

MASARYKOVA UNIVERZITA BRNO

Přírodovědecká fakulta



Bakalářská práce

Efektivní infiltrace a její změny ve vybraném povodí

Jiří Šváb

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

Brno 2011

Obsah

Úvod	3
1. Lokalita Košetice	4
1.1 Lokalizace	4
1.2 Geomorfologie	4
1.3 Geologie	4
1.4 Hydrologie	5
1.5 Hydrogeologie	5
2. Infiltrace	6
3. Rorabaughova metoda	7
4. Výpočet efektivní infiltrace	8
4.1 Program RORA	8
4.2 Program PULSE	10
5. Použitá literatura	11

Úvod

Práce se zabývá problematikou životního prostředí, podrobněji pak doplňováním podzemní vody. Podzemní voda je voda, která se nachází pod zemským povrchem a pro společnost jako takovou má velký význam. Slouží jako zdroj pitné vody, využívá se v průmyslu i zemědělství. Jediným zdrojem podzemní vody v povodích je efektivní infiltrace z atmosférických srážek. Ta ale v posledních letech vykazuje sestupnou tendenci v souvislosti s nárůstem teplot a poklesem atmosférických srážek. Cílem práce je tedy stanovení hodnot efektivní infiltrace a jejich posouzení v čase. Pro svoji práci jsem si zvolil lokalitu Košetice s povodím Anenského potoka. Tato lokalita je zajímavá přítomností meteorologické stanice Českého hydrometeorologického ústavu, která vznikla v 80. letech 20. století za účelem monitorování kvality přírodního prostředí. Dnes se účastní řady projektů, které z ní činí přední pracoviště tohoto typu u nás. Díky tomu, že stanice funguje v oblasti již řadu let, existuje dostatek archivních dat.

1. Lokalita Košetice

1.1. Lokalizace

Oblast můžeme lokalizovat souřadnicemi: 49° 35' severní šířky a 15° 05' východní délky (Váňa et al., 2007). Nadmořská výška observatoře ČHMU je 534 m. Nejvyšším bodem povodí je kóta Na Altánku (633 m. n. m.), nejnižším bodem je soutok Anenského potoka s Martinickým potokem (464 m. n. m.).

1.2. Geomorfologie

Zájmová lokalita je součástí Křemešnické vrchoviny, která spadá do rámce Českomoravské vrchoviny. Křemešnická vrchovina je rovinného charakteru, který je modelován systémem říčních údolí a vrcholů, tvořených odolnějšími horninami. Nejvyšším bodem vrchoviny je Křemešník (765 m. n. m.). Při podrobnějším dělení spadají Košetice v rámci Křemešnické vrchoviny do Želivské pahorkatiny s nejvyšším vrcholem Na Altánku (681 m. n. m.).

Geomorfologický charakter oblasti odráží rozdílnou odolnost hornin vůči zvětrávání, rozhodujícím činitelem tvarování oblasti pak byla tektonika (Váňa, Holoubek et al., 2001).

1.3. Geologie

Oblast Košetic je součástí jedné z nejstarších částí Českého masivu – moldanubika. Moldanubikum tvoří horniny z nejrůznějších úrovní kůry a možná i litosférického a sublitosférického svrchního pláště, horniny různého někdy nepostižitelného původu, s velmi složitou historií a různého stáří, od spodnoproterozoických po kambrické, pokud jsou datovány, a možná až devonské (Cháb et al., 2008).

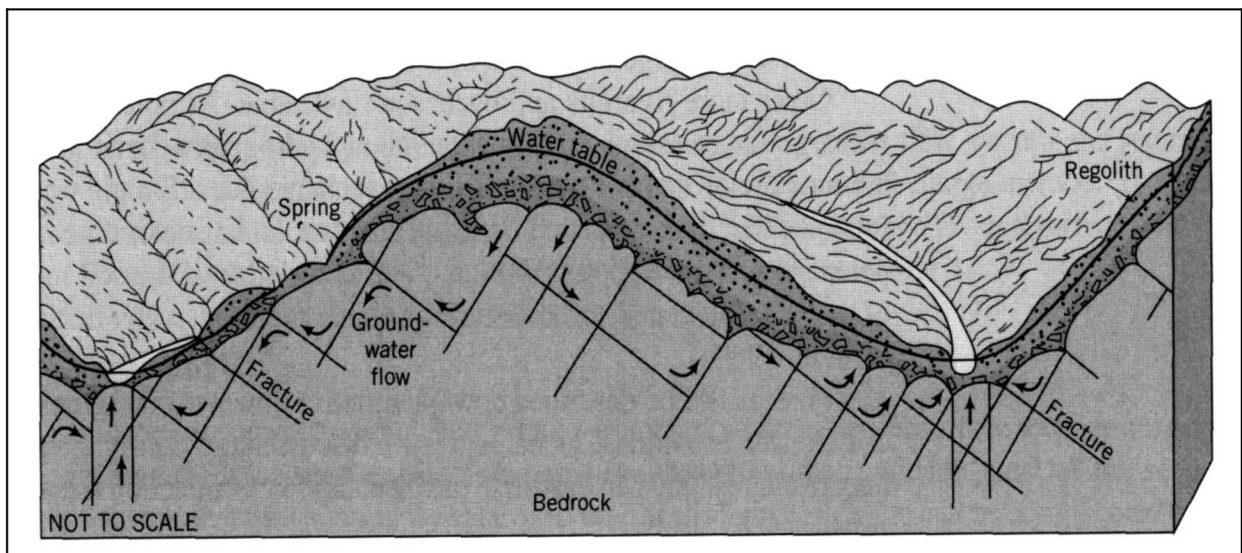
V rámci dělení moldanubika do jednotlivých částí spadá lokalita do severovýchodní části českého moldanubika. V oblasti jsou rozšířené horniny tzv. jednotvárné skupiny; jedná se o biotitické a silimanit-biotitické pararuly s lokální migmatitizací. Časté jsou vložky kvarcitů, erlanů, mramorů a pegmatitů. Moldanubikum vzniklo hercynskou orogenezí a dále bylo přepracováno orogenezí alpínskou. Kvartér je zastoupen zvětralými horninami na svazích a v říčních sedimentech. Jedná se především o sedimenty hlinito-písčitého charakteru.

1.4. Hydrologie

Ve své práci se soustředím na povodí Anenského potoka, který je popisován jako tok VI. řádu a tvoří pravostranný přítok Martinického potoka, který je přítokem Želivky. Anenský potok má pouze jeden pravostranný přítok, tzv. Lesní přítok. Celková délka toku Anenského potoka je 2,6 km. V poslední době byl v nejvyšší části toku vybudován nový rybník.

1.5. Hydrogeologie

Z hydrogeologického hlediska můžeme oblast označit jako hydrogeologický masiv. Typická je přítomnost pouze jednoho regionálního kolektoru, který se nachází v přívodové zóně zvětrávání a ve vrstvě kvartérních sedimentů. Mocnost zóny zvětrávání je pouze několik metrů. Hlubší zvodně jsou přítomny pouze v tektonických poruchách. Obecně jsou krystalické horniny málo propustné. Větší propustnosti dosahuje pouze zvětralínový plášť a kvartérní sedimenty.



Obr. 1 Proudění podzemní vody v krystalickém prostředí (Trapp and Horn, 1997)

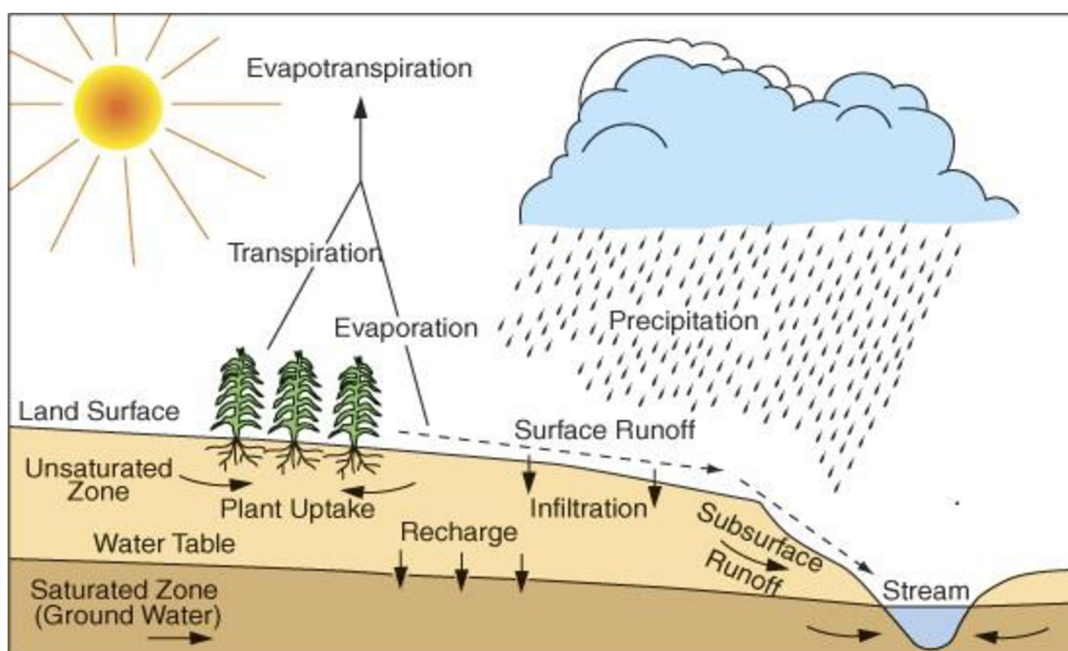
2. Infiltrace

Infiltraci (I) lze definovat jako proces, při kterém vstupuje srážková voda do půdy případně horninového podloží. Spolu se srážkami (P), evapotranspirací (ET) a povrchovým odtokem (PO) je součástí hydrologické bilanční rovnice. Při jejím výpočtu se počítá s tím, že nedojde ke změně zásob za rok. Zjednodušeně můžeme vyjádřit rovnici jako:

$$P = ET + PO + I$$

Infiltraci je možné dále rozdělit na hypodermický odtok, což je voda, která sice infiltrovala, ale nedosáhla hladiny podzemní vody a proudí víceméně horizontálně v nenasycené zóně, (Kuchovský, Šrámek, 2003) a doplňování podzemní vody, tzv. efektivní infiltrace.

Efektivní infiltrace zároveň iniciuje proudění podzemní vody z místa infiltrace do místa drenáže. Na rozdíl od ostatních členů bilanční rovnice ji nemůžeme přímo měřit, pouze vypočítávat za pomoci řady metod, které shrnul ve svém díle americký hydrogeolog Sophocleous (2003). Problematice se dále věnují autoři jako Rutledge (1998), Coes et al. (2007), Heppner et al. (2007) a Risser et al. (2009). Vzhledem k tomu, že výsledky jsou volbou určité metody ovlivněny, je vhodné použít ke stanovení efektivní infiltrace více metod (Říčka, 2010).



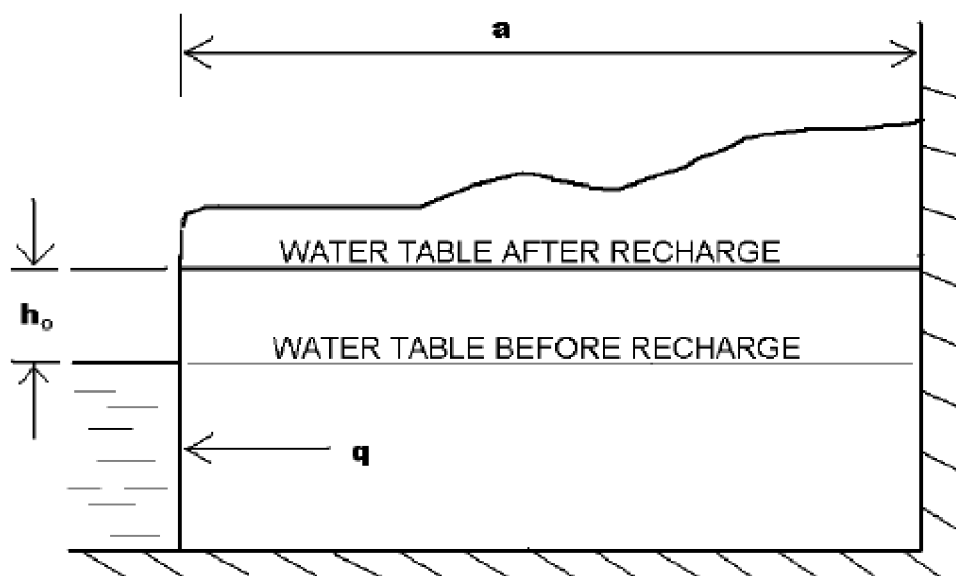
Obr. 2 Hydrologický cyklus s vyznačeným prouděním podzemní vody (Sophocleous, 2003)

3. Rorabaughova metoda

Metoda vznikla v roce 1964 na základě práce dvou amerických hydrogeologů Rorabaugh a Gløwea. Je známa také jako „recession curve displacement method“. Tato metoda je založena na ideálním systému proudění, ve kterém má zvodň jednotnou tloušťku, hydraulickou vodivost a storativitu. Dále musí proud procházet celou zvodň. Za efektivní infiltraci je považován okamžitý nárůst tlaku vodního sloupce (h_0) rovnoměrně po celé zvodni, zatímco hladina vodního toku zůstává beze změny. Kromě tohoto nárůstu a následného odtoku zde nejsou žádné jiné ztráty nebo zisky. Ztrátu podzemní vody do proudu (q) pak můžeme zapsat dle Rorabaughovy metody (Rutledge, 2000) jako:

$$q = 2T \frac{h_0}{a} \sum_{m=1,3,5,\dots}^{\infty} e^{-m^2 \pi^2 T t / (4a^2 S)}$$

kde q je odtok podzemní vody vztažený na jednotku délky toku, T je transmisivita, h_0 je okamžitý vzestup hladiny, a je vzdálenost toku od hydrologické rozvodnice, t je čas uplynulý od vzestupu hladiny a S je storativita.



Obr. 3 Skica popisující princip Rorabaughovy metody (Rorabaugh, 1964)

Použití této rovnice ale vyžaduje znalost čtyř nezávislých proměnných (T , h_0 , a , S), což může být problematické. Proto vyvinul hydrogeolog Rutledge (1997) rovnici, kde průtok můžeme definovat jako:

$$Q = \frac{1.866AR_i}{K} \times \sum_{m=1,3,5,\dots}^{\infty} e^{-0.933m^2\pi^2t/(4K)}$$

kde Q je celkový odtok podzemní vody, A je drénovaná oblast, R množství infiltrované vody vztahované na jednotku délky toku, K je recesní index v jednotkách času.

4. Výpočet efektivní infiltrace

Tato práce se zabývá stanovením hodnoty efektivní infiltrace na základě analýzy průtoků v povrchovém toku. Mám k dispozici záznamy ze tří měrných profilů, které jsou rozmístěné na toku Anenského potoka. V dnešní době je ve funkčním stavu pouze jeden z nich, a to na Lesním přítoku, kde se měří výška hladiny pomocí ultrazvukového snímače. Měření zde započalo 1. 1. 1990 a pokračuje do současnosti.

Výpočty provedu v programech RORA a PULSE, které jsou volně dostupné na internetových stránkách Americké geologické služby (USGS). Oba pracují na principu Rorabaughovy metody (1964), založené na ideálním systému proudění, kde má zvedeň jednotnou mocnost, hydraulickou vodivost a storativitu. Povrchový tok musí pronikat celou zvodní (Říčka, 2010)

4.1. Program RORA

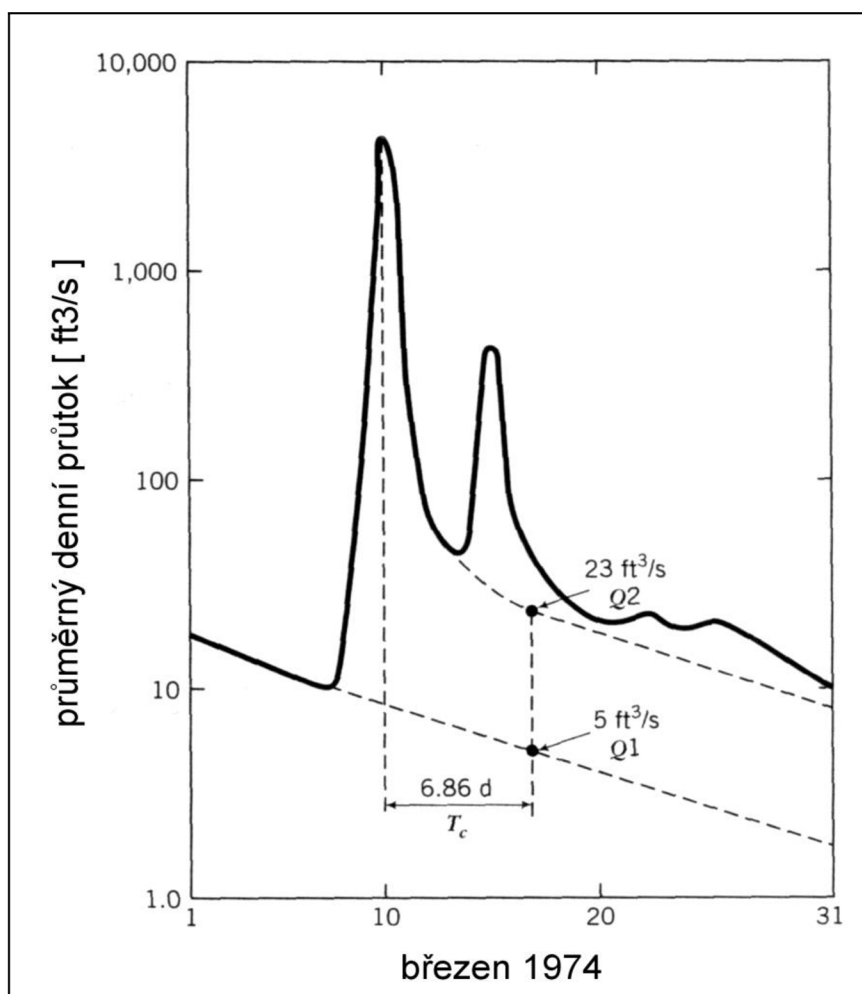
Počítačový program RORA (Rutledge, 1998) stanovuje hodnoty efektivní infiltrace na základě analýzy hydrogramu toku. Program je plně automatická počítačová verze metody, která měří pokles v křivce odtoku vyplývající z každé srážkové události, tato metoda je známa jako Rorabaughova. Program byl oficiálně vyvinut americkou geologickou službou pro projekt „Regional aquifer systém analysis“ (RASA). V rámci projektu se studovala Apalačská a Piedmonská provincie na východě USA. Ačkoliv byl program vyvinut speciálně pro tento projekt, je možné jej aplikovat i v jiném prostředí za dodržení předpokladu, že oblast je charakteristická plošnou difusní infiltrací do zvodněného prostředí, veškerá podzemní voda

proudí do povrchového toku a měřicí hydrologické stanice zaznamenávají její veškerý odtok z povodí. Vypočet efektivní infiltrace programem RORA pak můžeme zapsat jako:

$$R = \frac{2(Q_2 - Q_1)K}{2,3026}$$

kde R je objem infiltrované vody, Q_1 je odtok podzemní vody v kritickém čase (T_c) extrapolovaný z recese průtoku předcházející události, Q_2 je odtok podzemní vody v kritickém čase (T_c) extrapolovaný z křivky recese průtoku studované infiltrační události, K je recesní index. Kritický čas definujeme jako:

$$T_c = 0,2144K$$



Obr. 4 Doplnění podzemní vody mezi dvěma srážkovými událostmi (Rutlage and Daniel, 1994, upraveno Kuchovským)

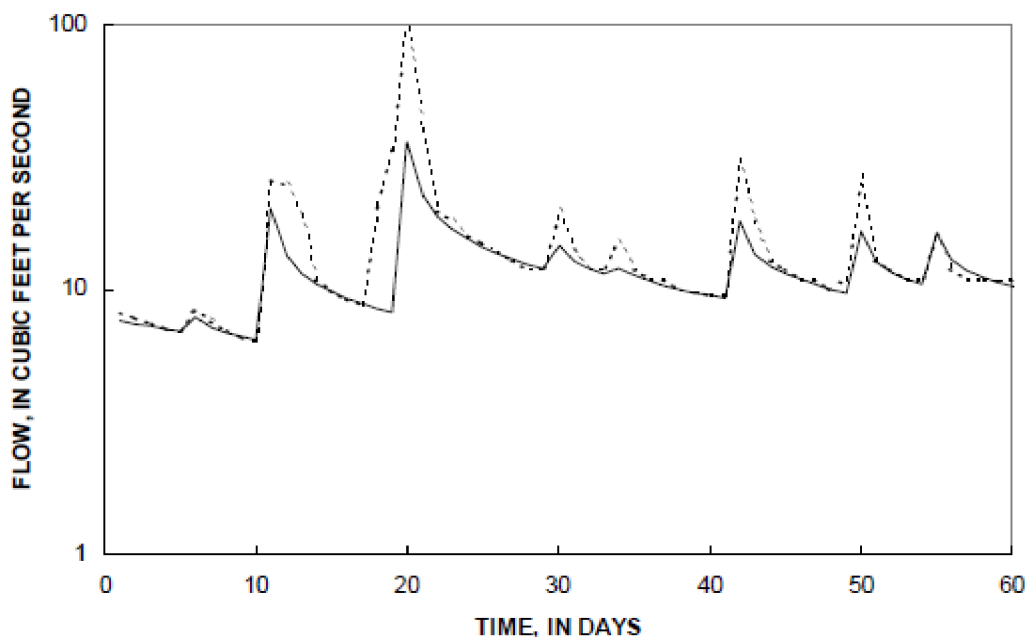
4.2. Program PULSE

Počítačový program PULSE byl vytvořen pro stanovení odtoku podzemní vody do povrchového toku, který následuje po infiltrační události. Jedná se o poloautomatický program, kdy uživatel kalibruje parametry jako recesní index, počáteční hodnoty infiltrace a evapotranspirace do doby dokud panuje shoda mezi simulovanými a naměřenými průtoky. Což umožňuje kontrolovat výsledky z plně automatických programů, jako je třeba RORA.

Infiltrační události jsou v programu PULSE chápány jako jednotlivé impulsy na hydraulickou výšku, která je v toku i zvodni stejná (Říčka, 2010). Efektivní infiltrace pak způsobuje okamžité zvýšení hydraulické výšky, zatímco úroveň toku je nezměněna (Říčka, 2010). Následný odtok je popsán rovnicí:

$$q = 2T \frac{h_0}{a} \sum_{m=1,3,5,\dots}^{\infty} e^{-m^2 \pi^2 T t / (4a^2 S)}$$

kde q je odtok podzemní vody vztažený na jednotku délky toku, T je transmisivita, h_0 je okamžitý vzestup hladiny, a je vzdálenost toku od hydrologické rozvodnice, t je čas uplynulý od vzestupu hladiny a S je storativita. Podmínky pro použití jsou shodné s programem RORA.



Obr. 5 Hydrograf odtoku podzemní vody spočítaný programem PULSE (plná čára) a z naměřených dat (přerušovaná čára) z Indian Creek v Alabamě, pro prvních 60 dní roku 1963, po kalibraci (Rutledge, 2002)

5. Použitá literatura:

- COES, A. L., SPRUILL, T. B., THOMASSON, M. J. (2007): Comparison of recharge rates estimated from multiple methods for a shallow unconfined aquifer. *Journal of Hydrogeology*, 15 (4).
- HEPPNER, C. S., NIMMO, J. R., FOLMAR, G. J., GBUREK, W. J., RISSER, D. W. (2007): Multiple methods investigation of recharge at a humid region fractured rock site, *Journal of Hydrogeology*, 15 (5).
- RISSER, D. W., GBUREK, W. J., FOLMAR, G. J. (2009): Comparison of recharge estimates at a small watershed in east central Pennsylvania, USA, *Journal of Hydrogeology*, 17 (2).
- RORABAUGH, M. I. (1964): Estimating changes in bank storage and groundwater contribution to streamflow, *International Association of Scientific Hydrology*, 63.
- RUTLEDGE, A. T. (1994): Testing an automated marod to estimate groundwater recharge from streamflow flow record, *Groundwater* 32 (2).
- RUTLEDGE, A. T. (1997): Model estimated ground water recharge and hydrograph of ground water discharge to a stream, *Water Resources Investigations report 97-4253 USGS*.
- RUTLEDGE, A. T. (1998): Computer programs for describing the recession of groundwater discharge and for estimating mean groundwater recharge and discharge from streamflow records, *Water Resources Investigations report 98-4148, USGS*.
- RUTLEDGE, A. T. (2000): Considerations for use of the rora program to estimate groundwater recharge from streamflow records, *Open-File Report 00-156, USGS*.
- RUTLEDGE, A. T. (2002): User guide for the pulse program, *Open-File Report 02-455, USGS*.
- RUTLEDGE, A. T. (2007): Program user guide for Rora, *USGS*.

- ŘÍČKA, A. (2010) Proudění a geochemie podzemních vod v ložiskové oblasti Rožná, disertační práce MU, Brno
- SCHWARTZ, F. W. – ZHANG, H. (2003): Fundamentals of groundwater. John Wiley and Sons, Inc.
- SOPHOCLEOUS, M. A. (2003): Groundwater recharge, In SILVEIRA, L. and USUNOFF, E. J.: Groundwater, Encyclopedia of Life Support Systems, Oxford, UK
- ŠRÁČEK, O. – KUCHOVSKÝ, T. (2003): Základy hydrogeologie. Skripta PřF MU v Brně.
- TRAPP, H. and HORN, M. A. (1997): Groundwater atlas of the United States, USGS Hydrologic Atlas.
- VACULOVIČOVÁ, L. (2006): Hydrogeologické poměry lokality Košetice, diplomová práce MU, Brno
- VÁŇA, M., HOLOUBEK, K. et al. (2001): Quality of the natural environment in the Czech republic at the regional level, Czech hydrometeorological institute, Prague