s^{-1}$; 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 hydraulické vodivosti 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 $m^2 \cdot s^{-1}$; je měřítkem využitelnosti zvodněného kolektoru pro jímání podzemní vody
konceptní 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 větších rychlostech 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 (light non-aqueous phase liquid)	samostatná kapalná fáze nevodné (obvykle 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	oblast, z níž vstupují atmosférické srážky, povrchové nebo podzemní vody do zvodněného systému
oblast napájení zvodněného systému	oblast, z níž vstupují atmosférické srážky, povrchové nebo podzemní vody do zvodněného systému
odtok celkový	souhrn všech složek odtoku procházející 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 (základní odtok)	1. proudění podzemní vody vlivem hydraulického gradientu z oblasti napájení do oblasti výtoku, 2. objem podzemní vody odtoklé 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 výtlačná 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 pásmu nasycení (v saturované 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 saturovanou zónu, tedy v kapilární třásni a v nesaturované 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
přírozená 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, vtláčení dalších tekutin apod.)
saturovaná zóna (pásmo 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
vtláčecí zkouška	druh hydrodynamické zkoušky, při které se hydrogeologický objekt plní vodou nebo vzduchem za tlaku vyššího, než je atmosférický
vydatnost pramene (hydrogeol. 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 vcezem 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 pásmu 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

5 LITERATURA

- Alley W.M., Reilly T.E., Franke O.L. (1999): Sustainability of grand-water resources.U.S. Geological Survey Circular 1186. Denver. Colorado 1999. ISBN 0–607–93040–3.
- Anderson M. P., Woessner W.W. (1982): Applied Groundwater Modeling. Simulation of Flow and Advective Transport. ACADEMIA PRES, INC. San Diego.
- Bear J., Verruijt A. (1994): Modelling Groundwater Flow and Pollution. D.Riedel Publishing Company, Doldrech.
- Bedient P. B., Rifai H. S., Newell C. J. (1999): Ground Water Contamination: Transport and Remediation, 2nd Edition, Prentice-Hall, Upper Saddle River, NJ, 604 p., 1999.
- Česká geologická služba, Geologická encyklopedie on-line. Dostupné: <http://www.geology.cz/aplikace/encyklopedie/term.pl?voda>
- ČSN 73 6614 Zkoušky zdrojů podzemní vody. MDT 628.112.001.4. Červenec 1985
- ČSN 75 0101 Vodní hospodářství – Základní terminologie. Září 2003.
- ČSN 75 0110 Vodní hospodářství – Terminologie hydrologie a hydrogeologie. Duben 2010.
- ČSN 75 0150 Vodní hospodářství – Terminologie vodárenství. Květen 2008
- ČSN 755115 Jímání podzemní vody. ICS 01.040.13; 13.060.10. Červen 2010
- Domenico P.A., Schwartz F.W. (1990) : Physical and Chemical Hydrogeology. – John Wiley & Sons. New York. USA.
- Fetter C.W. (1994) : Applied Hydrogeology. 3rd edn., Macmillan. New York. USA.
- Fetter C.W. (1999) : Contaminant Hydrogeology. 2nd edn., Prentice-Hall. New Jersey. USA. ISBN 10: 0137512155 / ISBN 13: 9780137512157
- Freeze R.A., Cherry J.A. (1979): Groundwater. Prentice Hall.Engelwood Cliffs.New Jersey, USA.
- Grmela A. (2004): Základy hydrogeologie. Přednášky VŠB. In web: http://geologie.vsb.cz/geologie/kapitoly/10_zaklady_hydro/10_zaklady_hydrgeologie.htm
- Homola V., Grmela A. (1987) : Hydrogeologie, 1. díl. - VŠB. Ostrava.
- Hynie O. (1961) : Hydrogeologie ČSSR I. Prosté vody. Nakladatelství ČSAV. Praha.
- Jetel J.(1982): Určování hydraulických parametrů hornin hydrodynamickými zkouškami ve vrtech. Interní publikace. ČGÚ, Praha.
- Johnson L. J., Keely J. F., Suflita J. M., Fish W. (1989): Transport and Fate of Contaminants in the Subsurface. Seminar publication. EPA/625/4-89/019
- Johnson, B. (1991): Setting revised specific numerical values. Report No. EH 91-6, Department of Food and Agriculture, State of California, 17 pp.
- Kašpárek, L., Hanel, M. a kol.(2012): Rebilance zásob podzemních vod, Aktivita 6 Hydrologické modely, Hydrogeologický rajon 4410 Jizerská křída pravobřežní, předběžná zpráva VÚV TGM, Praha.
- Kašpárek, L., Hanel, M. a kol.(2012): Rebilance zásob podzemních vod, Aktivita 6 Hydrologické modely, Hydrogeologický rajon 4430 Jizerská křída levobřežní, předběžná zpráva VÚV TGM, Praha.
- Kepřtová Z. (2014): Správci povodí a péče o vodní zdroje. In Sborník konference "Podzemní vody ve vodárenské praxi". Dolní Morava, 27.-28.3.2014
- Kerle, E.E., Jenkins, J.J. and Vogue, P.A. (1996): Understanding pesticide persistence and mobility for groundwater and surface water protection. EM 856, Oregon State University
- Kettner R. (1954): Všeobecná geologie: celostátní vysokoškolská učebnice. [Díl] 3, Vnější geologické síly, zemský povrch, geologická činnost vody. Nakladatelství Československé akademie věd, Praha
- Klíner K., Kněžek. M, Olmer M. a kol. (1978): Využití a ochrana podzemních vod, SZN, Praha

- Kodeš V., Svátková M. (2014): Výsledky monitoringu pesticidů v podzemních vodách. Přednáška ve sborníku XIV. hydrogeologický kongres a II. inženýrskogeologický kongres. Liberec
- Kohout P. (2013): Destra Co. Průzkum znečištění areálu ZEVO Chropyně, analýza rizik. Závěrečná zpráva. Forsapi. Praha 2013.
- Kohout P. et al. (2001): Kurz vzorkování podzemních vod. Skripta. Česká společnost pro jakost. Praha 2001.
- Krásný J. (1977): Hydrogeologická ročenka, str. 175. ČGÚ, Praha.
- Krásný J. et al. (2012): Podzemní vody České republiky. ČGS, Praha
- Kyrieleis W., Sichert W. (1930): Grundwasserabsenkung bei Fundierungsarbeiten, Springer, Berlin, 1930.
- Leahy, G.H. and Colwell, R.R. (1990): Microbial degradation of hydrocarbons in the environment. Microbiological Reviews, 54 (3), p. 305-315
- Marschalko M.: Inženýrská geologie - výukový CD ROM. Fond rozvoje vysokých škol. Technická univerzita VŠB Ostrava. Dostupné: <http://geologie.vsb.cz/inzgeol/sylaby/08%20Hydrogeologicke%20pomery/voda%20v%20hornin%C3%A1ch.htm>
- MŽP, 2010. Metodická příručka MŽP (2010): Základní principy hydrogeologie. MŽP ČR Praha, 2010. in web: [http://www.mzp.cz/c1257458002f0dc7/cz/metodiky_ekologicke_zateze/\\$file/oes-hg_prirucka_tt-20100801.pdf](http://www.mzp.cz/c1257458002f0dc7/cz/metodiky_ekologicke_zateze/$file/oes-hg_prirucka_tt-20100801.pdf)
- MŽP, 2005. Metodický pokyn MŽP č. 13 pro průzkum kontaminovaného území. MŽP ČR Praha, 2005. Věstník MŽP, září 2005, částka 9
- Ministerstvo zemědělství, Ministerstvo životního prostředí (2004): Manuál pro plánování v povodí České republiky. MZe a MŽP 2004. in web: http://heis.vuv.cz/data/spusteni/projekty/ramcovasmernice/dokumenty/cz/CZ_MANUAL_V41.pdf
- Nařízení vlády č. 262/2012 Sb. o stanovení zranitelných oblastí a akčním programu ve znění Nařízení vlády č. 117/2014 Sb.
- Nařízení vlády č. 262/2012 Sb., o stanovení zranitelných oblastí a akčním programu ve znění nařízení vlády č. 448/2012 Sb.
- Nařízení vlády č. 416/2010 Sb. o ukazatelích a hodnotách přípustného znečištění odpadních vod a náležitostech povolení k vypouštění odpadních vod do vod podzemních
- Nařízení vlády České socialistické republiky č. 10/1979 Sb. o chráněných oblastech přirozené akumulace vod Brdy, Jablůnkovsko, Krušné hory, Novohradské hory, Vsetínské vrchy a Žamberk - Králíky
- Nařízení vlády České socialistické republiky č. 40/1978 Sb. o chráněných oblastech přirozené akumulace vod Beskydy, Jeseníky, Jizerské hory, Krkonoše Orlické hory, Šumava a Žďárské vrchy
- Nařízení vlády České socialistické republiky č. 85/1981 Sb. o chráněných oblastech přirozené akumulace vod Chebská pánev a Slavkovský les, Severočeská křída, Východočeská křída, Polická pánev, Třeboňská pánev a Kvartér řeky Moravy
- Netopil, R. a kol. (1984): Fyzická geografie, 1. vydání. SPN Praha
- Olmer M., Herrmann Z., Kadlecová et al. (2010): Oceňování velikosti zdrojů podzemních vod. - Sborník geol. věd, HIG, 24, ČGS Praha. ISBN: 978-80-7075-656-X, ISSN: 0036-5270. in web: http://www.geology.cz/vav-hydrocr50/vysledky-projektu/Sbornik_geologickych_ved_220612.pdf

- Olmer M., Herrmann Z., Kadlecová R., Prchalová H. et al. (2006): Hydrogeologická rajonizace České republiky. - Sborník geol. Věd, HIG, 23, ČGS Praha. ISBN 80-7075-660-8, ISSN 0036-5289
- Pačes T. (1983): Základy geochemie vod. Academia. Praha.
- Pankow J.F., Cherry J.A. (1996) : Dense Chlorinated Solvents and Other DNAPLs in Groundwater. – Waterloo Press. Waterloo. Canada.
- Pitter P. (1990): Hydrochemie. SNTL. Praha.
- Pitter P. (2009): Hydrochemie, 4. aktualizované vydání. Vydavatelství VŠCHT Praha, 2009
- Rao, P.S.C. and Hornsby, A.G. (2001): Behavior of pesticides in soils and water. Soil Science Fact Sheet SL40, Soil and Water Science Department, University of Florida
- Ruda A. (?): Hydrografie vodních toků. Přednášky fyzické geografie. Pedagogická fakulta Masarykovy univerzity. Dostupné web:
http://is.muni.cz/do/rect/el/estud/pdf/js13/fyz_geogr/web/pages/08-hydrografie.html
- Směrnice 2000/60/ES Evropského parlamentu a rady z 23. října 2000, ustavující rámec pro činnost Společenství v oblasti vodní politiky
- Směrnice 2006/118/ES Evropského parlamentu a rady ze dne 12. prosince 2006, o ochraně podzemních vod před znečištěním a zhoršováním stavu
- Směrnice Rady 91/676/EHS ze dne 12. prosince 1991 o ochraně vod před znečištěním způsobeném dusičnany ze zemědělských zdrojů – tzv. Nitrátová směrnice
- Střední škola pro ochranu a obnovu životního prostředí - Schola Humanitas v Litvínově: Vodní režim v krajině. Učební texty. dostupné:
http://www.humanitas.cz/storage_edutexts/vodni_rezim_krajiny.pdf
- Synáčková M. (1996): Čistota vod. Praha: ČVUT. 1996. 208 s. ISBN 80-01-01083-X.
- Šeda S. (2006): Vliv zemědělské a sondážní činnosti na jakost vod a jejich dopad na velikost ochranných pásem vodních zdrojů, terminologická úskalí. – Manuskript, OHGS, Ústí nad Orlicí, 2006
- Šilar J. a kol. (1983) : Všeobecná hydrogeologie. - UK a SPN. Praha.
- Šráček O., Kuchovský T. (2003): Základy hydrogeologie. Masarykova univerzita v Brně, Přírodovědecká fakulta. Brno.
- Todd D.K. (1980): Groundwater Hydrology. Second Edition. John Wiley&sons. New York.
- Tourková J. (1996) : Hydrogeologie. - ČVUT. Praha.
- Vlnas R. (2011): Návrh metodiky stanovení přírodních zdrojů podzemních vod z průtoků povrchových toků. 2007-2011, Výstup projektu SP/2E1/153/07. Česká geologická služba, Český hydrometeorologický ústav, Praha.
- Vrbová J., Šeda S. (2012): Tvorba metodik pro vymezení ochranných pásem vodních zdrojů,- Manuskript, OHGS, Ústí nad Orlicí, 2012
- Vyhláška č. 137/1999 Sb., kterou se stanoví zásady pro stanovení a změny ochranných pásem vodních zdrojů a seznam vodárenských nádrží
- Vyhláška č. 24/2011 Sb. o plánech povodí a plánech pro zvládnutí povodňových rizik
- Vyhláška č. 252/2003 Sb., o rozsahu údajů v evidencích stavu povrchových a podzemních vod a o způsobu zpracování, ukládání a předávání těchto údajů do informačních systémů veřejné správy
- Vyhláška č. 252/2004 Sb., kterou se stanoví hygienické požadavky na pitnou a teplou vodu a četnost a rozsah kontroly pitné vody.
- Vyhláška č. 307/2002 Sb. o radiační ochraně
- Vyhláška č. 369/2004 Sb. o projektování, provádění a vyhodnocování geologických prací, oznamování rizikových geofaktorů a o postupu při výpočtu zásob výhradních ložisek.

- Vyhláška č. 5/2011 Sb. o vymezení hydrogeologických rajonů a útvarů podzemních vod, způsobu hodnocení stavu podzemních vod a náležitostech programů zjišťování a hodnocení stavu podzemních vod
- Vyhláška č. 590/2002 Sb., o technických požadavcích pro vodní díla
- Vyhláška š. 431/2001 Sb. o obsahu vodní bilance, způsobu jeho sestavení a o údajích pro vodní bilanci
- Výzkumný ústav vodohospodářský T.G.M. (2005): Zpráva České republiky (Zpráva 2005) dle článku 15 Smrnice 2000/60/ES Evropského parlamentu a Rady ustavující rámec pro činnost Společenství v oblasti vodní politiky. MZe a MŽP 2005. In web: http://eagri.cz/public/web/file/31832/CZ_ZPRAVAEK2005_1_.pdf
- Wikipedie, otevřená encyklopedie.Dostupné: http://cs.wikipedia.org/wiki/Hydrodynamická_vertikální_zonálnost
- Wikipedie, otevřená encyklopedie.Dostupné: http://cs.wikipedia.org/wiki/Zásoby_podzemních_vod
- Wikipedie, otevřená encyklopedie.Dostupné: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Pramen>
- Zákon č. 183/2006 Sb., o územním plánování a stavebním řádu (stavební zákon)
- Zákon č. 254/2001 Sb. o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon)
- Zákon č. 254/2001 Sb., o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon)
- Zákon č. 62/1988 Sb. o geologických pracích a Českém geologickém úřadu
- Zpráva o stavu vodního hospodářství ČR v roce 2009. Ministerstvo zemědělství 2010. ISBN: 978-80-7084-925-5. Dostupné: http://eagri.cz/public/web/file/72674/MZE_Modra_zprava.pdf

Obsah

	Předmluva	3
	Úvod	4
1	Základy hydrogeologie	5
1.1	Vědní obor hydrogeologie	5
1.2	Základní pojmy	6
1.3	Pohyb podzemní vody v horninovém prostředí	26
1.4	Chemické a fyzikální vlastnosti podzemní vody	40
2	Udržitelné využívání zdrojů podzemní vody	54
2.1	Význam zdrojů podzemní vody, management podzemních vod	54
2.2	Právní vymezení ochrany a nakládání s podzemními vodami	55
2.3	Útvary podzemních vod v České republice	65
2.4	Informační systémy o stavu vod v České republice	86
3	Podzemní voda – zdroj pitné vody	92
3.1	Obecně o jakosti podzemní vody	92
3.2	Způsoby jímání podzemní vody	93
3.3	Ochrana vodní zdrojů podzemní vody	98
4	Slovník důležitých pojmů	102
5	Literatura	109
	Obsah	113