

# MASARYKOVA UNIVERZITA

## Přírodovědecká fakulta

Ústav geologických věd



**Ondřej TESAŘ**

## **MOŽNOST EXPLOATACE PODZEMNÍ VODY PRO REKREAČNÍ AREÁL V OBCI MORAVEC**

Současný stav v literatuře – REŠERŠE

Vedoucí práce: Mgr. Tomáš Kuchovský, Ph.D.

# 1. Obsah

## REŠERŠNÍ ČÁST

|   |    |
|---|----|
| 1. Obsah.....   | 2  |
| 2. ÚVOD .....   | 3  |
| 3. CHARAKTERISTIKA ZÁJMOVÉHO ÚZEMÍ .....                                  | 4  |
| 3.1. Geografie území .....  | 4  |
| 3.2. Geomorfologie území.....   | 4  |
| 3.3. Geologie území .....   | 5  |
| 3.3.1. Geologie Strážeckého moldanubika.....                              | 5  |
| 3.4. Hydrogeologie oblasti .....  | 7  |
| 3.4.1. Krystalinikum Českomoravské vrchoviny .....                        | 7  |
| 3.4.2. Hydrogeologická charakteristika.....                               | 7  |
| 3.4.3. Vodárenský význam rajónů a ochrana podzemních vod.....             | 8  |
| 3.5. Hydrogeologie .....  | 9  |
| 3.5.1. Čerpací zkoušky .....  | 9  |
| 3.5.2. Vyhodnocení čerpacích zkoušek vodních zdrojů malé vydatnosti ..... | 11 |
| 3.5.2.1. Metodika vyhodnocení čerpacích zkoušek.....                      | 11 |
| 3.5.2.2. Theisova metoda standardní křivky.....                           | 13 |
| 3.5.2.3. Jacobova metoda.....   | 13 |
| 3.5.2.4. Metoda Jakob - Lochmanova .....                                  | 14 |
| 3.5.3. Změny chemického složení podzemních vod .....                      | 14 |
| 3.5.4. Ochrana podzemní vody.....   | 15 |
| 4. SEZNAM LITERATURY .....  | 18 |

## 2. ÚVOD

Téma diplomové práce „Možnost exploatace podzemní vody pro rekreační areál v obci Moravec“ mně bylo zadáno po konzultaci s Mgr. Tomášem Kuchovským Ph.D. ústavem geologických věd Přírodovědecké fakulty Masarykovy univerzity v Brně v říjnu 2008.

Tato práce se zaměřuje na vodohospodářské využití pro školící a rekreační areál v obci Moravec, který má v současnosti nevyhovující zásobování pitnou i užitkovou vodou. V areálu byl vyhlouben nový hydrogeologický vrt, který má tento nedostatek vody zajistit. Kolektor na lokalitě je budovaný horninami krystalinika, je slabě propustný, což komplikuje možnost jeho vodohospodářské exploatace.

Cílem práce je zhodnotit hydrogeologické poměry lokality. Na základě vyhodnocení hydrodynamických zkoušek určit hydraulické parametry zvodněných hornin, navrhnout maximální a optimální čerpaná množství, stanovit statické a dynamické zásoby podzemních vod. S využitím numerického počítačového modelování následně navrhnout ochranná pásma jímacího objektu.

# 3. CHARAKTERISTIKA ZÁJMOVÉHO ÚZEMÍ

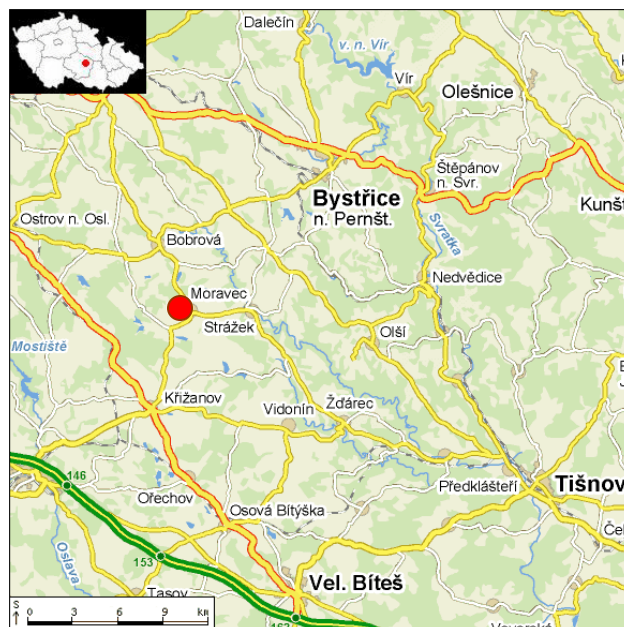
## 3.1. Geografie území

Obec Moravec leží na Českomoravské vrchovině přibližně 15 km jz. od města Bystřice nad Pernštejnem (Obr. 1) na náhorní plošině v nadmořské výšce 536 – 560 m n.m. na mapovém listě 1: 50 000 M – 24-13, list Bystřice nad Pernštejnem. V okolí obce, která leží uprostřed polí a jehličnatých lesů, je vysoká četnost rybníků, které jsou podle morfologie terénu propojené umělými kanály. Jedním z velkých rybníků v této oblasti je nádrž Piknusek, která leží 1,5 km ssz. od obce. U ní je situováno zájmové území – školící a rekreační středisko české pošty (Obr. 2).

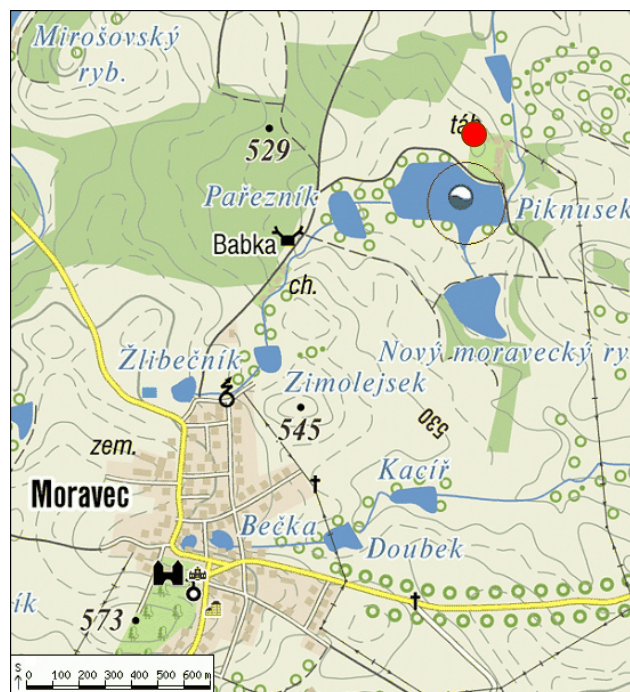
Studovaná lokalita je srážkově chudá, roční množství srážek je asi 480 mm. Povrchově je odvodňována potokem Bobrůvka, která se v Dolních Loučkách slévá s potokem Libochovka a v Předklášteří vlévá do Svratky. Území patří do povodí Černého moře. Podnebí je drsnější, průměrná roční teplota je 8 °C.

## 3.2. Geomorfologie území

Rekreační středisko leží ve velké geomorfologické jednotce Českomoravská vrchovina, která tvoří jv. část České vysočiny (Demek 1965). Nejvyššími body terénu jsou vrchol Kosova hora (593 m n.m.), která leží jz. od areálu a vrch Baršovice (543 m



Obr. 1 Poloha obce Moravec [www.mapy.cz](http://www.mapy.cz) (2009)



Obr. 2 Rekreační areál u vodní nádrže Piknusek

[www.mapy.cz](http://www.mapy.cz) (2009)

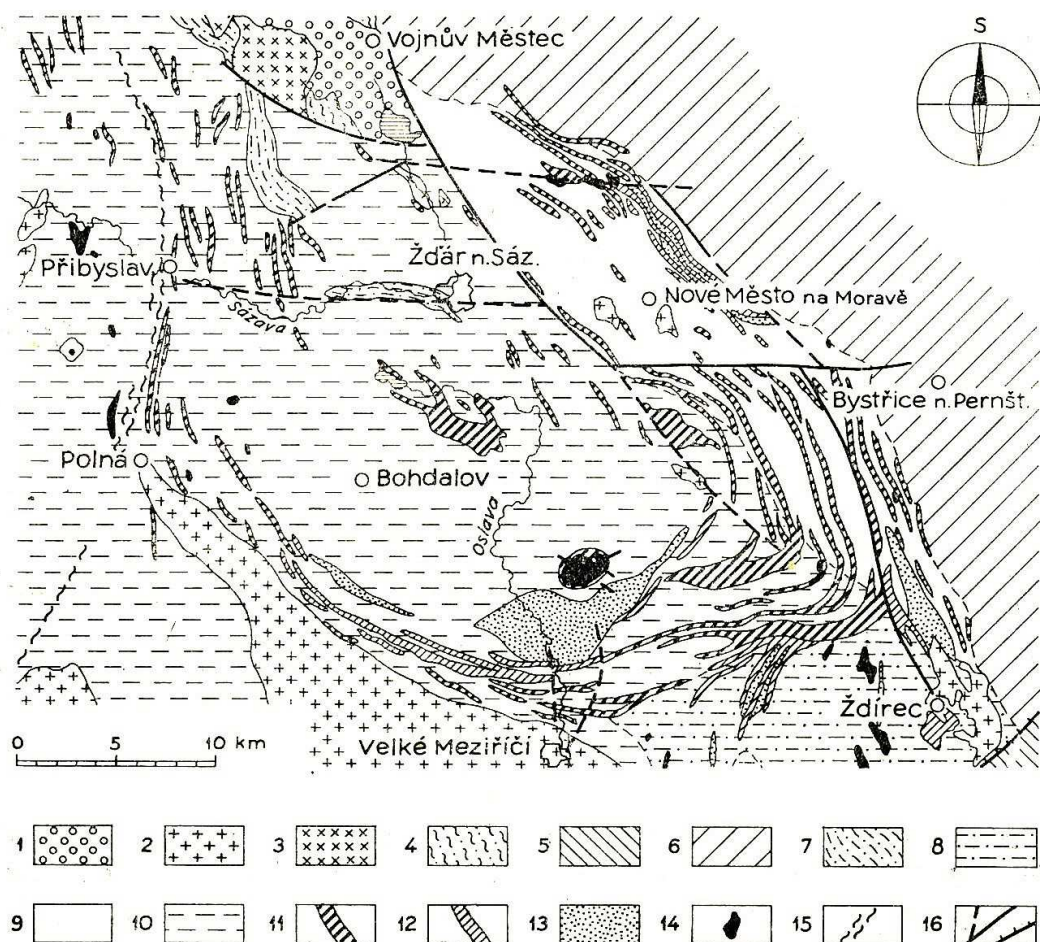
n.m.) jv. Samotný objekt se pak nachází mezi těmito vrcholy (510 m n.m.). Od studované oblasti reliéf klesá směrem k severu. Snižování reliéfu je pozvolné a stupňovité. Přírozenou hranicí objektu jsou uměle vyhloubené kanály spojující rybníky a vodní nádrže v okolí.

### 3.3. Geologie území

Podle Kodyma (1948) patří území do části moravského moldanubika zvané žďársko-strážecká větev. Hlavní horniny této oblasti jsou biotitické pararuly, které jsou na SV migmatitizovány. Migmatitizace přibývá od JZ k SV, takže je nejsilnější při svratecké antiklinále (J.Svoboda 1955). Zóna silně migmatitizovaných biotitických pararul je na SZ asi 6 km široká, k JV se zužuje. Horniny této zóny jsou šedé a světle proužkované. Světlého ortomateriálu je v nich přibližně dvakrát více než tmavého paramateriálu. Místy jsou tyto ruly plástevné, jinde perlové. Rovněž je tato okrajová zóna moldanubika bohatá na vložky různých krystalických břidlic, z nichž nejvýznamnější jsou amfibolity, doprovázené místy konformně uloženými granulity, vápenci a erlány. Amfibolity tvoří většinou úzké pruhy v rulách všech typů nebo jsou spojeny se serpentinity a pyroxenovci. Jsou to většinou ortoamfibolity, kde jsou sdružené s erlány. Průběh amfibolitových pruhů s ostatními vložkami konformně uložených v rulách ukazuje zároveň generální směry vrstev v tomto krystaliniku (Kalášek in Svoboda 1962).

#### 3.3.1. Geologie Strážeckého moldanubika

Strážecké moldanubikum (**Obr. 3**) se rozkládá s. od třebíčského masivu. Na S je vůči kutnohorsko-svratecké oblasti z části omezeno železnohorským zlomem při okraji labské zóny. Jinak je tento styk z větší části překryt křídovými sedimenty Dlouhé meze. Nejkomplikovanější je hranice na V. Vůči svrateckému krystaliniku je podle Kaláška a Weisse (1957) hranice vedena pruhem biotitických okrajových rul. Podle litologicko-stratigrafických výzkumů (Zrůstek et al. 1967) je nutno hranici posunout směrem k SV na základě průběhu muskovitové izogrady. Použití této izogrady jakožto hranice svrateckého krystalinika a strážeckého moldanubika je však problematické. Není jasné, zda muskovit vznikl pouze progresivní regionální metamorfózou nebo zčásti metamorfózou retrogradní (Zapletal 1931, 1932, Němec 1968). Pro tyto starší názory svědčí o zjištění tektonických linií směru SZ-JV, který je shodný s průběhem v. hranice strážeckého moldanubika. Jižně od tišnovského tektonického uzlu se strážecké moldanubikum stýká podél moravskoslezského zlomového pásma bítýšským zlomem přímo s j. částí svratecké klenby moravika. Jižní hranici tvoří v suprakrustálních částech zemské kůry okraj třebíčského masivu. (Mísař 1983).



**Obr. 3** Geologická mapa strážeckého moldanubika (Mísař 1983, podle generální geologické mapy ČSSR a materiálů Uranového průmyslu Nové Město na Moravě upravil Dudek).

*Vysvětlivky:*

1 – křída Dlouhé meze, 2 – třebíčský masiv, 3 – ranský masiv, 4 – hlinská zóna, 5 – moravikum, 6 – svratecké krystalinikum, 7 – muskovitické ortoruly, 8 – světlé biotitické ortoruly (gföhlské), 9 – silně migmatitizované pararuly, 10 – silimaniticko-biotitické pararuly, místy okaté, migmatitizované, 11 – amfibolity pestré skupiny, 12 – amfibolity granulitové formace, 13 – granulity, 14 – serpentinity, 15 – přibyslavský hlubinný zlom (mylonity), 16 – zlomy a moravskoslezská zlomová zóna (bítýšský zlom).

Téměř celá oblast (až po Přibyslav) náleží pestré skupině moldanubika. Jednotvárná skupina buduje pouze úzký pruh při východním okraji centrálního masivu. V jejím nadloží je uložena granulitová formace, která vystupuje zejména jv. od třebíčského masivu (Mísař 1983).

Strážecké moldanubikum je rozděleno na dvě dílčí kry křidelským zlomem, probíhajícím zhruba v linii Bystřice nad Pernštejnem – Nové Město na Moravě – Poříčí. Podle něho

je s. kra strážeckého moldanubika přesmyknutá k J a vykazuje v četnosti a distribuci ultrabazitů zřetelné difference ve srovnání s krou jižní. Pro v. část kry je charakteristická vyšší četnost ultrabazických těles (včetně drobných uzavřenin – xenolitů) (Mísař 1983).

### **3.4. Hydrogeologie oblasti**

#### **3.4.1. Krystalinikum Českomoravské vrchoviny**

Krystalinikum Českomoravské vrchoviny je vzhledem k charakteru oběhu podzemních vod a s ohledem k potřebám vodohospodářské bilance hydrologickými metodami jsou hydrologické rajóny v tomto území rozděleny podle povodí hlavních toků, které územím protékají: rajón 654 krystalinikum v povodí Dyje, rajón 655 krystalinikum v povodí Jihlavy a rajón 656 krystalinikum v povodí Svatky.

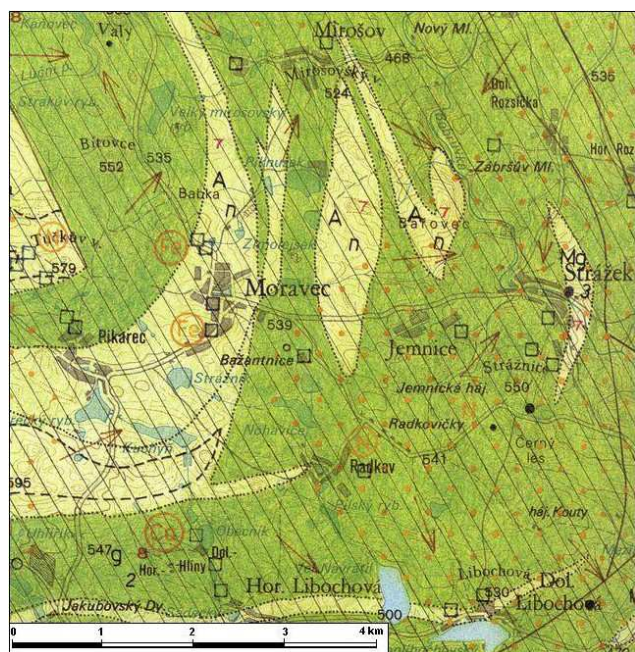
Západní omezení hydrogeologického rajónu je dáno hlavní rozvodnicí povodí Dunaje a Labe, jižním omezením je státní hranice s Rakouskem. Severní a východní hranice je dána geologickým rozhraním krystalinika se sedimenty svrchní křídly jv. Výběžku orlickoústecké synklinály a velkoopatovické křídly rajónu 423 a 428, s permokarbonskými sedimenty Boskovické brázdy rajónu 522 a s neogenními uloženinami jz. okraje karpatské předhlubně rajónu 224 (Michlíček a kol. 1986).

#### **3.4.2. Hydrogeologická charakteristika**

V oblasti hydrogeologických rajónů 654, 655, 656 krystalinika Českomoravské vrchoviny lze vymezit svrchní zvětrání, vázanou především na kvartérní pokryv, zónu zvětrávání a podpovrchové rozpojení hornin a spodní zvětrání, vázanou na propustné tektonické zóny v hlubších částech krystalinika (Obr. 4). Hloubka oběhu podzemních vod je dána úrovní místní erozní báze. Hladina podzemní vody je převážně volná a sleduje konformně terén. K infiltraci dochází prakticky v celé ploše rozšíření hornin krystalinika, v závislosti na míře propustnosti kvartérního pokryvu a zvětralinového pláště. Nejčastějším způsobem odvodnění mělkého oběhu podzemních vod je skrytý příron do uloženin údolních niv, případně do vodotečí, méně časté jsou suťové eventuálně puklinové vývěry v úrovni a nad úrovní místních erozních bází. Průlinově-puklinový oběh podzemních vod je silně rozkolísaný a nepravidelný, s lokální závislostí na petrografickém složení, tektonické predisponovanosti a charakteru čtvrtohorních pokryvných útvarů.



Mělké podzemní vody krystalinika hodnocených rajónů jsou převážně kalcium hydrogenuhličitanového nebo kalcium sulfátového typu. Při jižním okraji území je častý typ magnezium hydrogenuhličitanový, který je vázán především na serpentinitová tělesa. Celková mineralizace podzemních vod v severní a východní části území je velmi nízká a pohybuje se nejčastěji v hodnotách 0,1 – 0,3 g/l, zatímco ve střední aj. části je elativně vyšší (0,3 – 0,6 g/l).



Obr. 4 Hydrogeologická mapa oblasti Čurda (1996)

Vysvětlivky:



Pararuly, migmatitické ruly až migmatity



Amfibolity až amfibolické ruly



Voda II.kategorie



Symbol kritické složky lokálně zhoršující o stupeň vymezenou kvalititu



Hranice území s různou velikostí transmisivity



Hranice litologických jednotek



Předpokládaný směr proudění podzemní vody

### 3.4.3. Vodárenský význam rajónů a ochrana podzemních vod

Z vodárenského hlediska lze skupinu hg. rajónů krystalinika považovat za deficitní. Zdroje podzemních vod jsou v této oblasti zajišťovány většinou kopanými studněmi a jímacími zářezy, vázanými na zvodně mělkých podzemních vod kvartérního pokryvu a zvětralinového pláště krystalinika. Z posouzení vlivu hloubky vrtů na jejich využitelnou vydatnost (Michlíček 1982) vyplývá, že bez ohledu na petrografický charakter horninového prostředí je možno v příznivých případech ověřit u vrtů do hloubky 10 m vydatnost 1 l.s<sup>-1</sup>, u vrtů do hloubky 20 m až několikalitrovou vydatnost (při celkové převaze využitelné vydatnosti v rozmezí 0,01 – 0,4 l.s<sup>-1</sup>).

Méně časté jsou pro místní zásobování též využívány vydatnější suťové případně puklinové prameny, podchycené pramenními jímkami.

Vzhledem k nedostatku zdrojů podzemní vody, jejichž využitelná vydatnost většinou nepřesahuje 1 l.s<sup>-1</sup> je krytí stále rostoucí potřeby pitné a užitkové vody řešeno odběrem z povrchových toků a vodárenských nádrží.



## 3.5. Hydrogeologie

### 3.5.1. Čerpací zkoušky

Před trvalým využíváním zdrojů podzemních vod z vertikálních jímacích objektů se provádějí čerpací a stoupací zkoušky, které mají prokázat vhodnost objektů pro jímání podzemní vody, případně ověřit podmínky, za nichž se může odběr vody uskutečnit. Čerpací zkoušky se rovněž provádějí i při průzkumech širokoprofilových vrtů, které jsou vyhloubeny v rámci hydrologického průzkumu. V tomto případě mají zkoušky poskytnout informace o fyzikálních parametrech, případně i hydrogeologických poměrech zvodněných vrstev hornin na daném území (Kříž 1983).

Čerpací zkouška je soubor činností, které souvisí se zkušebním čerpáním vody ze sledovaného objektu. Přitom rozlišujeme čerpací zkoušky při ustáleném proudění podzemní vody a při neustáleném proudění podzemní vody ve zvodněném horninovém prostředí. V prvním případě je cílem dosažení rovnovážného stavu mezi odběrem vody a přítokem v daném objektu. Při této zkoušce se udržuje setrvalé snížení hladiny podzemní vody a zjišťuje se jemu odpovídající přítok vody. V situaci neustáleného proudění podzemní vody má čerpací zkouška postihnout změnu přítoku ke zkoušenému objektu v čase, přičemž se buď zachovává konstantní čerpané množství vody a sleduje se snížení hladiny v objektu nebo se měří změny vydatnosti při neměnném snížení hladiny.

Další možností, jak dělit čerpací zkoušky, je z hlediska doby trvání a účelu: ověřovací, krátkodobé, dlouhodobé a poloprovozní.

Ověřovací zkoušky se provádějí pouze na průzkumných objektech. Na základě výsledků se rozhodne o dalším postupu prací, zejména o vystrojení vrtu, dalším čerpáním atd.

Krátkodobé čerpací zkoušky by měly trvat podle ČSN 73 661 do 3 dnů a uskutečňují se z dokončených průzkumných nebo jímacích objektů. Zde se stanovují hydraulické parametry zvodněného prostředí a ověřují se účinnosti objektu a jeho využitelnosti

Dlouhodobé zkoušení trvá od 4 do 21 dní, delší zkoušky se označují jako poloprovozní. Obě tyto zkoušky slouží k detailnějšímu a přesnějšímu stanovení hydromechanických charakteristik, využitelnosti a navíc i chemických, fyzikálních a bakteriologických vlastností vody. Liší se nejen délkou trvání, ale i účelem. Poloprovozní čerpání napodobuje do jisté míry budoucí trvalé využívání zdrojů a je zaměřena více na zjištění využitelné vydatnosti zdrojů.

Podle způsobu provádění se čerpací zkoušky dále dělí na jednotlivé a skupinové. Jednotlivé čerpání probíhá zpravidla pouze z jednoho objektu, případně z více objektů současně tak, že se přitom navzájem neovlivňují. Při skupinové zkoušce se čerpá podzemní voda z několika objektů, které se vzájemně ovlivňují (Kliner, Kněžek, Olmer et al. 1978). Na jednotlivých objektech na sobě nezávislých probíhají ověřovací a krátkodobé čerpání. Dlouhodobé a poloprovozní zkoušky probíhají současně zpravidla jako skupinové ze všech objektů, které se nacházejí v určitém jímacím území.

Zkušební čerpání je zpravidla ukončeno stoupací zkouškou, u které se sleduje vzestup hladiny podzemní vody v čerpané v jednom či více objektech a to i dojde-li v průběhu čerpání k přerušení. Délka trvání této zkoušky odpovídá druhu čerpací zkoušky.

Čerpací zkoušky se provádějí ve vertikálních jímacích objektech (jedná se o různé typy studní). Tato hloubená jímací zařízení slouží pro získávání podzemní vody k určitým hospodářským účelům. Z hlediska způsobu hloubení rozlišujeme objekty na vrty (trubní studny), spouštěné a kopané studny. Podle způsobu zahloubení do propustných vrstev hornin rozeznáváme studny úplné a studny neúplné. Úplné studny procházejí kolektorem v celém jeho rozsahu a jsou ukončeny v nepropustném podloží. Neúplné studny končí již v propustných horninách a nezasahují tak do nepropustného podkladu.

Před zahájením čerpací zkoušky, během ní, ale i po jejím dokončení se sleduje stav hladiny podzemní vody nejen ve vlastním odčerpávaném objektu, ale i v objektech pozorovacích (vrty, studny). Kromě hladiny pozorujeme i vydatnost pramenů, dále pak hlavní klimatické prvky jako jsou atmosférické srážky a teplota vzduchu. V průběhu čerpání měříme ve stanovených časových intervalech vydatnost čerpaného objektu zachycením odtékající vody do měrné nádoby nebo průtokoměry. Během zkoušky se rovněž sledují fyzikální a chemické vlastnosti vody, měří se její teplota a odebírají se vzorky pro chemické a bakteriologické analýzy.

Výsledkem každé čerpací zkoušky jsou informace nejen o hydraulických parametrech zvodněného prostředí, ale i jeho využitelnost z hlediska vydatnosti a jakosti vody. Základní charakteristikou je vydatnost zjištěná při různých sníženích hladiny podzemní vody, jejichž vztah se znázorňuje graficky čarou vydatnosti. Podíl vydatnosti a příslušného snížení hladiny v čerpaném objektu se označuje jako specifická vydatnost a udává se v  $\text{l.s}^{-1}.\text{m}^{-1}$  nebo  $\text{m}^3.\text{s}^{-1}.\text{m}^{-1}$ . Mimo to se ještě určuje tzv. jednotková vydatnost jímacího zařízení, která je představována čerpaným množstvím vody při snížení proti přirozenému stavu hladiny o 1 m a udává se v  $\text{l.s}^{-1}$  (Kříž 1983).

### 3.5.2. Vyhodnocení čerpacích zkoušek vodních zdrojů malé vydatnosti

Délka čerpacích zkoušek se v našich hydrogeologických podmínkách pohybuje většinou v rozmezí 14 – 28 dní. Příčinou je snaha dosáhnout při čerpací zkoušce rovnovážného stavu mezi přítokem vody do studny a čerpaným množstvím, takže vyhodnocení je prováděno podle teorie ustáleného proudění podzemní vody. Dalším důvodem je pokus o simulaci pozdějšího provozního čerpání na jímacím objektu a praktické ověření velikosti čerpaného množství a jeho vlivu na zvodnělý obzor a chemismus podzemní vody (Horák 1975).

#### 3.5.2.1. Metodika vyhodnocení čerpacích zkoušek

Podmínkou pro možnost vyhodnocení vrtu podle teorie ustáleného proudění je vytvoření rovnovážného stavu mezi přirozeným přítokem podzemní vody do vrtu a čerpaným množstvím. Tohoto stavu je možno dosáhnout pouze za předpokladu, že přítok vody do vrtu je větší než odčerpávané množství. Základním vztahem pro vyjádření podmínek ustáleného proudění je rovnice Dupuita pro úplnou studnu s volnou hladinou

$$Q = \frac{\pi \cdot k (H^2 - h^2)}{\ln \frac{R}{r}}$$

neboli

$$k = \frac{0,73 \cdot Q \cdot \log \frac{R}{r}}{s(2H - s)}$$

s napjatou hladinou

$$k = \frac{0,366 \cdot Q \cdot \log \frac{R}{r}}{m \cdot s}$$

- kde
- Q ... čerpané množství ( $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ )
  - k ... koeficient filtrace ( $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ )
  - H ... mocnost zvodnělého obzoru
  - h ... výška vodního sloupce ve studni (m)
  - s ... snížení hladiny ve studni (m)
  - m ... mocnost zvodnělého napjatého obzoru (m)
  - R ... poloměr dosahu deprese (m)
  - r ... aktivní poloměr studny (m)

Grafickým vyjádřením rovnice Dupuita pro volnou hladinu je parabola druhého stupně s vrcholem v ose x, pro napjatou hladinu je přímka.

Přesnějších hodnot při stanovení koeficientu filtrace, které nejsou zatíženy chybou v důsledku obtížného stanovení dosahu deprese, je možno docílit zavedením pozorování při čerpací zkoušce na blízkém pozorovacím bodě (vrt, nevyužívaná studna apod.) (Horák 1975).

Pro stanovení dosahu deprese bez pozorovacího vrtu existují pouze empirické vzorce:

Sychardt:  $R = 3000 \text{ s } \sqrt{k} \text{ (m)}$  – platí pro  $k$  v řádu  $10^{-3}$  nebo  $10^{-4} \text{ m.s}^{-1}$

Kusakin:  $R = 575 \text{ s } \sqrt{m.k} \text{ (m)}$  – napjatá hladina

Pro výpočet je nutno použít přibližovací metody.

Kurilenko:  $R = 650 \sqrt{Q.s} \text{ (m)}$  – napjatá hladina

Základem pro vyhodnocení hydraulických parametrů zvodnělých obzorů s napjatou hladinou je Theisova rovnice:

$$T = \frac{0.W(u)}{4\pi.s}$$

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

- kde
- T ... koeficient průtočnosti –  $k.m \text{ (m}^2\text{s}^{-1}\text{)}$  (transmisivita)
  - S ... koeficient jímavosti (storativita)
  - Q ... čerpané množství ( $\text{m}^3\text{s}^{-1}$ )
  - s ... snížení v pozorovacím bodě v čase t od začátku čerpání (m)
  - r ... vzdálenost pozorovacího bodu od jímací studny (m)
  - W(u) ... studňová funkce
  - U ... argument studňové funkce ( $u = r^2S/4Tt$ )

Jakob provedl úpravu základní rovnice pro podmínky obzorů s volnou hladinou tak, že snížení  $s$  redukuje na hodnotu  $s_{\text{red}} = s - s^2/2H$ . V praxi je možno použít u obzoru s volnou hladinou Theisova vztahu bez úprav pokud je  $s < 0,1 H$ , pro  $0,1 H > s > 0,25 H$  je nutno

hodnotu  $s$  redukovat podle Jacobovy úpravy, při větších hodnotách snížení není možno tohoto vyhodnocení použít. Jednou ze závažných podmínek pro vyhodnocení je úplnost studny.

### 3.5.2.2. Theisova metoda standardní křivky

Metoda se používá při čerpacích zkouškách u vrtů s pozorovacím bodem. Je platná u obzorů s napjatou hladinou podzemní vody, u obzorů s volnou hladinou s omezením uvedeným dříve.

### 3.5.2.3. Jacobova metoda

Tato metoda vychází z Theisovy rovnice pro neustálené proudění podzemní vody. Její platnost je však omezena pro hodnoty  $u < 0,01$ , což znamená malé hodnoty  $r$  a velké hodnoty  $t$ . U obzorů s napjatou hladinou postačuje k vytvoření přímkového vztahu cca 1 hod., u obzorů s volnou hladinou i několik hodin. Je ji tedy možno použít pro vyhodnocení čerpacích a stoupacích zkoušek na jímacím vrtu po určité době od začátku čerpání. Zjednodušeným výpočtem je pak možno psát:

$$T = \frac{0,183 \cdot Q}{s_2 - s_1} \qquad S = \frac{2,25 \cdot T \cdot t_0}{r^2}$$

Jsou-li stanoveny hodnoty  $T$  a  $S$ , dosadíme je do rovnice:

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

k ověření velikosti  $u$  a platnosti Jacobovy metody. Vyloučení vzdálenosti pozorovacího bodu vede k tomu, že stanovení  $S$  je nepřesné. Jako hodnotu  $r$  je nutno brát efektivní poloměr vrtu (vrtaný). Subjektivní proložení přímky grafem znamená minimální rozkyv hodnot  $T$ , ale řádové rozdíly v hodnotách  $S$  (Horák 1975).

Na stejném principu je založeno vyhodnocení stoupacích zkoušek. Místo hodnoty snížení  $s$  se vynáší na osu pořadnic tzv. zbytkové snížení  $s'$  v čase  $t'$ .

Pro výpočet platí zjednodušený vztah:

$$T = \frac{0,183 \cdot Q}{s'} \cdot \log \frac{t}{t'}$$



kde  $s'$  je změna snížení,  $t$  je od začátku čerpání,  $t'$  je čas zastavení čerpadla. Při vyhodnocení vynášíme osu souřadnic  $s'$ , na osu úseček  $\frac{t}{t'}$  a po proložení přímky odečteme  $s'$  za jeden log cyklus

$$T = \frac{0,183 \cdot Q}{s'_2 - s'_1}$$

Touto metodou není možno stanovit hodnotu storativity. Při dosažení ustáleného proudění při čerpací zkoušce můžeme vynášet na osu úseček čas  $t'$ . Pro zjednodušení je také možno vynášet při čerpací i stoupací zkoušce místo snížení přímo naměřené úrovně hladin (Horák 1975).

### 3.5.2.4. Metoda Jakob - Lochmanova

Pro vyhodnocení čerpacích zkoušek v obzorech s napjatou hladinou, se tato metody používá, je-li čerpáno s konstantním snížením nebo u tzv. přetokových zkoušek. Tyto zkoušky lze provádět bez použití čerpadel na vrtech s několika metrovou aktivní výškou hladiny. Tato metody je modifikací Jacobovy metody řešení čerpacích zkoušek pro konstantní  $s$  a měnící se  $Q$  v závislosti na čase. Na osu pořadnic pak vynášíme poměr  $\frac{s}{Q}$  a na osu úseček  $t$  od začátku čerpání. Následně grafem proložíme přímku a stanovíme změnu  $\frac{s}{Q}$  za log cyklus.

$$T = \frac{0,183 \cdot Q}{\Delta \frac{s}{Q}} \qquad S = \frac{2,25 \cdot T \cdot t_0}{r^2}$$

kde  $t_0$  je čas, který nám přímka vytne na ose úseček ( $\frac{s}{Q} = 0$ ).

### 3.5.3. Změny chemického složení podzemních vod

Změny chemismu oproti přirozenému stavu jsou nepřímo úměrné rychlosti proudění vody vrty (Kessl 1975). Tyto změny však může ovlivnit několik činitelů. Během odběru vzorků vody může dojít k ovlivnění chemismu, které souvisí přímo s čerpáním. Dochází k tomu v důsledku například změn tlaku v okolí čerpadla i v potrubí, vlivem elektromagnetického pole motorů čerpadel, příp. vnikáním mazacích látek apod.

Změny teplot hrají také důležitou úlohu. Při teplotním měření v Polické pánvi bylo prokázána skutečnost, že ve vrtech dochází ročním výkyvům teplot do hloubky 5 až 7 m v závislosti na vystrojení vrtu (ocel, kamenina), a tím tepelné vodivosti zárubnic. Při dně vrtu dochází ke zvýšení teploty o 0,5 až 1°C, které je způsobené patrně rozkladem organické hmoty, která ve vrtu vzniká (plísň, bakterie).

Chemismus vody může být i ovlivněn hmotou zárubnic, kterými je vrt vystrojen. Při rychlostech koroze ocelových zárubnic -50 až 100  $\mu\text{m}/\text{rok}$ , dochází k obohacování vody  $\text{Fe}^{2+}$  a k jejich elektrické polarizaci (Kessl 1975). Z hlediska chemické netečnosti jsou výhodnější zárubnice z kamene, kde však hrozí možnost uvolňování alkálií do roztoků a vliv má i vysoká sorpční schopnost. Dalšími typy, které prakticky chemismus vody neovlivní jsou zárubnice novodurové nebo z překližky, impregnované epoxidem.

V nečerpaném vrtu mohou podstatně změnit chemické složení jeho bezprostřední okolí a to především průsakem vody z povrchu, které přináší značné množství látek. To způsobuje obohacení vody o další látky nebo reakci s původními komponentami, např. vysrážením. Přínos látek, které prosakují povrchovou vodou, závisí na typu půdy. Nejhojnější látkou jsou dusičnany. Z půdy však bývají vyplavovány i chloridy, sírany, vápník, hořčík, draslík a sodík. (Kessl 1975).

#### **3.5.4. Ochrana podzemní vody**

K ochraně vydatnosti, jakosti a zdravotní nezávadnosti se zřizují u zdrojů, které jsou určené k hromadnému využití pitnou vodou, ochranná pásma nebo se vyhlášují vodárenské toky. Ochranná pásma se pak podle potřeby dělí na jednotlivé stupně:

- a) jímací pásmo – u povrchových i podzemních vod (ochranné pásmo 1)
- b) užší ochranné pásmo – u povrchových vod (ochranné pásmo 2)
  - u podzemních (ochranné pásmo 2a)
- c) širší ochranné pásmo – u povrchových vod (ochranné pásmo 3)
  - u podzemních (ochranné pásmo 2b)

Jímací pásmo zabezpečuje ochranu jímacího zařízení před jeho ohrožením či ovlivněním. Užší ochranné pásmo zabezpečuje ochranu zdroje před znečištěním, především bakteriálním. Širší ochranné pásmo zahrnuje většinou celé povodí zdroje. Při stanovení ochranného pásma

a jeho stupňů je vhodné také respektovat jiné přirozené nebo umělé hranice jako jsou komunikace, zemědělské hony, les, vodoteče.

Podzemní vody mohou být kvantitativně či kvalitativně ohroženy dočasně nebo trvale. Kvantitativní ohrožení představují umělé zásahy do přírodních podmínek tvorby a oběhu podzemních vod, jejichž důsledkem dojde ke zmenšení nebo úplnému zamezení infiltrace, přerušení oběhu nebo jeho rozptýlení. K této skupině řadíme narušení stropu artéských vod, nadměrné odběry, kterými se nepříznivě ovlivňují hydraulické, případně i petrografické a filtrační podmínky zvodnělé vrstvy a melioračními práce.

Kvalitativní ohrožení lze dělit na

- bakteriologické a biologické viry, bakterie, vyšší mikroorganismy
- chemické – organické a anorganické (postřiky, umělá hnojiva, ropné látky, tenzory, barviva, toxické látky např. As, Pb, Cr, kyanidy) a látky radioaktivní
- fyzikální – např. teplota

Zdrojem ohrožení kvality vod mohou být zejména těžba, výroba, skladování a zpracování či přeprava škodlivých a radioaktivních látek, osídlení, letiště, zařízení pro dopravu, hřbitovy, hnojení a pastva, zátopy odpadními a závadnými vodami, a v neposlední řadě stará a opuštěná důlní díla, studny, kanály atd.

Aby byla zajištěna ochrana zdrojů podzemních vod, stanovujeme tzv. ochranná pásma. Při jejich vymezení a jejich jednotlivých stupňů je nutné vždy posoudit všechny faktory.: hydrogeologické poměry (povodí zdroje, druh oběhu podzemní vody, vlastnosti zvodněné vrstvy nebo souvrství a jejich poloha, povaha nepropustného stropu, způsob proudění a jeho rychlost), morfologie území, vlastnosti půdního pokryvu, jakost povrchové vody, zvláště v případě přirozené nebo umělé infiltrace, odběr vody, možnosti ohrožení zdroje pitné vody a další (Chalupa 1975).

Základním hlediskem pro stanovení rozsahu ochranného pásma je posouzení čistící schopnosti prostředí, jímž prochází znečištění ve směru k místu odběru. Čistící schopnost prostředí je určena dobou setrvání látky ve zvodnělém prostředí a dalšími pochody (fyzikálně-chemické). Převážná část pochodu probíhá v oživení půdní vrstvě, v hlubších vrstvách se uplatňují hlavně fyzikální a chemické pochody. Podle potřeby stanovení užšího ochranného pásma rozlišujeme: vyhovující čistící schopnost, středně vyhovující čistící schopnost a nevyhovující čistící schopnost.

Vyhovující čistící schopnost je u zvodněné vrstvy překryté propustnou vrstvou s dobrým nebo špatně propustnou až nepropustnou vrstvou. Za propustnou vrstvu s dobrým čistícím účinkem se považuje vrstva písčitého jílu, jemného písku nebo jiné zeminy, jejíž koeficient propustnosti není vyšší než u středně zrnitého písku o mocnosti 4 m. Za špatně propustnou až nepropustnou se považuje krycí vrstva hlíny, jílovité hlíny, jílu, písčitého jílu nebo jiné zeminy jejíž koeficient propustnosti je obdobný jako u hlíny nebo jílovité hlíny, souvislé mocnosti nejméně 1 m (Chalupa 1975).

Středně vyhovující čistící schopnost je u zvodněné vrstvy, jejíž krycí vrstva je vyvinuta v menší mocnosti nebo není vyvinuta souvisle v celém rozsahu. Nevyhovující čistící schopnost je u vrstvy, která nemá postačující čistící účinek, nebo kde je nepostačující doba zdržení a přitom krycí vrstva je vyvinuta v menší mocnosti nebo chybí částečně až zcela.

## 4. SEZNAM LITERATURY

- DEMEK, J. a kol (1965): Geomorfologie českých zemí. – Geografický ústav ČSAV. Praha.
- HORÁK, J. (1975): Vyhodnocení čerpacích zkoušek vodních zdrojů malé vydatnosti. - In Výpočty využitelného množství vod, Sekce I „Hydraulické metody výpočtů“. Brno.
- CHALUPA, M. (1975): Ochrana využitelných vod ve vodním hospodářství ČSR – In Výpočty využitelného množství podzemních vod, Sekce III „Kvalitativní oceňování podzemních vod“. Brno.
- KESSL, J. (1975): Změny chemického složení podzemních vod za přirozeného stavu a za čerpání. – In Výpočty využitelného množství podzemních vod, Sekce III „Kvalitativní oceňování podzemních vod“. Brno.
- KŘÍŽ, H. (1983): Hydrologie podzemních vod – AKADEMIA, 208-213, Praha.
- MÍSAŘ, Z., DUDEK, A., HAVLENA, V., WEISS, J. (1983): Geologie ČSSR I. – Český masiv.- SPN, 72-79, Praha.
- MICHLÍČEK, E. a kol. (1986): Hydrogeologické rajóny ČSR svazek 2 povodí Moravy a Odry. – 140-148. GEOtest. Brno
- MICHLÍČEK, E. (1982): Statistické analýzy transmisivity hornin východní části Českomoravské vrchoviny. Sbor.geol.věd, Hydrogeol,inž.Geol., 13, 91-120. Praha.
- SVOBODA, J et al. (1962): Vysvětlivky k přehledné geologické mapě ČSSR 1: 200 000 – M – 33 – XXII. - GEOFOND v nakl. ČSAV, 20-32, Praha.

### MAPY

- ČURDA, J., *ed.* (1996): Hydrogeologická mapa ČR 1:50 000, list 24-13 Bystřice nad Pernštejnem. – ČGÚ, Praha.

<http://www.mapy.cz> (2009)