

Vliv metody výpočtu a vstupních parametrů na stanovení maximálního čerpaného množství z hydrogeologického objektu

Jan Bartoň

GEOtest, a.s., Šmahova 1244/112, 627 00 Brno, Česká republika; barton@geotest.cz

Úvod

V rámci řady zakázek jsem byl svědkem nesouladu dříve provedených výpočtů s aktuálně provedenými výpočty hydraulických parametrů, zejména pak využitelného jímatelného množství. Na vině může být snížená účinnost vrtu kvůli vzniku inkrustů v perforované části zárubnice, zapískování vrtu, napadávky, vznik kaveren a destrukce zárubnic, ale také záměr investora, resp. následně zhotovitele, případně nedostatečná erudice zhotovitele. Při pročítání závěrečných zpráv od konkurence jsem zjistil, že existují velké rozdíly v interpretaci hydrogeologického průzkumu v rámci jednotlivých hydrogeologů (OSVČ i firem).

V případě vyhledání zdroje vody investora zajímá především „kolik to dává“, avšak ukazatele, které k tomu výsledku vedou, ho samozřejmě nezajímají.

Hlavní rozdíly / nesoulady

- Kvalita práce (vrtné firmy) a jejich kontrola přítomným geologem (obsyp, cementace, centrátory, umístění čerpadla...)
- Vystrojení vrtu (zda je v místě opravdového hydrogeologického kolektoru)
- Provádění hydrodynamických zkoušek (dále jen HDZ) – vliv ustálení / neustálení HPV při HDZ
- Délka HDZ (pozor na statické zásoby a okrajové podmínky)
- Interpretace HDZ (prázdnění, platnost Theisovy funkce, ustalování)
- Parametry pro výpočet (často mocnost a poloměr – vnitřní vs. vrtový průměr, celá mocnost vs. aktivní mocnost apod.)
- Parametry zvodně (volná vs. napjatá, příp. něco mezi)
- Hydraulická úplnost hydrogeologického objektu
- Vliv použití výpočtu maximálního jímatelného množství (Q-max)
- Etika hydrogeologa (nutnost splnění podmínek zadavatele – resp. obava z toho, že nám nezaplátí za negativní výsledek)

Důvody chybných interpretací a závěrů

Jedním z důvodů, proč se tak děje, je nedostatečná erudice příslušného hydrogeologa, případně jeho nezáměr o danou problematiku (hlavně, že dostanu zapláceno a investor bude spokojený), ale také přímo o záměrné ohýbání, resp. překrucování výsledků v rámci mylných interpretací (v minulosti mohlo jít o stranický úkol, v současnosti o kapitalistickou hrozbu – tedy, že nedostanu zapláceno, pokud to neudělám dle představ investora).

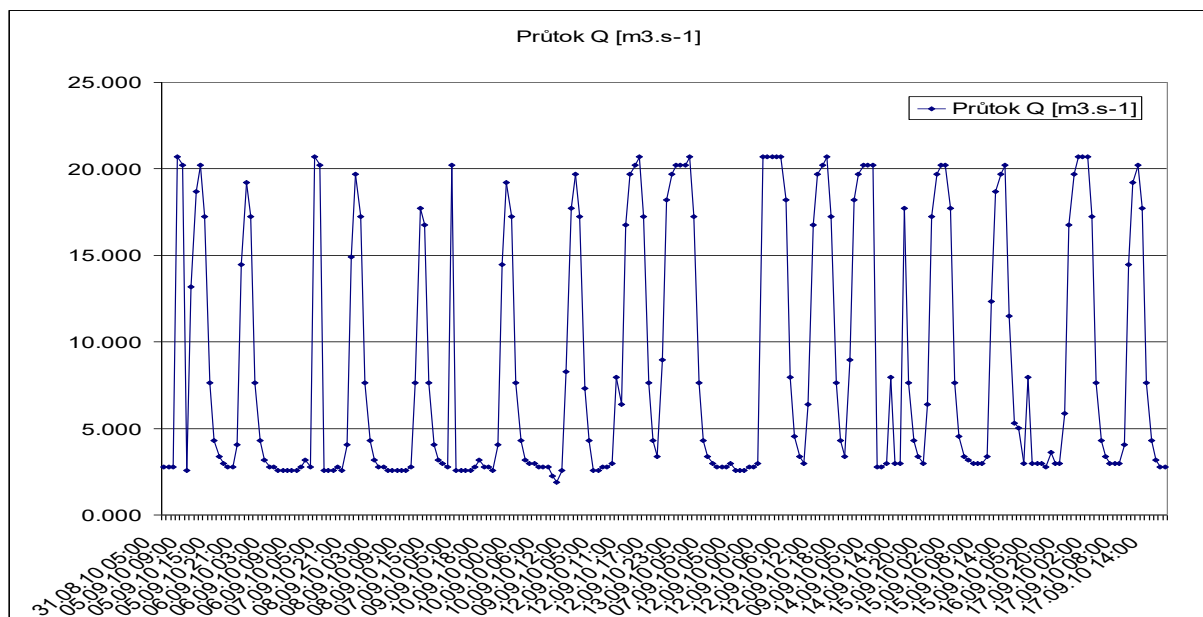
Další možnou chybou je přílišné lpění na prvotním úsudku daného hydrogeologa, od které se později v rámci interpretací nedokáže dostatečně oprostit a může dojít k ohýbání výsledků z terénu.

Z hlediska vlastních interpretačních prací neexistuje norma ani jiný (byť nezávazný) metodický postup – mnozí hydrogeologové mají zafixovaný jeden styl výpočtů bez toho, aby k němu přistupovali kriticky, věděli, co který parametr skutečně znamená a kdy je vhodné (resp. nevhodné) ten který způsob výpočtu použít. Často se jedná o tzv. předávanou zkušenost ve stylu „takto se to prostě dělá“.

Vliv provádění hydrodynamických zkoušek

Již při samotném provádění hydrodynamických zkoušek mohou vznikat prvotní chyby, a to zejména při nerozpoznání, resp. nerespektování okrajových podmínek (nepropustná hranice, režim řeky apod.), případně rovnou nerozpoznání statických a dynamických zásob podzemní vody. Dále je to nerespektování klimatických podmínek – tedy provádění HDZ za vysokých vodních stavů (vydatné deště, jarní tání) a nízkých vodních stavů (sucho), ale i antropogenních vlivů, jako čerpání okolních vrtů, vliv režimu blízké řeky, kde může být proti proudění např. vodní elektrárna (viz obr. 1), která někdy zadržuje vodu, jindy naopak vodu propouští, čímž dochází ke zvýšení hladiny a průtoku, v důsledku čehož se mění i hydraulický gradient – ten se může i úplně otočit, což může mít i souvislost se změnou režimu proudění povrchových vod – efluentní (dotační) vs. influentní (infiltrační).

Obr. 1: Kolísání průtoků na řece Svatce v Brně v důsledku činnosti vodní elektrárny



Dalším vlivem je způsob zapuštění čerpadla – do kalníku vs. do místa perforace vs. do neperforované části nad perforací (u dostatečně napjatého kolektoru), kdy může docházet k nežádoucímu pískování vrtu. Mezi další antropogenní ovlivnění HDZ patří výpadky energie, poklesy napětí (např. když si obsluha HDZ připravuje na elektrocentrále také teplé nápoje, čímž odebrá energii k čerpání, což se projeví v krátkodobém nástupu HPV – o takových událostech musí hydrogeolog vědět, resp. musí být zapsány v záznamu, aby nedošlo k mylné interpretaci chování podzemní vody), krádeže rozvaděče či kabelů atp.

Vliv udávaného poloměru na výpočet hydraulických parametrů

Velmi častý je problém s udávaným poloměrem vrtu – někteří uvádějí vnitřní průměr zárubnice, jiní vrtový průměr, tedy vnější průměr obsypu. Jako obvykle může jít o neznalost, neschopnost si tento údaj zjistit z archivních údajů (technické zprávy vrtáků či zakresleného profilu vrtu, tzv. výstrojáku), z terénu či přímo záměr z důvodu většinou nadhodnocení výsledku. Stávají se i případy, kde byl vrt hlouben do kvartérních štěrkopísků jako širokoprofilový a později byl prohlouben, např. do neogenních písků, avšak již jako maloprofilový, avšak při interpretaci, resp. výpočtu maximálního čerpaného množství, je uváděn původní poloměr, který však nereprezentuje zkoumaný hydrogeologický kolektor a výsledky tak může i násobně nadhodnocovat.

Někteří hydrogeologové například započítávají do poloměru vrtu polovinu tloušťky obsypu, což nemusí být nutně špatně, pokud tento postup dostatečně vysvětlí. Osobně používám, na radu již zesnulého

kolegy Dr. Františka Maška pravidlo, že pokud je mezi materiálem obsypu (zpravidla kačírek, resp. praný štěrka frakce 4–8 mm, příp. 2–4 mm) a okolním hydrogeologickým kolektorem rozdíl v propustnosti více než 2 řády, započítávám vrtný průměr, pokud je nižší, tak vnitřní průměr zárubnice, pokud je přibližně roven 2 řádům, dá se uvažovat o započtení poloviny tloušťky obsypu. Obecně tedy započítávám vrtný průměr v krystalických horninách, resp. puklinovém proudění, a ve zpevněných či jílovitých horninách (aleurity, pelity), kde lze očekávat nižší koeficient hydraulické vodivosti. Naopak vnitřní průměr zárubnice (v její perforované části) používám v případě provádění HDZ v klustických materiálem, tedy psefity a psamity, zpravidla ve štěrkopísčitém kolektoru.

Vliv udávané mocnosti

Ve zprávách je pro mocnost hydrogeologického kolektoru uváděno různé značení, mnohdy bez ohledu na typ zvodně, konkrétně jde o M, m, h, H, l, v. Je patrné, že kromě nerozlišení typu zvodně (volná vs. napjatá) dochází k zaměňování značení matematicko-fyzikálních veličin a hydrogeologických veličin.

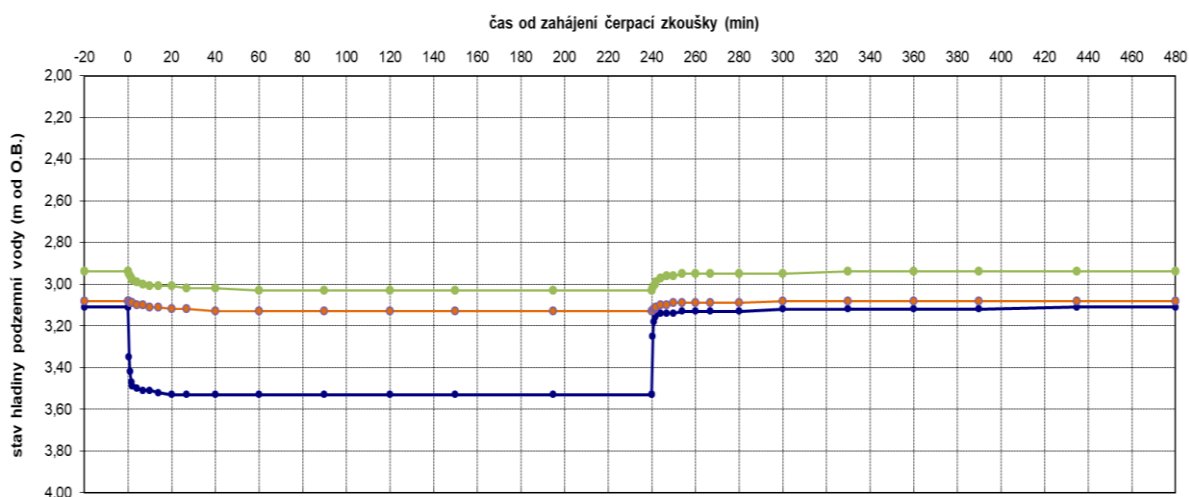
Mnohdy dochází k zmatení v tom, jestli hydrogeolog uvádí reálně zjištěnou hmotnost, ověřenou vrtnými pracemi (v případě hydraulicky neúplných vrtů) či předpokládanou mocnost hydrogeologického kolektoru na základě například geofyzikálního průzkumu či archivních dat. Dále se často nerozlišuje mezi perforovaným úsekem (pokud je perforován v opravdu aktivní části zvodně) a celou mocností vrtu, včetně například mezilehlých izolátorů, kalníku či nedejbože mocnosti nesaturované zóny. Někdy je chybně započítáván i stropní izolátor, který byl třeba mylně perforován, případně mohlo dojít k významnému poklesu a změně napjatosti HPV a tato část by pak patřila k tzv. falešné mocnosti kolektoru.

Aktivní mocnost kolektoru by se měla počítat vždy od naražené HPV, v případě napjatých zvodní nikdy ne od ustálené HPV, jelikož by se započítávala i část nesaturované zóny (opět falešná mocnost). V případě vícekolektorových zvodní by se měla odečítat i mocnost mezilehlých izolátorů, např. jílovitých proplátek.

Vliv výpočtu hydraulické vodivosti (K), resp. transmisivity (T)

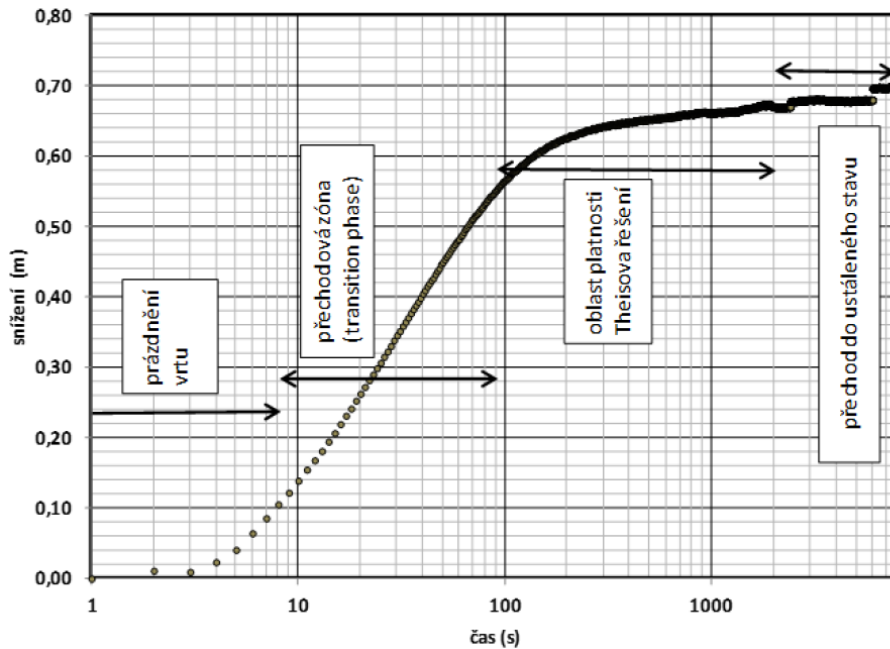
V případě výpočtů dle teorie ustáleného proudění je nutné počítat jen skutečně ustálené stavy, ideálně z déletrvající zkoušky, kde musí být zřejmé, že došlo opravdu k ustálení HPV (viz obr. 2).

Obr. 2: Příklad ustálené HPV během HDZ



V případě výpočtů dle teorie neustáleného proudění je nutné počítat jen část zkoušky s platností Theisovy rovnice, tedy ne úvodní část prázdnění vrtu, resp. obsypu, ani ne ustálenou či kvaziustálenou část čerpací zkoušky (viz obr. 3).

Obr. 3: Typické fáze čerpací části HDZ



Vliv metody výpočtu Q_{max}

Maximálně přípustná vydatnost Q_{max} představuje hodnotu, při které je umožněno z příslušného objektu jímat podzemní vodu nepřetržitě, a to při nepřekročení kritické vtokové rychlosti podzemní vody. Taková vydatnost pak dovoluje čerpání, při kterém nedochází k poškození filtru vrtu a k vyplavování jemných částic do vrtu.

Přístupů ke stanovení maximálního jímatelného množství, resp. maximální možné vydatnosti vrtu je mnoho. Často narážím na použití základního matematického vztahu, tedy součin kritické rychlosti přítoku podzemní vody do vrtu (v_p , $v_{krit.}$, $v_{max.}$) a plochy válce, přes kterou dochází k aktivnímu přítoku do vrtu – tedy perforované části vrtu, který se zároveň nachází v saturovaném hydrogeologickém kolektoru:

$$Q_{max} = 2\pi \times r \times h \times v_p \quad v_p = \frac{\sqrt{K}}{15}$$

Tento vztah je používán jak mnohými hydrogeology, tak stavaři či vodohospodáři (resp. projektanty vodohospodářských staveb) a neuvažuje s odporem na kolmatační zóně vrtu, jako je tomu například v jinými používané vztahu dle Waltona, kde se udává efektivní pórovitost v přívrťové zóně vrtu (n_e):

$$Q_{max} = 2 \cdot \Gamma_0 \cdot \pi \cdot L \cdot v_{max} \cdot n_e$$

Analogicky je hydrogeology používán také níže uvedený vzorec, kde jde v podstatě o totéž, jen dochází k rozdílnému značení aktivní mocnosti vrtu ($l = L = h = m$) a α je efektivní porozita, tedy $\alpha = n_e = \delta$.

$$Q_{max} = 2\pi \times r \times m \times v_p \times \alpha$$

Efektivní porozita se může dále počítat dle vzorce Bacinského či dle vzorce Gavrillo – Abramov:

$$v_p = \frac{3\sqrt{K}}{30}$$

Níže uvádím vztah pro maximální přípustné čerpané množství užívaný roku 2009 zesnulým Ing. F. Maškem (GEOtest, a.s.). Zde nutno zdůraznit, že $n_e = \delta$, tedy efektivní pórovitost v přívrťové zóně vrtu

(dle Ing. F. Maška je efektivní pórovitost v přivrtné zóně vrtu zpravidla 0,3–0,35), $k = K$ (tedy součinitel hydraulické vodivosti, dříve koeficient filtrace – dle ČSN 75 0110 Vodní hospodářství – Terminologie hydrologie a hydrogeologie),

$$Q_{\max} \leq 0,419 \cdot l \cdot r_0 \cdot \sigma \cdot \sqrt{k}$$

Nestor současné české hydrogeologie a laureát ceny O. Hynie RNDr. F. Pastuszek ze společnosti VODNÍ ZDROJE, a.s. již dlouhá léta vyvíjí svůj vlastní výpočtový program Expert, jenž je využíván například také společnostmi AECOM CZ, s.r.o. či Vodní zdroje Ekomonitor spol. s r. o. Autor zde mimo jiné uvádí výpočty, sloužící k nalezení maximální možné vydatnosti vrtu, a to zvlášť pro volnou hladinu a zvlášť pro napjatou hladinu:

$$Q = \frac{k_f \cdot m \cdot S_0}{0,366 \cdot \lg \frac{R}{r_0}}$$

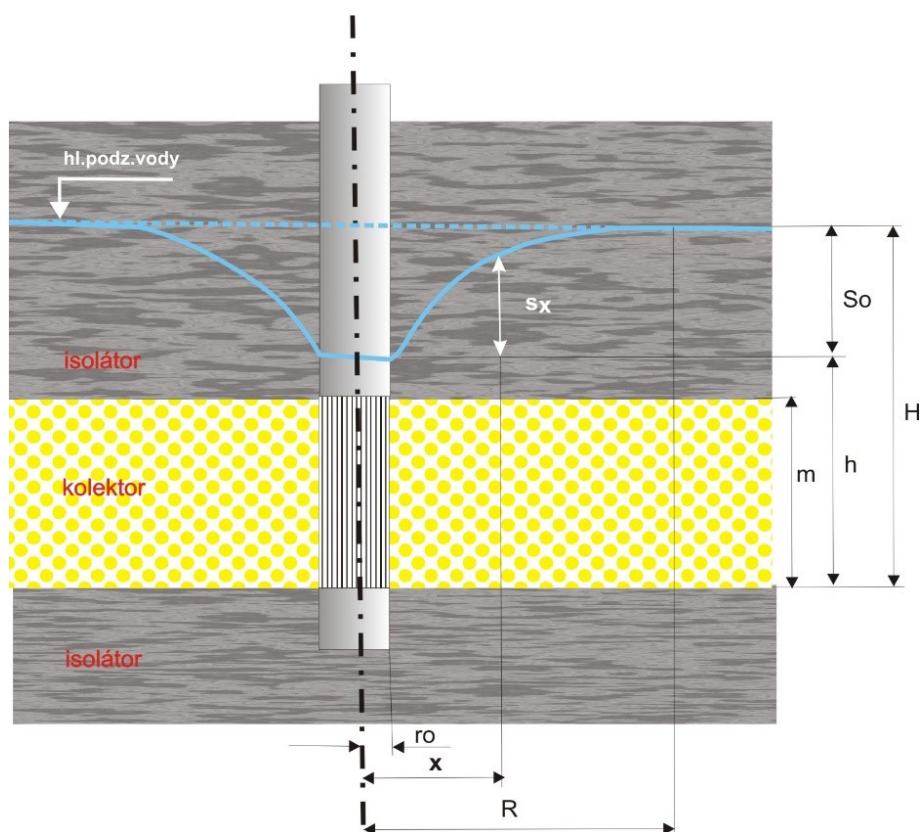
Pro napjatou HPV:

$$Q = \frac{k_f \cdot S_0 (2H - S_0)}{0,73 \cdot \lg \frac{R}{r_0}}$$

Pro volnou HPV:

Někteří hydrogeologové (i vrtné společnosti) doporučují jímat jen takové množství vody, které bylo v příslušném hydrogeologickém objektu reálně ověřeno při dlouhodobé čerpací zkoušce – v případě stupňovité HDZ dle nejvyššího čerpaného množství Q , resp. dle čáry vydatnosti. Následně dle příslušného vzorce dopočtou, zda nebude při tomto Q docházet k pískování, resp. sufozi (zanášení vrtu jemnozrnnými částicemi).

Obr. 4: Vysvětlivky k uvedeným zkratkám (vrt s napjatou HPV, F. Pastuszek, 2011)



Jelikož není jasně dáno, jaký vztah má hydrogeolog použít, a mnoho z nich zná navíc jen ten jeden „svůj“ zažitý a o existenci dalších možných způsobů výpočtu ani nemají ponětí, dochází k výrazně rozdílným výsledkům, a to několikanásobným, případně až řádovým, což může mít výrazný vliv na rozpočet investora, případně počet vrtů – často obce, mikroregiony či soukromé společnosti (průmyslové závody, pivovary, zemědělce apod.).

Specifické případy

V případě výpočtů u přetokových vrtů je nutno přičíst spočítanou hydraulickou výšku nad odměrný bod (zpravidla okraj ochranné pažnice) k celkové výšce vodního sloupce a následným výpočtům snížení – na totéž se nesmí nezapomenout při zpětném výpočtu snížení dle vypočteného optimálního Q . Pozor je nutno dávat také na započtení (a následné odečtení od Q_{\max}) přetokového množství u přelivných vrtů, a také jejich správného stanovení – usměrnění přetoku do odměrné nádoby o dostatečném objemu, nastavení zárubnice a změření piezometrické výšky nad odměrný bod (přetokové množství není jen funkcí tlaku, ale také transmisivity), zatěsnění vrtu a vyvedení přes ventil (následné měření tlaku, množství, případně přes hadičku s metrem – pozor na započtení místa měření – ventilu vůči odměrnému bodu) či indukované čerpání takového množství, které způsobí (kvazi)ustálení HPV v místě odměrného bodu (a následné dopočtení přes kalibrovanou nádobu z potrubí/hadice čerpadla či vodoměr).

Zvláštní zřetel je nutno dávat na skupiny vrtů, kdy při čerpání dochází ke vzájemnému ovlivnění vrtů (propojení depresních kuželů) v rámci stejného hydrogeologického kolektoru. To se týká i případných dalších okrajových podmínek (nepropustná hranice, řeka).

Pozor je nutno také dávat na nesprávné interpretace hydraulických výpočtů ze starších průzkumů – setkal jsem se například s tím, že do výpočtů byla použita data z jiného vrtu (pozorovacího), kde byla $3\times$ nižší mocnost vrtu (případ vrtu HV-2 v Brně–Kníničkách).

Zvláštní kapitolou jsou také specifické požadavky investora, kde si dopředu řeknou, jaké množství vody potřebují (a často také kolik na to mají peněz), čímž mnohdy dochází k „ohýbání“ výpočtů, resp. zadávaných parametrů – s tímto jsem se setkal i v případě hlubokých artéských vrtů pro velké národní podniky (např. brněnské Škrobárny či Lachema), kde se jednalo nejspíše o stranický úkol. Toto samozřejmě postupně způsobilo masivní zanesení vrtů jemnými částicemi, jelikož docházelo k dlouhodobému překračování maximálních vtokových rychlostí, a tím k postupnému zničení vrtu – například vrt HV-1 v brněnských Škrobárnách byl zanesen v celé mocnosti neogenního kolektoru spodnobádenských klastik, voda tak v současnosti přitéká pouze dnem vrtu z artéské zvodně, přičemž celý perforovaný úsek 76,3 m je pohřben. V tomto vrtu byl navíc nevhodně odtěsněn kvartérní kolektor, což má za následek nežádoucí mikrobiální oživení.

Závěry

Kvalita provádění hydrodynamických zkoušek a způsob interpretace výsledků má velký vliv na výsledné provedení (počet vrtů, průměr, hloubku, způsob vystrojení), včetně stanovené maximální možné vydatnosti vrtu, a tedy i cenu, což má významný dopad pro investora. Výsledky vykazují v rámci použitých výpočtů a parametrů velkou variabilitu i s řádovými rozdíly.

Literatura

Bartoň, J., Čáslavský, M., Šišková, Z., Vylamová, P. (2021): Brno – využití artéských vod, studie, Závěrečná zpráva, I. etapa hydrogeologických prací. GEOTest, a. s. Brno.

Mašek, F. (1979): Metodická pomůcka č.1/79 I. Část, Metodika provádění čerpacích zkoušek, GEOTest Brno, n.p.

Mašek, F. (1981): Metodická pomůcka č. 2/81 II.část, Metodika výpočtů hydraulických parametrů podle teorie neustáleného proudění podzemní vody, GEOTest Brno, n.p.

Mucha, I., Šestakov, V. M. (1987): Hydraulika podzemních vod, SNTL Praha

Pastuszek, F. (2011): Manuál expertního systému Expert

Pastuszek, F. (2020): Příklady hydrogeologických postupů – 1. díl – Přehled vzorců, výpočtových schémat a postupů, nevydáno