

JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH  
ZEMĚDĚLSKÁ FAKULTA

---

Studijní program: B4106 Zemědělská specializace  
Studijní obor: Pozemkové úpravy a převody nemovitostí  
Zadávací katedra: Katedra krajinného managementu  
Vedoucí katedry: doc. Ing. Pavel Ondr, CSc.

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Základní odtok - metody separace, faktory ovlivňující jeho  
výskyt a velikost

Vedoucí bakalářské práce:  
Ing. Václav Bystřický Ph.D.

Autor:  
Ivo Vlasák

---

České Budějovice, 2014

**ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**  
(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Ivo VLASÁK**  
Osobní číslo: **Z11786**  
Studijní program: **B4106 Zemědělská specializace**  
Studijní obor: **Pozemkové úpravy a převody nemovitostí**  
Název tématu: **Základní odtok - metody separace, faktory ovlivňující jeho výskyt a velikost**  
Zadávací katedra: **Katedra krajinného managementu**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

Práce bude mít charakter literární rešerše týkající se základního odtoku. Tato složka odtoku trvale zásobuje povrchový tok přítokem podzemní vody. Rešerše bude zpracována tak, aby sloužila jako podklad pro případné zpracování diplomové práce zabývající se touto problematikou.

Rámcový obsah literární rešerše:

Oběh vody v přírodě.

Odtok vody z povodí.

Složky odtoku a jejich geneze.

Metody stanovení základního odtoku.

Faktory ovlivňující výskyt a velikost základního odtoku.

Rozsah grafických prací: **dle potřeby**  
Rozsah pracovní zprávy: **35 stran textu**  
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**  
Seznam odborné literatury:

**Brutsaert, W. Hydrology: An introduction. Cambridge University Press, 2005, 605 s.**

**Davie, T. Fundamentals of hydrology. Routledge, New York, 2008, 200 s.**

**Maidment, D.R. (ed.). Handbook of hydrology. McGraw-Hill, New York, 1993, 1424 s.**

**Kněžek, M. Podzemní složka odtoku. VÚV, Státní zemědělské nakladatelství, Praha, 1988, 62 s.**

**časopisy: Hydrological processes, Journal of hydrology, Physics and chemistry of the earth, Hydrological studies, atd.**

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Václav Bystřický, Ph.D.**  
Katedra krajinného managementu

Datum zadání bakalářské práce: **4. března 2013**

Termín odevzdání bakalářské práce: **15. dubna 2014**



prof. Ing. Miloslav Soch, CSc.  
děkan

JIHOČESKÁ UNIVERZITA  
V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH  
ZEMĚDĚLSKÁ FAKULTA  
studijní oddělení  
Studená 13  
370 05 České Budějovice

L.S.



doc. Ing. Pavel Ondr, CSc.  
vedoucí katedry

V Českých Budějovicích dne 20. března 2013

## **PROHLÁŠENÍ**

Prohlašuji, že svoji bakalářskou práci Základní odtok - metody separace, faktory ovlivňující jeho výskyt a velikost jsem vypracoval samostatně pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu citované literatury.

Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění, souhlasím se zveřejněním své bakalářské práce, a to v nezkrácené podobě (v úpravě vzniklé vypuštěním vyznačených částí archivovaných Zemědělskou fakultou JU) elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejích internetových stránkách.

V Českých Budějovicích dne

.....  
Ivo Vlasák

## **PODĚKOVÁNÍ**

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu bakalářské práce Ing. Václavu Bystřickému, Ph.D. za odborné vedení, připomínky a trpělivost při tvorbě bakalářské práce.

## **ABSTRAKT**

Tato bakalářská práce se zaměřuje na hydrologický cyklus, hydrologické bilance a hydrologii podzemních vod. Podíl podzemních vod na toku je jednou z důležitých charakteristik hydrologického režimu toku. Podíl podzemních vod se zjišťuje z čáry průtoků za dlouhou řadu let, tzv. separací podzemního odtoku. Metod separace je celá řada a v práci je jejich problematika podrobně popsána. Dále jsou zmíněny faktory ovlivňující výskyt a velikost základního odtoku, mezi které patří zejména klima, geologie, reliéf půdy, vegetace a v neposlední řadě činnost člověka. Za základní odtok lze považovat odtok vody, který prochází oběhem podzemních vod. Jednou z dalších kapitol je právě odtok vody. Voda odtékající formou základního odtoku vytváří jak povrchové, tak i podzemní vody, které jsou součástí tzv. oběhu vody v přírodě, který je zde podrobně popsán spolu s povrchovou, podzemní a podpovrchovou vodou.

**Klíčová slova:** hydrologický cyklus, hydrologická bilance, odtok, metody separace základního odtoku

## **ABSTRACT**

This bachelor thesis focuses on hydrological cycle, hydrological balance and hydrology of underground waters. Underground waters holding in a river stream is one of the most important characteristics of hydrological mode of a river. Underground waters proportion is detected from a line of flow rate in the course of many years via so called separation of underground river stream. There are several methods of separation and problematics of these methods is described in detail in this thesis. What is mentioned further are the factors influencing occurrence and size of an elemental outflow rate, these factors being in particular climate, geology, relief of land, vegetation and last but not least human activity. Outflow rate which comes through the cycle of underground waters can be considered as an elemental outflow rate. Outflow rate is a subject matter of a further chapter. Water flowing out in a form of an elemental outflow rate creates both surface and underground waters, which are constituents of a cycle of water in the nature, which is described in this thesis in a detail together with surface, underground and subsurface water.

**Key words:** hydrological cycle, hydrological balance, outflow, methods of an elemental outflow rate separation

## **OBSAH:**

<b>Úvod.....</b>	<b>9</b>
<b>1. Oběh vody v přírodě.....</b>	<b>11</b>
<b>2. Metoda hydrologické bilance.....</b>	<b>13</b>
<b>3. Odtok vody z povodí.....</b>	<b>16</b>
3.1 Charakteristika vodních toků.....	18
<b>4. Složky odtoku a jejich geneze .....</b>	<b>19</b>
4.1 Základní typy odtoku.....	19
<b>5. Rozdělení vody .....</b>	<b>22</b>
5.1 Povrchová voda.....	22
5.2 Podpovrchová voda.....	23
5.3 Podzemní voda.....	23
<b>6. Hydrologické metody stanovení přirozených nebo využitelných zdrojů podzemních vod.....</b>	<b>25</b>
6.1 Metoda bilance podzemních vod, vycházející z rozkvyu jejich hladin .....	25
6.2 Metoda postupných profilových průtoků .....	28
<b>7. Vybrané metody separace základního odtoku .....</b>	<b>29</b>
7.1 Metoda Kliner- Kněžek.....	30
7.2 Killeho metoda (metoda minimálních měsíčních průtoků).....	31
7.3 Metoda Base Flow Index (BFI).....	33
7.4 Metoda proudu .....	35
7.5 Metody separace hydrogramu .....	35
7.6 Metody je stanovení základního odtoku na základě nejnižších průtoků v povrchových tocích .....	37
7.7 Metoda MGPM (modifikovaná graficko-početní metoda) .....	38
7.8 Metoda GROUND .....	38
7.9 Metoda SARR .....	39
<b>8. Faktory ovlivňující základní odtok .....</b>	<b>40</b>
<b>9. Závěr .....</b>	<b>45</b>
<b>Seznam použité literatury.....</b>	<b>47</b>
<b>Seznam obrázků .....</b>	<b>53</b>



## Úvod

Voda je základní složkou přírodního a životního prostředí, je pro člověka nezbytnou potravinou a surovinou, je zdrojem energie, při dostatečných hloubkách v řekách, jezerech a nádržích. Spolu s půdou a ovzduším je podmínkou všeho života a práce. Je součástí veškeré živé i neživé přírody. Sále zřetelněji se ukazuje, že vodu, její povrchové zdroje lze chápat jako významnou součást přírodního bohatství státu (Kemel, 1996). Vzhledem k tomu, že se voda na Zemi vyskytuje v omezeném množství, není rovnoměrně rozložena ani prostorově ani časově, je zapotřebí s ní velmi dobře hospodařit. K tomu je nezbytně nutné znát zákonitosti výskytu a oběhu vody v přírodě, její vlastnosti a možnosti jejího využití (Bumerl, 2003). Voda nejen slouží, ale je schopna i během krátké doby zničit práce mnohých generací. Nejen nadbytek, ale i nedostatek vody přináší značné škody. Vývojem lidské civilizace dochází k mnohým změnám, růst životní úrovně přináší i nepříznivé důsledky pro životní prostředí (Kemel, 1996). Díky zásahům člověka do životního prostředí je stále náročnější zabezpečit dostatek kvalitní vody, ochrana jejích zdrojů je stále obtížnější a složitější. Dochází k chemickému, bakteriologickému a teplotnímu znečištění životního prostředí (Kemel, 1996). Voda se v přírodě účastní všech podstatných biologických procesů, fyzikálních a chemických pochodů a tvorby klimatu. Nachází se v zemské atmosféře, oceánech, pevninách, tvoří toky a přirozené i umělé vodní nádrže. Je pro život nepostradatelná a její dostatečné množství je základním předpokladem pro existenci všech žijících organismů (Červený, Bohm, 1984). Voda je roztok, v němž jsou rozpuštěny různé látky. Má četné fyzikální vlastnosti, z nichž nejznámější je maximální hustota při teplotě 4°C. Podle výskytu rozlišujeme povrchovou vodu, což je podle zákona o vodách č.138/73 Sb. voda přirozeně se vyskytující na zemském povrchu. Podzemní voda je vodou v zemských dutinách a ve zvodněných zemských vrstvách. Mezi zvláštní vody zařazujeme vody například léčivé minerální vody nebo vody důlní. Dále půdní voda, srážkové vody a atmosférická voda (Broža, 1988).

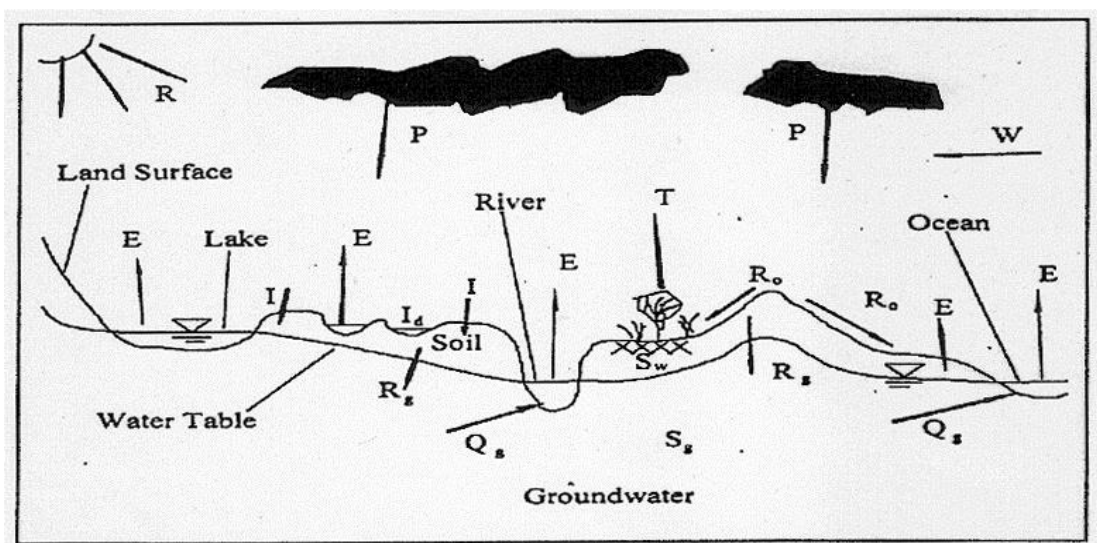
Vody se rozlišují podle původu a podle použití. Podle původu je dělíme na vody přírodní a odpadní. Mezi přírodní řadíme vody atmosférické, podzemní (půdní, prosté, minerální) a povrchové (tekoucí, stojaté, mořské).

Podle způsobu použití je dělíme na vodu pitnou, užitkovou, provozní a ostatní, které mají zvláštní požadavky na kvalitu a složení vody, např. vody pro rekreaci, závlahy, chov ryb a další (Bumerl, 2003).

Vodní zdroje jsou považovány v zásadě za nevyčerpatelné, ale poměrně snadno poškoditelné. Jako živel může být voda ničitelkou životů, společenských hodnot i přírody (Broža, 1988).

## 1. Oběh vody v přírodě

Veškerá voda na Zemi a v atmosféře, bez rozdílu skupenství, se nazývá hydrosféra. Podmínkou vyrovnaného stavu vody v přírodě je její oběh. Působením tepla se voda vypařuje a přechází do ovzduší jako vodní pára. Kondenzací vodních par v ovzduší vznikají srážky různých skupenství (děšť, rosa, kroupy, sníh), které spadnou zpět do oceánů, moří a na pevninu (Kvítek a kol., 2006). Po dopadu srážek na zemský povrch jsou srážky zadržovány pokrývným porostem úměrně mocnosti těchto částí a době trvání srážek. Významnou roli hrají také akumulční prostory povodí – povrchové mikrodeprese, mokřady, nádrže aj. Ta část srážek, která je zachycena na půdním povrchu a na hrabance, je nazývána povrchová akumulace (Krešl, 1999). Část vody se vypaří, část se vsákne do půdy a část oteče po povrchu. Určitý podíl vody vsáklé do půdy využije rostlinstvo, část vytváří podpovrchové vody a zbytek odtéká formou povrchové vody soustředěné v bystřinách, potocích a řekách zpět do moří, tím se oběh vody uzavírá (Kvítek a kol., 2006).



Obr. č. 1 Hydrologický cyklus ( Serrano, 1997)

R – sluneční záření  
E – evaporace  
T – transpirace  
W – rychlost větru  
P – srážky  
I<sub>n</sub> – intercepce

I – infiltrace  
S<sub>w</sub> – půdní vlhkost  
Q<sub>s</sub> – podpovrchový odtok  
R<sub>g</sub> – odtok do saturované zóny  
S<sub>g</sub> – rezervoár podzemní vody  
Q<sub>g</sub> – odtok podzemní vody do řek, jezer a oceánů

Na obrázku 1 je zobrazen oběh vody v přírodě. Je umožněn slunečním zářením, zemskou gravitací, zemskou tepelnou energií a geochemickou energií. Rozlišujeme velký oběh vody, který je oběhem vláh mezi pevninou a mořem a malý oběh, což je výměna vláh jen nad plochami moří. Malý oběh vody probíhá rovněž nad tzv. bezodtokovými oblastmi, ze kterých voda do světového oceánu neodtéká. Množství vody v hydrosféře zůstává prakticky konstantní. Znamená to, že celkový výpar z oceánů, moří a pevniny je rovný objemu srážek spadlých na Zemi (Kvítek a kol., 2006) :

$$V_o = H_{so} + O_p,$$

$$V_p = H_{sp} - O_p,$$

$$V_p + V_o = H_{sp} + H_{so},$$

$V_o$ ...výpar z oceánů a moří

$V_p$ ...výpar z pevniny

$H_{so}$ ...srážky spadlé na oceány a moře

$H_{sp}$ ...srážky spadlé na pevninu

$O_p$ ...odtok z pevniny

Množství vody v atmosféře, na povrchu země i v horninách je více méně konstantní. Voda, která tato množství tvoří, se pohybuje a přechází neustále z jednoho prostředí do druhého. Zdrojem její kinetické energie je sluneční záření, zemská gravitace, zemská tepelná energie a geochemická energie. Tyto energetické zdroje jsou příčinou neustálého hydrologického oběhu. Hydrologický oběh se skládá ze čtyř hlavních částí, a to z atmosférických srážek, povrchového odtoku, podzemního odtoku, infiltrace a vypařování spojené s transpirací, tj. předávání vody do atmosféry rostlinami. Transpirace je forma výparu z listů rostlin a stromů (Pačes, 1982). Závisí na rostlinných biologických procesech, lokalitě, půdní vlhkosti a také na meteorologických faktorech ovlivňujících výpar (SERRANO, 1997). Protože lze vypařování od transpirace obtížně odlišit, používá se sjednocujícího názvu evapotranspirace (Pačes, 1982).

## 2. Metoda hydrologické bilance

Hydrologická bilance představuje v podstatě porovnání atmosférických srážek, odtoku a změn zásob povrchových a podpovrchových vod v určitém území, nejčastěji v povodí některého toku. Jde o poměrně jednoduchou analytickou metodu, jejíž teoretická stránka je detailně propracována. V podstatě spočívá v řešení vztahu, který vyjadřuje kvantitativní rozdělení srážkové vody na jednotlivé složky hydrologické bilance a je dán základní rovnicí číslo 1:

$$H_s + O_z + O_p + H_r = O'_p + H_e + O'_z + H'_r \quad (\text{rovnice č.1})$$

$H_s$  – voda ze srážek na ploše uvažovaného území

$H_e$  – voda vypařená z plochy uvažovaného území

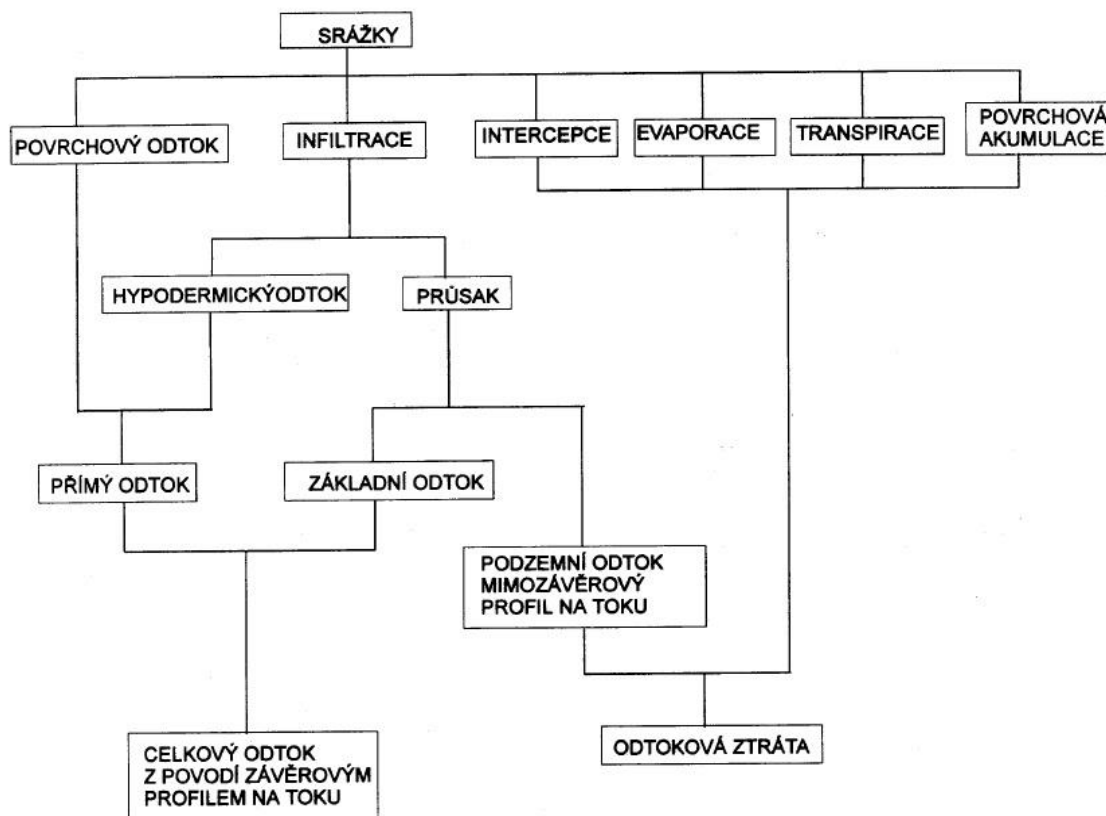
$H_r, H'_r$  – zásoby povrchové a podpovrchové vody v území na začátku  
a na konci uvažovaného období

$O_p$  – přítok povrchové vody na území

$O'_p$  – povrchový odtok z území

$O_z$  – přítok podzemní vody do území

$O'_z$  – podzemní (základní) odtok vody z území



Obr. č. 2 Schéma odtokového procesu ( převzato z ČSN 73 6530 Názvosloví hydrologie)

Rozdělení atmosférických srážek spadlých na plochu určitého území je znázorněno na obrázku 2. Z tohoto schématu je patrné, že voda ze srážek v oblasti s humidním (vlhkým) podnebím se rozděluje na část, která odteče jako povrchový odtok, nebo se projeví zvětšením zásob povrchových vod v tocích, jezerech a umělých nádržích (Kříž, 1983). Srážky jsou výsledkem kondenzace nebo desublimace vodní páry v ovzduší, na povrchu půdy, předmětů a rostlin (Hrádek, Kuřík, 2002). Další část se vsákne do půdy a hornin a buďto odteče jako hypodermický odtok, anebo způsobuje zvýšení zásob podpovrchových vod. Při hydrologické bilanci se vychází ze základního předpokladu, že jediným zdrojem vody, která se zúčastňuje oběhu vody v přírodě, jsou srážky (Kříž, 1983). Bilanci podpovrchové vody na určitém území lze vyjádřit rovnicí číslo 2:

$$V_p = H_s - H_e + O_p + O_z - O'_p - O'_z \quad (\text{rovnice. } \check{c}.2)$$

Kde:  $V_p$  – zvětšení nebo zmenšení zásob podpovrchových vod v území,  
 $H_s$  – atmosférické srážky,  
 $H_e$  – výpar,  
 $O_p$  – přítok povrchové vody na území,  
 $O'_p$  – odtok povrchové vody z území,  
 $O_z$  – přítok podpovrchové vody do území jak infiltrací vody z toků a nádrží,  
tak i ze sousedních území  
 $O'_z$  – odtok podzemní vody do sousedních území, jakož i do vodních toků  
a nádrží.

Bilanci podzemní vody je možno vyjádřit rovnicí číslo 3 tohoto tvaru:

$$V_z = H_{oi} - H_e \pm H_{rz}, \quad (\text{rovnice } \check{c}.3)$$

Kde:  $V_z$  – zvětšení nebo zmenšení zásob podzemní vody v území, projevující se  
vzestupem nebo poklesem její hladiny,  
 $H_{oi}$  – průsak půdní vody k hladině podzemní vody,  
 $H_e$  – spotřeba vody na výpar,  
 $H_{rz}$  – rozdíl přítoku a odtoku podzemní vody z území.

Hydrologická bilance se převážně řeší na území vymezeném orografickou rozvodnicí, čili v povodí, znamená to, že v rámci hranic této územní jednotky není oběh vody mnohdy prostorově uzavřen, neboť dochází k výměně vody mezi ní a sousedními jednotkami. Jde o přirozenou výměnu vody, zejména podpovrchové, která je způsobena tím, že mezi geografickým a hydrogeologickým povodím jsou rozdíly dané geologickou stavbou území a jeho tektonickými poměry. Kromě toho však může docházet i k umělému přivádění, či odvádění vody z povodí do povodí, nebo odběrem vody. Zatímco množství uměle přiváděné, nebo odváděné vody z povodí lze zpravidla do bilance zahrnout, rozsah přirozené výměny vody je možno obvykle stanovit pouze velmi přibližně.

Pouze v těch případech, kdy se hydrologická bilance řeší na území s uzavřeným oběhem podpovrchové vody, tj. zejména určité hydrogeologické struktury, je možno uvažovat výměnu vody pouze ve velikosti odpovídající infiltraci z toků, popřípadě i nádrží do horninového prostředí a naopak jeho odvodňování do těchto vodních útvarů. Spolehlivost výsledných hodnot, které se získávají výpočtem z bilanční rovnice, záleží především na přesnosti výchozích údajů. Menší chybou budou výsledky zatíženy tehdy, když se dosáhne větší přesnosti ve stanovení hodnot klimatických a hydrologických prvků, které se do rovnice dosazují (Kříž, 1983).

### **3. Odtok vody z povodí**

Odtok je množství vody, které odtéká z území. Celkový odtok je tvořen jednak povrchovým odtokem v řekách a potocích, jednak podpovrchovým odtokem. Povrchový odtok sestává ze srážkové vody, která napršela do koryt řek a potoků a do vodních nádrží, z vody (Pačes, 1982). Nejprve stéká v tenké vrstvě, tzv. roně, poté ve stružkách, potocích a řekách. Takto vznikají přirozené vodní toky a bystřiny, charakterizované soustředěným odtokem v korytě o určitém přirozeném průřezu neboli profilu (Bumerl, 2003). Voda, která se infiltrovala do provzdušněného pásma a přitekla do vodoteče po méně propustných polohách uvnitř provzdušněného pásma a konečně je v povrchovém odtoku podíl podzemní vody, která se do vodoteče vcedila z nádrže podzemní vody (Pačes, 1982). Hlavní tok se svými přítoky tvoří říční soustavu, která odvádí vodu z určitého území, tzv. povodí. Systém říčních soustav tvoří říční síť krajiny (Bumerl, 2003).

Velikost odtoku závisí na intenzitě srážek, teplotě a délce jejich trvání, na propustnosti půdy a hornin, typu vegetace, sklonu svahů, zastavěnosti terénu, drenážních konstrukcích apod. (Pačes, 1982). Odtok je důležitý člen hydrologické bilance a bilance podzemních vod. Je to množství vody odtékající z povodí nebo jeho části po povrchu nebo pod povrchem. Vyjadřuje se jako objem odtoklé vody za sledované časové období. Odtok se začíná vytvářet spadnutím srážek. Z nich se část vypaří, část se spotřebuje rostlinami, část se infiltruje a obnovuje zásoby podzemní vody a část vytváří podzemní odtok (Melioris a kol., 1986).



Odtok vody z povodí se vyjadřuje jednoduchou bilanční rovnicí číslo 4 (Žlábek, 2009), na obrázku číslo 3 můžeme vidět znázornění hydrologické bilance povodí:

$$O = S - E \pm \Omega, \quad (\text{rovnice č.4})$$

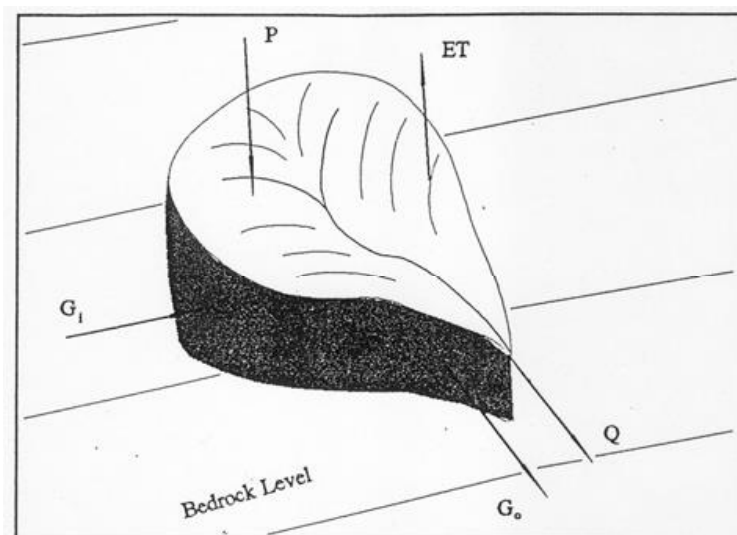
kde:

O - odtoková výška,

S - srážky,

E - evapotranspirace,

$\Omega$  - množství vody, které zvýšilo nebo snížilo zásoby povrchové a podzemní vody.



Obr. č. 3 Hydrologická bilance povodí ( Serrano, 1997)

P - srážky

ET - evapotranspirace

Q - celkový odtok

Gi - přítok podzemní vody

$\Delta S$  - množství vody, které zvýšilo,

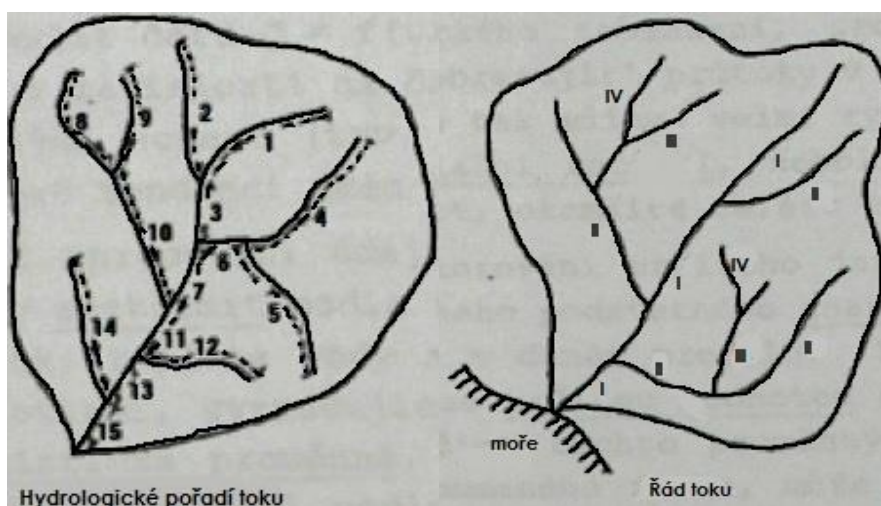
Go - odtok podzemní vody

nebo snížilo zásoby povrchové a podzemní vody .

### 3.1 Charakteristika vodních toků

V hydrologické části každého projektu významnějšího vodohospodářského díla je třeba kromě dat o srážkách, průtocích, teplotách, kvalitě vody apod. nutno uvést i výstižnou charakteristiku vodního toku, povodí a říční soustavy zájmového území. Počátek toku se nazývá pramen, může být soustředěný a nesoustředěný. V srážkově bohatém období roku se pramen posouvá blíže k rozvodnici. Pramenem často bývá ledovec, ledovcové nebo jiné jezero, bažina atd. Málokdy skutečným pramenem toku je individuální výron podzemní vody na povrch. Ústí toku je místo, kde se tok vlévá do jiného toku, jezera, moře atd. Přesněji je dáno průsečíkem střednice toku s vodorysem recipientu. V krasových nebo suchých oblastech se mnohdy tok ztrácí dříve, než dosáhne některého z recipientů. Délka toku je vzdálenost ústí toku od pramene měřeno po střednici toku. Ústí je považováno za počátek toku a je tedy km 0,00 (Bumerl, 2003).

Každému toku můžeme přiřadit jeho řád - je to číslo, udávající nutný počet postupných zaústění od moře. Hydrologické pořadí toku je řazení toků postupně od pramene po proudu, od toku nižšího řádu k vyššímu. Hlavní tok je tok nejvyššího řádu v daném povodí. Ten se svými přítoky tvoří říční soustavu (Kemel, 1996). Na obrázku 4 je k vidění hydrologické pořadí toku a řád toku:



Obr. č. 4 Hydrologické pořadí toku, řád toku (Kemel, 1996)

## **4. Složky odtoku a jejich geneze**

### **4.1 Základní typy odtoku**

#### **Celkový odtok**

Celkový odtok je hlavní odvod vody z povodí. Je tvořen několika složkami, povrchovým odtokem v potocích a řekách a také podpovrchovým odtokem (Pačes, 1982). Celkový odtok z povodí se dá charakterizovat jako objem vody, který odteče z povodí za jednotku času (Chmelová, Frajer, 2011). Tvoří souhrn všech složek odtoku procházejícího závěrečným profilem toku za daný časový interval. Jeho hodnotu získáme měřením průtoku na jednotlivých profilech. Z celkového odtoku lze za pomoci separace hydrogramu vyčlenit: podzemní (základní) odtok a povrchový odtok (Hall, 1968). Jeho součástí je několik typů dílčích odtoků (Chmelová, Frajer, 2011).

#### **Základní odtok**

Základní odtok představuje část celkového odtoku z území k určitému profilu na povrchovém toku, který je tvořen dotací z podzemních vod. Je to část celkového odtoku vody, která se po skončení deště dostává do povrchových toků až po určité době a celkový odtok zásobuje i v období, kdy se v povodí srážky nevyskytují. Z této definice vyplývá, že představuje pouze část odvodnění z hydrogeologické struktury. Kromě základního odtoku jsou do procesu odvodnění zahrnuty i další složky, např. ztráty evapotranspirací, přetékaní přes hranice struktury, antropogenní vlivy (čerpání zdrojů podzemních vod) (Kessl, Kněžek, 2000).

#### **Hypodermický odtok**

Hypodermický odtok je odtok, který stéká do koryta toku, na níže položené území, v bezprostřední vrstvě pod povrchem povodí, aniž by dosáhl k hladině podzemní vody (Kříž, 1983).

## **Přímý odtok**

Je to část celkového odtoku vody, která se do povrchových toků dostává už v průběhu trvání deště a bezprostředně po jeho skončení. Přímý odtok je způsoben pouze nadbytkem vody v důsledku deště a je hlavní příčinou zvýšených průtoků, povodní, vodní eroze. Z praktických důvodů se za přímý odtok obvykle považuje jen povrchový odtok (Bumerl, 2003).

## **Povrchový odtok**

Voda povrchového odtoku odtéká nejprve plošně, záhy se však soustřeďuje především v přirozených terénních rýžkách, sníženinách a poté údolnicích (Vopravil a kol, 2010). Specifické podmínky pro vznik povrchového odtoku vznikají v období tání. Rychlost vsakování je minimální a kolísá u hlinitých a jílovitých půd mezi 0,01 a 1,0 mm.den<sup>-1</sup>, protože půda je v zimě promrzlá a v povrchových vrstvách nasycená vodou. (Toman, Podhrázká, 2002). Zde se projeví největší škodlivost povrchového odtoku, která spočívá zejména v jeho erozní činnosti odnosu svrchní, a tedy nejúrodnější půdní vrstvy, bohaté na organické látky a živiny, popř. pesticidy, které jakkoli jsou potřebné na poli, jsou nežádoucí ve vodním prostředí. K předcházení tvorby povrchového odtoku by měla být dodržována protierozní opatření a zásady správné zemědělské praxe, jedná se hlavně o vyloučení pěstování širokořádkových plodin na svazích se sklonem 7° a vyšším (Vopravil a kol, 2010). Primárním zdrojem vody pro tento odtok je srážkový úhrn.

Odtok z překročení infiltrace – hortonovský. Vzniká v případě, že intenzita srážky přesahuje infiltrační kapacitu půdy. V současné době je známo, že povrchový odtok není univerzálně vyskytující se jev, a že se v mnoha případech nemusí vůbec objevit.

Odtok z překročení nasycení. Objevuje se na místech, kde je povrch předem nasycen (vývěr podpovrchového odtoku, zvýšená hladina podzemní vody), bez ohledu na intenzitu srážky (Žlábek, 2009).

## **Podpovrchový odtok**

Podpovrchový odtok je tvořen odtokem podpovrchové vody z nenasycené a nasycené zóny půdního profilu. Nenasycená zóna půdního profilu, také zóna aerace, obsahuje kromě pórů vyplněných vodou i póry vyplněné vzduchem. Voda je v pórech držena tlakem, který je nižší než atmosférický působící na hladinu podzemní vody. Nasycená zóna půdního profilu oproti nenasycené zóně obsahuje většinu pórů plně nasycených vodou. (Pavlásek, 2010)

## **Podzemní odtok**

Podzemní voda je významným článkem oběhu vody v přírodě a náleží mezi základní složky životního prostředí. Mimořádně důležitá je z hospodářského hlediska, neboť má většinou lepší fyzikální vlastnosti a chemické složení než voda povrchová, kterou lze získávat pro vodárenské účely z vodních toků nebo nádrží. Je tedy významným a někdy nenahraditelným zdrojem vody pro zásobování obyvatelstva (Říha, 1987). Jedná o vodu, která se sráží a prosakuje do půdního profilu. Tato voda si nachází cestu do potoků, řek, jezer, podzemních jezer a dalších přírodních recipientů (Brutsaert, 2005). Relativně pomalé rychlosti proudění podzemní vody a její dlouhá doba zdržení ve zvodních vytváří nepřetržitý odtok vody do vodních toků a vodních nádrží. Tento proces zajišťuje minimální výšky hladin ve vodních nádržích a minimální průtok ve vodních tocích v bezesrážkových obdobích (Serrano, 1997).

## 5. Rozdělení vody

### 5.1 Povrchová voda

Označují se tak všechny vody, které se vyskytují na zemském povrchu (Bumerl, 2003). Voda na zemském povrchu je jednak kontinentální, jednak mořská. Kontinentální voda se nachází na pevninách a zahrnujeme do ní ležící sníh a led ve formě ledovců a sněhových polí, dále vodu tekoucí, která tvoří přirozené vodní toky, umělé kanály a konečně vodní nádrže. Ty mohou být přirozené, jako jsou jezera a močály, umělé, jako jsou přehradní nádrže a rybníky. Mořská voda vyplňuje rozsáhlé prolákliny mezi pevninami a tvoří oceány (Pačes, 1982). Povrchová voda je odtékající, nebo zadržovaná v přirozených, nebo umělých nádržích na zemském povrchu. Vzniká ze srážek, z výronů podzemních vod nebo tání ledovců. Převládajícím zdrojem povrchové vody v ČR jsou srážky (Bumerl, 2003). Povrchová voda neobsahuje pouze rozpuštěné látky, ale obvykle je v ní rozptýleno i velké množství suspendovaných částic různého původu a chemického složení, obsahuje rovněž mikroorganismy. Jsou to většinou bakterie, řasy a sinice, které mohou, ale nemusí být zdraví škodlivé a často ovlivňují chemické složení povrchových vod (Pačes, 1982). Vodní útvar přijímající vodu z určitého povodí se nazývá vodní recipient. Vzniká buď přirozenou cestou, nebo uměle - zásahem člověka. Voda v recipientu je stojatá, nebo tekoucí.

Podle toho rozlišujeme:

#### 1. Vody stojaté

- a) přirozené (moře a oceány, jezera, mokřady, močály),
- b) umělé (rybníky, přehradní nádrže).

#### 2. Vody tekoucí

- a) přirozené (potoky, bystřiny, řeky, veletoky),
- b) umělé (kanály, průplavy).

Podle lokality se povrchové vody dělí na:

- povrchové vody kontinentální,
- vody mořské.

Na základě měření Mezinárodní hydrologické dekády (1965 - 1975) obsahuje světový oceán 1 338 000 km<sup>3</sup> vody, tj. asi 96,5 % veškeré zásoby vody na Zemi (Bumerl, 2003).

## **5.2 Podpovrchová voda**

Podpovrchové vody vznikají hlavně vsakováním (infiltrací) srážkové vody do půdy a částečně též srážením (kondenzací) odvdůšněné vodní páry v půdě, a to v množství vymezeném pórovitostí půdy, tj. objemem průlin neboli pórů v přirozeně uložené půdní hmotě. Podle povahy půdního prostředí (zrnitosti, struktury, velikosti pórů, stupně provlhčenosti) se rozlišují různé druhy podpovrchových vod, charakteristické rozdílnou pevností vazby, pohyblivostí, použitelností aj. V podstatě se však rozlišují dva základní druhy, a to voda půdní a podzemní. Půdní voda je část půdy vsáklé srážkové vody, která je v půdním prostředí upoutána různými silami, takže nepodléhá účinkům zemské tíže a neprosakuje již do hlubších horizontů půdního profilu. Nejpevněji je poutána resp. vázána přímo v půdní hmotě (Zachar, Jůva, 1987).

## **5.3 Podzemní voda**

Podzemní voda je nedílnou součástí koloběhu vody v přírodě (Kliner a kol., 1978). Představuje více než 98% objemu všech pevninských typů vod (kromě vody vázané v ledovcích). Je propojena s vodami povrchovými, přičemž dochází k oboustranné výměně (Hartman a kol., 1998). Voda podzemní je část podpovrchové vody vyplňující dutiny zvodněných hornin bez ohledu na to, zda vytváří nebo nevytváří souvislou hladinu. Podzemní voda se dále člení podle původu na vodu juvenilní, fosilní a vadózní (Tlapák a kol., 1992). Vody juvenilní představují pouze malou část podzemních vod, které vznikají kondenzací vnitrozemských par. Jsou zpravidla mineralizované a proplyněné a jako zdroje pro zásobení nevhodné (Kliner a kol., 1978). Juvenilní voda je podzemní voda uvolňující se z magmatu a poprvé vstupujících do oběhu vody v přírodě (Pitter, 1999, Kříž, 1983).

Juvenilní podzemní voda se může dostat až na zemský povrch, především v oblastech s aktivní vulkanickou činností, zejména jako voda termálních pramenů nebo gejzírů (Kříž, 1983). Podzemní voda tvoří podzemní hydrosféru a vyplňuje prostory uvnitř hornin. Zásoby podzemní vody se doplňují průsakem z povrchu infiltrací nebo kondenzací vodních par v půdě a kondenzací vodních par z chladnoucího magmatu. Vlastnosti půdního prostředí rozhodujícím způsobem ovlivňují kvalitu i kvantitu podzemní vody (Bumerl, 2003).

Fosilní voda je podzemní voda uchovaná v dutinách hornin z minulých geologických období a neúčastní se v průběhu delšího časového období oběhu vody v přírodě (Pitter, 1999). Bývá také označována jako hlubinná voda, protože se vyskytuje v hlubokých vrstvách hornin (Kříž, 1983).

Vody vadózní, které označujeme jako podzemní vody mají původ v infiltraci atmosférických srážek, nebo prosakování vody z povrchových toků (Kliner a kol., 1978). Termín vadózní je dovozen z latinského „vadosus“, což znamená „povrchní“. Vadózní zóna je často nazývána nenasycenou zónou, někdy zóna provzdušňování, protože póry obvykle obsahují vzduch i vodu. Vadózní zóna se rozprostírá od povrchu půdy do podzemní vody. Obsah vody a tlak má vliv na vadózní zónu a je ovlivněna podmínkami v saturované zóně a atmosférou. Distribuce vadózní vody v určitém okamžiku, závisí také na energetickém stavu (jehož složky zahrnují maticový a gravitační potenciál), historie smáčení / sušení a dynamiky samotné vody. Není-li žádný průtok, lze odvodit, že gradient celkového potenciálu je nula, takže v případě, že z maticových a gravitačních součástí jsou významné jen ty, které lze přidat do konstantní celkovému potenciálu (Nimmo, 2009).

Průběh a kolísání hladiny podzemní vody závisí na celé řadě faktorů. Jedná se zejména o klimatické podmínky, morfologii terénu, geologické podmínky, kolísání hladiny v povrchových tocích, umělé hydraulické zásahy (čerpání vody z vrtů a studní) tzv. odběry povrchových a podzemních vod, drenážní systémy apod. Největší váhu ve vazbě na výšku hladiny podzemní vody zaujímá faktor dotace podzemních vod neboli srážky, které jsou dominující pro dotaci podzemních vod, promítající se na kolísání hladiny podzemní vody. Na úroveň hladiny podzemní vody má vliv především intenzita a časová variabilita srážek. Vyjma samotných srážek mají rovněž významný vliv dlouhodobé odběry velkého množství podzemní vody,



při nichž dochází k významným dlouhodobým poklesům úrovně hladiny podzemní vody v řádu metrů až desítek metrů, které mohou v nepříznivých geologických poměrech způsobit prosedání povrchu terénu, nebo jen zánik přirozených vývěrů podzemní vody a na ně vázaných mokřadů, zpravidla se specifickou faunou a florou (Vopravil, 2010).

## **6. Hydrologické metody stanovení přirozených nebo využitelných zdrojů podzemních vod**

Pro hydrologii podzemních vod jsou příznačné některé metody, jejichž předmětem je určení přírodních nebo využitelných zdrojů podzemních vod. Jde o způsoby stanovení velikosti těchto zdrojů na základě znalosti některých rysů režimu podzemních vod nebo rozdělení celkového odtoku na jeho jednotlivé složky a určení základního (podzemního) odtoku (Kříž, 1983).

### **6.1 Metoda bilance podzemních vod, vycházející z rozkyvu jejich hladin**

Předmětem této metody je bilance podzemních vod v pásmu nasycení, tj. v té části půdního profilu a vrstvách hornin, v nichž jsou všechny volné prostory vyplněny vodou. Výchozími údaji jsou pro tuto bilanci hodnoty rozkyvu, tj. rozdílu mezi nejvyšším a nejnižším stavem hladiny podzemní vody, který byl zjištěn během dlouhodobého pozorování. Hodnotí se i situace charakterizována rozkyvy hladin v kratších časových úsecích. Je však nutné, aby byl přítom splněn jeden předpoklad, a to, že musí jít o podzemní vodu s volnou hladinou, která je výlučně pod vlivem procesů probíhajících v pásmu aerace a odvodnění. Použití této metody rovněž vyžaduje dostatečné znalosti o celkovém oběhu vody v krajině, neboť podle místních a časových podmínek je třeba přihlížet k některým složkám hydrologické bilance. Jde zejména o atmosférické srážky, povrchový odtok, evapotranspiraci, změny zásob podzemní vody, výměnu podzemní vody se sousedním územím apod. (Kříž, 1983).

Postup této metody je takový, že se z dlouhodobého časového průběhu hladin podzemní vody, srážek i některých hydrologických prvků záměrně vyberou taková kratší období, kdy se některé složky bilance neuplatňují, anebo jejich působení je zanedbatelné, takže se k nim nemusí přihlížet. Nezbytná je však znalost účinné pórovitosti propustného prostředí v rozsahu rozkvyvu hladiny podzemní vody. Účinná pórovitost na rozdíl od celkové pórovitosti charakterizuje pouze akumulaci schopnost těch pórů a dutin, které jsou navzájem propojeny a umožňují tedy pohyb vody v propustném prostředí. Zjišťuje se zpravidla z výsledků hydrogeologických výzkumů metodou neustálého pohybu vody, při kterém se mění průtok i rychlost proudění s časem a místem. Kromě toho se může stanovit např. stopovacími zkouškami, či laboratorním měřením na neporušených nebo reprezentativních vzorcích (Zajíček, 1966).

K. Kliner a kol. (1978) popisují způsob stanovení účinné pórovitosti z graficky znázorněné závislosti vzestupu hladiny podzemní vody na úhrnu srážek, zpravidla za období zimního půlroku. Musí však být splněn základní předpoklad, že zvýšení hladiny podzemní vody je vyvoláno pouze srážkami. Z rovnice číslo 5 se ze vztahu vypočítá účinná pórovitost.

$$\mu = \frac{S_u}{\Delta H} \quad (\text{rovnice č.5})$$

Vhodným výběrem kratších období z časových průběhů kolísání hladin podzemních vod, kdy dochází k poklesu a současně lze vyloučit doplňování zásob těchto vod, jakož i jejich zmenšování vzlínáním, je možno stanovit i součinitel filtrace z údajů, které byly získány nejméně ze tří vrtů umístěných tak, aby vytvořily této prostředí pro vodu o dané kinematické viskozitě. Vypočítá se z rovnice číslo 6 neustáleného proudění podzemní vody (Hálek, Švec, 1973).

$$\frac{h}{t} = \frac{1}{u} \left( -\frac{q_x}{x} - \frac{q_y}{y} + v_0 \right) \quad (\text{rovnice č.6})$$

Kde:  $h$  – výška volné hladiny podzemní vody nad nepropustným podložím

$t$  – čas

$q_x, q_y$  – specifický průsak ve směru pravoúhlým souřadnicovým os  $x$  a  $y$

$v_0$  – rychlost filtrace

$\mu$  - účinná pórovitost

Po získání hodnot účinné pórovitosti a součinitele filtrace je možné dokončit souvislou bilanci celého uvažovaného období, založenou na součtu jednotlivých kratších časových úseků. Bilance se provádí zpravidla v profilech umístěných ve směru proudění a tímto způsobem získané hodnoty, odpovídající jednotkovému průtočnému profilu, se potom zobecňují pro větší územní celky. Současně je však třeba pamatovat na plošnou reprezentativnost a podle toho volit síť průzkumných vrtů (Kliner a kol., 1978).

Přírodní zdroje podzemních vod se také někdy stanoví na základě znalostí velikosti rozkyvu volné hladiny podzemní vody některými jinými způsoby. Jde např. o výpočet z rovnice číslo 7:

$$Q = h \cdot F \cdot \mu \quad (\text{rovnice č.7})$$

Kde  $Q$  – přírodní zdroje podzemních vod v  $m^3$ ;

$h$  – rozsah kolísání volné hladiny podzemní vody;

$F$  – plošný rozsah zvodněného prostředí;

$\mu$  – součinitel účinné pórovitosti.

Rovněž se využívá k počtu velikosti zdrojů podzemních vod Darcyho vztahu vyjádřeného rovnicí číslo 8 :

$$Q = k \cdot F \cdot I \quad (\text{rovnice č.8})$$

Kde: Q – velikost přírodních zdrojů podzemních vod v  $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ;

k – součinitel filtrace;

F – plocha průtočného profilu, kolmá na směr proudění podzemní vody;

I – sklon hladiny podzemní vody.

Při používání těchto vztahů (7, 8) k výpočtu přírodních zdrojů podzemních vod dochází k určité schematizaci, zejména z hlediska stanovení a výběrů vstupních údajů, což může vést ke značným chybám ve výsledcích (Krásný, 1977). Vzhledem ke složitým podmínkám proudění podzemních vod dochází ve zcela homogenním zvodněném prostředí ke změnám v pohybu těchto vod, zejména ve směru do hloubky, takže např. při větších mocnostech propustných vrstev hornin nelze tyto rovnice v základní formě prakticky vůbec použít.

## 6.2 Metoda postupných profilových průtoků

Metoda tzv. postupných profilových průtoků je založena na proměnlivé vodnosti toků v závislosti na ploše povodí po celé délce od pramenů po ústí, což však neplatí všeobecně. Graficky se tento vztah znázorňuje čarami postupných profilových průtoků, které se sestavují na základě výsledků měření průtoků v jednotlivých charakteristických profilech na tocích. Při rozboru těchto čar se vychází z předpokladů, které se uplatňují při tvorbě hydrologického režimu příslušného území. Čáry postupných profilových průtoků se obvykle sestavují na základě výsledků měření průtoků, která byla provedena v bezesrážkových, tj. relativně suchých obdobích, kdy převládající složku odtoku vody v tocích tvoří přítok podzemních vod z území, kdežto vliv ostatních činitelů je zanedbatelný. Jedině při tomto postupu, lze touto metodou zjistit určité nepravidelnosti ve vývoji

odtoku vody v toku, jejichž příčinou jsou přítoky podzemních vod podmíněné geologickou stavbou území, jeho tektonickými a hydrogeologickými poměry. Z průběhu čar je možno určit charakteristická místa, která mají hlavní vliv na přírodní odvodňování podzemní vody do vodního toku. Porovnáním výsledků získaných z období odlišných vodností se získají kromě prostorových i časové charakteristiky sledovaného jevu. Popsaným způsobem je postihována pouze jedna složka přírodních zdrojů podzemních vod, která se projeví základním odtokem. Při stanovení přírodních zdrojů podzemních vod je třeba poznatky získané touto metodou ještě doplnit a upřesnit, např. hydrologickou bilancí apod. Kromě toho je nutno mít na paměti při používání této metody, že průraznost anomálií v průběhu odtoku je přímo závislá na přesnosti měření průtoků (Kliner a kol., 1978).

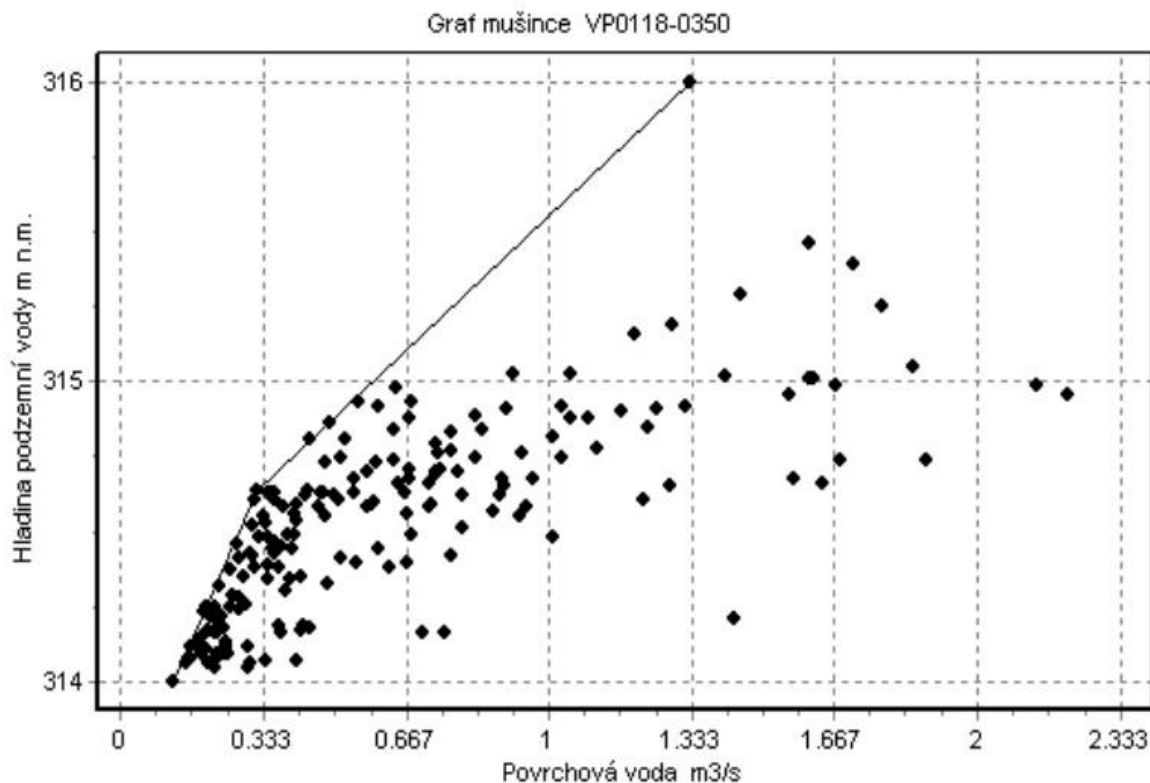
## **7. Vybrané metody separace základního odtoku**

Podíl podzemních vod na toku je jednou z důležitých charakteristik hydrologického režimu toku. Podíl podzemních vod se zjišťuje z čáry průtoků za dlouhou řadu let, tzv. separací podzemního odtoku. Metod separace je, v závislosti na záměru zpracování, celá řada. Spočívá v tom, že se v čáře  $Q = f(t)$ , spojují čarou (úsečkou) body příslušející obdobím nízkých průtoků. Správnost výsledku je podmíněna vystižením počátku období nízkých průtoků, kdy lze důvodně předpokládat, že průtok v profilu toku je převážně tvořen ze zásob podzemních vod. Separace podzemních vod, je v hydrologii významnou úlohou, zvláště v problematice hydrometeorologických předpovědí, při konstrukcích povodňových vln metodou jednotkového hydrogramu apod. (Kemel, 1996). Velmi rozšířené jsou metody stanovení odtoku podzemní vody, který také bývá označován jako základní odtok. Jde o přítok podzemní vody ze zvodněných vrstev hornin, popřípadě i z půdy (z pásma nasycení) do vodních toků. Tohoto odtokového procesu se zúčastňuje určitá část podzemních vod, která se podílí na napájení řek a tím i na celkovém oběhu vody v krajině (Kříž, 1983).

## 7.1 Metoda Kliner- Kněžek

Metoda Kliner - Kněžek využívá výsledky režimního sledování podzemních vod. Je založena na předpokladu závislosti výšky hladiny povrchové vody v toku na výšce hladiny vody v přilehlém vrtu. Touto metodou je možné vypočítat základní odtok i pro kratší časové úseky, proto je vhodná pro tvorbu každoročních hydrologických bilancí. Metoda umožňuje vyčíslení základního odtoku na povodí o ploše řádově desítek až stovek km<sup>2</sup> s uzavřeným oběhem vody, pozorováním průtoků v uzavřeném profilu a sledováním vydatností pramene nebo lépe stavů hladin podzemní vody ve vrtu. Pokud jsou antropogenní a přírodní podmínky neměnné, lze prohlásit, že výsledná výtoková čára je poměrně stabilní. Vhodné a podložené výsledky lze získat z metody užívané k pozorování podzemních vod. Jednu z nich vytvořili Kliner a Kněžek v roce 1974, kteří konstruují obalovou křivku v množině bodů, jejichž souřadnicemi v původní verzi je rozdíl mezi úrovněmi hladiny podzemní vody a hladinou v toku na ose y a průtok na ose x. Obalová křivka přiřazuje k danému rozdílu hladin nejmenší časově odpovídající průtok. Autoři metody předpokládají, že takto definovaný vztah je velmi blízký vztahu hydraulického sklonu k velikosti složky podzemních vod dotujících tok.

Tato metoda je v České republice nejrozšířenější a je jí pokryto přibližně 75% našeho území (Kliner, Kněžek, 1974). Příklad grafu této metody lze vidět na obrázku číslo 5.



Obr. č. 5 Příklad tvorby obalové čáry v metodě Kliner-Kněžek (Kliner a Kněžek, 1974)

## 7.2 Killeho metoda (metoda minimálních měsíčních průtoků)

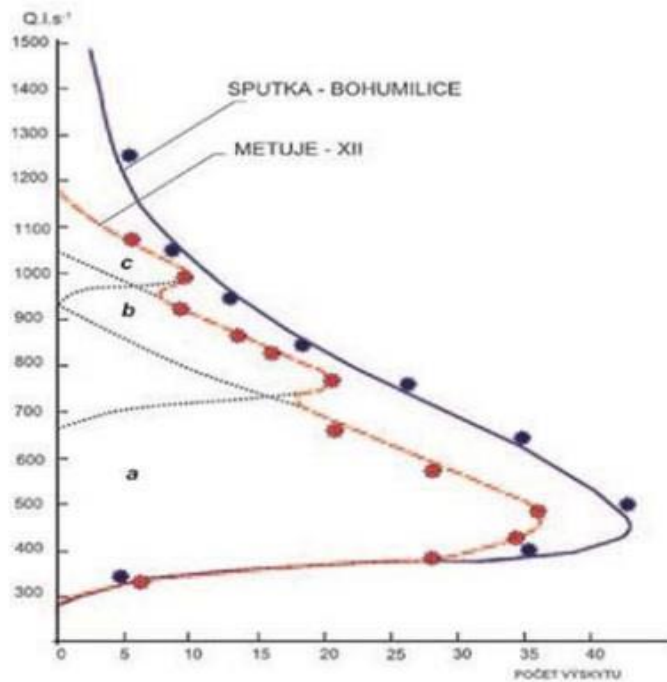
Metoda minimálních měsíčních průtoků, kterou vypracoval K. Kille, je založena na stejném principu jako předcházející způsob (Kříž, 1983). Pro úspěšný výpočet by mělo být období delší než deset let, pokud však není tato podmínka splněna, lze použít i analogie z povodí s vhodnými, obdobnými přírodními podmínkami a s dostatečně dlouhou dobou měření. (Kadlecová a kol., 2007) Rozdíl vychází z nejmenších průměrných denních průtoků jednotlivých měsíců za celé nejméně desetileté období.

Získané průtokové hodnoty se seřadí ve vzestupném pořadí a vyznačí geograficky v pravoúhlé síti pořadnic. Výhodné je znázornění přímkou, zejména v dolní a střední části souboru, které jsou z hlediska stanovení hodnoty podzemního odtoku nejvýznamnější. Střední pořadnici získané přímkou odpovídá průměrný podzemní odtok z příslušného povodí za zvolené období (Kříž, 1983) Výsledná hodnota základního odtoku se vztahuje ke zpracovanému období, jehož reprezentativnost je nutné posoudit a je průměrnou hodnotou pro sledovaný profil povodí. Nevýhodou Killeho metody je, že v období relativně malých vodností výsledky nepostihují proměnlivost odtoku v závislosti na změnách

hydrogeologických vlastností kolektoru v povodí a nerovnosti rozložení atmosférických srážek. Tato skutečnost platí i pro ostatní metody hodnocení základního odtoku, založené na interpretaci údajů sledování na síti vodoměrných stanic (Kadlecová a kol., 2007). Metoda je vhodná pro regionální hodnocení dlouhodobě průměrných hodnot podzemního odtoku. Poprvé byla u nás použita pro území povodí Labe, Moravy a Odry (Olmer a kol., 1972) a výsledky byly promítnuty do map Hydrogeologické rajonizace 1972. Jako hlavní klady této metody je snadná dostupnost podkladových dat, nevyžadující doplňkové údaje, regionální platnost dat, rychlost a jednoduchost zpracování, která minimalizuje subjektivní zásahy vedoucí u různých zpracovatelů k odlišným interpretacím. Zároveň způsobem zpracování omezuje výrazně vliv počátečních a koncových dat hodnocené časové řady. Killeho metoda na rozdíl od dříve používaného spojování měsíčních minim v hydrogramu seřazuje vybrané hodnoty do čáry překročení.

V oblasti vyšších hodnot jsou v semilogaritmické soustavě aproximovány přímkou odpovídající průběhu v oblasti nejčtetnějších výskytů. Zjednodušeně lze říci, že oblast nad aproximovanou přímkou procentuálně reprezentuje počet minimálních měsíčních průtoků, ovlivněných přímým i hypodermickým odtokem. Čáry překročení četnosti minimálních měsíčních průtoků se skládají ze dvou až tří částí. Základnímu odtoku odpovídá část obsahující střední a menší hodnoty a části s vyššími hodnotami odpovídají přímému a hypodermickému odtoku jak je znázorněno na obrázku 6 (Kadlecová a kol., 2007).





Vysvětlivky: *a* – podzemní odtok, *b* – hypodermický odtok, *c* – přímý odtok

Obr. č. 6 Příklady čar rozdělení četnosti minimálních měsíčních průtoků (Kněžek, 1988)

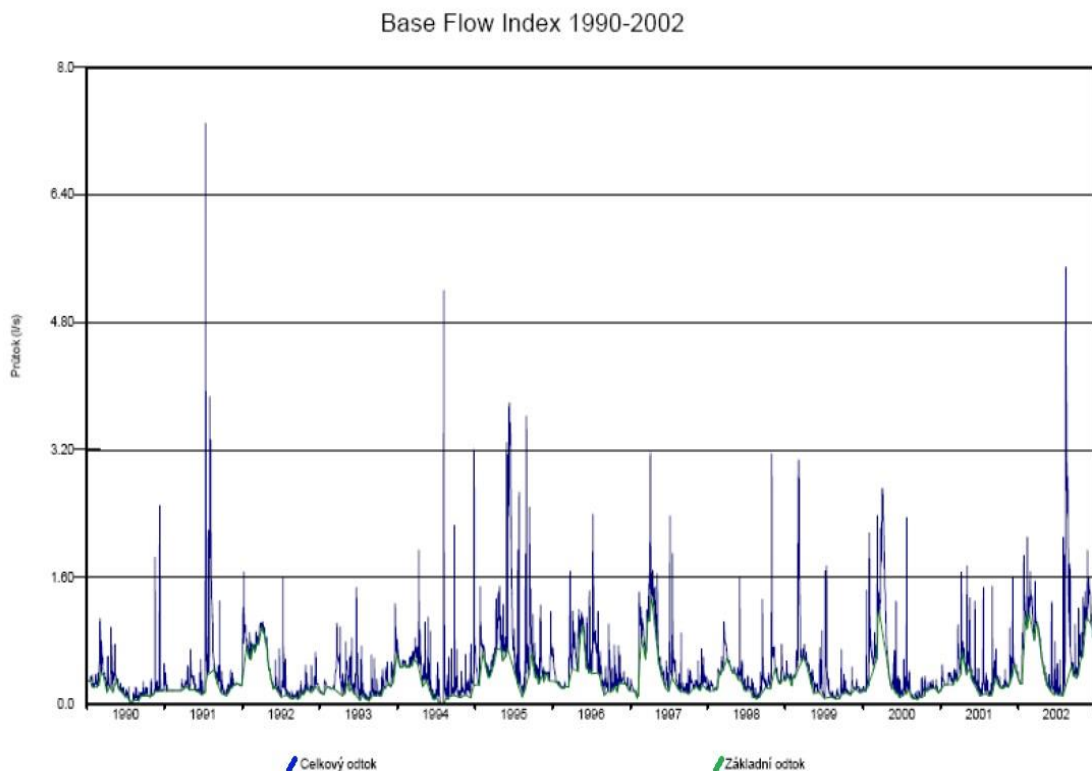
### 7.3 Metoda Base Flow Index (BFI)

Tato metoda byla vyvinuta Britským hydrologickým institutem v roce 1980. Base Flow Index byl původně vyvinut k pozorování změn zásob vody ve vodních nádržích ve Velké Británii. Při dalších výzkumech v Kanadě, Norsku a na Novém Zélandu bylo zjištěno, že může být tato metoda použita pro popis vývoje regionálních záplav a také pro výpočet základního odtoku. BFI může být definován jako měřitelná část povrchového toku dotovaného podzemní vodou. Metoda je kombinací analýzy lokálních minim spolu s křivkou vyprazdňování (Gustard, 1992). Na obrázku číslo 7 můžete vidět separaci hydrogramu metodou Base Flow Index.

Postup pro stanovení BFI je následující:

- 1) Rozdělení série dat průměrných denních průtoků na nepřekrývající se pětidenní bloky, stanovení minima pro každý z těchto bloků. Ty se značí jako  $Q_1, Q_2, Q_3, \dots, Q_n$ .

- 2) Vytvoření řady ve tvaru  $(Q_1, Q_2, Q_3), (Q_2, Q_3, Q_4), \dots (Q_{i-1}, Q_i, Q_{i+1})$ .  
Pro každou platí, když prostřední hodnota násobená koeficientem 0,9 je menší, než obě hodnoty sousední, bude tato hodnota bodem křivky základního odtoku. Tento postup je použit na celou sérii dat. Získáme jednotlivé body křivky  $QB_1, QB_2, QB_3, \dots, QB_n$ , časové intervaly mezi sousedními body se budou lišit.
- 3) Interpolací pak stanovíme hodnoty pro chybějící body.
- 4) Jestli-že  $QB_1 > Q_1$ , považujeme  $QB_1 = Q_1$
- 5) Vypočteme objem  $V_B$  pod křivkou základního odtoku, s počátkem v bodě  $QB_1$  a koncem v bodě  $QB_n$
- 6) Výpočet objemu  $V_A$  pod křivkou denních odtoků pro stejné období
- 7) BFI pak bude poměrem  $V_B/V_A$



**Obr. č. 7** Separace metodou Base Flow Index (Gustard, 1992)

## 7.4 Metoda proudu

Metoda představuje nejméně náročný způsob určení dynamické části zdrojů podzemní vody v místě vodárenské exploatace. Průtok podzemní vody jedním, nebo více profily napříč přirozeného toku podzemní vody je definován podle vztahů vycházejících z Darcyho filtračního zákona, který je vyjádřen rovnicí číslo 9 (Kliner a kol., 1978):

$$Q_d = i \cdot k_f \cdot F \text{ (a) nebo } Q_d = i \cdot k_t \cdot b \text{ (b)} \quad (\text{rovnice č.9})$$

kde:

i..... střední sklon hladiny podzemní vody v okolí průtočného průřezu

$k_f$ .....součinitel hydraulické vodivosti

$k_t$ .....součinitel průtočnosti (transmisivity)

F.....střední hodnota průtočného profilu v m<sup>2</sup>

b..... šířka průtočného profilu v m

Metoda proudu nevyžaduje detailní znalost okrajových podmínek ani podmínek přirozené tvorby zásob podzemní vody a jejího doplňování. Výsledky jsou ovšem použitelné pouze u vrstev s jednoduchými okrajovými podmínkami a geologickou stavbou, u kterých lze dostatečně přesně stanovit vstupní údaje (Kliner a kol., 1978). Metoda je vhodná pouze v územích s jednoduchými přírodními poměry (Kněžek 1988), k nimž oblasti hydrogeologických masívů rozhodně nepatří. Problémy tvoří nejen obtížně stanovitelné regionálně platné hodnoty propustnosti, resp. průtočnosti, ale i stanovení stálého hydraulického sklonu a profilu, v němž je podzemní průtok určován. Může být zatížena značnou chybou vyplývající z nepřesností stanovení základních podkladů (Kadlecová a kol. 2007).

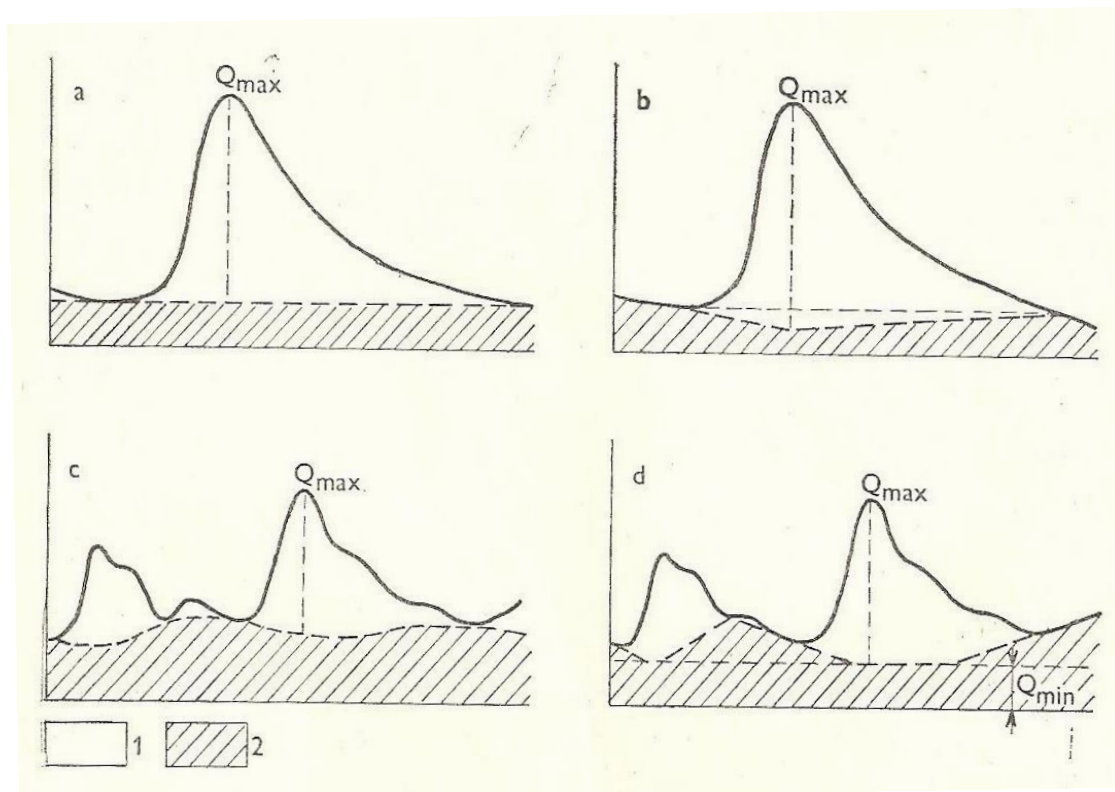
## 7.5 Metody separace hydrogramu

Výchozím předpokladem metod je, že průtok v určitém profilu toku tvoří v určitém časovém úseku z hlediska původu vody tyto složky (Kliner a kol., 1978):  
povrchový odtok (ron) - část srážkové vody, která se nevypařila a nevsákla, ale odtéká po povrchu terénu

hypodermický odtok – voda, která stéká do koryta toku ve vrstvě bezprostředně pod povrchem a nedosáhne souvislou hladinu podzemní vody

základní odtok (odtok z pásma nasycení) – přirozený přítok z podzemních vod

Poměr těchto tří složek odtoku je plošně i časově proměnlivý. Zvláště pro větší bilancované celky je obtížné rozlišit hypodermický a povrchový odtok. Proto se z hydrogramu obvykle vyčleňuje jen odtok přímý, který je součtem povrchového a hypodermického odtoku. Nevýhodou všech metod je jejich značná pracnost a subjektivita při vyhodnocování (Kadlecová a kol. 2007). Existuje několik způsobů separace hydrogramu, nejjednodušším způsobem je jeho rozdělení vodorovnou čarou, probíhající počátkem průtokové vlny, za který je možno považovat okamžik, kdy dochází k výraznému zvětšování průtoků. Vzhledem k tomu, že tento postup nejméně vyhovuje z hlediska stanovení základní složky odtoku, byly vypracovány jiné metody. Metoda separace složek hydrogramu pro vyčlenění podzemního odtoku jsou založené na empirickém určení bodu ukončení povrchového odtoku. Aby se mohl tento bod na čáře průtoků resp. na čáře vyčerpávání určit, musí se vykonat její analýza (Melioris, 1986). Jde např. o určení hranice mezi základním přímým odtokem v podobě čáry spojující měsíční minimální průtoky, v podobě různě lomené přímky, která do jisté míry přihlíží i ke tvaru průtokové vlny, tj. přechodného zvětšení a následného poklesu průtoků, avšak s tím rozdílem, že dělicí linie má zpravidla obrácený průběh, než tato vlna. Znamená to, že obvykle v době nejvyššího přímého odtoku je základní odtok relativně nejnižší (Kříž, 1983). Na obrázku 8 jsou zobrazeny různé způsoby rozčleňování hydrogramu.



Obr. č. 8 Různé způsoby rozčleňování hydrogramu na přímý a základní (podzemní) odtok.  
1 – přímý odtok, 2 – základní odtok (Kříž 1983)

## 7.6 Metoda stanovení základního odtoku na základě nejnižších průtoků v povrchových tocích

Jde o jednoduchý způsob, který vychází z předpokladu, že v době výskytu nejnižších průtoků jsou vodní toky napájeny převážně podzemními odtoky touto metodou. Při prvním z nich se postupuje tak, že se vypočítá průměr z denních průměrných průtoků z období 30 po sobě následujících dní s nejnižšími průtoky v jednom roce. Aritmetický průměr z takto získaných průtokových hodnot za 10 let představuje hledaný podzemní odtok z celého povodí toku po příslušnou vodoměrnou stanici. Ve druhém případě představují výchozí podklad nejnižší průměrné měsíční průtoky jednotlivých roků z nejméně desetiletého období, z nichž se vypočítává aritmetický průměr, který představuje průměrný podzemní odtok (Kříž, 1983).

## 7.7 Metoda MGPM (modifikovaná graficko-početní metoda)

Vznikla z potřeby rozčlenit dlouhodobé datové řady středních denních průtoků na složky základního a přímého odtoku při nedostatku doplňujících měření, obvykle k těmto účelům využívaných (údajích o hladinách podzemních vod, o vlhkosti půdy, srážkových poměrech apod.), s plánovanou budoucí aplikací na data drenážních odtoků. Stejně jako u předchozí popisované metody jde o rozčlenění hydrogramu podle zásady, že každá zřetelná odtoková vlna má příčinu v určité srážkové epizodě, přičemž ovšem dílčí příčinné deště na sebe mohou libovolně navazovat. Úkolem algoritmu je separovat tu část odtoku, která je přímou odezvou na příčinnou srážku (efektivní dešť). Vychází se z toho, že základní odtok má mít plynulý průběh a má kolísat jen pozvolna, v závislosti na vývoji dlouhodobé hydrologické bilance povodí (resp. drenážní skupiny). Může být maximálně roven celkovému odtoku v závěrovém profilu. Algoritmus MGPM je zpracován ve Visual Basicu jako extenze tabulky Excelu (Kulhavý a kol, 2001).

## 7.8 Metoda GROUND

Metoda GROUND ("separation of GROUND water runoff") byla vypracována Doležalem a Jainem (1997). Vznikla z potřeby urychleně a přibližně separovat přímý a základní odtok z malého povodí z datové řady středních denních průtoků v závěrovém profilu. Je to metoda empirická, odladěná tak, aby separované hydrogramy středních denních odtoků z povodí o ploše řádu 1 km<sup>2</sup> vypadaly věrohodně, jsou-li posuzovány pouhým okem. Začátek vyhodnocovaného období by měl připadnout do málo vodného období, kdy průtok nekolísá. Metoda obsahuje jediný proměnlivý vstupní parametr, koeficient přírůstku základního odtoku COEF. Empiricky odladěná hodnota COEF pro povodí řádu 1 km<sup>2</sup> je 0.075. Vnitřními parametry, nepočítáme-li pomocné proměnné, jsou přírůstek základního odtoku DIFF a logická proměnná FLOOD. Vstupem je řada středních denních nebo v jiném konstantním časovém kroku průměrovaných průtoků nebo odtoků. Výstupem jsou dvě řady středních denních nebo obdobných průtoků představujících v pořadí přímý a základní odtok z povodí. Součet přímého a základního odtoku v každém časovém

intervalu je roven celkovému odtoku. V následujícím textu se uvažuje časový krok jeden den a slovem „průtok“ je míněn střední denní průtok (Jain, 1997).

## 7.9 Metoda SARR

Metoda SARR byla odvozen od způsobu UKIH, který je určen k oddělení základního odtoku, v dlouhodobých časových řadách (např. denní hodnoty průtoku na 1 rok nebo déle), v relativně velkých povodích s hydrologickou dobou odezvy 5 a více dní. Cílem je získat index základního odtoku (BFI), jednoduchý, nedimenzionální poměr z podílu základního odtoku z celkového množství, typicky vypočtený na ročním časovém měřítku. Metoda UKIH je uvedena níže (Gustard a kol., 1992). Při přípravě metody SARR bylo provedeno pět klíčových úprav na postup metody UKIH. Tyto změny byly provedeny na přizpůsobení metody UKIH na menší povodí a jednotlivých akcí pro použití v samostatném studiu elementárních toků z povodí (Koskelo, 2008).

Za prvé, nepřekrývající bloky byly zkráceny z 5 na 2 dny, aby lépe odpovídaly hydrologické odezvě malých povodí (<50 km<sup>2</sup>). I když se tato úprava může zdát arbitrární, dvoudenní bloky lépe odpovídaly přímému odtoku, spojeného s bouří v malých povodích. Odtok v povodích <50 km<sup>2</sup> po dešti je obvykle zvýšen na 1-3 dny a základní odtok může zvýšit proud, kvůli doplnění zásob podzemní vody, a to zejména na podzim a v zimě, kdy je evapotranspirace poměrně nízká. Druhou modifikací metody UKIH bylo použití posuvného dvoudenního období. Metoda UKIH používá sekvenční pětidenní okna, ve kterých je vybraný minimální odtok v každém z pěti dnů. Naproti tomu přístup SARR používá posuvné okno se třemi, dvoudenními bloky a průměrná hodnota základního odtoku je přiřazena první 2 dny ve středním bloku, pokud je klasifikována jako základní odtok. Třetí změnou způsobu UKIH bylo vypočítat každý den základní odtok jako průměrný odtok v každém dvoudenním bloku. Čtvrtou úpravou způsobu UKIH byla malá změna v pořadí operací.

Metoda UKIH provádí lineární interpolaci a pak omezuje základní odtok tak, že může být vyšší než měřený průtok, pro metodu SARR byl omezen základní odtok, prvně má být pozorován průtok a pak interpolace. Poslední úprava byla integrace

srážkových dat během separačního procesu. To přidává nový fyzikální rozměr separaci základního odtoku, a pokud je nám známo, je využít pro shromažďování srážkových dat pro analýzu toků (Koskelo a kol., 2012).

## **8. Faktory ovlivňující základní odtok**

Základní odtok je ovlivněn přírodními faktory, mezi které patří zejména klima, geologie, reliéf, půda a vegetace. Lidská činnost může ovlivňovat některé z těchto přírodních faktorů, které nadále ovlivňují vznik a velikost základního odtoku.

### **Vliv urbanizace**

Urbanizace zahrnuje širokou škálu vlivů ovlivňujících základní odtok (Doyle a kol., 2000). Antropogenní vlivy na povodí zahrnují rozsáhlé a drastické reorganizace povrchových a podpovrchových cest. Často je přítok vody z jiných povodí komplikován nesouvislou akumulací vody. Vlivem urbanizace voda rychleji odtéká z povodí a to je příčinou snížení hydraulického odporu zemského povrchu, v důsledku nepropustného pokrytí povrchu půdy, zhutnění půdy a výskytem podpovrchových dešťových kanalizačních sítí. Předpoklady, že v důsledku urbanizace klesá základní odtok, jsou obecně založeny na sníženém přítoku podzemní vody v důsledku zvýšené nepropustnosti povrchu, který je skutečně dominantním faktorem v městské hydrologii. Nepropustné pokrytí povrchu ve městech výrazně převyšuje plochy s různým využitím půdy. Silniční sítě, parkoviště, střechy, atd., to vše přispívá k procentnímu zvýšení nepropustného povrchu (Carter, Jackson, 2007). Nepropustné pokrytí má podle Landersa a kol. (2007) bezpochyby obrovský vliv na městskou hydrologii. Tvoří odolný kryt, který má zvláště negativní dopad na množství a kvalitu základního odtoku.

### **Vliv zemědělství**

S urbanizací souvisí i využití zemědělské půdy, které může mít pozitivní nebo negativní dopady na velikosti základního odtoku, v závislosti na použitých agrotechnických postupech. Jako první je faktor zavlažování (Price, 2011). Pokud



jsou plodiny zavlažované ze zdrojů povrchových vod, které jsou napojeny na vodní síť, může zvýšená evapotranspirace snížit základní odtok.

Naopak ke zvýšení základního odtoku může dojít, pokud jsou závlahové vody čerpány z odpojených úložných zdrojů mimo povodí. Odvodňovací kanály, které urychlí odstranění vlhkosti z vrstev půdy, mohou mít také zásadní vliv na základní odtok v blízkých zemědělských povodích (Schilling, Helmers, 2008).

Studie zkoumající reakce základního odtoku na využití zemědělské půdy prokázaly smíšené výsledky. Jako příklad Schilling a Libra (2003) uvádí, že na řece Iowa došlo ke zvýšení velikosti průměrného ročního základního odtoku, kde tyto nárůsty významně souvisí se zvýšením intenzity pěstovaných plodin.

### **Vliv změny klimatu na základní odtok**

Při vyšších letních teplotách a tím i zvýšené evapotranspiraci, dochází ke zvýšení konvekčních srážek, které mají za následek snížení základního odtoku. Pravděpodobné změny klimatu, které mají vliv na většinu světa, zahrnují některé kombinace zvyšování teplot se snížením nebo zvýšením srážek, a jakékoliv specifické reakce základního odtoku na změnu klimatu, která závisí na velikosti, teplotě a změně srážek (Price, 2011). Další důležitou informací, kterou je důležité zmínit, jsou studie hodnotící vliv klimatu na základní odtok ovlivňované změnami využívání půdy během sledovaného období (Choi, 2008). Změna klimatu, jak uvádí Ma a kol. (2009), může být spojena s intenzitou srážek a s hydrologickým oběhem, který by mohl být zhoršený v důsledku změny ve využívání půdy nebo z důvodu zhutnění půdy a následné větší nepropustnosti povrchu. Lins a Slack (2005) uvádí, že změna klimatu a hydrologické odezvy vykazují značnou proměnlivost.

Easterling a kol. (2000) prokázal, že srážky způsobují změnu klimatu a jsou výsledkem nárůstu extrémních, vysoce intenzivních srážkových událostí. Ma a kol. (2009) uvádí, že chladnější regiony mají extrémnější základní odtok. Barnett a kol. (2008) několika studiemi v chladnějších oblastech dokázal, že tání sněhu při oteplování vedlo ke snížení pozdních letních odtoků (Barnett a kol., 2008).

## **Vliv geologických charakteristik**

Geologie ovlivňuje charakteristiky povodí a to především typ a mocnost půdy, sklon a tvar povodí. Vlastní geologické podmínky se uplatňují převážně ve smyslu rozložení propustných a nepropustných území (Daňhelka, 2007). Geologické podloží a jeho propustnost má význam pro utváření odtoku v období bezdeští. Ovšem nepropustné vrstvy s málo mocným půdním překryvem snižují celkovou retenční kapacitu povodí a spolupůsobí při prudkém stoupání průtoků při vydatných deštích. Z toho vyplývá, že geologické poměry povodí umožňující vznik velkých zásob podzemní vody (štěrk, pískovce) (Krešl, 2001). V regionech tvoří základ propustné, nebo velmi roztržité podloží podzemních vod. Objemy podzemních vod v samotném skalním podloží může být velmi významné, a tím napojení na síť povrchových vod, může být velmi složité (McGuire a kol., 2005). Velmi důležitým faktorem, který působí na základní odtok, je kromě jiného i geologická struktura (Delin, 2009). Hranice mezi geologickými jednotkami se ukázaly být důležité, jako zóny interakce podzemních vod a vod povrchových (Arnott a kol., 2009).

## **Vliv odvodnění**

Velmi výrazným prvkem vyskytujícím se v zemědělsky využívané krajině České republiky je přítomnost drenážních systémů. Plochy v České republice odvodněné drenáží jsou uváděny Zemědělskou vodohospodářskou správou k 1. 1. 1995 (Kulhavý a kol., 2007). Určitou změnu v případě dříve navržených systémů představuje i nárůst výkonnosti nových pěstovaných odrůd. Ty mají celkově vyšší vláhovou spotřebu, a tudíž jejich vláhový režim nebyl upravován jednostranně, ale byl optimalizován s ohledem na vegetační fázi vývoje plodin (Soukup a kol., 2001). Systémy odvodnění zemědělské půdy postrádají, až na výjimky, složku retardace odtoku, neboť byly navrhovány především pro zajištění odvodu přebytečné vody z půdního profilu. Funkce odvodnění je u těchto systémů nejdůležitější a je třeba ji zachovat, pokud odpovídá požadavkům zemědělské výroby, respektive požadavkům hlavních zemědělských plodin (Eichler a kol., 2000). Vyšší hustota drenážních systémů je synonymem pro větší kontaktní plochu a uchování zásob podzemní vody. Tato kontaktní plocha může usnadnit odtok vody a snížit základní odtok v sušším období. Zvyšující se odvodňovací oblast by měla zvýšit podíl podzemní vody.

Klesajícím úhlem sklonu by se měla snížit rychlost odtékající podzemní vody. Kromě podloží může také značné množství základního odtoku pocházet z povrchových uložišť, aluviálních výplní a mokřadů, kde voda odtéká drenážními kanály (Price, 2011).

Změny ve využití pozemků, které v ČR nastaly během 90. let 20. století, způsobily, že návrhové parametry některých staveb odvodnění nebo jejich dílčích částí již neodpovídají současným podmínkám. Platí to např. v případě, že pozemek byl odvodněn pro plodiny pěstované na orné půdě a je nyní využíván jako louka (Soukup a kol., 2001).

## **Reliéf**

Reliéf terénu ovlivňuje odtok srážkových vod. Například větší sklon nám urychlí odtok srážek a možnost infiltrace (vsaku) je menší (Beven, 2001). Vliv reliéfu je dán sklonitostními poměry na povodí. Čím je sklon území větší, tím jsou rychlosti odtoku větší a možnost vsaku vod do terénu menší. Tam, kde je reliéf plošší, voda zůstává po určitou dobu v prohlubních a může se tak výrazněji uplatnit výpar (Kemel, 1996). V území tvořeném rovinami akumulčního rázu, pánvemi, kotlinami a plochými pahorkatinami, v nichž převládá rovný až mírně zvlněný povrch s menší výškovou členitostí, mohou být příznivější podmínky pro vsak srážkových vod než v členitých pahorkatinách, vrchovinách a zejména hornatinách, kde naopak bývá zpravidla vyšší povrchový odtok vody (Kříž, 1983). Každý reliéf lze rozložit na základní geometrické plochy, jejichž vývoj je zpravidla výsledkem jednoho pochodu. Takové plochy v geomorfologii nazýváme geneticky stejnorodé plochy. Tyto jednotkové plochy mohou mít různý vzhled, sklon, orientaci vůči světovým stranám a různou expozici (Sklenička, 2003). Topografie povrchu je klíčová kontrola základního odtoku přímo i nepřímo. Vliv topografie je nejvýraznější ve velmi kontrastním uspořádání reliéfu. Topografické sklony ovládají rychlost, s jakou se půdní voda pohybuje dolů po svahu, a tím určuje, zda je srážková voda spláchnuta do sítě kanálů, nebo je ponechána v půdě (Price, 2011).

## **Odstranění lesů**

Globální literatura vyšetřuje roli lesního porostu na proudění vody v malých horských povodích ( $< 2 \text{ km}^2$ ) a zkoumá nárůst průměrného ročního průtoku v reakci na odstraňování vegetace v povodí (Bruijnzeel, 2004). V některých případech byly tyto výsledky interpretovány jako potenciální nebezpečný návrh, který by mohl zahrnovat odlesnění z důvodu zvýšení vodní plochy pro veřejné použití (Brooks a kol., 1991). Studie zkoumající trvalé změny ve využívání půdy prokázaly snížení základního odtoku z důvodu přeměny lesa na nelesní využívání půdy (Ma a kol., 2009). Základní odtok klesá v důsledku zhutnění půdy, snížením půdní organické hmoty a zvětšení nepropustného povrchu (Price, 2011). Lesní porost je vyznačován vysokou infiltrací, která doplňuje zásoby podpovrchové vody. Metody experimentování ukázaly, že infiltrace není nijak výrazně ovlivněna. Tyto zásoby jsou ale značně ovlivněny zvyšováním zemědělských ploch, pastvin, nebo příměstskými pozemky, což má za následek snížení hladiny podpovrchové vody. Největší podíl na doplňování zásob základního odtoku má evapotranspirace (Bruijnzeel, 2004).

## 9. Závěr

V této bakalářské práci byly rozebrány vybrané metody separace základního odtoku a faktory ovlivňující tento odtok. Základní odtok představuje část celkového odtoku z území k určitému profilu na povrchovém toku, který je tvořen dotací z podzemních vod. Představuje dynamickou složku podzemních vod, která je součástí hydrologické bilance. V podstatě ho zaznamenáváme v době sucha, kdy delší dobu neprší a v tocích již teče pouze voda vyvěrající z podzemí. Změřit ho nelze, protože je obvykle smíchan s odtokem povrchovým a podpovrchovým. Voda podzemní je část podpovrchové vody vyplňující dutiny zvodněných hornin bez ohledu na to, zda vytváří nebo nevytváří souvislou hladinu. Je významným článkem oběhu vody v přírodě a náleží mezi základní složky životního prostředí. Tvoří podíl o velikosti pouze 0,06% z veškerých zásob vody na Zemi ale i tato malá část je významnou součástí oběhu vody v přírodě. Podzemní voda se dále člení podle původu na vodu juvenilní, fosilní a vadózní.

Nejpoužívanější metodou na našem území je metoda Kliner-Kněžek, která je vhodná pro tvorbu hydrologických bilancí, je to také velmi pracná metoda. Využívá vzájemného vztahu pohybu hladin podzemní vody v pozorovaném vrtu a v relevantním povrchovém toku. Tato metoda je zároveň nejpoužívanější metodou separace základního odtoku. Metoda Killeho nebo také metoda minimálních měsíčních průtoků je nejvhodnější pro hodnocení dlouhodobě průměrných hodnot podzemního odtoku, plocha povodí pro tuto metodu by měla být nejméně 100 km<sup>2</sup>. Metoda BFI byla vyvinuta k pozorování změn zásob vody ve vodních nádržích a kromě toho k výpočtu základního odtoku. Metoda proudu je vhodná pouze v územích s jednoduchými přírodními poměry. Metoda separace hydrogramu je grafickou metodou, která slouží k vyčlenění podzemního odtoku a je založena na empirickém určení bodu ukončení povrchového odtoku. Metoda stanovení základního odtoku na základě nejnižších průtoků v povrchových tocích ukončení povrchového odtoku je matematická metoda, která ze získaných hodnot za 10 let představuje hledaný podzemní odtok z celého povodí toku. Metody MGPM a GROUND - při srovnání jejich výsledků zjišťujeme, že jsou jen mírně odlišné a dosahují mírně odlišných výsledků v závislosti na tvaru jednotlivých odtokových vln, závěrem lze říci, že výsledky obou metod vedou ke stejné kvalitě výsledků.

Cílem metody SAAR je získat index základního odtoku z celkového množství, typicky vypočteného na ročním časovém měřítku.

Základní odtok je ovlivněn celou řadou faktorů. Mezi hlavní přírodní faktory, které ovlivňují velikost a výskyt základního odtoku patří klima, geologie, reliéf, tvar a velikost povodí či svahu, půda a její vlastnosti, vegetace a uspořádání prvků v krajině. V neposlední řadě i činnost člověka patří mezi faktory ovlivňující základní odtok.

## Seznam použité literatury

1. Arnott, S., Hilton, J., Webb, B.W., *The impact of geological control on flow accretion in lowland permeable catchments*. Hydrologic Research 40(6): 2009. 533–543 s.
2. Barnett, T.,P, Pierce,D.W., Hidalgo, H.G., Bonfils, C., Santer, B.D., Das, T., a kol., *Human-induced changes in the hydrology of the western United States*. Science 319. 2008. 1080-1083 s.
3. Beven, K. J. *Rainfall-runoff modelling: The Primer*. Chichester. J.Wiley & Sons. 2001. 360 s.
4. Brooks KN, Ffolliot PF, Gregersen HM, and Thames JL. *Hydrology and the Management of Watersheds*. Ames, IA: Iowa State University Press. 1991. 402 s.
5. Broža, V., *Vodní hospodářství a vodní stavby*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1988, 195 s.
6. Bruijnzeel LA.,*Hydrological functions of tropical forests: Not seeing the soil for the trees?* Agriculture, Ecosystems, and Environment 104(1): 2004. 185–228 s.
7. Bumerl, M., *Hydrologie*. Veselí nad Lužnicí. 2003. 56 s.
8. Carter, T., Jackson, C.R., *Vegetated roofs for stormwater management at multiple spatial scales*. Landscape and Urban Planning 80. 2007. 84–94 s.
9. Červený, J., *Podnebí a vodní režim ČSSR*. 1. vyd. Praha: Státní zemědělské nakladatelství, 1984, 414 s.
10. Daňhelka, J. *Operativní hydrologie: hydrologické modely a nejistota předpovědí*. Sborník prací ČHMÚ. Praha. 2007. 104 s.
11. Delinom, R.M., *Structural geology controls on groundwater flow: Lembang Fault case study*, West Java, Indonesia. Hydrogeology Journal 17. 2009. 1011–1023 s.
12. Doyle, M.W., Harbor, J.M, Rich, C.F., Spacie, A., *Examining the effects of urbanization on streams using indicators of geomorphic stability*. Physical Geography 21. 2000. 155–181 s.

13. Easterling DR, Karl TR, Gallo KP, Robinson DA, Trenberth TE, and Dai A  
*Observed climate variability and change of relevance to the biosphere.*  
Journal of Geophysical Research – Atmospheres 105(D15): 2000. 2101–  
2114 s.
14. Eichler, J., Soukup, M., Pilná, E. *Využití DMT při návrhu retardace  
podzemního drenážního odtoku.* Sborník GIS Seč 2000. Seč. 2000. 57-63 s.  
In: ŽLÁBEK, P., *Vliv uspořádání krajinné matrice na složky odtoku.* České  
Budějovice. Dizertační práce. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích.  
2009. 106 s.
15. Gustard, A., Bullock, A., Dixon, J.M., *Low Flow Estimation in the United  
Kingdom.* Report No. 108. Inst. of Hydrol., Wallingford. England. 1992. 19–  
25 s.
16. Hálek, V., Švec, J., *Hydraulika podzemní vody.* Academia. Praha. 1973.  
376 s.
17. Hall, F. R.: *Base flow recessions-a review.* *Water Resour*, 1968, 973-983 s.
18. Hartman, P., Příkryl, I., Štědranský, E., *Hydrobiologie.* Praha:  
Informatorium, spol. s r. o., 1998. 335 s.
19. Hrádek, F., Kuřík, P. *Hydrologie.* Skriptum FLE ČZU Praha. 2002. 280 s.
20. Chmelová Pavelková, R., Frajer, J., *Základy fyzické geografie I –  
Hydrologie.* UPOL. 2011. 131 s.
21. Choi, W., *Catchment-scale hydrological response to climate-land-use  
combined scenarios: A case study for the Kishwaukee River basin,* Illinois.  
*Physical Geography* 29(1): 2008. 79–99 s.
22. Jain, S. K.: *Evaluation of catchment management strategies by modelling soil  
erosion / water quality in EPIC supported by GIS.* M.Sc. thesis, Galway:  
National University of Ireland, Department of Engineering Hydrology 1997.  
41-56 s.
23. Jetel, J., *Systémy klasifikace chemismu podzemních vod na základě iontových  
kombinací.* Hydrologická ročenka 1969-1970. ÚGI. Brno. 105 s.
24. Kadlecová, R., Herrmann, Z., Kašpárek, L., Vlnas, R., Frydrych, V., Stibitz,  
M., Slavík, J., Milický, M., Olmer, M., a kol., *Sborník geologických věd.  
Hydrologie, Inženýrská geologie.* Praha. 2010. 76 s.



25. Kemel, M., *Klimatologie. Meteorologie. Hydrologie*. ČVUT. 1996. 289 s.
26. Kessler, J., Kněžek, M., *Metody výpočtu základního odtoku*. Podzemná voda. č.2. Praha. 2000. 52 – 58 s.
27. Kliner, K., Kněžek, M., *Metoda separace podzemního odtoku při využití pozorování hladiny podzemní vody*. Vodohospodářský časopis SAV. č. 5, sv. 22. Bratislava. 1974.
28. Kliner, K., Kněžek, M., Olmer, M., *Využití a ochrana podzemních vod*. Praha: Státní zemědělské nakladatelství. 1978. 295 s.
29. Koskelo, A. I., Fisher T.R., Utz, R. M., Jordan, T. R., *A new precipitation-based method of baseflow separation and event identification for small watersheds (<50 km<sup>2</sup>)*. Journal of Hydrology. Volumes 450-451. 2012. 267-278 s.
30. Koskelo, A.I., *Hydrologic and Biogeochemical Storm Response in Choptank Basin Headwaters*. Master's Thesis, Marine–Estuarine–Environmental Sciences Program. University of Maryland. 2008. 210 s.
31. Krásný, J., *Vztah podzemního odtoku, přírodních zdrojů a využitelných zásob podzemních vod*. Hydrogeologická ročenka. Geoindustria. Praha. 1977. 133-143 s.
32. Krešl, J. *Hydrologie*. MZLU Brno. Brno. 2001. 128 s.
33. Krešl, J., *Vliv lesa na utváření odtoku při přívalových a dlouhotrvajících deštích*. Lesnická práce 78. 1999. 501-503 s.
34. Kříž, H., *Hydrologie podzemních vod*. Academia. Praha. 1983. 268 s.
35. Kulhavý, Z., Doležal, F., Soukup, M., *Separace složek drenážního odtoku a její využití při klasifikaci existujících drenážních systémů*. Vědecké práce VÚMOP Praha. 2001. č. 12. 29-52 s.
36. Kulhavý, Z., Soukup, M., Doležal, F., Čmelík, M. *Zemědělské odvodnění drenáží - Racionalizace využívání*. VUMOP Praha. 2007. 86 s.
37. Kvítek, T., Gergel, J., Ondr, P., Zámešková, K., *Zemědělské meliorace*. České Budějovice. 2006. 164 s.

38. Landers, M.N., Ankcorn, P.D., McFadden, K.W., *Watershed impacts on streamflow quantity and quality in six watersheds of Gwinnett County, Georgia*. Scientific Investigations Report 2007-5132, Reston, VA: US Geological Survey. 2007. 62 s.
39. Line, D.E., White, N.M., *Effects of development on runoff and pollutant export*. Water Environment Research 79. 2007. 185–190 s.
40. Ma, X., Xu, J., Luo, Y., Aggarwal, S.P., Li, J., *Responses of hydrological processes to land-cover and climate changes in Kejie watershed, south-west China*. Hydrological Processes 23. 2009. 1179–1191 s.
41. McGuire, K.J., McDonnell, J.J., Weiler, M., Kendall, C., McGlynn, B.L., Welker JM, et al., *The role of topography on catchment-scale water residence time*. Water Resources Research 41. 2005. W05002.
42. Melioris, L., Mucha, I., Pospíšil, P., *Podzemná voda – metódy výskumu a prieskumu*. Bratislava. 1986. 429 s.
43. Nimmo, J R., Vadose Water. In: Gene E. Likens, (Editor) *Encyclopedia of Inland Waters*. Volume 1, Oxford: Elsevier. 2009. 766-777 s.
44. Olmer, M., Herrmann, Z., Kadlecová, R., Prchalová, H., a kol., *Hydrogeologická rajonizace České republiky*. Sborník geol. věd, HIG, 23, ČGS Praha. 2006. 1987. 340 s.
45. Pačes, T., *Voda a Země*. Praha. 1982. 174 s.
46. Pavlásek J., 2010: *Modelování proudění podzemní vody nad horizontálním a nakloněným nepropustným podložím*. ČZU, Výzkumný ústav vodohospodářský T.G.Masaryka, v.v.i., Praha, 68 s.
47. Pitter, P., *Hydrochemie*. VŠCHT Praha. 1999. 568 s.
48. Rajchard, J., *Ekologie III: Struktura a funkce ekosystému, produkční ekologie, biogeochemické cykly, chemické faktory prostředí, základy ekologie půdy, ekologie vodního prostředí, aktuální celosvětové ekologické problémy*. 1. vyd. Č. Budějovice: KOPP, 2002, 197 s.
49. Říha, J., *Voda a společnost*, SNTL – Nakladatelství technické literatury, Praha. 1987. 338 s.

50. Serrano, E.S., Hydrology for Engineers, Geologists and Environmental Professionals. HydroScience Inc. Lexington. Kentucky. 1997. 468 s.
51. Schilling, K.E., Helmers, M., *Effects of subsurface drainage tiles on streamflow in Iowa agricultural watersheds: Exploratory hydrograph analysis*. Hydrological Processes 22.2008. 4497–4506 s.
52. Schilling, K.E., Libra, R.D., *Increased baseflow in Iowa over the second half of the 20th century*. Journal of the American Water Resources Association 39. 2003. 851–860 s.
53. Sklenička, P. *Základy krajinného plánování*. Vydalo nakladatelství Naděžda Skleničková. Praha 200. 321 s.
54. Soukup, M., Kulhavý, Z., Pilná, E., Mimrová, K., Eichler, J. *Opatření pro regulaci odtoku v zemědělsky využívaném povodí*. METODIKA 26/2001. VÚMOP Praha. 2001. 51 s. In: ŽLÁBEK, P., *Vliv uspořádání krajinné matrice na složky odtoku*. České Budějovice. Dizertační práce. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích. 2009. 106 s.
55. Tlapák, V., Šálek, J., Legát, V., *Voda v zemědělské krajině*. Praha: Zemědělské nakladatelství Brázda. 1992. 320 s.
56. Toman, F., Podhrázská, J. *Vliv klimatických podmínek na vznik eroze způsobené táním sněhu*. In: Rožnovský, J., Litschmann, T. (ed.): XIV. Československá bioklimatologická konference, Lednice na Moravě, 2002, 456-464 s.
57. Vopravil, J., Khel, T., Vrabcová, T., Havelková, L., Procházková, E., Novotný, I., Novák, P., Fučík, P., Duffková, R., Jacko, K., Tylová, J., Hodek, T., *Vliv činnosti člověka na krajinu českého venkova s důrazem na vodní režim a zadržování vody v krajině*. VUMOP. 2011. 75 s.
58. Zachar, D., Jůva, J., *Využití a ochrana vod ČSSR z hlediska zemědělství a lesního hospodářství*. 1. vyd. Praha: Academia, 1987, 567 s.
59. Zajíček, V., *Zur problematik der Bilanzbevertung von Grundwassern in Tagebaureviren*. Freiburger Forschungshefte A 337. Freiburg. 1966. 121-132 s.

60. Žlábek, P., *Vliv uspořádání krajinné matrice na složky odtoku*. České Budějovice. Dizertační práce. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích. 2009. 106 s.

## Seznam obrázků

Obr. č. 1 Hydrologický cyklus ( Serrano, 1997) .....	11
Obr. č. 2 Schéma odtokového procesu ( převzato z ČSN 73 6530 Názvosloví hydrologie) .....	14
Obr. č. 3 Hydrologická bilance povodí ( Serrano, 1997).....	17
Obr. č. 4 Hydrologické pořadí toku, řád toku (Kemel, 1996).....	18
Obr. č. 5 Příklad tvorby obalové čáry v metodě Kliner-Kněžek (Kliner a Kněžek, 1974) .....	31
Obr. č. 6 Příklady čar rozdělení četnosti minimálních měsíčních průtoků (Kněžek, 1988) .....	33
Obr. č. 7 Separace metodou Base Flow Index (Gustard, 1992).....	34
Obr. č. 8 Různé způsoby rozčleňování hydrogramu na přímý a základní (podzemní) odtok.....	37