PODZEMNÍ VODA VE MĚSTĚ

EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Praha – pól růstu ČR

PRA HA
PRA GUE
PRA GA
PRA G

VÚV TGM

Podzemní voda ve městě

Fotografie na titulní straně:

Stará veřejná studna v Praze (Kolejní ulice)

V 19. století byla vybudována síť několika desítek veřejných studní s ručními pumpami, které Pražané využívali k zásobování pitnou vodou. Odebranou podzemní vodu si odnášeli v nádobách do svých domácností. Bylo to významné zlepšení hygienické kvality vody v Praze.
Předtím od 15. století byla většina obyvatel odkázána jen na vodu z Vltavy, která byla rozváděna do pražských kašen pomocí 4 vodárenských věží (Petržilkovská vodárenská věž pro Malou Stranu, Staroměstská vodárenská věž pro Staré Město pražské, Šítkovská vodárenská věž zásobující horní Nové Město pražské a Novomlýnská vodárenská věž pro dopravu vody do dolního Nového Města pražského). Z toho se vymykala kašna na Karlově náměstí (do roku 1848 Dobytčí trh, Viehmarkt), která měla kvalitnější vodu než jiné, protože byla zásobována podzemní vodou z pramene v dnešní ulici Na Rybníčku za kostelem sv. Štěpána, nikoliv vltavskou vodou jako jiné kašny.
Další rozvoj města vedl k tomu, že i tyto zdroje mělké podzemní vody byly postupně během 1. poloviny 20. století opouštěny (mj. i z důvodů postupně se zvyšujících požadavků na kvalitu pitné vody), tak jak pokračovala výstavba pražského vodovodu z kvalitního zdroje podzemní vody v Káraném severně od Prahy.

Autor fotografie: Ing. Anna Hrabánková

Vydal Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, v. v. i.
Praha 2020

Vážení čtenáři,

podzemní voda je nedílnou součástí hydrosféry i celého životního prostředí. Podzemní voda je velmi důležitým zdrojem kvalitní pitné vody a závisí na ní i cenné vodní a na vodu vázané ekosystémy.

Množství a kvalita podzemní vody je v současné době ovlivňována změnami klimatických poměrů a různými zásahy člověka do přírodních podmínek území. Jedním ze znaků zdravé krajiny je i dobře fungující hydrologický cyklus, a odolnost vůči různým klimatickým extrémům (období sucha, povodně). Schopnost krajiny k infiltraci významné části srážek do podzemních vod pod povrch území snižuje rizika a dopady povodňových situací, a dostatek podzemní vody v krajině významně pomáhá překlenout období sucha.

Podzemní voda se vyskytuje i ve městě. A právě městská zástavba má na množství a kvalitu podzemní vody negativní dopad: budovy a zpevněné plochy omezují vsak srážek pod povrch terénu, tunely, hluboké základy staveb a podzemní inženýrské sítě uměle odvodňují území a snižují hladinu podzemní vody, v urbanizovaném území je množství potenciálních zdrojů znečištění, které mají dopad na kvalitu a čistotu podzemních vod ve městech. Postupně se zlepšující se péče o povrchové vody ve městě, tedy o potoky a nádrže (různé projekty revitalizace a renaturace, omezování úniků znečišťujících látek) přirozeně přispívá i ke zlepšování stavu podzemních vod. Vedle toho je ale třeba věnovat pozornost některým speciálním aspektům, např. zvýšená podpora infiltrace srážek v místech, kde se vyskytují propustné horniny, nebo péče o prameny a studánky ve městech.

Cílem publikace *Podzemní voda ve městě* je seznámit širokou neodbornou veřejnost včetně mladé generace se základy hydrogeologie jako vědy o podzemních vodách. Městské a speciálně pražské prostředí reflektuje taková témata jako studny v Praze, horninové prostředí Prahy, znečištění podzemní vody ve městech, zdroje pitné vody pro Prahu, specifika izotopového složení vody ve městě, prameny v Praze, dopady staveb a využití území na infiltraci srážek a na hladinu podzemní vody, aj.

Kapitoly obsahují názornou grafiku pro snadnější pochopení jednotlivých jevů. V závěru jsou uvedeny kontrolní otázky, které vám pomohou zjistit, jak dobře jste načerpali nové informace. Vedle této knihy vznikl i elektronický výukový modul na stejné téma. Publikace je dostupná zdarma v tištěné formě ve Výzkumném ústavu vodohospodářském T. G. Masaryka, v. v. i., a také v elektronické formě na webových stránkách heis.vuv.cz/projekty/praha – adaptacniopatreni. Je součástí tří dílné série, která obsahuje tyto tituly: *Město a voda, Podzemní voda ve městě* a *Adaptace města na povodně a sucho*.

Věřím, že Vám všechna tato tři díla pomohou rozšířit si své znalosti o vodě a přírodě kolem nás.

Josef Vojtěch Datel

© Josef Vojtěch Datel, 2020
ISBN 978-80-87402-86-3

Poděkování:

Publikace byla spolufinancována Evropskou unií z Evropských strukturálních a investičních fondů.

Název programu: Operační program Praha – pól růstu ČR

Název projektu: Analýza adaptačních opatření ke zmírnění dopadů změny klimatu a urbanizace na vodní režim v oblasti vnější Prahy

Registrační číslo projektu: CZ.07.1.02/0.0/0.0/16_040/0000380

Řešitel projektu: Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, veřejná výzkumná instituce

OBSAH

1. PODPOVRCHOVÁ VODA....6
2. PODZEMNÍ VODA V HORNINÁCH....8
3. HLOUBKA PODZEMNÍ VODY....10
4. HLADINA PODZEMNÍ VODY....12
5. PUKLINOVÁ PODZEMNÍ VODA....14
6. PRŮLINOVÁ PODZEMNÍ VODA....16
7. KRASOVÁ PODZEMNÍ VODA....18
8. ODVODNĚNÍ PODZEMNÍ VODY A PRAMENY....20
9. MOLEKULA VODY H_2O....22
10. SLOŽENÍ PODZEMNÍ VODY....24
11. ZNEČIŠTĚNÍ PODZEMNÍ VODY....26
12. MNOŽSTVÍ PODZEMNÍ VODY....28
13. VYUŽÍVÁNÍ PODZEMNÍ VODY....30
KONTROLNÍ OTÁZKY....32
ODPOVĚDI NA KONTROLNÍ OTÁZKY....40

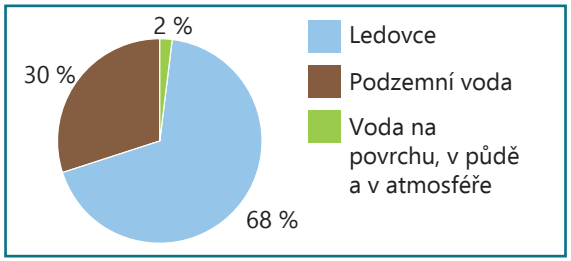
1. PODPOVRCHOVÁ VODA

V přírodě najdeme vodu nejen na povrchu území (ve formě potoků, řek, jezer a rybníků) a v atmosféře (dešťové a sněhové srážky a méně časté formy jako kroupy, mlha, rosa nebo jinovatka), ale nachází se i pod povrchem. Voda pod zemským povrchem se nazývá voda podpovrchová, a je to voda velmi důležitá. Tvoří ji půdní voda a podzemní voda.

- PŮDNÍ VODA
  Vyskytuje se těsně pod povrchem v půdě do hloubky asi 1–2 m, a je důležitá hlavně pro rostliny, které ji odebírají pomocí kořenů. Půdní vodou se zabývá vědní obor hydropedologie.

- PODZEMNÍ VODA
  Nachází se ve větších hloubkách, kde vyplňuje různé pukliny, dutiny a póry v horninách. Zabývá se jí vědní obor hydrogeologie. Podzemní voda tvoří asi 30 % veškeré sladké vody na Zemi), je proto hlavním zdrojem kvalitní pitné vody pro člověka (podzemní voda ve studnách).

Sladká voda tvoří jen asi 2,5 % veškeré vody, zbytek je voda slaná. Většina sladké vody je vázána v ledovcích (asi 68 %), a tedy většinou nedostupná. Voda na povrchu (v řekách a jezerech), v půdě a atmosféře tvoří jen asi 2 %. Neobyčejně důležitá je proto podzemní voda tvořící asi 30 % zásob sladké vody na Zemi.



Rozdělení sladké vody na Zemi

Někdy se můžeme setkat místo správného termínu podzemní voda s označením spodní voda. Je to ale označení neodborné a nesprávné a neměli bychom ho používat.

Hydrologický oběh

Podpovrchová voda je součástí oběhu vody v krajině. Vzniká vsakováním srážek (déšť nebo tající sníh) pod povrch území a pomocí pramenů se odvodňuje do povrchových toků (potoky, řeky). Množství půdní a podzemní vody se neustále mění, podle množství srážkové vody, která je vsákne pod povrch.

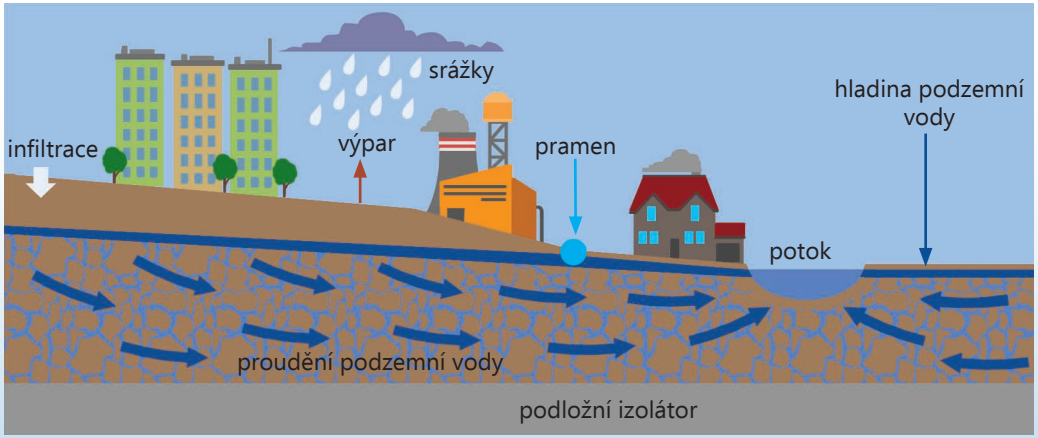
Co rozhoduje o tom, jaká část deště nebo tajícího sněhu se vsákne? Záleží na tom, jak dobře je propustná půda a hornina (písčité půdy a horniny jsou dobře propustné, jílovité špatně propustné). Důležité je i množství vody, které se vypaří – v letním horku se většina vody i z velkých dešťů obvykle vypaří. Přívalové deště z bouřek rychle odtečou po povrchu a také se moc nevsáknou. Pro doplňování zásob podpovrchové vody jsou proto mnohem důležitější sněhové a dešťové srážky v chladnější polovině roku. Za celý rok se u nás průměrně dvě třetiny až tři čtvrtiny vody ze srážek vypaří.

Často uváděné tzv. třetinové pravidlo (třetina dešťové vody odteče po povrchu, třetina se vypaří, třetina se vsákne) většinou neplatí. U nás se pod povrch může vsáknout asi jen 10–15% vody. V městech to bývá ještě méně – na mnoha plochách se žádná voda vsakovat nemůže (kde jsou budovy, zabetonované nebo vyasfaltované plochy). Ve městě je proto třeba chránit volné plochy, kde se voda může vsakovat, zajistit vsakování vod ze střech apod.)

Hydrogeologická struktura

Horninové prostředí, kde je celistvý oběh podzemní vody (od místa vsaku do místa odvodnění), se nazývá hydrogeologická struktura a skládá se ze tří částí:

- území vzniku (infiltrace) podzemní vody, kde se vsakují srážky pod povrch,
- oblast akumulace, kde voda proudí od místa infiltrace k místu odvodnění a kde vytváří zásoby podzemní vody,
- místo odvodnění (drenáže), kde se podzemní voda dostává zpět na povrch, obvykle v údolích, kde napájí vodní toky, vyvěrá ve formě pramenů nebo způsobuje zamokření terénu (ale ne vždy, zamokření někdy souvisí jen s povrchovou vodou).



Oběh podzemní vody v krajině – typická mělká hydrogeologická struktura

Obrázek ukazuje místo s vyšší nadmořskou výškou v levé části obrázku, kde se dešťová voda ze srážek vsakuje, a šipky naznačují směr proudění směrem do údolí k místu odvodnění (vodní tok, pramen). Šipky znázorňují, že část vody proudí mělko pod povrchem (kde může být v dosahu kořenů rostlin a stromů), zatímco jiná část vody se dostává do větších hloubek. Na úpatí svahu může mělká podzemní voda vytékat jako pramen.

2. PODZEMNÍ VODA V HORNINÁCH

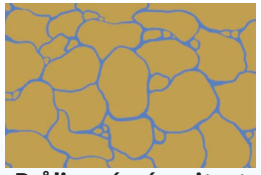
Pórovitost hornin

Horniny obsahují různé póry, dutiny a pukliny, které mohou obsahovat podzemní vodu. Různé horniny se liší velikostí, tvarem, charakterem i množstvím těchto dutin. Pro popis těchto dutin používáme parametr, který se nazývá pórovitost. Je to poměr objemu horniny k objemu pórů.

Pokus na doma k určení pórovitosti: Vezmeme květináč, naplníme ho jakoukoliv suchou zeminou nebo pískem a spočteme jeho objem V (podle tvaru květináče jako objem válce nebo komolého kužele). Pak pomalu zaléváme rovnoměrně celý povrch květináče vodou z nádoby o známém objemu. V okamžiku, když voda začne vytékat spodem z květináče, voda zaplnila všechny póry. Pórovitost zeminy v procentech jednoduše zjistíme, když vydělíme objem zeminy v květináči objemem spotřebované vody a vynásobíme 100. Pokud nám vyjde např. 30 %, znamená to, že 30 % z objemu zeminy tvořil volný prostor, který zaplnila voda.

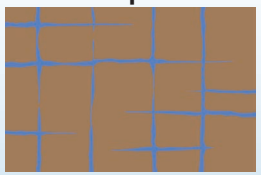
Podle tvaru dutin existují 3 základní druhy pórovitosti:

- PÓROVITOST MEZIZRNNÁ (PRŮLINOVÁ)
  Je u hornin tvořených jednotlivými zrny (např. písek, štěrk, pískovec), mezi nimiž je volný prostor. Průlinovou pórovitost má i půda (písčité nebo jílovité hlíny), jednotlivá zrna jsou ale hodně malá, takže i prostory mezi zrny jsou hodně malé, ale o to více jich je.



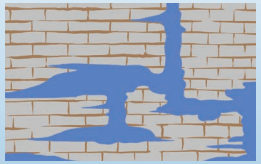
Průlinová pórovitost

- PÓROVITOST PUKLINOVÁ
  Ve tvrdých skalních horninách, jako je žula, rula, čedič apod, existují pouze menší nebo větší pukliny, v nichž se může pohybovat podzemní voda.



Puklinová pórovitost

- PÓROVITOST KRASOVÁ
  Některé horniny jsou dobře rozpustné vodou, která jimi protéká, např. vápence. Původní pukliny se rozpouštěním postupně rozšiřují, až vzniknou větší podzemní dutiny.



Krasová pórovitost

Propustnost hornin

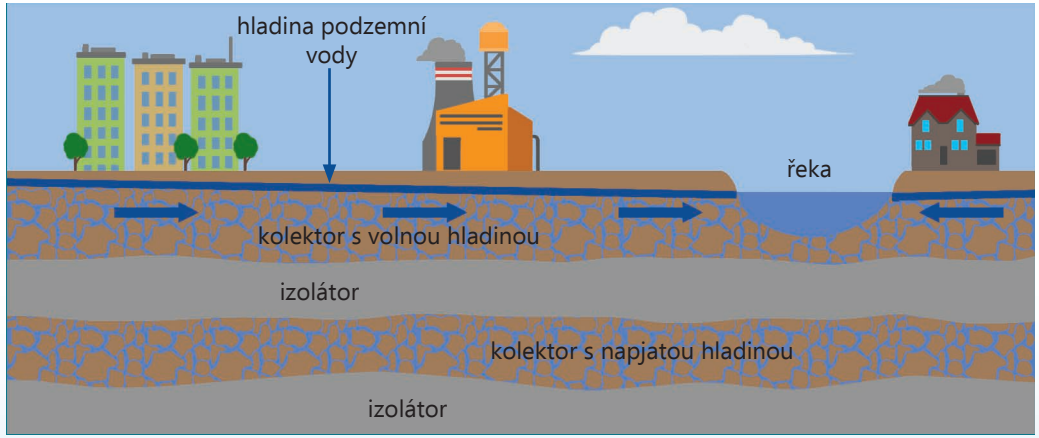
Propustnost hornin je důležitá při hledání zdroje podzemní vody. Abychom našli dostatečně vydatný zdroj vody, potřebujeme najít horninu, která má velkou propustnost, a ve které tedy může proudit více podzemní vody, než v málo propustné hornině.

Je obvyklé, že horniny s velkou pórovitostí (písek, štěrk, pískovec) mají i velkou propustnost, to znamená, že jimi voda může dobře protékat. Ne vždy to ale platí – např. jílovité horniny mají také velkou pórovitost, ale malou propustnost. Pokud jsou totiž póry příliš malé nebo vzájemně špatně propojené, voda jimi nemůže proudit a hornina je málo propustná.

Jíl a písek mohou mít stejnou velikost celkové pórovitosti (např. 25 %), ale jsou naprosto jinak propustné. Důvodem je fakt, že zatímco v písku může voda prosakovat většinou pórů, v jílu jsou póry tak malé, že voda je v nich zachycena kapilárními silami a nemůže protékat.

Hydrogeologický kolektor a izolátor

Různé horniny a horninové vrstvy pod povrchem území mají různou propustnost. V propustných horninách podzemní voda proudí mnohem intenzivněji než v horninách méně propustných. Horninové prostředí můžeme proto rozdělit na hydrogeologické kolektory a izolátory.



Oběh podzemní vody v krajině – typická mělká hydrogeologická struktura

- HYDROGEOLOGICKÝ KOLEKTOR
  Je hornina která, může obsahovat dostatek volně protékající podzemní vody, kterou lze odebrat, např. studnou. Propustnost je výrazně vyšší než propustnost horniny sousedícího izolátoru. Podle geologické stavby území může být v území více kolektorů nad sebou, oddělených izolátory. V hlubších kolektorech je voda obvykle pod vyšším tlakem vlivem nadložního izolátoru (kolektor s napjatou hladinou). Kolektor nemusí vždy obsahovat podzemní vodu, může být částečně nebo úplně suchý (např. vlivem sucha, umělého odvodnění apod.).

- HYDROGEOLOGICKÝ IZOLÁTOR
  Je hornina výrazně méně propustná než hornina sousedícího kolektoru a obsahuje jen málo volné vody. Většina vody izolátoru je vázána v malých pórech a není volně pohyblivá.

Ve městech je podzemní voda v prvním kolektoru blízko povrchu nejvíce ovlivněna zástavbou a je také ohrožená znečištěním, např. z ekologických havárií nebo z úniků splaškových vod. Na venkově je zase běžné znečištění z hnojiv a pesticidů používaných v zemědělství. Pro odběr podzemní vody pro pitné účely je proto lepší využít spíše hlubší kolektor, který je proti znečištění lépe chráněn nepropustnými horninami nadložního izolátoru.

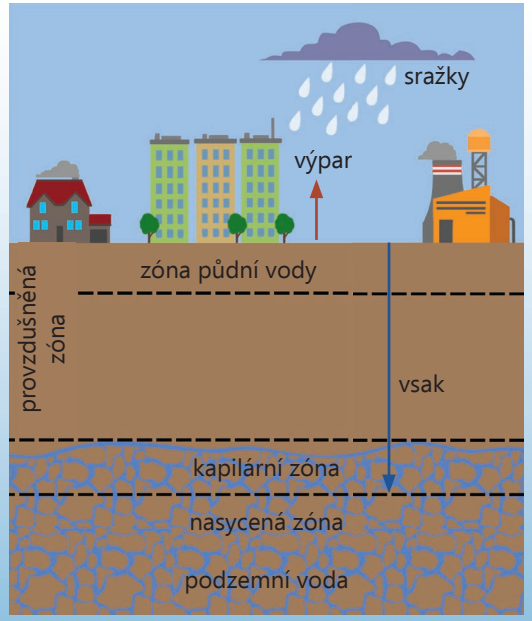
3. HLOUBKA PODZEMNÍ VODY

Provzdušněná a nasycená zóna

Kdybychom začali kopat studnu, nejdříve projdeme vrstvou půdy, pak vrstvou horniny, která bude sice vlhká, ale nebude z ní vytékat voda, až v určité hloubce narazíme na hladinu podzemní vody, a přímo ve studni se objeví voda. Podle množství vody v pórech horniny (průlinách, puklinách i krasových dutinách) dělíme horninové prostředí prvního hydrogeologického kolektoru pod povrchem na dvě základní zóny – provzdušněnou a nasycenou.

PROVZDUŠNĚNÁ ZÓNA (nenasycená zóna) je prostor mezi povrchem území a hladinou podzemní vody a zahrnuje i zónu půdní vody. Je důležitá pro doplňování zásob podzemní vody – pokud se srážková voda vsákne pod povrch, vlivem gravitace prosakuje dále do hloubky směrem k hladině podzemní vody. Je charakteristická tím, že jen část pórů vyplňuje voda. Množství vody v pórech není stálé a mění se v čase podle toho, zda se vsakuje hodně vody (např. když hodně prší, větší část pórů provzdušněné zóny může být zaplněna vodou) nebo málo vody (v době delšího sucha je většina pórů provzdušněné zóny bez vody.

NASYCENÁ ZÓNA (saturovaná zóna) se nachází pod hladinou podzemní vody a vyznačuje se tím, že 100 % pórů horniny je zaplněno (saturováno) vodou. Pokud chceme podzemní vodu odebírat, např. čerpadlem, je to možné jen z této nasycené zóny; studna tedy musí sahat do určité hloubky pod hladinu podzemní vody.



Hloubkové zóny výskytu podzemní vody

Mezi provzdušněnou a nasycenou zónou je ještě tzv. kapilární zóna, která je způsobena vzlínáním podzemní vody od hladiny směrem vzhůru, vlivem kapilárních sil v malých pórech. Čím menší póry, tím výše je schopna voda vzlínat – nejvyšší kapilární zónu mají jílovité zeminy (voda může vzlínat až několik metrů nad hladinu), ve štěrcích, kde jsou mezi zrny jen velké prostory, má výšku pouze několik centimetrů.

Hloubka horního okraje kapilární zóny je důležitá pro zastavěná území a stavby (zvlášť pokud sahá blízko k povrchu), protože může způsobit vzlínání vody do základů zdiva, a jeho vlhnutí. Pokud je hladina podzemní vody mělko pod povrchem (např. v údolí kolem potoků), kapilární zóna může být zdrojem vody pro zamokřená místa na povrchu (mokřady, mokré louky), kde se vyskytují četné chráněné druhy rostlin a živočichů.

Pokud stavíme studnu, je pro nás důležitá informace, v jaké hloubce je hladina podzemní vody (tedy horní okraj nasycené zóny). Pokud stavíme dům, je důležité znát hloubku kapilární zóny, která je blíže k povrchu než hladina, protože může poškodit základy a zdi vzlínáním vody.

Vliv města a staveb na podzemní vodu

Přirozený výskyt a proudění podzemní vody je v zastavěném území ovlivňováno mnoha lidskými zásahy.

Provzdušněná zóna je často ovlivněna zástavbou na povrchu, nebo je vsakování srážkové vody ztíženo nepropustnými povrchy (asfalt, beton). Důsledkem je zmenšování zásob podzemní vody. Někde se naopak objevují umělé zdroje vsakované vody, ve formě úniků vody z vodovodních a kanalizačních řadů. Důsledkem je větší množství vody v provzdušněné zóně a zvětšování zásob podzemní vody, ale také větší riziko podmáčení budov, povrchu území, případně únik znečištění do životního prostředí.

Nasycená zóna může být ovlivňována hlubokými základy budov, tunely, podzemními inženýrskými sítěmi (kanalizace, vodovody, různé kabely apod.). Mohou způsobovat odvodňování území (a tedy snižování množství podzemní vody, pokles hladin, zánik pramenů apod.), anebo naopak vzdouvání hladiny, pokud tvoří překážku přirozenému proudění. S tím jsou spojena rizika podmáčení základů budov, pozemků, vznik sesuvů apod.

V zastavěném území je často podzemní voda uměle odváděna různými drenážemi, aby se snížila hladina a ochránily se základy staveb před vlhnutím a někdy i agresivními účinky vody. Výsledkem ale je celkové snižování množství vody v městské krajině.

Výsledkem různých staveb a dalších lidských zásahů bývá zrychlený odtok vody z území, snižování hladiny podzemní vody a zmenšování jejího množství. Důležité je proto věnovat pozornost opatřením, která mohou tyto negativní vlivy omezit, a to již před zahájením každé stavby. Po vzniku škod na vodních poměrech bývá obtížné, až nemožné je napravit.

Nejen stavby mívají vliv na podzemní vodu ve městech, ale někdy i podzemní voda má negativní vliv na stavby. Pokud je hladina podzemní vody (nebo horní okraj kapilární zóny) v dosahu základů a suterénů budov, může způsobovat vlhnutí základů staveb, zdí, sklepních prostor apod. Občas bývá podzemní voda i chemicky agresivní a poškozuje betonové nebo ocelové konstrukce. Snížení hladiny umělým odvodněním (nebo důkladným těsněním podzemních částí staveb, aby byly odděleny od podzemní vody) je pak cestou, jak odstranit tyto negativní vlivy a ochránit stavby a zařízení.

4. HLADINA PODZEMNÍ VODY

Hladina podzemní vody a proudění podzemní vody

Hladina podzemní vody tvoří rozhraní mezi provzdušněnou a nasycenou zónou v horninovém prostředí. Nad hladinou jsou jen některé póry vyplněné vodou. Pod hladinou podzemní vody jsou veškeré póry vyplněné vodou.

Podobně jako hladinu v řece si můžeme i hladinu podzemní vody schématicky představit jako rovinu – rovnou plochu (dvourozměrný geometrický útvar), která má spád (sklon) ve směru proudění vody. Když budeme znát sklon hladiny, budeme vědět, kterým směrem podzemní voda teče (proudí). Hladina podzemní vody má obvykle malý sklon (např. 1°), už to ale stačí k jejímu pohybu. Směr sklonu hladiny obvykle odpovídá směru sklonu povrchu území, podzemní voda tedy teče ve směru svahu dolů do údolí.

Čím je hornina propustnější a čím má hladina větší sklon (spád), tím je větší rychlost proudění podzemní vody. Průměrné rychlosti proudění jsou kolem jednoho metru za den.

Maximální rychlosti proudění dosahují i přes 10 metrů za den (např. v hrubých štěrcích), v jílovitých horninách se podzemní voda pohybuje rychlostí jen několik milimetrů za den.

Kolísání hladiny podzemní vody

Hloubka hladiny podzemní vody pod povrchem není stálá, ale v čase se mění. Když hodně prší a je hodně tajícího sněhu, vyplní se více dutin v hornině vodou a hladina podzemní vody stoupá blíže povrchu. Naopak když je dlouho sucho, hladina klesá, protože podzemní voda stále odtéká ve směru sklonu hladiny, ale nedoplňuje se. Protože nějakou dobu trvá, než se srážky průsakem horninovým prostředím do podzemní vody dostanou, změny hladiny podzemní vody mají za srážkami zpoždění. U mělké podzemní vody jde obvykle o několik dnů až týdnů, u hlubších podzemních vod může jít o měsíce až roky.

Výškový rozsah přirozeného kolísání mělké hladiny podzemní vody

Změny hladin mohou být různě rychlé. Typická je roční perioda podle ročního chodu srážek: na jaře bývá hladina podzemní vody nejvýše (podzemní voda je doplněna z tajícího sněhu a jarních dešťů) a na podzim nejníže (v létě se podzemní voda prakticky nedoplňuje, jen odtéká). Toto sezonní kolísání může činit obvykle ale 1–2 m, někdy i více.

Hladina podzemní vody může ale kolísat i v kratších, např. týdenních úsecích, kdy vlivem vydatných srážek nebo povodně může hladina dočasně vzrůst, anebo vlivem intenzivního sucha klesnout. Existují i dlouholeté trendy změn hladin podzemní vody, např. vlivem klimatických změn existuje dlouhodobý trend mírného poklesu hladin podzemní vody.

Změny hladin podzemní vody ve městě

Kolísání hladiny podzemní vody se může ve městech negativně projevovat, např. větším vlhnutím základů budov, sklepů apod, v jarním období, kdy bývá hladina podzemní vody na svých ročních maximech.

Při posuzování vlivu podzemní vody na stavby je třeba znát rozsah kolísání hladiny podzemní vody v daném místě a nevycházet jen z její průměrné hodnoty. Je důležité znát hlavně maximální výšku hladiny (včetně kapilární zóny), kterou může podzemní voda během roku dosáhnout.

Ve městech existují vedle přírodních příčin také různé lidské zásahy, které mají vliv na změnu hladiny podzemní vody. Tyto změny většinou způsobují pokles hladiny a jsou trvalejšího charakteru:

- odvodňování základů staveb a drenážní účinek podzemních staveb (tunely, podzemní garáže, hluboké suterény budov apod.),
- omezování vsaku srážkové vody pokračující zástavbou městské krajiny, existencí podzemních inženýrských sítí, vytvářením nepropustných povrchů (asfalt, beton) a odváděním srážkové vody dešťovou kanalizací,
- odběry podzemní vody pro různé účely (zásobování pitnou vodou, voda pro závlahy, technologická voda pro průmysl apod.).

V některých případech může být ale hladina podzemní vody ve městě výše než za přírodních podmínek. Podzemní stavby umístěné napříč proudu podzemní vody (např. některé stanice metra) ji mohou vzdouvat a způsobovat tak trvalý nárůst hladiny podzemní vody. Dočasný nárůst hladiny může souviset i s úniky vody z porušených vodovodních a kanalizačních potrubí. Hladina je výše i v místech vsakování dešťové vody ze střech, což je dnes požadováno u všech nových staveb.

Monitoring hladin podzemní vody

Pravidelným měřením změn hladiny podzemní vody se zabývá Český hydrometeorologický ústav (ČHMÚ). Po celé ČR má síť několika set mělkých a hlubokých vrtů a pramenů, které pravidelně měří, a vyhodnocuje změny množství podzemní vody. Několik těchto objektů je i v okrajových částech Prahy. Informace o nich lze získat na stránkách ČHMÚ (www.chmi.cz).

5. PUKLINOVÁ PODZEMNÍ VODA

Geologické poměry Prahy

Geologická stavba území a vyskytující se horniny určují, jaká podzemní voda a kde se v konkrétním území vyskytuje. Abychom mohli zkoumat podzemní vodu, musíme nejdříve znát geologické poměry území.

Většina území Prahy je tvořena břidlicemi, které vznikly ve starohorách a prvohorách. V nich můžeme najít menší polohy i dalších hornin – prachovců, pískovců, křemenců. Horniny jsou propustné jen po puklinách, kterých bývá nejvíce ve vrstvách křemenců a pískovců a nejméně v břidlicích. Od jihozápadu přes Radotín a Slivenec až do Hlubočep a Prokopského údolí zasahují prvohorní vápence z období silur a devon. Protékající voda vápenec rozpouští a způsobuje krasové jevy, horniny mají krasovou pórovitost, jsou dobře krasově propustné.

Od severu do Prahy zasahuje okraj české křídové pánve druhohorního stáří (svrchní křída). Pískovce a slínovce (opuky) tvoří vrstvu, která překrývá starší horniny. Najdeme je na nejvyšších místech Prahy, zvláště na severu a západě (Letňany, Prosek, Ruzyně, Bílá hora). Pískovce mají velkou průlinovou pórovitost, a tím i velmi dobrou propustnost.

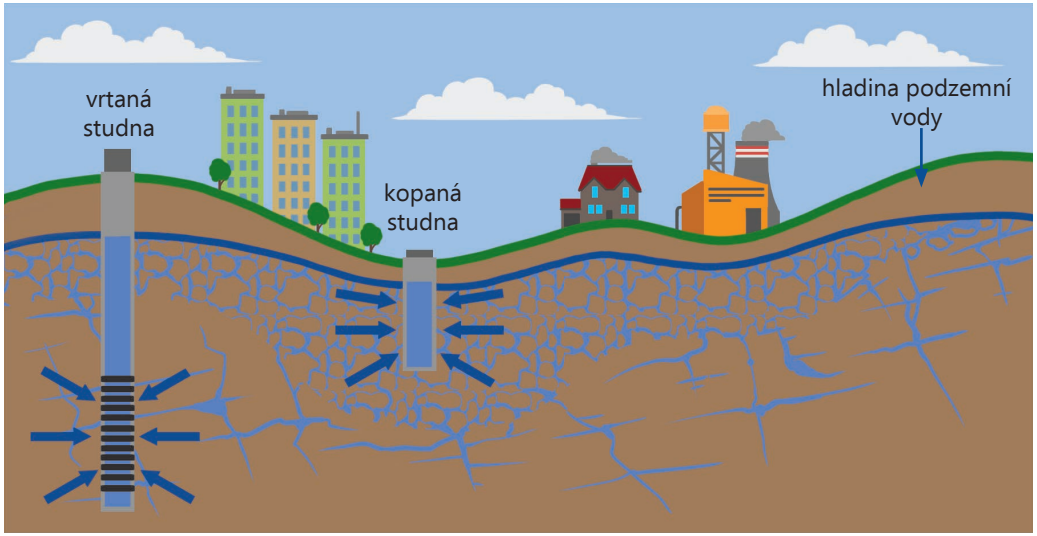
Kolem Vltavy i menších toků se nacházejí nejmladší sedimenty, které přinesla a uložila řeka. Jde většinou o různé štěrkopísky tvořící několik metrů mocné vrstvy zakrývající starší podložní horniny. Jde o velmi dobře průlinově propustné horniny. Pro města jsou dále typické sedimenty vytvořené člověkem – různé navážky, násypy apod. Obvykle mají velkou průlinovou pórovitost, a tím i velmi dobrou propustnost.

Na území Prahy se můžeme setkat se všemi třemi hlavními typy pórovitosti hornin – průlinovou, puklinovou i krasovou. Nejvyšší propustnost mají křídové pískovce a štěrkopísky kolem vodních toků.

Puklinově propustné horniny

Tvrdé horniny (žuly, ruly, břidlice) mají zanedbatelnou velikost pórů, jejich propustnost proto závisí na existenci různých puklin, kterými může prosakovat podzemní voda. Při povrchu území jsou tyto horniny postiženy zvětrávacími procesy (průměrně do hloubky 10–20 m), které způsobují jejich větší rozpukání a rozpad na menší úlomky. Jejich propustnost proto bývá při povrchu větší a směrem do hloubky se zmenšuje, jak ubývá puklin. Hloubka častějšího výskytu puklin je asi do 50–100 m, hlouběji se pukliny propustné pro podzemní vodu vyskytují velmi výjimečně.

Pukliny nejsou v hornině rozmístěny stejnoměrně, někde je jich více a někde méně. Stejně tak podzemní voda, která je vázána na existenci puklin, se v různých místech vyskytuje různě – někde více a někde méně. Pokud hledáme zdroj podzemní vody v takovém území, je důležité najít místa intenzivněji zvětralé a rozpadlé horniny (mělká studna na obrázku), anebo prostředí, kde je více větších a hlubších puklin (hlubší vrtaná studna na obrázku na další straně).



Puklinově propustné prostředí se svrchní zvětralou zónou

U mělké vody je větší riziko jejího znečištění z povrchu. Hlubší vrt je náročné umístit do správného místa, aby vrt zastihl dobře propustné pukliny a měl tak dostatek vody. K tomu se používají různé geofyzikální metody. Např. geoelektrické měření umí najít puklinu naplněnou podzemní vodou, protože je mnohem vodivější než okolní suchá hornina.

Občas se lze setkat s činností proutkařů, kteří vyhledávají místo pro studnu. Jejich činnost ale není založena na odbornosti a hraničí se šarlatánstvím. Je proto lepší se spíše spolehnout na opravdové vysokoškolsky vzdělané odborníky – hydrogeology, kteří si mohou přizvat geofyziky. Pokud některý proutkař úspěšně působí, lze to přičíst na vrub jeho praktickým zkušenostem a znalostem území, nikoliv jeho mimořádným schopnostem.

V puklinově propustných horninách lze využít mělkou podzemní vodu ve zvětralé zóně několik metrů pod povrchem, nebo hlubší puklinovou vodu pomocí vrtu hlubokého několik desítek metrů.

V břidlicích, které se vyskytují na území Prahy, není mnoho propustných puklin a obsahují jen málo podzemní vody. Více puklin a tím i více podzemní vody bývá v polohách křemenců a pískovců. Pro úspěšné nalezení zdroje vody je tedy nutné nejdříve tyto horniny v převládajícím prostředí břidlic najít podle geologických map. Podzemní voda z těchto břidlic nebývá nejlepší kvality ani chuti, obvykle má vysoké obsahy síranů a železa.

Pukliny můžeme najít i v horninách s jinými hlavními typy pórovitosti. Např. pískovce mají převažující průlinovou pórovitost, ale pokud jsou dostatečně tvrdé, mohou být i rozpukané. Také vápence, kde je hlavní krasová pórovitost, mívají i pukliny. Pukliny tak přispívají k zvětšení pórovitosti i propustnosti těchto hornin. Říkáme, že takové horniny mají dvojitou (duální) pórovitost.

6. PRŮLINOVÁ PODZEMNÍ VODA

Horniny s mezizrnnou pórovitostí

Horniny skládající se ze zrn různé velikosti mají tzv. mezizrnnou (průlinovou) pórovitost. Jde např. o písek, štěrk, štěrkopísek (směs písku a štěrku), ale i pískovec. Zrna těchto hornin jsou velká, viditelná pouhým okem, a tedy i průliny mezi zrny jsou velké, velmi dobrá je i propustnost, jsou to typické horniny hydrogeologických kolektorů. Průlinovou propustnost mají i jemnozrnnější horniny (např. jíl, hlína, hlinitý písek), průliny jsou však malé, propustnost těchto hornin proto není velká. Jsou to typické horniny hydrogeologických izolátorů.

Na rozdíl od puklinově propustných hornin, kde je voda soustředěna jen v puklinách, jsou průliny rovnoměrně rozmístěny v celé hornině, a tak i podzemní voda je rovnoměrně rozprostřena v celém objemu horniny. Nalezení vhodného místa pro studnu je tedy výrazně jednodušší.

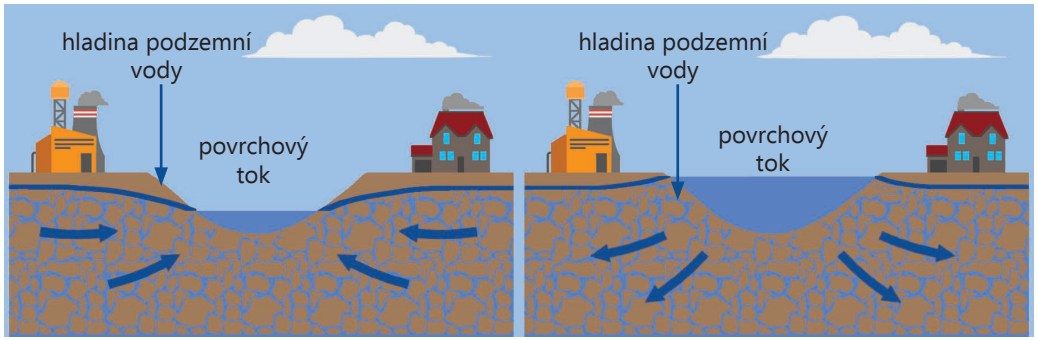
Podzemní voda v říčních náplavech

V údolích kolem řek a potoků se nacházejí několik metrů mocné vrstvy naplavených sedimentů (v případě Vltavy průměrně 10–12 m). U velkých toků převažují velmi propustné hrubozrnné horniny (štěrky, štěrkopísky, hrubé písky apod.). Menší toky (Botič, Rokytka, Prokopský potok, Šárecký potok aj.) mají nižší unášecí schopnost, naplavených sedimentů je méně, jsou jemnozrnnější a méně propustné (písky, hlinité písky, zahlíněné štěrky apod.).

Mělká podzemní voda v říčních náplavech

Mělká podzemní voda říčních náplavů se nazývá poříční voda. Její hladina je jen mělko pod povrchem území a je v úzkém vztahu s vodou povrchového toku, se kterou se vzájemně ovlivňují.

Poříční voda se může odvodňovat do řeky nebo potoka, anebo naopak povrchová voda se může vsakovat a napájet mělkou podzemní vodu kolem. Pokud je hladina podzemní vody výše než hladina blízkého toku, podzemní voda se odvodňuje do toku (běžný stav, obrázek vlevo). Pokud je hladina toku výše než hladina podzemní vody kolem, voda z toku se může vsakovat do podzemní vody (obrázek vpravo). K tomu dochází např. při povodni, v místě vzdutí hladiny řeky nebo potoka (jez, nádrž, náhon), nebo naopak když je hladina podzemní vody snížena (čerpáním vody, drenážním účinkem staveb apod.).



Vztah poříční vody údolních náplavů a povrchového toku: vlevo odvodnění podzemní vody do toku, vpravo stav umožňující vsak povrchové vody do podzemní vody

Podzemní voda pánevních struktur

Hydrogeologická pánev je struktura, kde se střídají polohy více a méně propustných hornin. Srážková voda se vsakuje na okrajích pánve, kde jsou při povrchu propustné horniny, proudí do centra pánve, kde postupně narůstá tlak daný převýšením místa infiltrace, a ve vhodném místě se odvodňuje na povrch (např. po propustném zlomu). Tyto struktury obsahují největší zdroje podzemní vody v ČR (např. česká křídová pánev); jsou široce využívány pro vodárenské zásobování pitnou vodou.

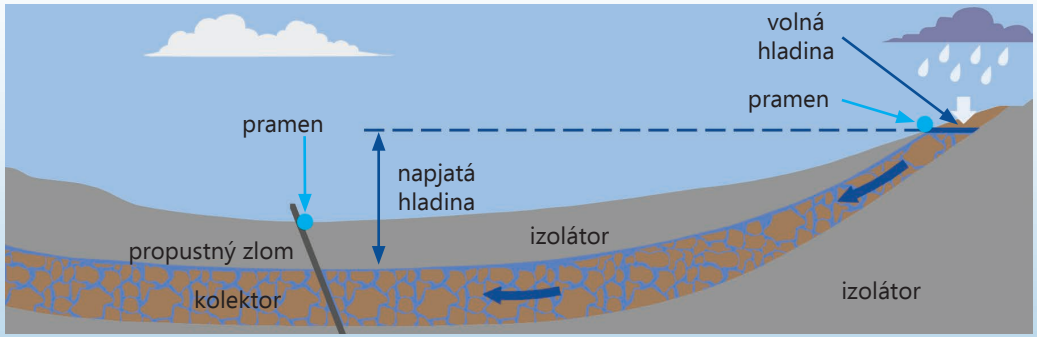


Schéma hydrogeologické pánve se střídáním kolektorů a izolátorů a prouděním od místa infiltrace na okraji pánve k místu odvodnění v centru pánve

Na území Prahy od severu zasahují okraje české křídové pánve. Vrstvy křídových pískovců a slínovců (opuk) najdeme na nejvyšších místech Prahy (Letňany, Prosek, Ruzyně). Pískovce jsou dobře propustné, jejich rozsah ale není tak velký, aby obsahovaly významnější množství podzemní vody jako jejich velké akumulace mocné několik set metrů v severních a východních Čechách.

7. KRASOVÁ PODZEMNÍ VODA

Krasové jevy

Podzemní voda může některé horniny rozpouštět (nejčastěji vápence, ale i dolomity, vápnité pískovce aj.). Voda vsakující se z povrchu do podzemí rozšiřuje původní pukliny a vytváří větší dutiny. Krasová pórovitost se vytváří z původní puklinové pórovitosti. Jde o postupný a dlouhodobý proces trvající miliony let. V krajině vznikají různé krasové jevy a tvary, např. škrapy, závrty, propadání a vyvěračky, jeskyně, propasti, podzemní potoky a jezírka. Jeskynní systémy jsou často velmi rozsáhlé, dlouhé i několik kilometrů. Rozpuštěný vápenec ve vodě na jiném místě vytváří nové tvary – krápníky v jeskyních, travertinové hrázky na potocích, travertinové usazeniny u krasových pramenů apod. Významnými krasovými oblastmi v ČR je Moravský kras u Brna a Český kras mezi Prahou a Berounem.

S vápenci a krasovými jevy Českého krasu se můžeme setkat přímo na území Prahy, např. v Prokopském údolí a jeho okolí. Centrum krasového území je mezi Karlštejnem a Berounem.

Český kras je přírodovědně velmi cenné území. V území tvořeném prvohorními vápenci lze nalézt mnoho krasových jevů. Koněpruské jeskyně jsou největším jeskynním systémem v Čechách. Vápencové horniny se táhnou na severovýchod až na území Prahy (Radotín, Slivenec, Hlubočepy) a skalní defilé vápenců lze obdivovat v Prokopském údolí nebo na Barrandově skále u Vltavy, případně v některých starých vápencových lomech (např. Požáry u Řeporyjí nebo Cikánka u Radotína).

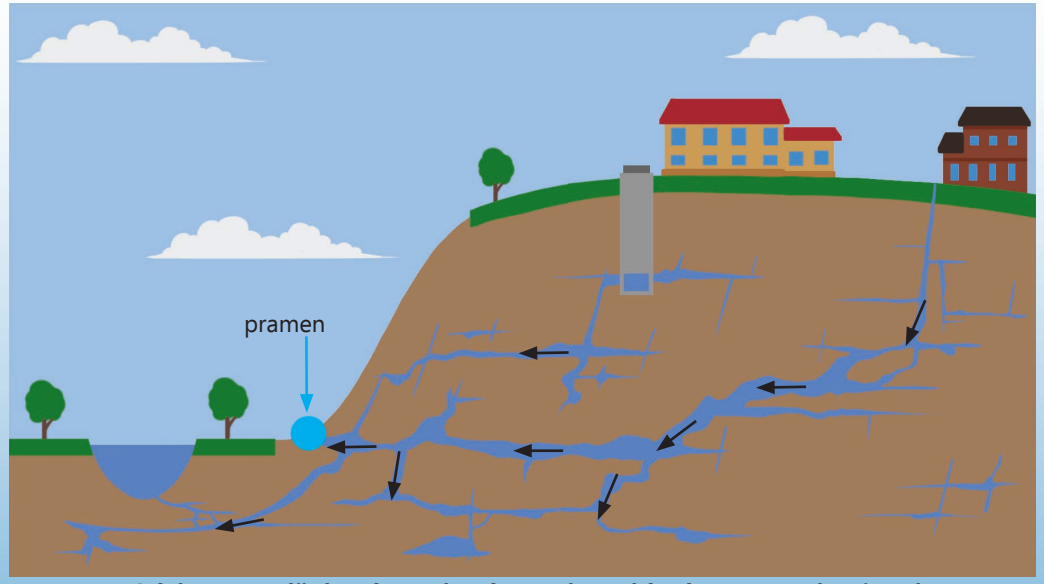


Schéma proudění podzemní vody ve vápencích s krasovou pórovitostí

Hydrogeologický režim krasového území

Proudění podzemní vody v krasových územích je hodně odlišné od oblastí s jinými horninami. Podzemní voda se postupně soustřeďuje v několika hlavních a největších kanálech, které se ve vápenci postupně vytvářejí jeho rozpouštěním. Důležitá je i mechanická eroze horniny vyvolaná rychlým prouděním velkého množství vody v těchto kanálech.

Propojení povrchu území s podzemními kanály a jeskynními systémy (skrze rozšířené pukliny, závrty, propasti) způsobuje rychlý odtok vody z povrchu do podzemí, někdy mizí do podzemí i celé potoky. Výsledkem je málo vody na povrchu krasových území, což spolu se zásaditým pH vyhovuje specifické suchomilné a vápnomilné vegetaci, kterou jinde nenajdeme.

Dalším důsledkem existence krasových jevů bývá hluboko zakleslá hladina podzemní vody, která je svedena až na úroveň hlavních kanálů a jeskynních systémů, které tak mají významný drenážní účinek na celé své nadloží.

Průtok podzemní vody krasovými horninami bývá velmi rychlý, o mnoho rychlejší než v jiných horninách, kde se setkáme s maximálními rychlostmi několika metrů za den. V krasových horninách jsou rychlosti proudění podzemní vody v desítkách až stovkách metrů za den, v hlavních kanálech i více, a přibližují se tak rychlostem proudění v povrchových tocích.

Protože průtok podzemní vody je soustředěný v několika kanálech, soustředěné bývá i odvodnění: pro krasové oblasti jsou typické prameny s velkou vydatností (třeba i v desítkách a stovkách litrů za sekundu), které odvodňují velká území.

Rychlost proudění a úzké propojení podzemní vody s povrchem znamenají mnohem vyšší zranitelnost podzemní vody v krasových oblastech. Havarijní únik jakékoliv znečišťující látky znamená, že znečištění velmi rychle (v hodinách až dnech) pronikne i do podzemí. Je to zcela odlišná situace od jiných území, kde obvykle trvá dny až týdny, než látka prosákne do podzemní vody, dobře chráněné nadložními vrstvami hornin. K ochraně podzemní vody v krasovém území je třeba přistupovat jako k ochraně povrchové vody, její zranitelnost je velmi vysoká.

Je potřeba počítat se specifickou jakostí krasových vod – jde o vody dobré chuti (chemický typ Ca-HCO_3 až Ca-Mg-HCO_3), ale velmi tvrdé (vysoká přechodná tvrdost) a zásadité (vysoké pH). Vysoká zranitelnost má za důsledek časté znečištění (ze zemědělské činnosti, z odpadních vod apod.).

Vybudovat studnu v krasových horninách je náročné. Hloubit se musí v tvrdých vápencích do větších hloubek než jinde a studna musí zachytit průtočné kanály s proudící podzemní vodou, jinak může být zcela suchá. Jistější je proto zvolit mělčí studny v náplavech místních toků, praktické je i využít vody krasového pramene, pokud je poblíž.

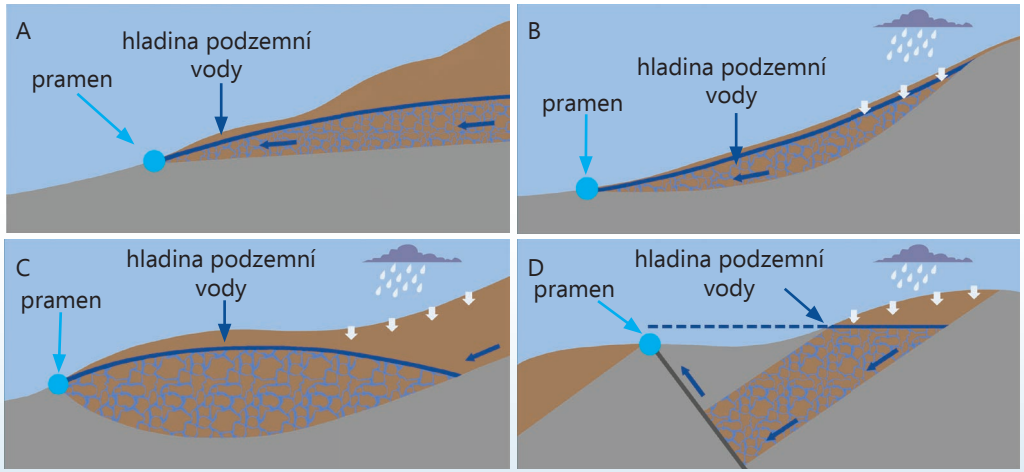
Krasová krajina je pro ochranu přírody velmi cenná, byla proto vyhlášena Chráněná krajinná oblast Český kras, sahající až na území Prahy u Radotína. Nejcennější části jsou chráněny maloplošnými chráněnými územími přírody (rezervace, přírodní památky). Obdobně u Brna existuje CHKO Moravský kras.

8. ODVODNĚNÍ PODZEMNÍ VODY A PRAMENY

Každá hydrogeologická struktura je zakončena místem odvodnění. Je to nejnižší místo hydrogeologické struktury nebo její části. Obvykle jde o údolí vodních toků, které odvodňují území přilehlého povodí. Místo odvodnění je území, kde podzemní voda opouští hydrogeologickou strukturu, a stává se vodou povrchovou. Odvodnění může být viditelné (např. pramen) anebo skryté.

Prameny

Pramen je soustředěný a viditelný přirozený vývěr podzemní vody na zemský povrch. Pramenem začíná každý vodní tok. V ČR existují tisíce pramenů, mnoho se jich najde i na území Prahy. Prameny se dělí na několik typů podle způsobu vývěru a typu hydrogeologické struktury. Pokud se v jednom území vyskytuje více pramenů stejného původu, označuje se místo jako prameniště.



Typy pramenů podle způsobu vývěru (a – pramen sestupný vrstevný, b – pramen sestupný suťový, c – pramen přelivný, d – pramen vzestupný puklinový)

Základní vlastností pramene je jeho vydatnost. Udává se v litrech za sekundu. Vydatnost pramenů bývá různá, vydatné jsou prameny krasové (např. pramen ve Svatém Janu pod Skalou v Českém krasu má vydatnost přes 20 l/s). Běžné vydatnosti pramenů jsou v desetinách až jednotkách litrů za sekundu.

Důležitá je i stálost pramene. Vydatnost pramene mělké hydrogeologické struktury (např. suťový pramen na obrázku) velmi kolísá podle srážek. Stačí krátké období bez srážek (např. jeden měsíc), a takový pramen vyschne, protože voda prosakující sutěmi a hlínami po svahu potřebuje být stále doplňována. Pramen odvodňující hlubší a větší hydrogeologickou strukturu (např. pramen vzestupný nebo vrstevný na obrázku) má vydatnost stabilnější a udrží se i v delším období sucha. Na větší výkyvy srážek reaguje se zpožděním měsíců až let.

Podobně se chová i teplota vyvěrající vody – voda mělké struktury kopíruje průběh roční teploty vzduchu (tedy vyšší teplota vody v létě a nižší v zimě), a čím hlubší a větší struktura se odvodňuje, tím má vyvěrající voda po celý rok stálejší teplotu, blízkou dlouhodobému ročnímu průměru teploty vzduchu v daném místě.

Vydatnost pramene, jeho stálost, teplota a složení vyvěrající vody jsou důležité údaje pro určení původu a stáří vyvěrající vody, pro její možné využití a zajištění ochrany pramene.

Někdy se podzemní voda odvodňuje skrytým způsobem pod povrchem území. Pokud jsou v místě vývěru propustné horniny (např. sutě nebo říční štěrkopísky), vyvěrající voda bude zatékat do nich, a na povrchu nebude nic vidět. Jiným případem skrytého vývěru je situace, kdy podzemní voda vyvěrá přímo do povrchového toku, dnem nebo stěnami koryta.

Prameny v Praze

I na území Prahy jsou dosud zachovány desítky pramenů, především v méně zastavěných a okrajovějších částech města. Prameny ale byly i v centru Prahy, a ve středověku byly důležitými zdroji pitné vody. Například v ulici Na Rybníčku u Štěpánské ulice byl pramen napájející malý rybníček. Prameny zanikají vlivem zástavby a odvodnění území, zanikají vlivem zemních úprav, výkopů a podzemních staveb a neprospívají jim ani současné klimatické změny. Pramen také napájel až do 19. století kašnu na Karlově náměstí, která tak měla mnohem kvalitnější vodu než jiné kašny v Praze zásobované vodou z Vltavy.

K nejznámějším patří petřínské prameny, vyvěrající ve svahu Petřína. Původně šlo o vrstevné prameny, ve kterých na úrovni jejich styku s podložními břidlicemi vytékala podzemní voda z křídových pískovců, které tvoří vrcholové části území Petřína a Strahova. Dnes jde ale o umělé vývěry související se starými štolami ze středověku, kterými je vrch Petřín protkán. Výtoky z těchto štol jsou přivedeny na vhodná místa ve svahu Petřína a esteticky upraveny, aby připomínaly prameny. Voda má vzhledem k zástavbě nad nimi (Petřín, Strahov) zhoršenou jakost a nehodí se pro pití.

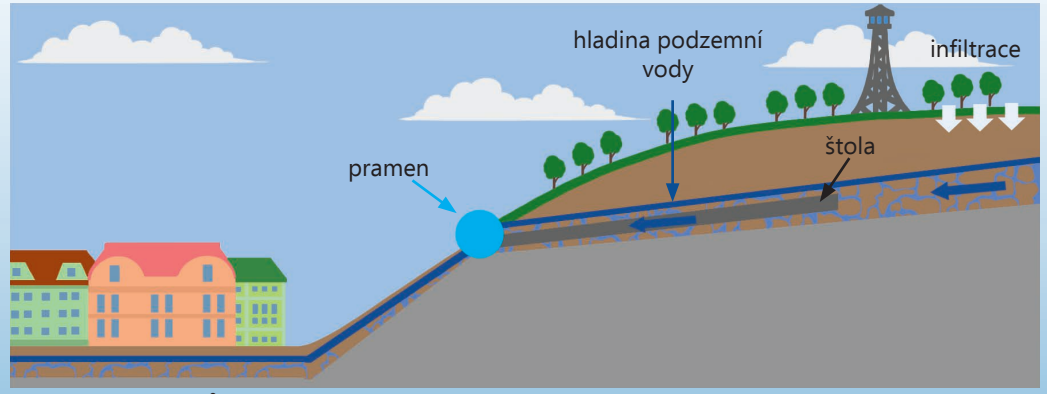
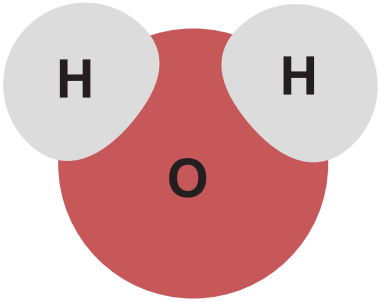


Schéma vývěrů podzemní vody ve svahu Petřína (s naznačenou odvodňovací štolou)

9. MOLEKULA VODY H_2O

Chemicky čistá voda



Molekula vody skládající se ze dvou atomů vodíku a jednoho atomu kyslíku

Chemicky čistá voda je chemická sloučenina skládající se ze dvou atomů vodíku a jednoho atomu kyslíku. Chemicky čistá voda má vzorec H_2O a neobsahuje žádné jiné látky. Voda v přírodě (voda v řekách, potocích, rybnících, podzemní voda, dešťová voda, voda ve formě sněhu a ledu) však není chemicky čistá, obsahuje množství rozpuštěných i nerozpuštěných látek, je oživena různými organismy apod. Chemicky čisté vodě se blíží voda destilovaná, vyráběná pro různé technické účely a obsahující jen minimální množství rozpuštěných látek (méně než 10 mg/l).

Izotopové složení vody

Atomy kyslíku a vodíku v molekule vody nejsou ale všechny stejné, říkáme, že jsou tvořeny různými izotopy.

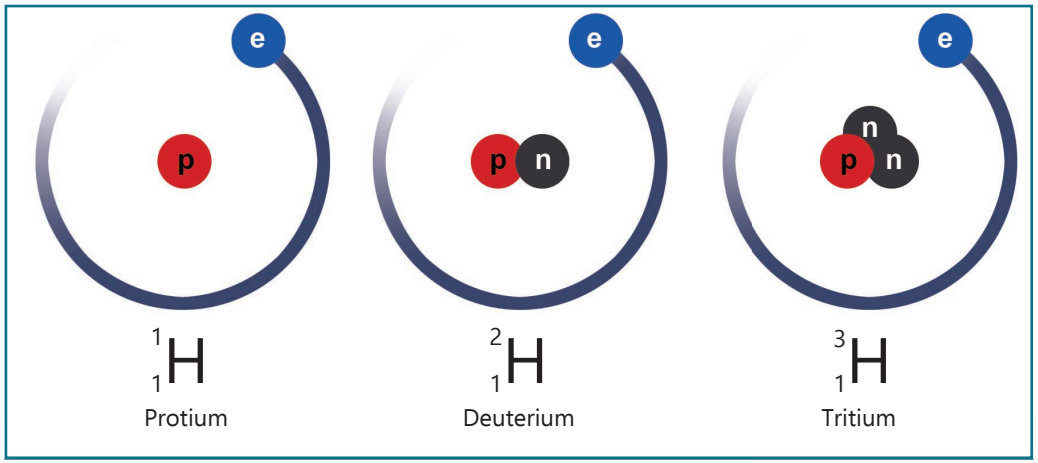
Izotopy jsou atomy téhož prvku, které mají v jádru stejný počet protonů, ale mohou mít různý počet neutronů. Izotopy mohou být stabilní, které se v čase nemění, a nestabilní, které podléhají radioaktivnímu rozpadu.

Vodík má dva stabilní izotopy ^{1}H a ^{2}H, označovaný také jako deuterium D. Tyto izotopy se vyskytují v poměru 5 000 : 1. Kyslík má tři stabilní izotopy ^{16}O, ^{17}O a ^{18}O, vyskytující se v poměru 3 150 : 5 : 1. Znamená to, že na 5 000 molekul vody s běžným izotopem vodíku ^{1}H připadá jedna molekula vody s izotopem vodíku ^{2}H. A stejně tak na 3 150 molekul vody s nejběžnějším izotopem kyslíku ^{16}O připadá 5 molekul vody s izotopem kyslíku ^{17}O a jedna molekula s izotopem kyslíku ^{18}O. Tyto poměry stabilních izotopů vyjadřují průměrné hodnoty platné celkově pro Zemi.

Voda v konkrétním místě může mít poměr stabilních izotopů vodíku a kyslíku mírně odlišný od průměrných hodnot, čehož vědci využívají při studiu původu vody a procesů v ní probíhajících.

Důvodem těchto rozdílů jsou odlišné fyzikální vlastnosti jednotlivých izotopů, např. v teplotách tání a varu. Voda H_2O má za normálního tlaku teplotu varu 100 °C, zatímco voda D_2O má za stejných podmínek kvůli těžší molekule teplotu varu 101,42 °C a teplotu tání 3,82 °C (místo obvyklých 100 °C a 0 °C u H_2O). Pokud se tedy voda intenzivně vypařuje, do plynného stavu o něco rychleji přecházejí molekuly H_2O a ve zbývající kapalné vodě se relativně zvyšuje koncentrace těžších molekul D_2O. Podobně v tajícím sněhu se koncentrují molekuly D_2O, které tají až při vyšší teplotě. V městském prostředí Prahy jsou průměrné teploty vzduchu (přes 10 °C) vyšší než např. v chladnějším Podkrkonoší (kolem 7 °C), vlivem intenzivnějšího vypařování je tedy ve vodě pražských potoků, rybníků a nádrží o něco větší podíl vody D_2O (a podobně to platí i pro izotopy kyslíku).

Tritium



Tři izotopy vodíku vyskytující se v přírodních vodách, lišící se v počtu neutronů v jejich atomu (e – elektron, p – proton, n – neutron)

Existuje ještě třetí izotop vodíku – tritium ^{3}H (někdy se označuje jako T). Tento izotop není stabilní, podléhá radioaktivnímu rozpadu, jde o tzv. radioizotop. Jeho poločas rozpadu je 12,32 let. Poločas rozpadu je fyzikální konstanta udávající dobu, za kterou se rozpadne polovina atomů tritia ve vzorku. Tedy za 24,64 let zbyde jen čtvrtina atomů tritia, za 36,96 let osmina atd. Při svém rozpadu produkuje beta záření a mění se na stabilní atom helia ^{3}He.

Tritium vzniká v přírodě působením kosmického záření, částečně ale vzniká i působením člověka (pozůstatky po zkouškách jaderných zbraní v atmosféře zakázaných v roce 1963, tritiová voda je také vedlejším produktem činnosti jaderných elektráren). Koncentrace tritia se dnes stále snižují a blíží se přirozenému pozadí (člověkem nepatrně ovlivněné provozem jaderných elektráren), které není nebezpečné lidskému zdraví. Koncentrace tritia se využívá ke stanovení tzv. stáří podzemní vody, tedy doby, která uplynula od vsaku srážkové vody do podzemí.

Tritium lze využít pro určení stáří podzemní vody v desítkách let, maximálně do 100 let. Pokud je podzemní voda starší, např. z hlubších pánevních struktur, používají se jiné přirozeně se vyskytující radioizotopy s delším poločasem rozpadu, např. radioizotop uhlíku ^{14}C s poločasem rozpadu 5 730 let. Pomocí něho můžeme zjistit stáří podzemní vody až v desítkách tisíc let, který je v podzemní vodě přítomen v hydrogenuhličitanech HCO_3.

10. SLOŽENÍ PODZEMNÍ VODY

Přírodní voda jako směs

Voda v přírodě není chemicky čistá (tedy pouze H_2O), je to komplikovaná fyzikálně – chemická směs mnoha látek, jejichž výskyt, forma a poměr se mění v místě i čase. Znalost složení vody je důležitá jak pro člověka (použití vody jako pitné nebo užitkové), tak pro různé organismy, které na vodě závisí. V člověkem ovlivněném městském prostředí je přírodní voda většinou negativně ovlivněna člověkem (znečištění vody různými látkami), což může omezovat její využití.

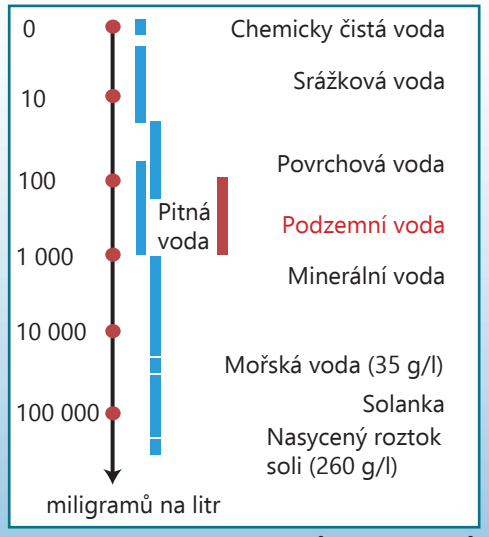
V přírodních vodách můžeme najít 3 skupiny různých látek:

- Rozpuštěné látky tvořící s vodou homogenní směs (roztok), kterou lze vizuálně rozlišit až na molekulární úrovni. Podzemní vody mívají obvykle více rozpuštěných látek než vody povrchové.
- Nerozpuštěné látky tvoří s vodou nehomogenní směs a způsobují zákal vody. Jsou složeny z jílových částic, prachu, písku, organické hmoty. Vyskytují se především v povrchových vodách (prach a nečistoty spláchnuté deštěm z povrchu, eroze půdy při deštích). Kvalitní podzemní voda má velmi málo nerozpuštěných látek.
- Živé organismy (sinice, řasy, bakterie, viry, vyšší organismy aj.) jsou typické pro povrchové vody. V kvalitní podzemní vodě, která není znečištěna z povrchu, se cizorodé živé organismy nevyskytují. Jsou viditelné pod mikroskopem.

Rozpuštěné látky ve vodách

Rozpuštěné látky můžeme rozdělit na disociované, kdy se molekula (např. sůl NaCl) při rozpuštění rozpadá na kladné a záporné ionty (Na^+ a Cl^-), a nedisociované, kdy molekula zůstává pohromadě i v rozpuštěném stavu, např. oxid křemičitý SiO_2.

Různé druhy přírodních vod se liší i podle celkové mineralizace, tedy podle koncentrace rozpuštěných látek, která se udává obvykle v miligramech na litr (mg/l). Zdravotně nezávadná pitná voda by měla mít celkovou mineralizaci v rozmezí cca 80–1 000 mg/l. Běžná podzemní voda mívá celkové množství rozpuštěných látek v úrovni několika set miligramů na litr. A jak jsou na tom s mineralizací další druhy vod je vidět v grafu na této stránce.



Celková mineralizace různých typů přírodních vod a požadavky na pitnou vodu

Hlavními anionty v podzemních a dalších přírodních vodách jsou hydrogenuhličitany HCO_3^-, sírany SO_4^{2-} a chloridy Cl^-. Hlavními kationty jsou vápenaté (Ca^{2+}), hořečnaté (Mg^{2+}) a sodné (Na^+) kationty. Těchto šest iontů tvoří obvykle přes 90 % složení přírodní vody.

- Pomocí převládajících hlavních iontů charakterizujeme chemický typ vody, např. typ Ca – HCO_3, Ca – Na – SO_4 – Cl apod.
- Zbývající část složení přírodních vod tvoří vedlejší složky, např. kationty draslíku K nebo různých kovů, zvláště v podzemních vodách (Fe, Mn, Al, Cu, As, Zn, Se, Cr, Ni, Co, B...), nebo některé organické látky.
- Pro vody znečištěné komunální odpadní vodou nebo ze zemědělství je typický výskyt různých sloučenin dusíku (dusičnany NO_3^-, dusitany NO_2^-, amonné ionty NH_4^+).
- V přírodních vodách jsou dále rozpuštěny i plyny, např. z atmosféry (oxid uhličitý CO_2, kyslík, dusík aj.). Někdy se v podzemních vodách můžeme setkat s plyny původem z různých biochemických a geochemických procesů v zemské kůře (sulfan H_2S, radioaktivní plyn radon Rn, metan CH_4 aj.).

Tvrdost a agresivita vody

Tvrdost vody je přirozenou vlastností vody a závisí především na množství sloučenin vápníku a hořčíku rozpuštěných ve vodě. Existuje tvrdost vody přechodná a trvalá.

Přechodnou tvrdost způsobují hydrogenuhličitan vápenatý a hořečnatý, $Ca(HCO_3)_2$ a $Mg(HCO_3)_2$. Lze ji odstranit převařením vody, z vody ale vypadnou nerozpustné sloučeniny ve formě tzv. kotelního kamene (převážně uhličitan vápenatý a hořečnatý $CaCO_3$ a $MgCO_3$), který se usazuje v ohřívačích vody, pračkách, myčkách, varných konvicích a poškozuje je.

Trvalou tvrdost způsobují jiné sloučeniny Mg a Ca, hlavně sírany. Převařením je z vody nelze jednoduše odstranit, trvalá tvrdost vody proto ohřívací zařízení nepoškozuje.

Menší část Prahy je zásobována pitnou vodou z podzemních zdrojů v Káraném severně od Prahy. Při jejím používání v domácnosti je znát, že tato voda má vyšší přechodnou tvrdost, než voda z povrchového zdroje na Želivce, která je hlavním zdrojem pitné vody pro Prahu.

Agresivita vody je schopnost vody rozrušovat beton, ocel a jiné materiály. Bývá způsobena přítomností většího množství některých rozpuštěných látek: oxidu uhličitého CO_2, síranů SO_4^{2-} a hořčíku Mg^{2+}. Agresivně působí i kyselé vody s nízkým pH a málo mineralizované vody s velmi malou tvrdostí. Na území Prahy se uplatňuje především síranová agresivita – podzemní voda z břidlic má obvykle vysoké koncentrace rozpuštěných síranů.

11. ZNEČIŠTĚNÍ PODZEMNÍ VODY

Povrchová a podzemní voda mají zásadní místo v ochraně celého životního prostředí. Čistá voda je ukazatelem dobré kvality celého životního prostředí. Podzemní voda je mnohem lépe chráněná před znečištěním než povrchová voda, protože mezi povrchem a hladinou podzemní vody je vrstva horniny, která podzemní vodu chrání, zvlášť když jde o horninu málo propustnou.

Co je to znečištění vod?

Znečištění (kontaminace) vody je každá změna původního přírodního složení nebo vlastností vody způsobená člověkem.

Na první pohled jednoduchá otázka může mít ne úplně jednoduchou odpověď. Někdy se ale jako znečištění označuje jen takový stav vody, kdy změna složení nebo vlastností způsobí překročení limitů platných právních předpisů. Podzemní voda se často posuzuje podle požadavků na pitnou vodu (vyhláška č. 252/2004 Sb.).

Příklad: Přírodní koncentrace dusičnanů v podzemní vodě je kolem 4–5 miligramů na litr. Podzemní voda, která má dusičnanů např. 15–20 mg/l, je znečištěna člověkem, ale je to stále pitná voda, protože limit pro pitnou vodu je 50 mg/l. Vodárna proto může někdy považovat za znečištěnou až vodu, která má dusičnanů např. 60 nebo 70 mg/l, protože by už neměla být používána k pití.

A navíc ne každé nadlimitní hodnoty jsou znečištěním. Zvýšené hodnoty některých látek mohou být způsobeny přírodními vlivy. Např. zvýšený obsah železa v podzemní vodě nebývá způsobený člověkem, ale souvisí s přirozenou přítomností minerálů železa v některých horninách, např. pyritu FeS_2.

Druhy znečištění

Z chemického hlediska existuje znečištění anorganickými látkami a organickými látkami. Nejčastějším anorganickým znečištěním jsou dusičnany NO_3^- a další formy výskytu dusíku – dusitany NO_2^- a amoniakální dusík NH_4^+, původem z komunálních splaškových vod a také ze zemědělství. Patří sem ale i další látky, např. těžké kovy z průmyslových výrob – nejškodlivější jsou rtuť Hg, olovo Pb, kadmium Cd, arzén As. Nejběžnějším organickým znečištěním jsou různé látky vyráběné z ropy (pohonné hmoty, oleje, rozpouštědla jako benzen a toluen aj.). Častá jsou i průmyslová rozpouštědla na bázi chlorovaných uhlovodíků (perchloetylen, trichloretylen), a čím dál víc se dnes ve vodách objevují zbytky léčiv, pesticidů a dalších nebezpečných látek ohrožujících lidské zdraví i další živé organismy.

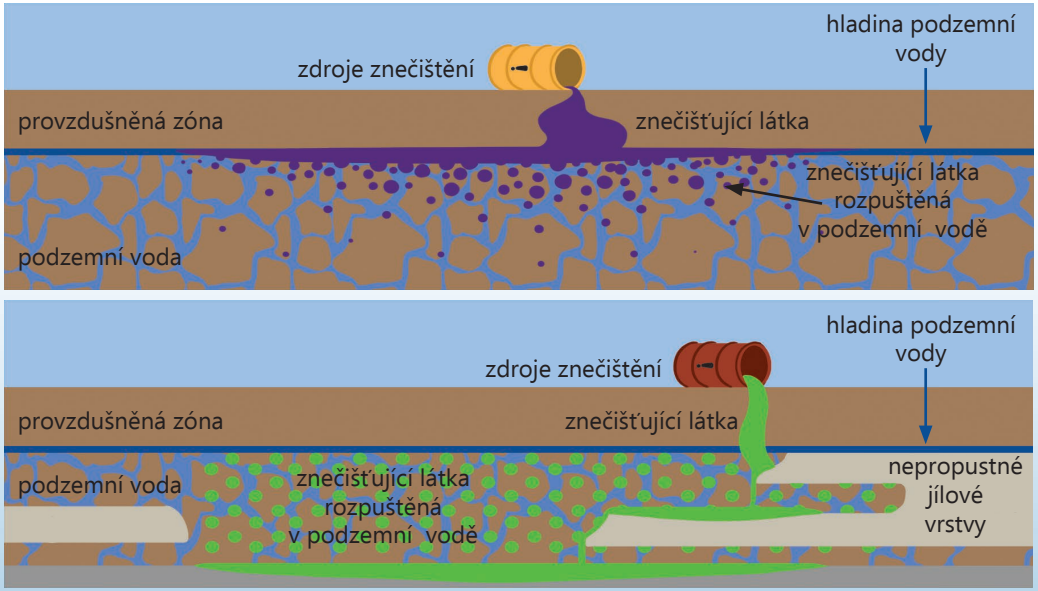
Zvláště pro pitné účely je důležitá i biologická jakost vody, tedy přítomnost bakterií, virů, a dalších organismů. Některé z nich mohou být zdrojem vážných onemocnění. Neznečištěné podzemní vody mají většinou dobrou biologickou jakost, povrchové zdroje pitné vody však vždy vyžadují desinfekci.

Chování znečišťující látky v horninovém prostředí

Abychom mohli dobře určit nebezpečnost konkrétního znečištění a rizika, jaká z něj hrozí, je třeba rozumět chování uniklých chemických látek v horninovém prostředí. Znečišťující látka (kontaminant) může být rozpuštěná ve vodě, anebo může horninou prosakovat jako samostatná kapalina (např. nafta, olej). V rozpuštěné formě se látka šíří společně s podzemní vodou, tedy stejnou rychlostí a směrem, jakým teče podzemní voda.

Látky lehčí než voda se odborně označují LNAPL (zkratka z anglického označení Light Non – Aqueous Phase Liquid) a látky těžší než voda zkratkou DNAPL (Dense Non – Aqueous Phase Liquid).

V případě samostatné kapaliny je důležité, zda je kapalina lehčí nebo těžší než voda, tedy zda má menší nebo větší hustotu než voda, protože jejich chování v podzemní vodě je zcela odlišné. Jeden litr vody váží asi jeden kilogram. Některé kapaliny, např. ropné látky, jsou lehčí než voda (jeden litr váží 0,8–0,9 kg), a když se dostanou na hladinu vody, plavou po ní (např. olejový film na hladině). Některé kapaliny, např. chlorovaná rozpouštědla, jsou naopak těžší než voda (jeden litr váží např. 1,1–1,2 kg). Když se dostanou do styku s vodou, klesají ke dnu. Látky lehčí než voda tedy najdeme v blízkosti hladiny podzemní vody, zatímco látky těžší než voda procházejí celým kolektorem a soustřeďují se na jeho dně.



Odlišné chování látek lehčích než voda (LNAPL, nahoře) a těžších než voda (DNAPL, dole) v horninovém prostředí a v podzemní vodě

Oba druhy kapalin se vedle svého pohybu také současně rozpouštějí ve vodě. Látky LNAPL v rozpuštěné formě znečišťují podzemní vodu v kolektoru jen v blízkosti hladiny podzemní vody, zatímco látky DNAPL znečišťují celý objem podzemní vody v hydrogeologickém kolektoru, od hladiny až na dno, rozsah a závažnost znečištění bývá tedy mnohem větší.

12. MNOŽSTVÍ PODZEMNÍ VODY

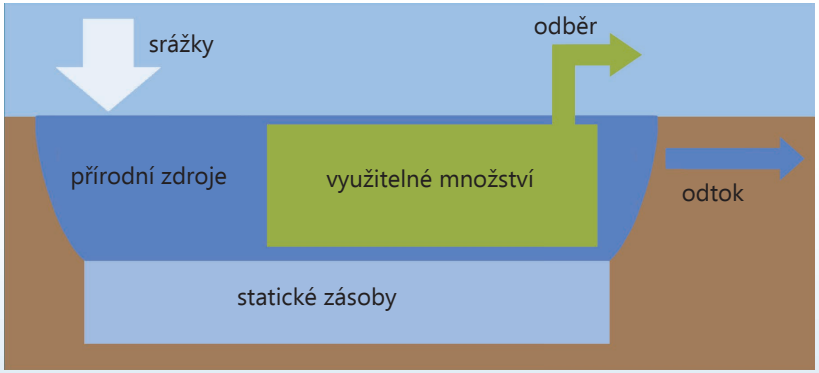
Bilancování podzemní vody

Podzemní voda je součástí hydrologického cyklu, její množství se tedy neustále mění. Vsakováním srážek je podzemní voda doplňována, a naopak průběžně odtéká do povrchových vod. Když hodně prší a vsakuje se víc vody, než odtéká, zvětšuje se množství podzemní vody v hydrogeologické struktuře. Když prší málo nebo vůbec, vsakuje se méně vody, než odtéká, a množství podzemní vody se zmenšuje.

Podzemní vody je jen omezené množství. Je proto důležité vědět, kolik podzemní vody v různých místech ČR máme, abychom mohli určit, kolik jí můžeme odebírat (pro zásobování pitnou vodou, pro závlahy aj.). Stanovení množství podzemní vody se počítá v hydrogeologické bilanci (viz publikace Město a voda).

Statické zásoby a přírodní zdroje podzemní vody

Jako statické zásoby označujeme objem podzemní vody, která vyplňuje všechny dutiny v hornině pod hladinou podzemní vody. Přírodní zdroje je množství podzemní vody za jednotku času, kterým je hydrogeologická struktura průběžně doplňována infiltrací srážek.



Statické zásoby, přírodní zdroje a využitelné množství podzemní vody

Rozdíl mezi statickými zásobami a přírodními zdroji podzemní vody si lze představit na příkladu rybníka. Voda, která je v rybníku, tvoří statické zásoby. Voda, která do rybníku přitéká potokem, jsou přírodní zdroje. Pokud budeme z rybníka odebírat vodu, můžeme odebrat jen množství, které je menší než přítok. Pokud ale budeme odebírat množství vody větší než je přítok, zanikne potok odtékající z rybníka a hladina v rybníce začne klesat – začnou se snižovat statické zásoby. Takový odběr není dlouhodobě udržitelný, protože jednou skončí vyschnutím rybníka.

Dlouhodobě udržitelný odběr podzemní vody zajišťují jen přírodní zdroje podzemní vody.

Pokud dlouhodobě probíhá odběr vody na úkor statických zásob, hydrogeologická struktura je přetěžována, statické zásoby se zmenšují. Krátkodobé využití statických zásob je možné, např. k překlenutí období letního sucha, protože víme, že tento úbytek bude doplněn z tání sněhu a vyšších srážek na jaře.

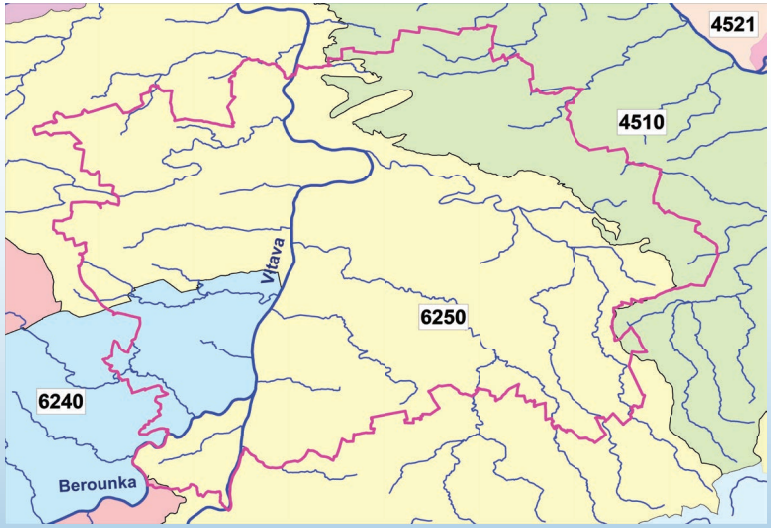
Přírodní zdroje podzemní vody vystupují v hydrologické bilanci jako tzv. podzemní (též základní) odtok z území a udávají se v litrech za sekundu na kilometr čtvereční. Území bohaté na podzemní vody mají tyto hodnoty 5–10 l/s/km^2 (horské oblasti, česká křídová pánev aj.). Na většině území Prahy se tyto hodnoty pohybují v dlouhodobých průměrech jen kolem 1 l/s/km^2, z důvodu nižších srážek, vyššího výparu a málo propustných hornin. Pokračující zástavba okrajových částí města dále omezuje vsak srážek a snižuje nevelké přírodní zdroje podzemní vody v Praze.

Pro odběr podzemní vody není možné využít všechny přírodní zdroje. Využitelné množství podzemní vody je část přírodních zdrojů, které můžeme dlouhodobě odebírat, aniž bychom ohrozili další funkce podzemní vody v území.

Pokud bychom čerpali více podzemní vody, mohli bychom způsobit vyschnutí potoků, zánik pramenů, ohrožení mokřadů s chráněnými rostlinami a živočichy apod.

Hydrogeologické rajony

Přírodní zdroje podzemní vody se nejlépe stanovují pro území, které zahrnuje jak místo infiltrace, tak místo odvodnění, tedy celou hydrogeologickou strukturu. Česká republika byla za účelem bilancování podzemní vody rozdělena do 152 oblastí, které se nazývají hydrogeologické rajony. V takovém území lze dobře spočítat hydrologickou bilanci a stanovit přírodní zdroje podzemní vody.



Mapa hydrogeologických rajonů na území Prahy

Na území Prahy zasahují celkem tři hydrogeologické rajony. Hydrogeologický rajon 6250 zahrnuje většinu plochy Prahy s málo propustnými břidlicemi a má nejmenší přírodní zdroje podzemní vody. Na severovýchod zasahuje rajon 4510 s pískovci a slínovci okraje české křídové pánve. Na jihozápadě je pak rajon 6240 s vápenci, který má největší přírodní zdroje podzemní vody v Praze (2–3 l/s/km^2).

13. VYUŽÍVÁNÍ PODZEMNÍ VODY

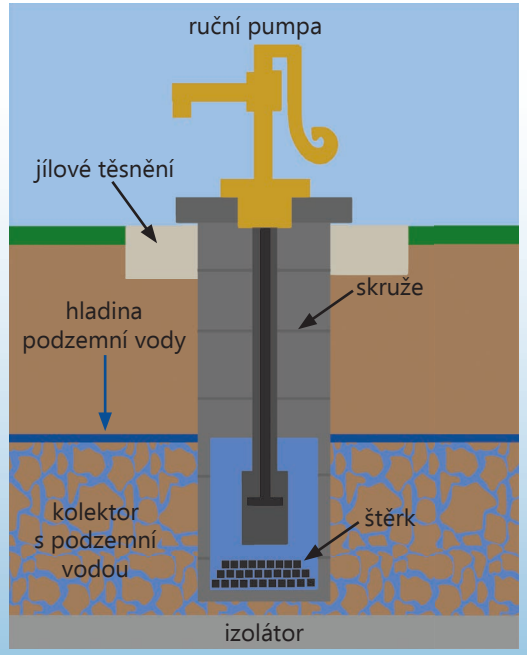
Studny

Zdroje podzemních vod jsou přednostně vyhrazeny pro zásobování obyvatelstva pitnou vodou.
(zákon o vodách č. 254/2001 Sb., § 29, odstavec 1)

Podzemní vody tvoří velmi vhodné zdroje pitné vody pro obyvatele. Jsou to většinou zdroje kvalitní a zdravotně nezávadné vody, dobře chráněné před znečištěním z povrchu vrstvou půdy a horniny. Člověk zjistil už v dávné historii, že nejkvalitnější voda v krajině je podzemní voda vytékající z pramenů, nebo zachycená mělkými jímkami (kopanými studnami).

STUDNA je svislé zařízení sloužící pro odběr podzemní vody. Kopané studny bývají hluboké většinou kolem 10–20 m. Dnes – kvůli znečištění a suchu – spíše převažují vrtané studny, které mají průměrné hloubky 30–50 m, někdy i více. Studny mohou sloužit pro individuální potřebu, nebo pro vodárenské zásobování. Vodárenské studny mají mnohem vyšší vydatnost. Aby studna dobře a dlouho poskytovala kvalitní vodu, musí být správně umístěna, mít správnou konstrukci a kvalitní provedení a být dobře udržována a pravidelně čištěna. Pro odběr vody slouží obvykle čerpadlo, někdy i ruční pumpa. Studny jsou stavbami (ve smyslu stavebního a vodního zákona).

V některých případech může být podzemní voda odebírána jinými zařízeními, např. mělkými jímacími zářezy, štolami nebo se může podchytit vhodný vývěr pramenní jímkou.



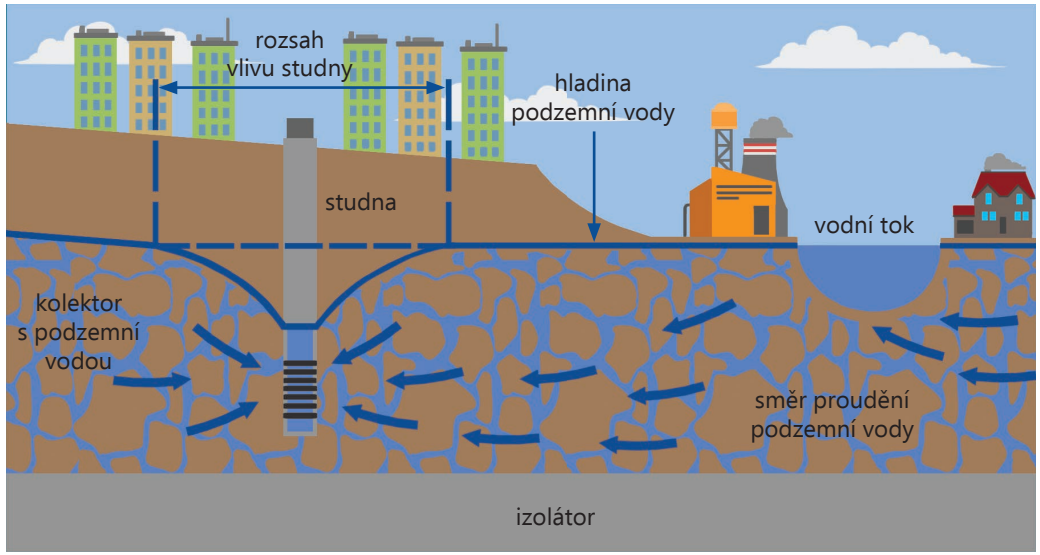
Typická konstrukce skružené studny s ruční pumpou

Ochrana zdrojů podzemní vody

Každý zdroj pitné vody je nutné chránit před znečištěním a poškozením. Ochranu je třeba zajistit nejen pro studnu, ale i pro její okolí. Pro ochranu studny je důležitá správná technická konstrukce studny, hlavně dobré utěsnění kolem studny na povrchu a její dobré zakrytí (např. poklopem), aby do studny nestékala znečištěná voda z povrchu.

Na ochranu studní pro hromadné zásobování pitnou vodou se vyhlašují ochranná pásma. Ochranné pásmo 1. stupně chrání studnu a několik metrů kolem před znečištěním a poškozením a obvykle bývá oplocené. Ochranné pásmo 2. stupně chrání větší okolí studny, odkud přitéká voda, která se ve studni odebírá.

Odběrem vody se snižuje hladina i v okolí studny do určité vzdálenosti (rozsah vlivu studny, odborně se mu říká depresní kužel), v některých případech si studna může i nasávat vodu z blízkého toku nebo nádrže (viz obrázek). V ochranném pásmu 2. stupně jsou nutná různá omezení, aby nedošlo ke znečištění vody (zákaz skládek, zpřísněná opatření vůči odpadním vodám, skladům PHM a dalších chemikálií, omezení hnojení, používání pesticidů apod.).



Změny proudění a hladiny vlivem odběru podzemní vody ze studny

U individuálních studní se ochranná pásma obvykle nevyhlašují, majitel by ale měl dbát na to, aby možné zdroje znečištění (kanalizace, žumpy, uskladněné chemikálie, dílny apod.) byly od studny co nejdál. V husté zástavbě měst a obcí je problematické zajistit plnou ochranu těchto drobných zdrojů vody, která proto často nevyhovuje požadavkům na kvalitu pitné vody.

Využívání podzemní vody v Praze

Ještě v polovině 19. století byli obyvatelé odkázáni na donášku vody od kašen napájených z Vltavy. Některé kašny měly ale kvalitnější vodu, jako např. kašna na Karlově náměstí, napájená podzemní vodou z pramene v dnešní ulici Na Rybníčku. Mít vlastní studnu byla až do 18. století nákladná věc. Postupně byla ale v 19. století vybudována síť desítek obecních studní po celé Praze, z nichž některé ještě můžeme najít (např. studna v Kolejní ulici na obálce této publikace aj.). Studny poskytovaly pražským obyvatelům o něco kvalitnější vodu, ale jak se postupně zvyšovaly požadavky na jakost pitné vody, i ty přestaly vyhovovat.

V roce 1914 začala moderní éra pražského vodárenství, kdy rostoucí obyvatelstvo Prahy dostalo nezávadnou pitnou vodu ze zdrojů podzemní vody z Káraného, severně od Prahy.

Praha je dnes kompletně zásobována pitnou vodou ze 75 % z povrchového zdroje Želivka a asi z 25 % z podzemního zdroje Káraný. Zvláště v okrajových částech Prahy ale existuje množství soukromých studní, které Pražané využívají jako doplňkový zdroj vody (nejčastěji pro zalévání zahrad).

Kontrolní otázky

Na následujících kontrolních otázkách si můžete vyzkoušet úroveň dosažených znalostí. Ze čtyř nabídnutých odpovědí je vždy jedna odpověď správná, jedna odpověď částečně správná a dvě odpovědi nesprávné. Pokud si nebudete odpovědí jistí, můžete si podle zaměření otázky najít příslušnou kapitolu a podkapitolu, ve které najdete správnou odpověď. Na konci kontrolních otázek jsou uvedeny správné odpovědi a částečně správné odpovědi s komentáři.

1. Jak se nazývá voda pod povrchem území?
   A. Podzemní voda
   B. Podpovrchová voda
   C. Podzemní a půdní voda
   D. Spodní voda

2. Proč jsou pro doplňování podzemní vody důležité srážky v chladnější polovině roku?
   A. Je jich víc než v létě.
   B. Jsou ve formě sněhu.
   C. Vypaří se jich méně než v létě.
   D. Půda je v zimě propustnější.

3. Jak lze podpořit ve městech infiltraci do podzemních vod?
   A. Výsadbou stromů s hlubokými kořeny
   B. Navrácením koryt vodních toků do přirozeného stavu
   C. Podporou vsakování srážkových vod ze střech budov
   D. Rozstřikem vody v létě v ulicích

4. Jak poznáme místo odvodnění podzemních vod?
   A. Obvykle je to údolí, kde je potok.
   B. Místa jsou kvůli bezpečnosti lidí označena nápisy a oplocena.
   C. Místa na povrchu, která jsou zamokřená.
   D. Místo, odkud se čerpá podzemní voda.

5. Jaký druh pórovitosti má běžná hlína na záhonu, třeba někde v parku?
   A. Pórovitost je dána drobnými póry mezi částicemi hlíny
   B. Hlína nemá pórovitost, pórovitost mají jen horniny
   C. Pórovitost puklinová
   D. Pórovitost průlinová (mezizrnná)

6. Proč je pro určení propustnosti hornin důležité znát nejen pórovitost, ale i velikost a charakter pórů?
   A. Propustnost horniny určují jen ty největší póry.
   B. Pro propustnost nejsou určující hodně malé póry.
   C. Pro propustnost jsou podstatné jen propojené póry takové velikosti, kterými může voda volně protékat.
   D. Propustnost horniny určují jen póry puklinového charakteru.

7. Co je to hydrogeologický kolektor?
   A. Je to hornina s vysokou propustností.
   B. Je to hornina s vysokou pórovitostí.
   C. Je to hornina, jejíž propustnost je výrazně ovlivněna umístěním podzemních inženýrských sítí, obvykle kanalizace nebo vodovodu.
   D. Je to hornina s výrazně vyšší propustností než hornina nadložního nebo podložního izolátoru.

8. Proč je důležité vědět, jak vysoko vzlíná voda v kapilární zóně?
   A. Kapilární voda může způsobovat vlhnutí základů a zdí budov.
   B. Můžeme podle toho určit potřebnou hloubku studny.
   C. Kapilární voda působí chemicky agresivně na betonové základy a poškozuje je.
   D. Kapilární proniká do vodovodních řadů a ohrožuje kvalitu pitné vody.

9. Jaký vliv na podzemní vodu může mít vedení kanalizace?
   A. Vliv může být kladný, voda unikající z netěsností kanalizačního řádu zvětšuje množství podzemní vody v území.
   B. Kanalizace se vždy staví nad hladinou podzemní vody, vliv tedy nemá žádný.
   C. Vliv může být záporný, podél kanalizačního řádu může docházet ke zrychlenému odtoku vody, a tím k odvodňování území.
   D. Vliv může být záporný, kanalizace zvětšuje výšku kapilární zóny a zvyšuje riziko vlhnutí základů budov.

10. Co potřebujeme znát, abychom mohli určit směr a rychlost proudění podzemní vody?
    A. Hloubku hladiny a sklon svahu území
    B. Sklon hladiny, směr sklonu a propustnost horniny
    C. Sklon hladiny a pórovitost horniny
    D. Sklon hladiny a propustnost horniny

11. Proč je jarní období zásadní pro doplňování zásob podzemní vody?

A. Před začátkem vegetačního období stromy a rostliny potřebují méně vody, více vody tak zbude na infiltraci pod povrch území.

B. Čerstvě obdělaná zemědělská půda na jaře umožňuje lepší vsak vody.

C. Je k dispozici dostatek vody z tajícího sněhu a jarních dešťů, navíc je i nízký výpar.

D. Na jaře obvykle nejvíce prší, vsakuje se proto nejvíce vody.

12. Proč je pro navrhování staveb důležitá znalost kolísání hladiny podzemní vody?

A. Základy budov by měly být vždy nad průměrnou hladinou podzemní vody, aby nedocházelo k negativnímu vlivu podzemní vody na základy.

B. Pokud jsou základy budov v dosahu maximální hladiny podzemní vody (včetně výšky kapilární zóny), je třeba základy budovy ochránit před negativním vlivem podzemní vody vhodným opatřením.

C. Pokud jsou základy budov v dosahu průměrné hladiny podzemní vody, je třeba základy budovy ochránit před negativním vlivem podzemní vody vhodným opatřením.

D. Pokud jsou základy budov v dosahu maximální hladiny podzemní vody, je třeba základy budovy ochránit před negativním vlivem podzemní vody vhodným opatřením.

13. Kdo zajišťuje monitoring hladin podzemní vody na území Prahy?

A. Magistrát hlavního města Prahy

B. Pražské vodovody a kanalizace

C. Český hydrometeorologický ústav

D. Hladiny se měří automatickým zařízením

14. Které horniny na území Prahy mají průlinovou propustnost?

A. Štěrkopísky kolem Vltavy a pískovce

B. Pískovce a břidlice

C. Prvohorní vápence a břidlice

D. Štěrkopísky kolem vodních toků a pískovce

15. Kterého odborníka oslovíte nejdříve, pokud máte v plánu postavit na svém pozemku studnu?

A. Pracovníka vodárny

B. Geofyzika

C. Proutkaře

D. Hydrogeologa

16. Jsou všechny horniny s průlinovou pórovitostí dobře propustné?

A. Ano, jsou to typické horniny hydrogeologických kolektorů.

B. Ne, záleží na velikosti pórů; pokud jsou příliš malé, hornina je málo propustná.

C. Ano, protože průlinovou pórovitost mají jen hrubozrnnější horniny; jemnozrnné horniny mají kapilární pórovitost.

D. Ne, záleží na velikosti pórů; pokud jsou příliš malé, hornina je nepropustná.

17. Jaký je vztah poříční vody k vodnímu toku v době povodně?

A. Povodňová voda se bude vsakovat do mělké podzemní vody údolních náplavů.

B. Na odvodnění podzemní vody do vodního toku nemá povodeň žádný vliv.

C. Povodňová se voda bude vsakovat do mělké podzemní vody údolních náplavů, zejména když dojde k rozlivu vody mimo koryto vodního toku.

D. Odvodnění podzemní vody do vodního toku je jeden z hlavních důvodů vzniku povodní.

18. V pískovcích české křídové pánve jsou největší zásoby podzemní vody v ČR. Jsou tyto zásoby i na území Prahy?

A. Ano, česká křídová pánev zasahuje svým okrajem do severní a západní části Prahy.

B. Ne, na území Prahy se z hornin české křídové pánve vyskytují hlavně méně propustné slínovce.

C. Ano, česká křídová pánev tvoří podloží většiny území Prahy.

D. Ne, jen malé výskyty pískovců na území Prahy neumožňují větší zásoby podzemní vody.

19. Jak vzniká krasová pórovitost?

A. Krasová pórovitost nemá nic společného s průlinovou nebo puklinovou pórovitostí.

B. Vzniká z průlinové nebo puklinové pórovitosti v horninách, které jsou rozpustné ve vodě.

C. Vzniká v různých horninách, které je prosakující voda schopna rozpouštět, a rozšiřovat tak původní pukliny.

D. Vzniká ve vápencích, kde prosakující voda horninu rozpouští a rozšiřuje původní pukliny.

20. Jak se liší proudění podzemní vody v krasových horninách od proudění podzemní vody v puklinově nebo průlinově propustných horninách?

A. Voda proudí v krasových horninách mnohem rychleji.

B. Voda proudí v krasových horninách mnohem hlouběji.

C. Voda má v krasových horninách často mnohem vyšší mineralizaci a tvrdost.

D. Voda proudí v krasových horninách mnohem pomaleji.

21. Proč je důležitá informace o stálosti vydatnosti pramene?

A. Stálou vydatnost mají krasové prameny.

B. Pramenem o stálé vydatnosti se odvodňuje větší a hlubší hydrogeologická struktura.

C. Stálá vydatnost znamená obvykle lepší kvalitu vyvěrající vody.

D. Pramen o stálé vydatnosti obsahuje vodu z blízkého povrchového toku.

22. Jaký charakter mají prameny ve svahu Petřína?

A. Jde o vrstevné prameny, v nichž se odvodňují pískovce nacházející se na Petříně a Strahově.

B. Jde o sestupné prameny, v nichž se odvodňuje mělká voda prosakující svahovými hlínami Petřína.

C. Nejde o prameny, ale o výtoky ze středověkých štol.

D. Jde o vzestupné prameny, kterými po puklinách vytéká voda z podložních břidlic.

23. Co je to chemicky čistá voda?

A. Chemická sloučenina skládající se ze dvou atomů vodíku a jednoho atomu kyslíku.

B. Chemicky čistá voda má na rozdíl od běžné vody H_2O chemický vzorec D_2O.

C. Chemicky čistá voda je voda destilovaná.

D. Chemicky čistou vodu získáme převařením pitné vody.

24. Jaké je složení stabilních izotopů vodíku a kyslíku ve vodě Hostivařské nádrže v Praze ve srovnání s přehradní nádrží Lipno na Šumavě?

A. Složení odpovídá průměrnému poměru zastoupených stabilních izotopů vodíku a kyslíku na Zemi, jako všude jinde.

B. Voda má vyšší podíl lehčích izotopů vodíku ^{1}H a kyslíku ^{16}O než na Šumavě, vlivem vysokých teplot v Praze.

C. Voda má vyšší podíl těžšího izotopu vodíku ^{2}H, v důsledku vyššího výparu.

D. Voda má vyšší podíl těžších izotopů vodíku ^{2}H, kyslíku ^{17}O a kyslíku ^{18}O, v důsledku vyššího výparu.

25. Jaké jsou zdroje tritia ve vodě Vltavy v Praze?

A. Voda ve Vltavě není radioaktivní, neobsahuje žádné tritum.

B. Tritium ve Vltavě pochází z jaderné elektrárny Temelín.

C. Tritium ve Vltavě má 3 zdroje – přirozené koncentrace pozadí, zbytkové koncentrace ze zkoušek jaderných zbraní v atmosféře a elektrárna Temelín.

D. Tritium ve vltavské vodě má původ v jaderné elektrárně Dukovany.

26. Jaké druhy přírodních vod mohou splnit požadavky na pitnou vodu z hlediska celkové mineralizace?

A. Pouze podzemní voda

B. Podzemní voda a část povrchové vody

C. Podzemní voda, povrchová voda a minerální voda

D. Povrchová voda a podzemní voda

27. Zvolte správný chemický zápis hořečnato-vápenato-sodno-hydrogenuhličitano-síranové vody:

A. Ca-Mg-Na-HCO_3-SO_4

B. Mg-Ca-K-HCO_3-SO_4

C. Mg-Ca-Na-HCO_3-SO_4

D. HCO_3-SO_4-Mg-Ca-Na

28. Co způsobuje přechodnou tvrdost vody?

A. Kationty Ca^{2+} a Mg^{2+}

B. Uhličitan vápenatý $CaCO_3$ a uhličitan hořečnatý $MgCO_3$

C. Hydrogenuhličitan vápenatý $Ca(HCO_3)_2$ a hydrogenuhličitan hořečnatý $Mg(HCO_3)_2$

D. Síran vápenatý $CaSO_4$ a síran hořečnatý $MgSO_4$

29. Běžnou součástí složení podzemní vody jsou chloridy, jejichž limit v pitné vodě činí 100 mg/l. V jakých případech nepůjde o znečištění?

A. Podzemní voda se 150 mg/l chloridů ve studni na pobřeží Středozemního moře v Itálii, protože do ní prosakuje mořská voda.

B. Podzemní voda se 150 mg/l chloridů ve studni u silnice I. třídy na Vysočině, která se v zimě intenzivně solí.

C. Podzemní voda se 150 mg/l chloridů ve studni u Hamburgu v Německu nedaleko moře, protože do ní prosakují srážky od moře s vyšším obsahem chloridů.

D. Podzemní voda se 150 mg/l chloridů ve studni v obci bez čištění odpadních vod, které se vsakují do země.

30. Jaké chemické organické látky se nacházejí v podzemních vodách měst jako běžné kontaminanty?

A. Hnojiva a splaškové vody

B. Ropné látky, pohonné hmoty, oleje, benzen, toluen aj.

C. Dusičnany a zbytky léčiv

D. Ropné látky, chlorovaná rozpouštědla, zbytky léčiv a pesticidů

31. Když dojde k úniku chlorovaných rozpouštědel a k jejich vsáknutí pod povrch, v jaké části hydrogeologického kolektoru je najdeme?

A. Ve spodní části kolektoru, protože klesají ke dnu.

B. V horní části kolektoru, protože plavou po hladině.

C. V celém profilu kolektoru od hladiny po dno, protože se průběžně rozpouštějí do vody.

D. Tyto látky do podzemní vody vůbec neproniknou, protože se zachytí kapilárními silami v horninových pórech ještě nad hladinou.

32. Co je to bilancování podzemní vody?

A. Stanovení závislosti mezi vsakováním srážek a odtokem podzemní vody.

B. Stanovení množství podzemní vody, které se v konkrétním území odebírá pro pitné účely.

C. Stanovení využitelného množství podzemní vody.

D. Stanovení přírodních zdrojů podzemní vody pomocí výpočtu hydrologické bilance.

33. Jak velké může být dlouhodobě využitelné množství vody?

A. Je to množství podzemní vody, které je menší nebo rovné než stanovené přírodní zdroje.

B. Je to množství vody, které závisí na technické konstrukci studny nebo vrtu.

C. Je to množství vody, které je vždy výrazně menší než stanovené přírodní zdroje.

D. Je to množství vody, které zahrnuje přírodní zdroje a malou část statických zásob podzemní vody.

34. K čemu slouží hydrogeologické rajony?

A. Ke stanovení velikosti přírodních zdrojů podzemní vody.

B. Ke stanovení míst infiltrace a míst odvodnění podzemní vody.

C. Ke stanovení velikosti statických zásob podzemní vody.

D. Ke stanovení množství podzemní vody.

35. Co je to studna?

A. Svislé zařízení sloužící pro odběr podzemní vody.

B. Svislé zařízení sloužící jen pro individuální odběr podzemní vody.

C. Kopané svislé zařízení sloužící pro odběr podzemní vody.

D. Svislé zařízení sloužící pro odběr podzemní vody; ke studnám patří i jímací zářezy, štoly a pramenní jímky.

36. Jak se zajišťuje ochrana individuální studny před znečištěním?

A. Vyhlásí se ochranné pásmo 1 a 2. stupně.

B. Studna je dobře odtěsněna od povrchu a majitel dbá na dostatečnou vzdálenost od možných zdrojů znečištění.

C. Kanalizace a žumpa musí být nejméně 12 m od studny v málo propustných horninách a až 30 m v dobře propustných horninách.

D. Studna musí být pravidelně čištěna.

37. Sloužily někdy studny i v Praze jako zdroj pitné vody?

A. Ne, do 19. století se používala voda z Vltavy, a potom se postavil vodovod z mimopražských zdrojů podzemní vody v Káraném.

B. Ano, v 19. století byla vybudována síť veřejných studní, která sloužila jako zdroj pitné vody do doby, než se postavil během 20. století po celé Praze vodovod.

C. Ano, i v současné době okrajové části Prahy využívají studny jako zdroj pitné vody.

D. Ano, již od středověku byly v Praze soukromé studny, síť veřejných studní pro většinu Pražanů byla ale vybudována až v 19. století, a studny byly používány do doby, než se postavil během 20. století po celé Praze vodovod.

Odpovědi na otázky

1. B. správně, C. částečně správně – jde o vody, ze kterých se podpovrchová voda skládá.

2. C. správně, B. částečně správně – nemusí jít jen o sněhové srážky, důležitější jsou nízké teploty.

3. C. správně, B. částečně správně – to může částečně pomoci jen podzemní vodě v blízkosti toku.

4. A. správně, C. částečně správně – zamokření může být způsobeno i povrchovou vodou.

5. D. správně, A. částečně správně – je to popis průlinové pórovitosti, nikoliv název.

6. C. správně, B. částečně správně – póry musí být i vzájemně propojené.

7. D. správně, A. částečně správně – důležitý je vztah k izolátoru. I hornina s menší propustností může být kolektorem, pokud je ohraničena horninami s ještě menší propustností.

8. A. správně, C. částečně správně – ne každá kapilární voda působí agresivně na základy.

9. C. správně, A. částečně správně – to je sice pravda, ale nutno dodat, že současně dochází k znečištění podzemní vody, úniky z kanalizace proto nelze chápat pozitivně.

10. B. správně, D. částečně správně – tak určíme rychlost, ale nikoliv směr proudění.

11. C. správně, A. částečně správně – je to pravdivý dílčí aspekt, to zásadní je ale v bodu C.

12. B. správně, D. částečně správně – důležité je myslet na kapilární vzlínání, které může v jemnozrnných horninách dostat podzemní vodu i několik metrů nad hladinu.

13. C. správně, D. částečně správně – to je sice pravda, ale není to odpověď na položenou otázku.

14. D. správně, A. částečně správně – říční štěrkopísky se vyskytují nejenom podél Vltavy, ale i menších toků (Botič, Rokytka aj.).

15. D. správně, B. částečně správně – geofyzik může pomoci v hledání zdroje, ale hlavní je hydrogeolog.

16. B. správně, D. částečně správně – hornina není nikdy zcela nepropustná.

17. A. správně, C. částečně správně – voda se vsakuje hlavně břehy koryta do stran, na povrchu jsou často málo propustné hlíny, bránící většímu svislému vsakování z povrchu.

18. D. správně, B. částečně správně – je pravda, že při povrchu jsou většinou slínovce, ale pískovce jsou pod nimi. Správná odpověď souvisí proto s malou mocností i malou plochou těchto hornin na území Prahy.

19. C. správně, D. částečně správně – krasové jevy vznikají sice nejčastěji ve vápencích, ale nejen v nich, také v dolomitech, vápnitých pískovcích, sádrovci atd.

20. A. správně, C. částečně správně – tvrzení je sice správné, ale není to odpověď na položenou otázku.

21. B. správně, C. částečně správně – bývá to pravda v případě znečištění z povrchu, protože stálejší pramen obsahuje vodu z větší hloubky. Voda ale může mít horší kvalitu z přírodních důvodů (např. hlubší vody v Praze z prostředí břidlic mají vysoké obsahy síranů a železa).

22. C. správně, A. částečně správně – původně zde určitě byly vrstevné prameny, ve středověku byl ale kopec prokopán různými štolami, a nynější vývěry jsou výtoky ze štol, jen upravené jako prameny.

23. A. správně, C. částečně správně – destilovaná voda se sice blíží chemicky čisté vodě, ale přesto má malé množství rozpuštěných látek (do 10 mg/l).

24. D. správně, C. částečně správně – správná odpověď obsahuje těžší izotopy obou atomů.

25. C. správně, B. částečně správně – Temelín je sice hlavním zdrojem, nelze zapomínat ale na pozaďové hodnoty a zbytkové hodnoty ze zkoušek jaderných zbraní v atmosféře, než byly zakázány v roce 1963.

26. B. správně, D. částečně správně – někdy bývá povrchová voda (pokud ji tvoří většina srážkové vody) málo mineralizovaná. Minimální koncentrace rozpuštěných látek v pitné vodě by mělo být na úrovni 70–80 mg/l, optimálně 200–400 mg/l, maximálně 1 000 mg/l (dešťová voda má jen 10–20 mg/l).

27. C. správně, D. částečně správně – bývá zvykem nejdříve psát kationty a pak anionty.

28. C. správně, A. částečně správně – tvrdost sice způsobují kationty Ca^{2+} a $Mg^{2}+$, otázka ale byla na přechodnou tvrdost, a tam je důležité uvést, že jde o hydrogenuhličitany.

29. C. správně, A. částečně správně – vyšší obsah chloridů může být vyvolán nasáváním mořské vody do blízké studny v důsledku čerpání, může to být ale i přirozený proces, kdy mořská voda může pronikat dále do pevniny, např. vlivem zmenšujících se zásob sladké podzemní vody v důsledku sucha.

30. D. správně, B. částečně správně – ropné látky je souhrnné označení pro dále uvedené látky, takže jde o jejich zdvojení, a dále nejsou zmíněny další běžné látky uvedené u možnosti D. .

31. C. správně, A. částečně správně – to je pravda pro kapalnou fázi těchto látek. Při svém vertikálním pohybu se ale rozpouštějí ve vodě, takže kontaminují (částí, která je ve vodě rozpuštěna) postupně celý hloubkový profil kolektoru.

32. D. správně, C. částečně správně – využitelné množství vody je důležité, ale stanovuje se až následně, bilancují se přírodní zdroje.

33. C. správně, A. částečně správně – teoreticky sice využitelné množství může být až 100 % přírodních zdrojů, ale v tom případě musíme počítat s fatálními dopady na vodní režim krajiny (vyschnutí potoků, zánik pramenů a mokřadů, zánik vodních a na vodu vázaných ekosystémů).

34. A. správně, D. částečně správně – množství podzemní vody je výraz zahrnující přírodní zdroje i statické zásoby. Hydrogeologické rajony jsou především určené pro výpočet přírodních zdrojů.

35. A. správně, C. částečně správně – studny nejsou jen kopané, ale i vrtané.

36. B. správně, C. částečně správně – je to správná informace ohledně kanalizací a žump, možných zdrojů znečištění je ale více, správnější je proto obecnější formulace B.

37. D. správně, B. částečně správně – většina studní sice vznikla v 19. století, ale i dříve byly v Praze soukromé studny u domů bohatých šlechticů, měšťanů nebo u klášterů.

Poznámky

Podzemní voda ve městě

Vydal Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka,
veřejná výzkumná instituce, Praha 2020

Editor: RNDr. Josef Vojtěch Datel, Ph.D.

Grafická úprava a ilustrace: Bc. Jan Vohlídal

Tisk: Repro Fetterle, s. r. o.

Počet stran: 44

Vydání první

Náklad: 1 000 výtisků

ISBN 978-80-87402-86-3

www.vuv.cz

EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Praha – pól růstu ČR