

Univerzita Karlova
Přírodovědecká fakulta

Studijní program: Geologie
Studijní obor: Hospodaření s přírodními zdroji



Jan Kvíz

Individuální zásobování podzemní vodou v krystaliniku – faktory ovlivňující vydatnost
Individual groundwater supply in hard rocks – factors affecting yield

Bakalářská práce

Vedoucí bakalářské práce: doc. RNDr. Zbyněk Hrkal, CSc.

Praha, 2019

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem závěrečnou práci zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje a literaturu. Tato práce ani její podstatná část nebyla předložena k získání jiného nebo stejného akademického titulu.

V Praze dne 19. 5. 2019

Podpis: Jan Kvíz

Poděkování:

Rád bych tímto poděkoval vedoucímu své práce doc. RNDr. Zbyňku Hrkalovi, CSc. za cenné konzultace této práce a také za jeho velice zajímavé přednášky, které ve mně během studia vzbudily zájem o obor hydrogeologie. Zároveň bych chtěl poděkovat i ostatním vyučujícím hydrogeologie na Přírodovědecké fakultě za inspirativní přednášky. Rád bych také poděkoval své rodině za nehynoucí podporu během studia a vůbec možnost studovat vysokou školu. A v neposlední řadě své dívce za trpělivost a podporu.

Abstrakt

Tato práce se zabývá individuálním zásobováním podzemní vodou na území krystalinika, tvořícího $\frac{3}{4}$ plochy České republiky. Formou rešerše zpracovává problematiku v přírodovědně-socioekonomickém kontextu.

Ve svém úvodu se práce věnuje charakteristice prostředí hydrogeologického masivu a faktorům ovlivňujícím vydatnost zdrojů. Detailněji se zaměřuje na území České republiky.

Následující část práce popisuje individuální zásobování podzemní vodou na území České republiky. Shrnuje platnou českou legislativu, vývoj individuálního zásobování a také jeho negativa.

Dále práce uvádí příklad využívání zdrojů podzemní vody v prostředí hydrogeologického masivu na území Indie, která patří mezi nejaktivnější průkopníky teoretického i praktického využívání prostředí „hard rocks“.

Abstract

The aim of the bachelor thesis is to characterize the natural groundwater resources in the crystallin massif, forming $\frac{3}{4}$ of the Czech Republic. In the form of research, it summarizes the knowledge of this issue regarding the nature-science and socio-economic context.

The introduction of the thesis describes the specific environment of hard-rocks and the factors affecting the yield of sources. It focuses on the region of the Czech Republic.

In the following part, the thesis describes the individual groundwater supply in the Czech Republic. It summarizes the Czech legislation of this issue, the development of the individual water supply and also his negatives.

The thesis then focuses on some of the examples of the exploitation of groundwater resources in India, which is one of the most active theoretical and practical innovators in the field of exploiting the region of hard rocks.

Obsah:

Úvod a cíl práce	1
1. Charakteristika prostředí	2
1.2 Vertikální hydrogeologické členění hydrogeologického masivu	2
1.3 Hydrogeologický masiv na území České republiky	4
2. Faktory ovlivňující vydatnost	6
2.1 Tektonika	6
2.2. Vliv morfologie	6
2.3 Pokles s hloubkou	9
3. Vodní zdroj	10
3.1 Typy studní	11
3.2 Historický vývoj	15
3.3 Kvalita	16
4. Socioekonomické faktory	18
4.1 Vzájemné ovlivňování studní a komunitní vodohospodaření	18
5. Diskuse a závěr	22
6. Literatura	23

Úvod a cíl práce

Termínem *hydrogeologický masiv* označujeme prostředí představované krystalickými, vyvřelými, metamorfovanými a silně zpevněnými sedimenty. Povrchový rozsah těchto hornin se rozprostírá na více než 20 % plochy všech kontinentů. (Krásný 2008) V minulosti však tomuto prostředí nebyla u nás ani v zahraničí kladena dostatečná pozornost. Z pohledu vodního hospodářství byla území hydrogeologického masivu mnohdy vnímána jako neperspektivní, či dokonce označována jako území bez podzemní vody. Většina pozornosti vodohospodářů v mírném podnebném pásu byla soustředěna na hydrogeologické pánve s vyšší transmisivitou a storativitou. Prostředí hydrogeologické pánve umožňuje nižší počet jímacích objektů pro odběr podzemní vody, čímž je ekonomicky a logisticky daleko výhodnější než rozptýlené jímací objekty s nižšími odběry podzemních vod v prostředí hydrogeologického masivu. V aridních a semiaridních oblastech však byla situace rozdílná: vzhledem k nedostatku zdrojů podzemní vody a ke vzrůstajícím nárokům na zavlažování představovaly zdroje podzemní vody na území hydrogeologického masivu mnohdy jedinou, zároveň však značně limitovanou možnost pro jímání podzemní vody. Od konce 20. století výrazně stoupá zájem o prostředí hydrogeologického masivu a nadále se zvyšuje množství publikací a konferencí na toto téma; dochází tak k nárůstu mezinárodní spolupráce se zájmem o toto prostředí.

Úkolem hydrogeologů od počátku tohoto oboru bylo vyhledávání a optimalizace jímacích zdrojů podzemní vody. Od přelomu sedmdesátých a osmdesátých let 20. století došlo v České republice k přelomu a většina pozornosti hydrogeologů se upřela k sanacím a kontaminacím. Situace se však v posledních letech opět mění. Odhaduje se, že nedostatkem vody trpí na celém světě dvě miliardy lidí, a podle předpovědi UNESCO (WWAP 2018) se v důsledku klimatických změn předpokládá, že se situace bude zhoršovat. Hydrogeologie se navrácí k počátkům oboru. Naším úkolem by mělo být odhadnout budoucí důsledky a navrhnout řešení vzniklých problémů.

Tato bakalářská práce si klade za cíl shrnout poznatky ohledně individuálního zásobování v krystaliniku, s užším zaměřením na Českou republiku. Tuto problematiku zpracovává v širším socioekonomickém kontextu. V závěru se snaží nabídnout možná řešení do budoucna.

1. Charakteristika prostředí

Termín *hydrogeologický masiv* je z pohledu hydrogeologie vnímán jako ekvivalent strukturně geologických termínů *fundament*, *platforma* či *platformní základ*. Tyto termíny lze v Českém masivu považovat za odpovídající. Vhodné je vymezení karbonátových hornin jako specifického hydrogeologického prostředí, a to kvůli rozdílnosti pórovitosti: mladší průlinovo–puklinové nebo průlinovo-puklinovo-krasové. Oproti tomu u masivních vápenců pozorujeme především propustnost puklinovou. (Krásný 1999)

V zahraničních publikacích se setkáme především s termínem „hard rocks“ coby s pojmem označujícím puklinově porézní horniny. (Krásný 2012a). Tento termín, vycházející z dřívějšího rozdělení tvrdých (krystalických) a měkkých (sedimentovaných) hornin, není příliš přesný, protože některé sedimenty, např. cementované pískovce či jílovce mají velmi podobné vlastnosti jako „tvrdé“ krystalické horniny. Nejdůležitější společnou vlastností všech hornin hydrogeologického masivu je puklinová propustnost bez ohledu na jejich litologickou, stratigrafickou nebo mineralogickou rozdílnost.

Prostředí hydrogeologického masivu není nikdy homogenní a izotropní, v lokálním měřítku se hodnoty transmisivity a permeability mohou lišit o tři až čtyři řády v jednom vrtu oproti druhému. Po celém světě však pozorujeme stejnou regionální distribuci hodnot. Převládající transmisivita se zpravidla pohybuje mezi třídami III a IV a pozitivní a negativní anomálie představují převládající transmisivitu ve třídách II a V.

Pro prostředí hydrogeologického masivu je charakteristická primárně puklinová propustnost a vertikální členění do tří zón, charakteristických svými hydrogeologickými podmínkami. Propustnost puklin není stálá s časem: se stářím klesá v důsledku např. mechanického zanášení, hydrotermální alterace a srážení minerálů. K nárůstu propustnosti dochází jen u karbonátů, sulfátů a solí. (Krásný 1999, 2012a)

1.2 Vertikální hydrogeologické členění hydrogeologického masivu

Pro hydrogeologický masiv je charakteristické členění do tří základních zón.

Svrchní zóna či zvětralinová zóna:

Tvoří ji zvětralinový plášť, na kterém vznikají půdy. Mnohdy se zde taktéž nacházejí kvartérní uloženiny rozdílných genetických typů. Dosahuje mocnosti do několika metrů. Převládající pórovitost je průlinová. Pozorujeme zde eluvium se vzájemnými přechody kvartérních uloženin.

Střední či puklinová zóna:

Převládající pórovitost je puklinová. Dosahuje mocnosti desítek metrů, nejvíce přibližně stovky metrů. Z pohledu regionálního měřítko dochází k pravidelnému rozpuštění, což se děje v důsledku působení exogenních činitelů. V lokálním měřítku pozorujeme výraznou proměnlivost v rozpuštění. Převládají

vertikální, subvertikální a ve vyvěřelinách taktéž exfoliační horizontální pukliny. Dochází zde k poklesu propustnosti s hloubkou. (Singhal 2008; Krásný 2012a)

Spodní masivní zóna:

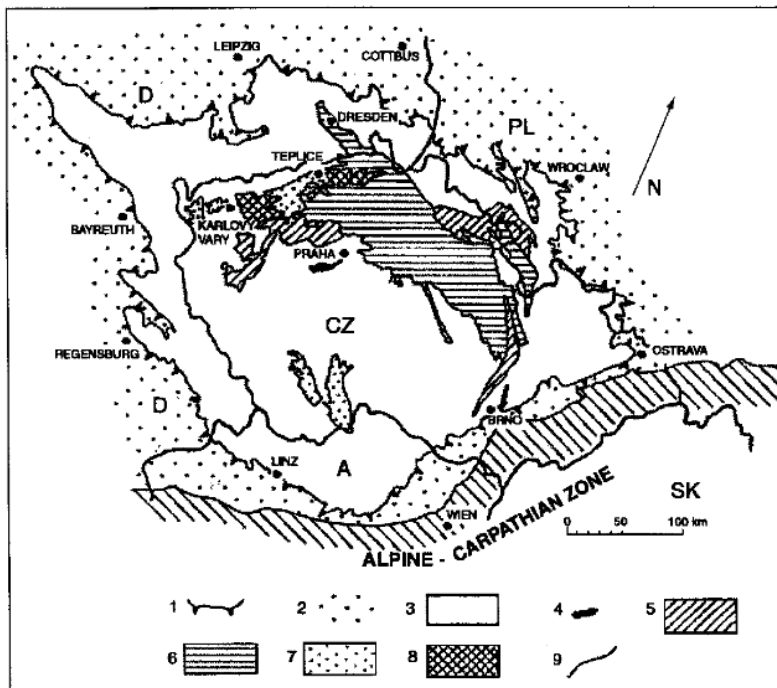
Pozorujeme zde hydraulicky nezávislé systémy a regionální systémy, umožňující globální proudění podzemních vod. Dosahuje mocnosti stovek až tisíců metrů. Nedochází k výraznému poklesu propustnosti s hloubkou. Výrazná hloubka zásahu puklin umožňuje vznik minerálních termálních vod.

Svrchní zvětralinová zóna dohromady se střední puklinovou zónou obvykle tvoří přípovrchový kolektor. Při velkém zjednodušení dobře odráží zemský povrch a hydrologická a hydrogeologická povodí jsou totožná. Díky větší propustnosti se přípovrchový kolektor nejvíce podílí na podzemním odtoku, proto se v tomto kolektoru nachází naprostá většina jímacích objektů. Pokud dochází k dostatečné dotaci pro infiltraci, hladinu podzemní vody pozorujeme nehluboko, do několika metrů pod terénem, a proto je tento kolektor vhodný pro individuální zásobování pomocí kopaných či vrtaných studní. Typickým příkladem je situace v jihočeském krystaliniku, viz Tab. 1. Větší hloubku pozorujeme pouze v mocnějších a dobře propustných zvětralinách a v karbonátových polohách. (Krásný 2012a)

Hloubka ustálené hladiny	Procento vrtů
<2 m	63 %
2-5 m	14 %
5-10 m	9 %
>10 m	4 %
vrtý s přetokem	10 %

Tab. 1. *Hloubka ustálené hladiny podzemní vody ve vrtech v krystaliniku j. Čech podle údajů ze 183 vrtů, provedených většinou do hloubek 30-40 m (Krásný 2012a)*

1.3 Hydrogeologický masiv na území České republiky



Obr. 1. Popis pozice Českého masivu 1) vnější hranice Českého masivu 2) po-variské usazeniny na vnější straně Českého masivu 3-4 základ Českého masivu intenzivně zvrásněný variskou tektonogenezí 3) krystalické, proterozoické a paleozoické převážně nekarbonátové horniny hydrogeologického masivu 4) silurský a nebo devonský krasovějící vápence 5-8 po-variský pokryv Českého masivu 5) permokarbonská pánev 6) Česká křídová pánev 7) křídové pánve v jižních Čechách a tercierní pánve 8) tercierní vulkanické horniny 9) státní hranice. (Krásný 1999 přeloženo)

Hydrogeologický masiv na území Českého masivu tvoří velmi různorodé horniny z hlediska petrografie i stáří. Horniny hydrogeologického masivu pokrývají 68 % plochy České republiky a nachází se v nich přibližně 70 % zásob podzemní vody v Českém masivu, viz Tab. 2. Součástí masivu jsou horniny krystalinické (vyvřelé a metamorfované) a silně zpevněné proterozoické a paleozoické horniny; vyvřelé horniny od granitů až po bazické horniny, metamorfované horniny, obsahující různé typy rul, fylitů, granulitů atd. a sedimentární horniny, především reprezentované pískovci, drobami a slepenci. Jejich petrografie ani stáří se až na výjimky (např. kyselé horniny) neprojevují v rozdílných hydrogeologických poměrech. Regionální hodnoty převládající transmisivity a permeability jsou závislé taktéž na klimatických podmínkách (podnebí, teplotě, vertikální zonalitě). (Krásný 1999, 2002)

Hydrogeological environment, unit	Area (km ²)	Long-term mean groundwater resources (m ³ /s)	Percentage of area (of the Bohemian Massif in the Czech Rep.)	Percentage of groundwater resources (of the Bohemian Massif in the Czech Rep.)
Crystalline rocks	34,971	109.3	52.7	61.1
Strongly cemented deposits*)	9,818	18.2	14.8	10.2
Permo-Carboniferous Basins	4,592	11.2	6.9	6.3
Bohemian Cretaceous Basin	12,859	34.0	19.4	19.0
Other Cretaceous and Neogene Basins	3,003	3.2	4.5	1.8
Tertiary volcanics	1,126	2.8	1.7	1.6
Bohemian Massif in the Czech Republic	66,359	178.7	100.0	100.0

*) Early Palaeozoic and Proterozoic age (including Moravian Karst and Bohemian karst extending <1%)

Note: Quaternary deposits are included in the respective hydrogeological environment (unit)

Tab. 2. Dlouhodobé průměry zásob podzemní vody v rozdílných hydrogeologických jednotkách Českého masivu v rámci České republiky (Krásný 1999)

2. Faktory ovlivňující vydatnost

Mocnost přípovrchového kolektoru v České republice nepřesahuje většinou několik desítek metrů. Propustnost se s hloubkou zpravidla významně zmenšuje, a ve spodní zóně je proto o mnoho nižší.

Vyšší transmisivita byla pozorována zejména ve spojení s velkým stupněm zvětrávání a propustnosti kvartérního pokryvu. Obzvláště v údolích a na území s kvartérním pokryvem můžeme díky homogenizačnímu efektu kvartérních uloženin sledovat menší variaci transmisivity.

Prostředí hydrogeologického masivu je většinou charakteristické pro chaotické lokální změny bez velkých regionálních variací trendu horizontální permeability a transmisivity. Na území velmi deformovaných tektonických zón nebo vysoko propustných pásů podél údolí řek pozorujeme významnou variaci rozsahu transmisivity, někde téměř o jeden řád (např. na jihu Čech v silně deformovaných tektonických zónách pozorujeme transmisivitu mezi 40 a 90 m²/d. (Krásný 2012a)

2.1 Tektonika

Důležitým faktorem ovlivňujícím transmisivitu je tektonika. Z regionálního pohledu pozorujeme vztah mezi intenzitou neotektonické aktivity a transmisivity. Nižší převládající transmisivitu pozorujeme především v poměrně rovných územích s menším množstvím neotektonické aktivity, což v českém kontextu představuje většina pohoří. Oproti tomu na území s výraznou neotektonickou deformací pozorujeme vyšší převládající transmisivitu. Tento rozdíl může být až v rozmezí jednoho řádu z hlediska regionálního pozadí transmisivity. (Krásný 1999)

2.2 Vliv morfologie

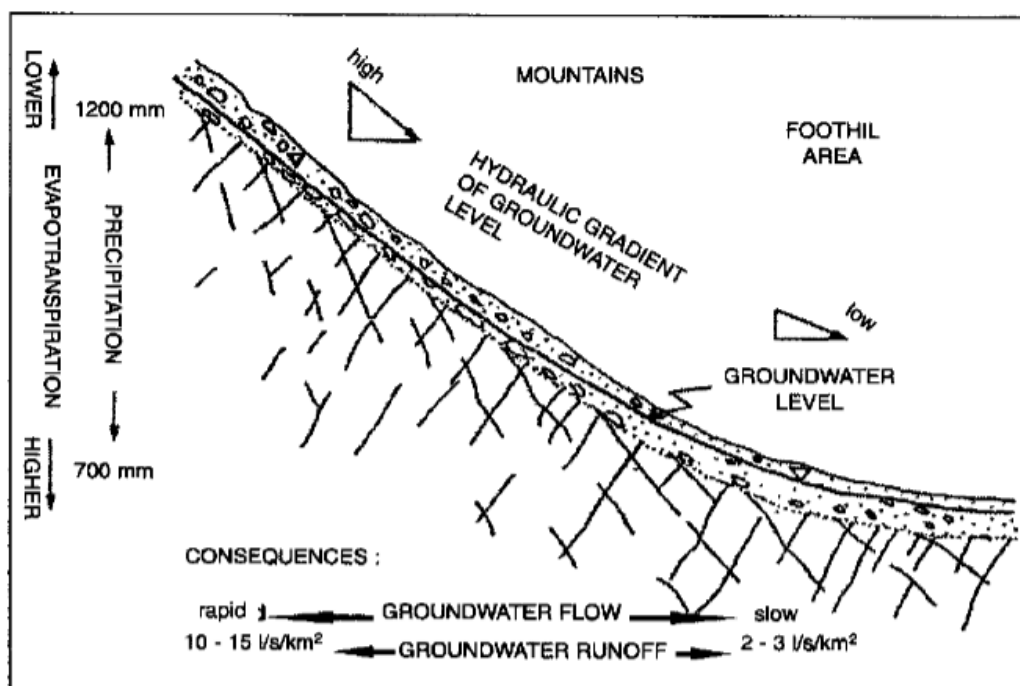
Prostředí hydrogeologického masivu není zcela homogenním prostředím z hlediska transmisivity: je spíše komplexním systémem pásů podél údolí. Na velké části území hydrogeologického masivu pozorujeme transmisivitu v zónách infiltrace (především v údolích) dvakrát až třikrát vyšší než v zónách drenáže (především ve svazích).

Největší zdroje podzemní vody v hydrogeologickém masivu se nacházejí na horách (viz Tab. 3), a to především díky morfologii a příznivému klimatu. Pozorujeme zde relativně konstantní dotace podzemní vody pravidelnými srážkami. (Krásný 1999)

Morfologická (hypsometrická) jednotka	Přibližná nadmořská výška (v m)	Průměrné roční srážkové úhrny (mm)	Průměrný roční výpar (odhad v mm)	Podzemní odtok (přirodní zdroje podzemních vod) (l/s km ²)
Pohoří	1 200 – 1 600	1 000 – 1 200	450	10 – 15
Nižší pohoří	800 – 1 200	800 – 1 000	↑	7 – 10
Podhorské oblasti	300 – 800	600 – 800	↓	3 – 7
Roviny, nížiny	méně než 300	500 – 600	650	1 – 3

Tab. 3. Vztah velikosti podzemního (základního) odtoku a klimatických a hypsometrických poměrů v tvrdých horninách Českého masivu. (Krásný 2008)

V údolích v prostředí krystalinika byly bez výrazného ovlivnění petrografií prokázány vyšší převládající hodnoty transmisivity než na svazích a elevacích, viz Obr. 2. Hlavní příčinou je tektonická predispozice údolí a terénních depresí. Současná říční síť byla vytvářena erozí, která vznikala především v narušených a porušených horninách.

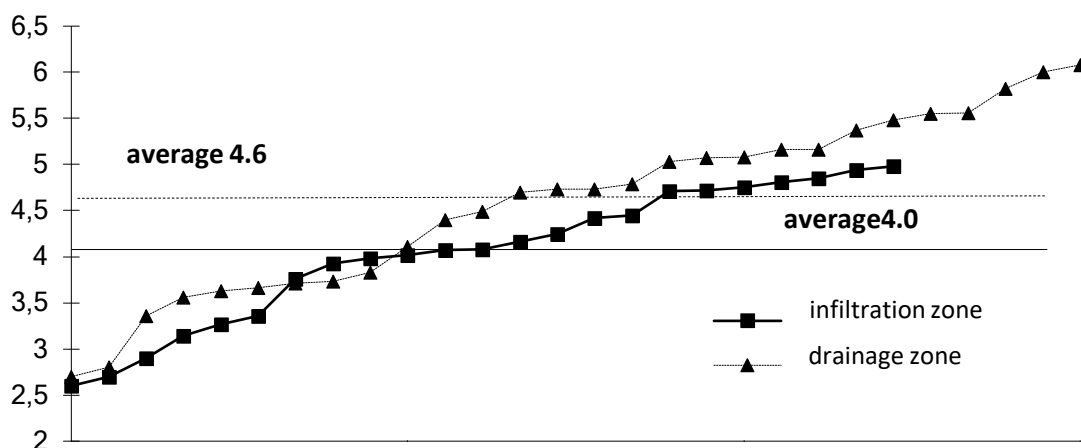


Obr. 2. Schéma tvorby přírodních zdrojů podzemních vod v přípovrchovém kolektoru hydrogeologického masivu v klimatických podmínkách mírného pásma. Převládající transmisivita a storativita přípovrchového kolektoru je v regionálním měřítku uvažována jako víceméně shodná. (Krásný 1999)

V území infiltrace dochází k postupné kolmaci puklin i průlin, jemné součástky, nacházející se v půdě v zóně zvětralin a v nenasycené zóně, jsou vertikálně vyplavovány do větších hloubek. Oproti tomu na území drenáže dochází k opačnému jevu, kdy jsou jemné části vyplavovány směrem k povrchu. Na svazích také většinou bývá hladina podzemní vody více zakleslá než v údolí. (Krásný 2012)

Při velkých průzkumech prostředí hydrogeologického masivu může docházet ke zprůměrování anomálií, které jsou klíčové pro jeho detailnější popis, potřebný k vodohospodářským účelům. Z průzkumu týmu doc. Hrkala v lokalitě Hracholusky pozorujeme jednoznačný vliv morfologie na index transmisivity. Hracholusky představují lokalitu s velkým rozpětím velikosti transmisivity. Několik vrtů vykazuje hodnoty transmisivity $1 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$, oproti tomu je poměrně malé regionální pozadí transmisivity: $5 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$. (Hrkal 1997)

Transmissivity index Y in the drained and infiltration areas in the vicinity of Hracholusky



Graf 1. Index transmisivity Y na území drenáže a infiltrace na lokalitě Hracholusky. (Hrkal 1997)

Průměrná transmisivita vrtů, nacházejících se v údolí, je 4,6. Oproti tomu index transmisivity ve svazích dosahuje maximálně pouhých 4,0 (viz Graf 1). Indexu 5,0, který je zajímavý z hlediska vodního managementu vhodného pro zásobování menší obce, dosahují vrty pouze v zóně drenáže. V lokálním měřítku na lokalitě Hracholusky je vliv nadmořské výšky oproti morfologii výrazně menší.

V oblasti drenáže se nacházelo 91 % všech vrtů s indexem transmisivity vyšším než 5,0. U mělkých vrtů v centrálních částech údolí byly však také pozorovány negativní vrty, které pravděpodobně díky své malé hloubce nebyly schopny těžít z hlubších tektonických puklin v centrální části údolí.

Průzkum potvrdil předpoklady o tom, že dominantní roli v míře propustnosti hraje morfologická a hydrogeologická pozice. Vrty, nacházející se v zóně drenáže především v údolích, ukazují řádově vyšší hodnoty transmisivity než zóny infiltrace především ve svazích. (Hrkal 1997)

2.3 Pokles s hloubkou

Většina podzemní vody, jež se využívá pro individuální zásobování, pochází ze svrchní zvětralinové zóny hydrogeologického masivu. K prudkému poklesu převládající propustnosti s narůstající hloubkou dochází ve střední puklinové zóně. Pokles permeability s hloubkou je přisuzován zmenšení počtu a velikosti puklin v důsledku nárůstu tlaku. Pokles permeability není všude stejně rychlý, obzvláště ve větších hloubkách (>50 m). Vysoká permeabilita v mělkých hloubkách může být přisuzována většímu vlivu zvětrávání či exfoliace. Taktéž na pukliny ve stejné hloubce, ale s rozdílnou orientací působí tlak různě. Mnoho studií po světě ukazuje, že pukliny s vyšší transmisivitou se lokálně nacházejí v podobě klastrů v téměř horizontální poloze a jsou součástí rozsáhle sítě méně propustných puklin. (Singhal 2008)

Během průzkumu propustnosti granitoidů Šluknovského výběžku u vrtů hloubených bezjádrově většinou příklepovou metodou bylo pozorováno, že propustné pukliny se nacházejí především do hloubek 15 až 20 m. U granitoidů s velkým počtem žilných hornin se vyskytuje daleko více puklin a vydatnost takovýchto vrtů je řádově vyšší. Dosud provedené přítokové zkoušky na vrtech nasvědčují, že k rychlejšímu poklesu dochází u ortometamorfitů a granitoidů než u parametamorfitů. Zřejmě to odráží jejich větší náchylnost ke zvětrávání. (Krásný 2012a) Kapacita kolektorů v prostředí granitů může být velmi ovlivněna lamprofylovými dajky, které bývají v hloubce velmi zvětralé, vytvářejí bariéry mezi sousedními bloky a často překračují geomorfologická povodí. Čím blíže se dajky v granitech nacházejí (nemají velký vliv, pokud jsou úzké jen několik centimetrů), tím menší je šance mít kvalitní kolektor. Přestože může mít poměrně dobrou hydraulickou vodivost, kapacita kolektoru může být malá. (Shrikant Daji Limaye 2009)

Za optimální hloubku studně je považována hloubka mezi 50 až 100 m, viz Tab. 4. Litologie nemá výrazný vliv na vydatnost, ale mírně vyšší permeabilitu pozorujeme u hrubozrnných magmatických hornin. Zvětralé granity mají většinou nižší permeabilitu v důsledku tvoření sekundárních jílových minerálů. Důležitý vliv na vydatnost mohou mít taktéž: režim srážek a jejich intenzita, velikost oblasti drenáže, vzdálenost od nejbližší vodní plochy nebo blízkost hlavních puklin a zlomů. Významnou roli má taktéž topografie a geomorfologie. Doba setrvání vody se pohybuje v rozmezí od několika let ve zvětralinové zóně až po tisíce let v nejhlubší masivní zóně. (Singhal 2008)

Region	Rock type	Optimum depth (m)
Cyprus	Gabbro	170-200
Satpura hills, India	Granite gneiss and schist	45-60 and 45-75
Northern Carolina, USA	Granite	75-90
Kararvoja, Uganda	Gneiss and schist	30-92
Zimbabwe	Greenstone and gneiss	40-80
Norway	Granite and gneiss	40-60

Tab. 4. *Optimální hloubka studní v rozdílných regionech a horninách. (Singhal 2008)*

3. Vodní zdroj

Z pohledu legislativy (vyhláška č. 369/2004 Sb.) je zdroj podzemní vody dynamickou složkou podzemních vod. Rozlišujeme přírodní, indukované a umělé zdroje pitné vody:

a) Přírodní zdroje podzemní vody (přírodní obnovitelné zdroje podzemní vody) – množství vody za přírodních poměrů dlouhodobě doplňované infiltrací do hydrogeologického kolektoru nebo zvodněného systému.

b) Indukované zdroje podzemní vody – množství podzemní vody, která přitéká do zvodněného systému při jeho využívání v důsledku změn piezometrických poměrů na jeho hranicích.

c) Umělé zdroje podzemní vody – množství podzemní vody, záměrně nebo mimovolně doplňované do hydrogeologického kolektoru nebo zvodněného systému v důsledku antropogenní činnosti (např. umělá infiltrace, úniky z potrubí, infiltrace přebytků vody při zavlažování).

Za zásoby podzemních vod považujeme objem podzemní vody v hydrogeologickém kolektoru, který je dán efektivní porozitou a pružnými vlastnostmi horninového prostředí kolektoru. Dále je dělíme na statické a pružné:

a) Statické (geologické) zásoby podzemní vody – objem gravitační vody ve zvodněném systému; v případě kolektorů svolnou hladinou odpovídají statické zásoby efektivní porozitě.

b) Pružné zásoby podzemní vody – objem vody, která se uvolní po snížení kolektorového tlaku (piezometrického napětí) ze statické zásoby ve zvodněném kolektoru v důsledku pružnosti kolektoru, tj. v důsledku zvětšení objemu akumulované vody v souvislosti s její objemovou stlačitelností a v důsledku zmenšení pórového prostoru kolektoru.

Využitelné množství podzemních vod představuje množství podzemní vody, které je možné racionálně využívat z hydrogeologického kolektoru nebo zvodněného systému, aniž nastane negativní ovlivnění podzemních vod anebo okolního životního prostředí. Při stanovení využitelného množství podzemních vod se po celkové analýze hydrogeologických poměrů vychází z přírodních (popř. indukovaných a umělých) zdrojů podzemní vody, zásob podzemní vody, hydraulických parametrů horninového prostředí a kvality podzemní vody, s přihlédnutím k ekologické situaci a k ekonomickým, technickým a právním aspektům.

Za odběr podzemní vody ze zdroje určeného pro individuální zásobování domácnosti pitnou vodou se považuje odběr podzemní vody za takovým účelem nakládání s vodami, který je uveden v platném povolení k odběru podzemní vody.

Podzemní vody nejsou ve vlastnictví příslušného pozemku. Studna je stavba, na kterou se vztahují ustanovení stavebního zákona (č.83/1998 Sb.), a musí být povolena vodoprávním úřadem. Na základě vodního zákona (č. 254/2001 Sb.) je studna vodním dílem, a k jejímu provedení, změně či zrušení je nutné povolení vodohospodářského úřadu; taktéž je nutné žádat o povolení k odběru vody. Všechny vrtané studny s hloubkou větší než 30 m a šachtové studny jsou považovány za hornická díla: řídí se horním zákonem a k jejich budování je nutné povolení obvodního báňského úřadu. Stavbu studní mohou vykonávat pouze osoby s oprávněním od báňského úřadu. Podle vyhlášky č.137/1998 Sb. studna musí být umístěna tak, aby odběrem vody nebyla snížena vydatnost okolních zdrojů.

Dle vyjádření Ministerstva životního prostředí ze 12. 10. 2018 bylo velkým problémem zřizování studní bez povolení. Zákon lidé obcházel tím, že si nechali vybudovat průzkumný hydrogeologický vrt, s jehož vybudováním se nepojí žádné povoloovací procesy. Aby bylo možné z průzkumného vrtu odebírat podzemní vodu, je nutné žádat o povolení na stavbu studny a povolení na odběr podzemní vody. V důsledku nelegálního odebírání vody z průzkumných vrtů však mnohdy docházelo k poklesu hladiny podzemní vody na sousedních parcelách. Prokázání jednoznačné viny a domožení se náhrady škody u soudu je velmi obtížné. Od 1. 1. 2019 vešla v účinnost novela vodního zákona, která zavádí povinnost žádat o povolení před započítím práce na průzkumném vrtu příslušný hospodářský úřad nově i pro vrty mělké než 30 metrů.

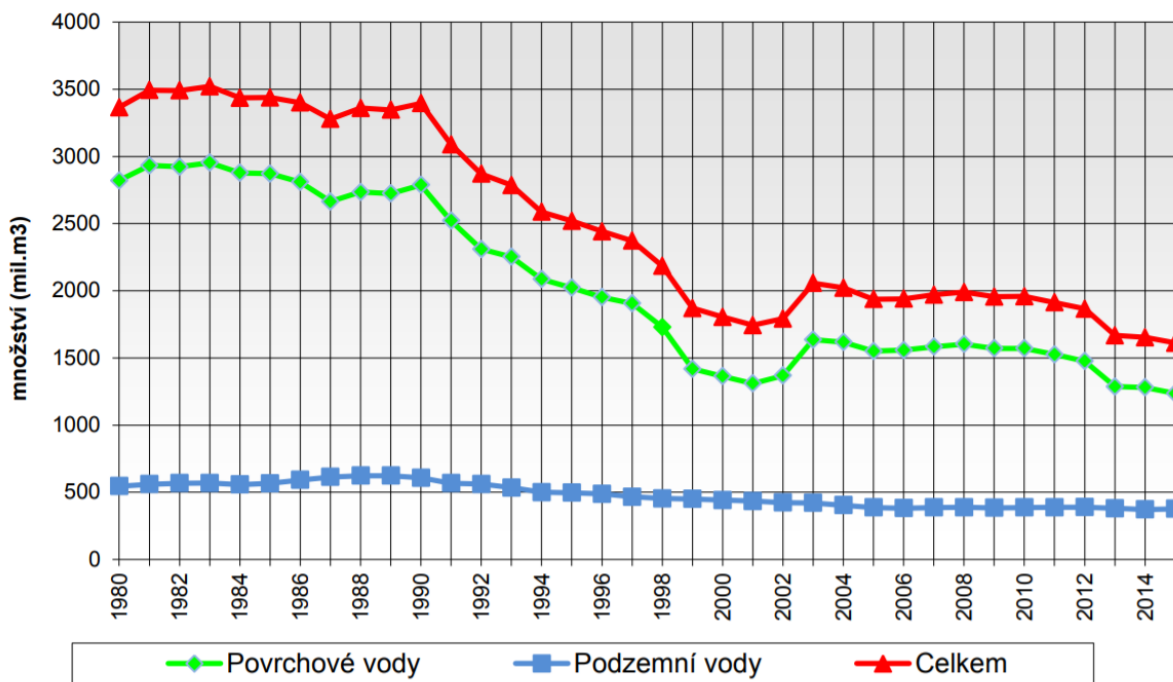
3.1 Typy studní

Pro individuální zásobování se téměř výhradně využívají dva typy technického provedení studní: studna šachtová kopaná a studna vrtaná. Kopané studny zpravidla jímají mělkou podzemní vodu, která se vyznačuje výraznou nestálostí chemismu, proto je jejich využívání na ústupu. Oproti tomu vrtané studny jímají vodu z hlubších kolektorů: zde má jímaná voda stálejší chemismus a dosažitelnou vydatnost vyšší než $1 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1}$. (Hazdrová 1985a)

Studna šachtová kopaná je vyztužena pláštěm ze skruží či zdiva minimálního průměru 0,8 m u domovních studní, u veřejných pak 1 m.

Vrtaná studna se hloubí buď rotačním nebo nárazovým způsobem. Profil musí mít minimálně 100 mm až 130 mm, v podmínkách České republiky jsou však tyto průměry zpravidla nedostatečné a obvykleji se setkáváme s průměry 169 mm až 225 mm. K potřebné akumulaci podzemní vody zde dochází díky velké hloubce studní, díky níž je v nich dosaženo mnohem většího vodního sloupce. Vrt vede několik metrů až desítek metrů pod hladinu podzemní vody. Je zde daleko větší riziko špatného stavu technického stavu výstroje, který se může negativně projevit na využitelnosti studny (např. kolmatace či inkrusty). (Datel, Hrabánková, Pištora 2016; Kožíšek 1998)

Podzemní voda je uložena v prostředí hydrogeologického masivu jak ve svrchní zvětralínové, tak ve střední puklinové zóně, nejvíce však proudí v puklinách. Pro vydatnost zdroje je klíčové vzájemné propojení puklinového systému. Při hloubení studní je nutné klást důraz na sklon puklin: vertikální pukliny je daleko obtížnější protnout vertikálním vrtem nežli vrtem ukloněným nebo horizontálním. Ideální je, když jsou přítomné vertikální, horizontální i šikmé pukliny a když jejich vzájemné propojení vede do dostatečné hloubky. Taktéž důležitým faktorem je co nejmenší výplň puklin jílem či jinými nepropustnými minerály. Při hloubení vrtu je klíčové zaznamenávat litologii úrovně puklin a nálezy podzemní vody. (Chambel 2012)



Graf 2. Vývoj odběrů podzemní a povrchové vody od roku 1980 do roku 2015, zdroj: VÚV

(Koncepce ochrany před následky sucha pro území České republiky

[https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/news_170724_sucho/\\$FILE/koncepce_sucho_material.pdf](https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/news_170724_sucho/$FILE/koncepce_sucho_material.pdf), 3.3 2019)

Od roku 1960 docházelo ke konstantnímu zvyšování celkových odběrů vody na území České republiky. Odběry pro energetické a průmyslové účely byly přibližně konstantní, na probíhajícím růstu se tak podílely především veřejné vodovody. Nejvyšších celkových odběrů bylo dosaženo v osmdesátých letech, a to přibližně 3500 mil. m³/rok. Od devadesátých let dochází k výraznému poklesu odběrů (viz Graf 2) zejména u veřejných vodovodů v důsledku ekonomických změn a zvyšování cen energie a vody. V celkových odběrech tvoří podzemní vody přibližně 20 %. (Krásný 2012b)

Spotřeba pitné vody v České republice je ve srovnání s ostatními státy Evropské unie poměrně nízká. Česká republika má čtvrtou nejnižší spotřebu na osobu ze států EU. Velkým problémem pro retenci podzemních vod může být fakt, že podíl velikosti zemědělské plochy na majitele je největší z celé

Evropské unie. Menší biodiverzita a hospodaření pomocí těžkých zemědělských strojů má za následek výrazně sníženou schopnost retence. Aplikování jakýchkoliv opatření s ohledem na lepší možnosti zasakování vody na zemědělských plochách je vzhledem k faktu, že většina zemědělců si půdu pouze pronajímá, značně omezená, protože pro každou změnu v užívání plochy musí zemědělec žádat o povolení majitele, což značně zpomaluje proces implementace a integrace vodohospodářských opatření. (Sedmidubský, Grmelová 2018)

V prostředí hydrogeologického masivu se na území České republiky pro odběr podzemní vody využívá především přípoверхové zóny, díky převládající transmisivitě pohybující se v třídách mezi III a IV (čerpanou vodou lze zásobovat pouze menší obce, továrny či zemědělské podniky).

Využitelné zdroje podzemní vody v krystaliniku jsou vázány na přípoверхovou zónu a její rozpojení a rozpukání. Tektonické postižení hornin je nerovnoměrné a může probíhat do rozdílných hloubek. V přípoверхové zóně se pomocí přímé infiltrace dešťových srážek vytvářejí poměrně nesouvislé zvodně. Hladina podzemní vody v krystaliniku má v průběhu roku cyklický charakter a je závislá na množství srážek. Část podzemní vody sestupuje hlouběji zasahujícími puklinami podél žilných struktur a zapojuje se do hlubšího proudění podzemní vody ve směru hlavních zlomových systémů. Hladina podzemní vody mnohdy kopíruje terénní nerovnosti a je drénovaná erozními bázemi. (Hazdrová 1985b)

Zachycení pramenních přelivů pomocí zářezů, pramenních jímek či štol slouží pro lokální nenáročnou spotřebu při kvalitní údržbě jímacích objektů. Tyto objekty jsou především budovány v horských masivech. (Hazdrová 1985a) Přírodní zdroje v horských oblastech hydrogeologické provincie Českého masivu dosahují průměrných maxim 15 l/s km², oproti tomu minima v nízko položených rovinatých oblastech s vysokou evapotranspirací se pohybují pod 1 l/s km², viz Tab. 3. (Krásný 1999)

Nevýhodou jímacích zářezů je velké kolísání výtoku v závislosti na aktuálním množství srážek. Doba zdržení mělké podzemní vody je pouze v řádu prvních týdnů či dnů. Jejich odolnost lze zvýšit pomocí prodloužení délky jímacích zářezů, což je velmi nákladné, nebo například optimalizací vodovodního systému, a to možností dostatečné akumulace v době minimálních průtoků v noci nebo v jiné době minimálních odběrů. (Datel, Hrabánková, Pištora 2016)

Pro hydrogeologický masiv je typická infiltrace na celé ploše přípoверхového kolektoru. Nejpriznivějším prostředím pro infiltrace jsou osypy a suťová a balvanová pole; naopak k omezení infiltrace dochází při výskytu jílových zvětralin ve svrchní části přípoверхového kolektoru nebo antropogenní vlivy jako zástavba či dlažba. Pramenní vývěry se nacházejí zpravidla na dně terénních depresí. (Hazdrová 1984)

Vydatnost zdrojů podzemní vody je statisticky větší na územích, kde je zvětralinový pokryv (alterity+puklinová zóna nebo pouze puklinová zóna) zachován a není erodován. Zvětralinový pokryv tak má vliv nejen na retenční kapacitu prostředí, ale i transmisivitu prostředí. (Lachassagne 2008)

Pokud nedojde k erozním jevům, nebo jsou málo intenzivní, zůstává dostupná mocnější zvětralinová zóna, díky čemuž je k dispozici mocnější kolektor, který je i propustnější. Opačným, krajním případem je Skandinávie, kde ledovec erodoval zvětralinový plášť až na zdravou (nejčastěji) žulu. (Hrkal ústní sdělení 2019)

Akumulační schopnosti hydrogeologických masivů jsou značně omezené. Odtok podzemní vody z prostředí hydrogeologického masivu však představuje významnou dotaci povrchových toků. Dostatečná hladina povrchových toků je mimo spousty klíčových faktorů důležitá z pohledu odpadního hospodářství, obzvláště vzhledem k absenci legislativy povolující zásakování odpadních vod. (Krásný 2008)

3.2 Historický vývoj

V padesátých letech 20. století se na odběru podílelo individuální zásobování obyvatelstva pomocí veřejných a soukromých studní padesáti procenty a podzemní voda zde představovala 80 % celkového objemu odebírané vody. V současnosti individuální zásobování využívá přibližně 5 % obyvatelstva. (Jásek 2000; Krásný 2012b)

Místní vodní zdroje při zásobování obyvatelstva

Ze statistik ČSU pro rok 2017 (viz Tab. 5) vyplývá, že vodou z veřejných vodovodů je zásobováno 94,7 % obyvatel České republiky. Nejvyšší podíl individuálního zásobování je ve Středočeském a Plzeňském kraji, kde procento obyvatel nezásobených veřejnými vodovody přesahuje 10 %. V celé České republice je z individuálních zdrojů zásobováno přibližně 557 tisíc obyvatel.

WATER SUPPLY SYSTEMS				
Území, kraj	Střední stav obyvatel (osoby)	Obyvatelé zásobovaní vodou z vodovodů (osoby)	Podíl obyvatel zásobovaných vodou z vodovodů (%)	Délka vodovodní sítě (km)
Territory, region	Mid-year population	Population supplied with water from water-supply systems (WSS)	Share of popul. supplied with water from WSS	Length of water supply systems
	(persons)	(persons)	(%)	(km)
Česká republika	10 584 390	10 027 377	94,7	78 584
Czech Republic				
Hl. město Praha	1 284 604	1 284 604	100,0	3 635
Středočeský	1 343 804	1 161 172	86,4	10 984
Jihočeský	638 950	579 532	90,7	6 358
Plzeňský	579 081	492 150	85,0	4 481
Karlovarský	296 115	296 115	100,0	2 260
Ústecký	820 854	802 731	97,8	6 715
Liberecký	440 790	407 140	92,4	3 904
Královéhradecký	550 689	520 476	94,5	5 182
Pardubický	517 188	505 268	97,7	4 854
Vysočina	508 661	488 848	96,1	5 819
Jihomoravský	1 179 476	1 123 472	95,3	7 839
Olomoucký	633 260	590 619	93,3	4 702
Zlínský	583 069	568 527	97,5	4 088
Moravskoslezský	1 207 849	1 206 723	99,9	7 765

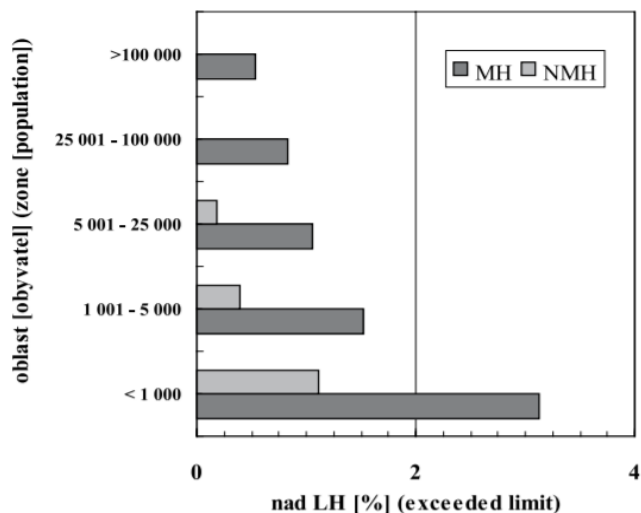
Tab. 5. Vodovody – počty, délky sítě a zásobování obyvatel, Zdroj ČSU 2018
(<https://www.czso.cz/documents/10180/91605333/2800211901.pdf/e2b0df82-53b3-4551-a407-561b09378dbc?version=1.0, 1.4.2019>)

Dle posledního publikovaného odhadu z roku 1989 je na území ČR více než 750 tisíc soukromých studní. (Chalupa 1989) Od roku 1989 stoupl počet obyvatel zásobovaných pitnou vodou o více než 5 %, je však velmi pravděpodobné, že počet studní příliš neklesl vzhledem k nárůstu cen vodného; taktéž velké množství obyvatel využívá individuálního zásobování na rekreačních objektech. (Kožíšek 2011; Kožíšek, Kratzer 1999)

3.3 Kvalita

Kvalita podzemních vod hydrogeologického masivu je dostačující k zásobování pitnou vodou. Avšak mělká podzemní voda je velmi přístupná pro znečištění. Bodové znečištění se může objevovat v místech zemědělské či průmyslové činnosti. Problémovým aspektem je taktéž fakt, že na mnoha územích hydrogeologického masivu probíhala těžba nerostných surovin (např. Kutnohorsko, Jáchymovsko). Kvalitu vody taktéž ovlivňuje industrializace a s ní spojené jevy, jako například kyselé deště. (Krásný 2012b)

Kvalita vody v soukromých studních v ČR není povinně sledována, a proto není k dispozici aktuální přehled, jak situace na národní či regionální úrovni vypadá. Poslední alespoň trochu reprezentativní pokus popsat tuto oblast pochází z devadesátých let, kdy byly shromážděny výsledky z více než tři tisíc soukromých studní a kdy se ukázalo, že voda asi v 70 % případů nevyhovovala některému z hygienicky závažných ukazatelů (s limity typu nejvyšší mezní hodnoty (NMH)).



Graf 3. Závislost jakosti pitné vody, vyjádřená jako procento překročení limitních hodnot, na velikosti zásobované oblasti. Česká republika, rok 2010. (Kožíšek 2011)

Obecně lze konstatovat (viz Graf 3), že čím menší je zásobovaná oblast, tím horší je v průměru kvalita dodávané vody. Hlavními důvody jsou nižší úroveň právní regulace, s čímž souvisí nedostatečná ochrana těchto zdrojů (ochranná pásma se podle vodního zákona stanovují pouze pro zdroje produkující více než 10 000 m³), nízká povinná četnost rozborů, nedostatek odborných znalostí a finančních zdrojů. (Datel, Hrabánková 2016; Kožíšek 2011)

4. Socioekonomické faktory

Prostředí hydrogeologického masivu bylo dlouhou dobu mimo hlavní pozornost vodohospodářů a hydrogeologů navzdory tomu, že mnoho hustě obydlených oblastí se nachází právě v tomto prostředí. Malé vodní zdroje v prostředí hydrogeologického masivu jsou mnohdy jediným zdrojem pitné vody, stejně jako zdrojem pro zavlažování polí, která představují jediný zdroj obživy pro miliony obyvatel.

Od sedmdesátých let minulého století v Indii a mnoha dalších zemích docházelo ke státní podpoře budování nových studní pro zavlažování, což mělo na mnoha územích za následek velké přečerpávání zdrojů podzemní vody.

Rozvoj v oblasti vodního hospodářství je v mnoha rozvojových zemích naprosto klíčovým obzvláště na územích se semiaridním až aridním podnebím a prostředím hydrogeologického masivu. Dostupnost vody pro domácnosti a zavlažování je naprosto zásadní pro ekonomickou a sociální stabilizaci venkova a alespoň částečný pokles množství obyvatel stěhujících se do velkých měst. Vytváření udržitelných systémů pro umístování kopaných a vrtaných studní a plánování jejich provozu pro dlouhou udržitelnost je jedním z hlavních úkolů pro mnoho hydrogeologů a vodohospodářů v rozvojových zemích.

Dotace podzemní vody přichází především během deštivých období. V Indii a ostatních asijských zemích se obnova pohybuje mezi 3 % až 15 % objemu kolektoru. Procenta závisejí na množství vegetace, evaporaci z mokré půdy, topografii atd. Výhodnou vlastností nízké permeability prostředí hydrogeologického masivu je fakt, že jsou díky ní dostupné menší objemy vody, dále využitelné např. k pití, v kopaných či vrtaných studních v údolích. Nízká permeabilita prostředí dopomáhá k pomalejšímu odtoku, a tak reguluje dostupnost vody v individuálních studních. (Limaye 2009)

4.1 Vzájemné ovlivňování studní a komunitní vodohospodaření

Mezi nejaktivnější průkopníky teoretického i praktického využívání prostředí „hard rocks“ patří Indie, jejíž odborníci byli velmi aktivní v komisi Hard rocks při IAH. V rámci této mezinárodní organizace v devadesátých letech 20. století dokonce založili vlastní subkomisi pro jihovýchodní Asii a přispěli k rozvoji místní aplikované hydrogeologie. Proto jsem pro tuto práci vybral shrnutí aktuálních poznatků z indického subkontinentu jako zvláštní modelovou studii. Prostředí hydrogeologického masivu pokrývá $\frac{2}{3}$ území státu Indie. Počátek tradice budování velkých zavlažovacích projektů v Indii se nachází ještě za vlády Britů, zhruba od roku 1810. Indie v těchto snahách pokračuje ve jménu sociálního státu, ale také kvůli komerčním účelům. Stát nahradil lokální vesnické komunity či významné majitele půdy v hlavní roli vodního hospodářství. Indické gravitační zavlažovací systémy patří k největším na světě a vyznačují se velkou mírou centralizace.

Elektrická energie zdarma pro čerpání podzemní vody za účelem zemědělství způsobila obrovské navýšení čerpání podzemních vod. Od roku 1950 došlo ze 150 tisíc dieselových a elektrických pump

k nárůstu na 19 milionů a v roce 2000 se na území státu Indie čerpalo nejvíce podzemní vody na světě. (Government of India 2005; Shah 2012).

Docházelo k organickému navyšování počtu studen. Vodní hospodaření zde probíhalo jen na základě intuice vodohospodářsky nevzdělaných farmářů. Na velký nárůst zavlažování podzemní vodou trpěli především farmáři, hospodařící na území hydrogeologického masivu, a to kvůli vysokým nákladům na podzemní vodu a jejímu nedostatku v porovnání s vodohospodářsky příznivějším územím. Velkým problémem se pak ukázalo velmi divoké konkurenční prostředí v rychlosti hloubení studní. Mnohdy docházelo ke kompetitivnímu prohlubování studní, což mělo za následek celkové výrazné snížení hladiny podzemní vody. V důsledku této soutěže docházelo k likvidaci menších zemědělců, což vedlo mimo jiné i k nárůstu sebevražd, vzhledem k faktu, že zemědělství je zde pro většinu obyvatelstva jediná možnost obživy. (Shah 2012)

Odpovědí na tuto situaci byla nutnost začít spravovat čerpání podzemní vody na komunitní úrovni.

Docházelo k vytváření lokální komunity na východě Radžastánu, kde za pomoci externího odborníka vznikly komunity stovek vesnic se společnou vodohospodářskou samosprávou. Velmi oblíbenou metodou pro zvětšení čerpaného objemu vody bylo vrtání několika horizontální vrtů, jednak propojující jednotlivé studny a také zvětšující napojení na pukliny přinášející podzemní vodu.

Regulace se může zaměřit buď na stranu omezování čerpaného množství, nebo na nucení zemědělců k přispívání na zlepšení zdroje. Dobrým příkladem regulace čerpaného množství je vodní hospodářství v Andra Pradesh, kde došlo pod vedením neziskových organizací k propojení 700 obcí ke společné kooperaci a k monitoringu zdrojů podzemní vody. Ke stabilizaci situace přispěla také změna v pěstování méně náročných plodin.

Anathka (2013) se zabýval ekonomickými dopady nadměrného využívání zdrojů podzemních vod v prostředí hydrogeologického masivu na území státu Karnata, který se nachází na jihozápadě Indie. Podzemní voda tvoří 55 % vody využívané k zavlažování a téměř 80 % celkové zemědělské výroby je závislých na zdrojích podzemní vody. Sledované území se rozkládá na ploše 20 112 km² a roční úhrn srážek se zde pohybuje mezi 455 a 714 mm. Zemědělství představuje obživu pro 60 % obyvatelstva.

Na základě studie Anathka (2013) víme, že velkým problémem je kumulativní ovlivňování studen, čímž dochází k výraznému snižování výšky podzemní vody. Kumulativní ovlivňování popisuje poměr počtu pump na jeden milion krychlových stop využitelné vody pro zavlažování. Taluk (vesnice) s nejvyšším počtem pump na objemovou jednotku podzemní vody vykazuje významné kumulativní ovlivňování. Indie má tento index kumulativního ovlivňování největší na světě. (Chandrakanth 2015)

Velkým problémem je vzájemné ovlivňování studní (*cumulative well interference*), na něž farmáři odpovídají budováním nových studní. Nicméně navyšování počtu studní, stejně jako zmenšení vzdáleností mezi nimi má za následek prohlubování stávajících i nových studní v důsledku poklesu hladiny podzemní vody. Náklady na prohlubování studní a hloubení nových neustále rostou.

Landholding size (ha)	Madhugiri			
	Total No. of farmers	Av. depth (ft)	Av. cost per well (Rs.)	Av. HP
Marginal farmer (up to 1)	15	490	21,583 (46)	10.3
Small farmer (1.01–3.0)	73	426	22,723 (242)	8.9
Medium farmer (3.01–5.0)	22	360	19,220 (69)	9.2
Large farmer (more than 5.0)	13	393	18,509 (38)	8.7
Total	123	417	21,573 (398)	9.1

Tab. 6. Náklady na vrtání studní vzhledem k velikosti hospodářství farmáře v studované lokalitě Madhugiri. (Anathka 2013)

Nejvyšší dopady má tato konkurenční soutěž na malé farmáře, kteří dříve využívali k zavlažování pouze kopané studny (viz Tab. 6.) Prohlubování vrtaných studen má za následek konstantní snižování hladiny podzemní vody. Výrazným problémem je změna čerpacího režimu za pomoci motorových čerpadel, která výrazným způsobem přispívají k disproporcii rychlosti obnovy a čerpání zdrojů podzemní vody. Pokud nebudou přijata vhodná opatření pro kontrolu přečerpání, bude v semiaridních oblastech v budoucnu docházet k mnohem rychlejšímu poklesu hladiny podzemní vody, a to i při nezměněné rychlosti čerpání. (Janakarajan, Moench 2006)

Particulars	Madhugiri			
	MF	SF	MDF	LF
Proportion of functional wells	40.7	30.4	49.0	67.9
Wells per farm	3.86	2.31	1.34	0.73
Functional wells per farm	0.49	0.70	0.65	0.57
Annual irrigation cost per acre (Rs)	11,357	6,074	4,796	4,530
Water extracted per functional well (acre-inch)	57.4	82.5	48.8	110.8
Number of failed wells per functioning well	1.5	2.3	1.0	0.5

MF marginální farmář, SF malý farmář, MDF střední farmář, LF velký farmář

Tab. 7. Přístupnost zdrojů podzemní vody pro farmáře na studovaném území Madhugiri. (Anathka 2013)

Výsledky studie Anathka (2013) ukazují, že neustálé prohlubování studní vede v dlouhodobém horizontu ke zhoršení hospodářské situace zemědělců. Tato zátěž nerovnoměrně dopadá na farmáře, z nichž jsou nejvíce ohroženi farmáři s velmi malým zemědělstvím (viz Tab. 7). Malí zemědělci (1,5 ha) mohou čerpat vodu maximálně 3-4 hodiny za den oproti velkým farmářům (více než 2 ha), kteří mají 4-6 vrtaných studen, díky čemuž mohou čerpat ze dvou až tří studní simultánně.

1/3 velkých farmářů vlastní téměř 50 % studní v oblasti Madhugiri. U malých farmářů pozorujeme výrazně větší procento vyschlých studní než u velkých. Velcí farmáři nejsou natolik omezeni financemi a jsou schopni si dovolit neustálé prohlubování studní. Předpokládá se, že snížení čerpání a doplnění zdrojů podzemních vod by vedlo k posílení fyzické i ekonomické dostupnosti podzemní vody, a především by stabilizovalo zemědělskou produkci.

Anathka navrhuje několik řešení, spočívajících zejména v započítání negativních externalit do nákladů, zavedení měření odběrů a tlak na pěstování méně náročných plodin a na budování mikro-zavlažovacích systémů. Zájmem veřejné správy by měla být především spravedlnost při rozdělování vodních zdrojů. (Anathka 2013)

5. Diskuse a závěr

Praktické příklady především ze zahraničí nám ukazují, že pro budoucí rozvoj v otázkách zásobování podzemní vodou je nezbytný interdisciplinární přírodovědně-technicko-ekonomický přístup.

Vodohospodářský rozvoj by měl vždy zohlednit podmínky jak přírodovědné, tak také socioekonomické a rovněž bezpečnostní ohledy. Například v prostředí hydrogeologického masivu je nutné zvažovat, zda je z mnoha hledisek výhodnější zásobovat obyvatele z více rozptýlených zdrojů, anebo přivádět vodu z malého území a rozvádět ji na velké vzdálenosti.

Z hlediska individuálního zásobování je problematická výrazná variabilita prostředí. Proto se spíše nabízí kooperace a budování jímacích objektů v údolích na území drenáže, které zásobují více objektů. Na příkladech z Indie je taktéž vidět, že mnohdy může docházet k negativnímu kumulativnímu ovlivňování studní. Také proto je pro rozvoj zásobování v prostředí hydrogeologického masivu naprosto klíčové podrobné plánování a management zdrojů odborníky. Z praxe a prohlášení ministerstva životního prostředí je velmi žádoucí do budoucna zamezit nelegálnímu odběru. V takovém případě totiž při horizontálním uložení puklin mnohdy dochází k přečerpání zdroje z jednoho pozemku na druhý.

Problematická je taktéž kvalita vody při individuálním zásobování; zmírnění následků se nabízí v legislativních řešeních jako např. ve Skotsku a Německu, kde je zákonem zavedena povinnost kontroly a povinnost oznamování jejich výsledků příslušným úřadům.

Na základě analogie zkušenosti v semiaridních a aridních oblastech můžeme v budoucnu na našem území v důsledku klimatických změn počítat oproti dnešku se sníženou, ale stále velkou infiltrací srážek. Nižší úhrny budou mít větší důsledky pro mělké a přípovrchové kolektory, které jsou taktéž zranitelnější. Pravděpodobně dojde k poklesu tvorby přírodních zdrojů v nížinách, také může docházet k zasolování půd a podzemní vody v důsledku poklesu srážek.

Do budoucna je klíčové zpomalit odtok vody z našeho území, výrazně omezit regulaci vodních toků, zadržovat přívalový déšť do retenčních nádrží, zvýšit umělou infiltraci vody do horninového prostředí a taktéž zvýšit recyklaci vody (např. zasakováním odpadních vod či vícenásobným použitím vody).

Cílem by měla být obnova a budování systémů mělkých jímek a zářezů, které by se daly využívat pro lokální zásobování. Dále by měla být snaha také o posílení rozvoje sub-horizontálních vrtů, jako je jich využíváno např. v Indii.

Je zřejmé, že důležitost zdrojů podzemní vody bude narůstat. Pro další rozvoj je proto velmi podstatné získat dostatečné množství dat ohledně aktuálních individuálních zdrojů podzemní vody v krystaliniku, a to jak ohledně jejich vydatnosti, tak kvality.

6. Literatura

- Anantha K., 2013 Economic implications of groundwater exploitation in hard rock areas of southern peninsular India. *Environ Dev Sustain* 2013, 15(3): 587-606.
- Chalupa M., 1988. *Péče o studny místního zásobování pitnou vodou*. MLVH a SZN, Praha.
- Chambel A., 2012, Groundwater prospecting, drilling and well construction in hardrocks in semi-arid regions: An overview. In: *Groundwater in Fractured Rocks*, Prague (Czech Republic), May 21-24 May, 2012, Volume of abstracts, 16-17 str.
- Chandrakanth M.G., 2015 Water Resource Economics: Towards a Sustainable Use of Water for Irrigation in India. Springer India, 31 str.
- Datel J., Hrabánková A., 2016. Specifika místních vodních zdrojů při zásobování obyvatelstva pitnou vodou. *Vodohospodářské technicko-ekonomické informace*, 58(3): 21-27
- Government of India. 2005. Report on Third Census of Minor Irrigation Schemes (2000–01). Ministry of Water Resources, Minor Irrigation Division, New Delhi
- Hazdrová M. 1984. Pohyb podzemních vod In: Hazdrová M., Daňková H., Kněžek M., Kulhánek V., Kožnárek Z., Sukovitá D., Trefná E. *Vysvětlivky k základní hydrogeologické mapě ČSSR 1:200 000*. List 33 Třeboň. ÚÚG Praha. str 55-56
- Hazdrová M., 1985a. Využití a zásady ochrany podzemní vody In: Hazdrová M., Daňková H., Kněžek M., Kulhánek., Trefná E., Štefek J. *Vysvětlivky k základní hydrogeologické mapě ČSSR 1:200 000*. List 21 Klatovy. ÚÚG Praha, str 81-85.
- Hazdrová M., 1985b. Pohyb podzemních vod In: Hazdrová M., Daňková H., Kněžek M., Kulhánek., Trefná E., Štefek J. *Vysvětlivky k základní hydrogeologické mapě ČSSR 1:200 000*. List 21 Klatovy. ÚÚG Praha, str 57-58.
- Hrkal Z., 1997. *Analysis of factors influencing the transmissivity of crystalline complexes using GIS*. In Yélamos.J.G.-Villarroya, F.: Hydrogeology of hardrocks, some experiences from Iberian Peninsula and Bohemian Massif. IAH-GE, Madrid
- Janakarajan S., Moench M., 2006. Are wells a potential threat to farmers' well-being? Case of deteriorating groundwater irrigation in Tamil Nadu. *Economic and Political Weekly*, 16, 3977–3987
- Jásek J., 2000. *Vodárenství v Čechách, na Moravě a ve Slezsku*, Milpo, Praha
- Kožíšek F, 1998. *Studna jako zdroj pitné vody, příručka pro uživatele domovních a veřejných studní*, SZÚ, Praha

Kožíšek F, Kratzer K., 1999. *Zpráva o kvalitě pitné vody ze studní individuálního zásobování v České republice*, Státní zdravotní ústav, Praha.

Kožíšek F, 2011. Problematika malých zdrojů pitné vody. *Vodní hospodářství*, 61(6): 226-227.

Krásný J., 1999, Hard-rock hydrogeology in the Czech Republic. *Hydrogéologie*, 2, 25-38. Éditions BRGM. Orléans.

Krásný J. 2002: Quantitative hardrock hydrogeology in a regional scale. In: *Hardrock hydrogeology – Proceedings of a Nordic Workshop*, Oslo (Norway) August 14.-16, 2001. Bull. of Geol. Surv. of Norway (NGU-Bull) 439, 7-14 str.

Krásný J., 2008. Podzemní vody hydrogeologického masivu: jejich význam ve vodním hospodářství a v dalších aplikovaných oborech. *Vodní hospodářství*, 58(7): 225-229.

Krásný J., 2012a. Hydrogeologická provincie Českého masivu In. Krásný J., Císlerová M., Čurda S., Datel J.V., Dvořák J., Grmela A., Hrkal Z., Kříž H., Marszalek H., Šantrůček J., Šila J. *Podzemní vody České republiky: regionální hydrogeologie prostých a minerálních vod*, Česká geologická služba, Praha 185-187 str.

Krásný J., 2012b. Aplikovaná hydrogeologická problematika In. Krásný J., Císlerová M., Čurda S., Datel J.V., Dvořák J., Grmela A., Hrkal Z., Kříž H., Marszalek H., Šantrůček J., Šila J. *Podzemní vody České republiky: regionální hydrogeologie prostých a minerálních vod*, Česká geologická služba, Praha, str. 893-995.

Lachassagne P., 2008. Geophysical Characterization of Hard Rock Aquifers. In: Brown E.T. (ed.) *Groundwater Dynamics in Hard Rock Aquifers*. Groundwater Dynamics in Hard Rock Aquifers, Edited by S. Ahmed, R. Jayakumar, and A. Salih. Berlin: Springer, 40-63 str.

Limaye S. D., 2009. Ground Water Development in Hard Rocks. In: Luis Silveira, Eduardo J. Usunoff, *Groundwater -Volume II*, EOLSS Publications, 487-500 str.

Sedmidubský T., Grmelová N. 2018, National Measures to Retain Water as a Strategic Substance for Drinking and Growing Food and Feed., *European Food*, 13(6), 551-557.

Shah T., 2012. community response to aquifer development: distinct patterns in India's alluvial and hard rock aquifer areas. *Irrigation* [online]. 61: 14-25.

Singhal B.B.S., 2008. Overview of the Hydrogeology of Hard Rock Aquifers, Applications for their Survey, Management, Modelling and Protection In: Brown E.T. (ed.) *Groundwater Dynamics in Hard Rock Aquifers*. Groundwater Dynamics in Hard Rock Aquifers, Edited by S. Ahmed, R. Jayakumar, and A. Salih. Berlin: Springer, 20-40 str.

WWAP (United Nations World Water Assessment Programme)/UN-Water. 2018. *The United Nations World Water Development Report 2018: Nature-Based Solutions for Water*, UNESCO, Paris.

Legislativní dokumenty:

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

Internetové zdroje:

Datel J. V., Hrabánková A., Pištora Z. 2016 *Riziko sucha a nouzové zásobování v malých vodárenských systémech*, TZB-info, (<http://www.czwa.cz/os/2013OSVOD/Kozisek-Paul-Datel-Malevodarenskesystemy.pdf> 15.5.2019)

Tisková zpráva Ministerstva životního prostředí 12.10.2018 (https://www.mzp.cz/cz/news_181012 3.5.2019)