

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

Faktory ovlivňující celkový odtok vody z povodí i jeho jednotlivé složky

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Václav Bystřický, Ph.D.
Autor bakalářské práce: Lenka Moravcová

České Budějovice, 2015

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

Jméno a příjmení: **Lenka MORAVCOVÁ**
Osobní číslo: **Z12056**
Studijní program: **B4106 Zemědělská specializace**
Studijní obor: **Pozemkové úpravy a převody nemovitostí**
Název tématu: **Faktory ovlivňující celkový odtok vody z povodí i jeho jednotlivé složky**
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 celkového odtoku i jeho složek, kdy každá složka má při tvorbě celkového odtoku svoji specifickou funkci. Důraz bude kladen na vymezení faktorů, které ovlivňují odtok vody z krajiny i na případnou kvantifikaci jejich vlivů. 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 jednotlivých složek odtoku.

Faktory ovlivňující odtok vody z povodí i jeho jednotlivé složky.


Rozsah grafických prací: **dle potřeby**
Rozsah pracovní zprávy: **40 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.\96
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 BYSTRICKÝ, Ph.D.**
Katedra krajinného managementu

Datum zadání bakalářské práce: **17. března 2014**
Termín odevzdání bakalářské práce: **15. dubna 2015**

JIHOČESKÁ UNIVERZITA
V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH
ZEMĚDĚLSKÁ FAKULTA
studijní oddělení
Studentská 13 ④
370 02 Česká Budějovice


prof. Ing. Miloslav Šoch, CSc., dr. h. c.
děkan

L.S.


doc. Ing. Pavel Ondr, CSc.
vedoucí katedry

V Českých Budějovicích dne 17. března 2014 .

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svoji bakalářskou práci Faktory ovlivňující celkový odtok vody z povodí i jeho jednotlivé složky jsem vypracovala 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

.....

Lenka Moravcová

PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych ráda poděkovala vedoucímu mé bakalářské práce Ing. Václavu Bystřickému, Ph.D. za jeho cenné rady a podnětné připomínky, kterými přispěl k sestavení a dokončení této bakalářské práce.

Abstrakt

Tato bakalářská práce je orientována na celkový odtok vody z povodí. V první části je voda rozdělena na povrchovou, podpovrchovou a podzemní, dále je zde popisován oběh vody, hydrologická bilance, retence a akumulace vody a charakteristika hydrografické sítě v ČR. Jsou tu vypsány a vysvětleny složky odtoku a opatření ke snížení povrchového odtoku. V druhé části této práce jsou popsány metody separace jednotlivých složek odtoku, jako je např. CN-metoda, metoda Kliner a Kněžka, model SMODERP, model HYDROG, metoda GROUND a MGPM. Závěrem je vysvětleno, že nejen díky srážkám vzniká odtok vody z povodí, ale také pomocí funkcí geologických, pedologických, antropogenních a dalších faktorů.

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

ABSTRAKT

This thesis is focused on the topic of total outflow from the watershed. In the first part water is divided into surface water, subsurface and groundwater, there is also described water circulation, hydrological balance, water retention and water accumulation, as well as characteristics of hydrographic network in the country. There are listed and explained outflow folders and measures to reduce surface runoff. In the second part of this work methods of separating the individual components of outflow, such as CN-method, Kliner and Kněžek method, model SMODERP, HYDROG model, GROUND and MGPM methods are described. In the conclusion it is explained that outflow from the watershed generates not only because of rainfall, but also due to geological, pedological, anthropogenic and other factors.

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

OBSAH

1.	ÚVOD	9
2.	OBĚH VODY V PŘÍRODĚ	10
3.	HYDROLOGICKÁ BILANCE	13
4.	ROZDĚLENÍ VODY	17
4.1	POVRCHOVÁ.....	17
4.2	PODPOVRCHOVÁ	17
4.3	PODZEMNÍ	18
5.	ROZDĚLENÍ VODY NA ZEMI	19
6.	ODTOK VODY Z POVODÍ	20
7.	SLOŽKY ODTOKU A JEJICH GENEZE	23
8.	METODY STANOVENÍ JEDNOTLIVÝCH SLOŽEK ODTOKU	28
8.1	METODA ČÍSEL ODTOKOVÝCH KŘIVEK – CN	28
8.2	DIGITÁLNÍ FILTRY	29
8.3	MODEL SMODERP.....	30
8.4	METODA KLINERA A KNĚŽKA.....	30
8.5	MODEL HYDROG	32
8.6	METODA STANOVENÍ ZÁKLADNÍHO ODTOKU NA ZÁKLADĚ NEJNIŽŠÍCH PRŮTOKŮ V POVRCHOVÝCH TOCÍCH..	33
8.7	METODA KILLEHO – METODA MINIMÁLNÍCH MĚSÍČNÍCH PRŮTOKŮ	33
8.8	METODA BFI – BASE FLOW INDEX.....	34
8.9	METODA SEPARACE HYDROGRAMU	35
8.10	METODA GROUND	36
8.11	MODEL MGPM.....	37
9.	FAKTORY OVLIVŇUJÍCÍ ODTOK VODY Z POVODÍ I JEHO JEDNOTLIVÉ SLOŽKY	38
10.	OPATŘENÍ KE SNÍŽENÍ POVRCHOVÉHO ODTOKU – PROTIEROZNÍ OPATŘENÍ	46
11.	ZÁVĚR	51
12.	SEZNAM LITERATURY	53

1. Úvod

Na zeměkouli je nejrozšířenější látkou voda. Je hlavní složkou životního prostředí, všech rostlinných i živočišných ekosystémů a je základní složkou biomasy. Voda má mnoho významných funkcí. Jsou to zdravotní funkce, funkce pro zajištění osobní i veřejné hygieny člověka, pro rekreaci, kulturní a estetické funkce, jelikož voda slouží i ke zkrášlení krajiny a lidských sídlišť.

Voda se vyskytuje na zeměkouli v neustálém pohybu a to díky koloběhu vody. V koloběhu se vyskytuje voda v podobě výparu, srážky, povrchového a podpovrchového odtoku a jako voda zadržaná v nádržích, která se nazývá akumulace (Plecháč, 1989). Díky slunečnímu záření se stále vypařuje, pohybuje se jako vodní pára nad povrchem Země a v tomto skupenství se přenáší ve vzdušných proudech a za vhodných podmínek se přeměňuje na tekuté skupenství. Takto se vrací nazpátek na povrch Země jako srážky. V dalších procesech se může na Zem dostat v podobě deště, sněhu, krup, námrazy a mlhy (Netopil, 1972).

Velký a mimořádný význam ohledně koloběhu vody má prostor a čas, jelikož se voda může vyskytovat na stejném místě v různé době a s velmi odlišným časem. To znamená, že na jednom dílčím povodí může přijít 500letá povodeň a na vedlejším povodí může nastat období sucha (Plecháč, 1989).

Z celkové plochy povrchu Země zaujímá povrch oceánů a moří asi 70,8 % a pevniny asi 29,2 %. Existují oblasti odtokové, kdy probíhá přímý odtok vody do oceánů a moří (těchto oblastí je více), a to nejčastěji povrchově v říčních korytech. Ohromné množství vody však odtéká také ve formě pohybujících se ledovců, pomocí sněhu z pevniny a i odtokem podzemní vody. Dále jsou také oblasti bezodtokové, kde se všechna voda, která tam spadne, vypaří. Řeky, které se v nich nalézají, jsou buď ztraceny v suchých korytech a bažinách, nebo vtékají do bezodtokových jezer (Netopil, 1972).

2. Oběh vody v přírodě

Na naší Zemi je voda v neustálém pohybu. Oběh vody na Zemi probíhá v takzvaném malém oběhu, který probíhá pouze nad plochami oceánů a moří, a ve velkém oběhu, kdy se mění voda mezi oceány a pevninou. Samotný oběh s malou částí vody se děje i nad bezodtokovými oblastmi. Objem spadlých srážek na Zem je roven celkovému výparu z oceánů, moří a pevniny:

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

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

$$V_p + V_o = H_{sp} + H_{so} \quad (\text{Rovnice č. 1})$$

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

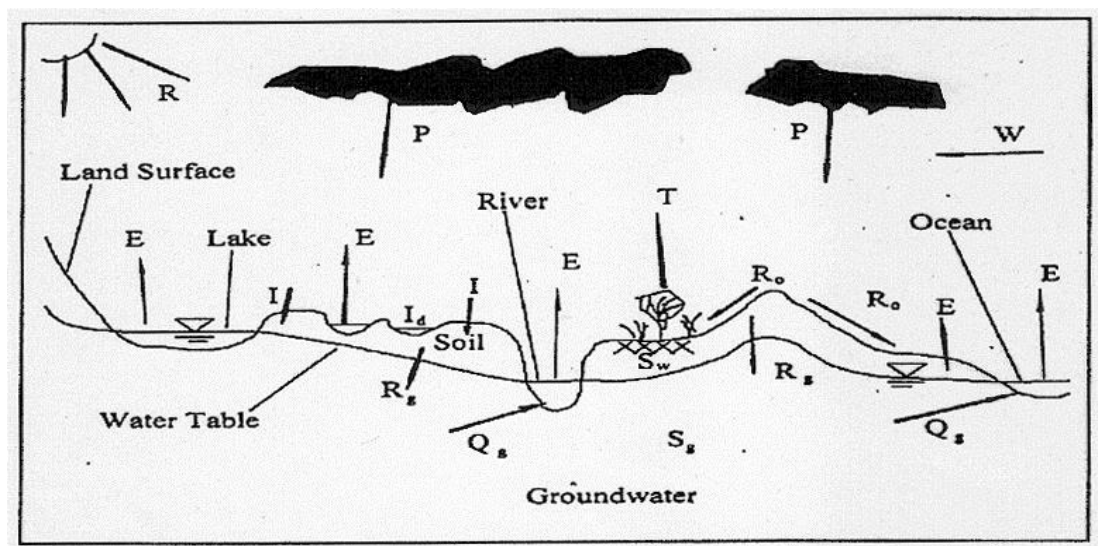
Na zemský povrch přechází malé množství vody a to v podobě par. Dosahuje asi 8,1 % vody, která se vypařuje z oceánů a moří. Dále je zřejmé, že z celkových zásob vody na Zemi se oběhu zúčastňuje jen nepatrný podíl, který dosahuje asi 0,04 %. Což je aktivní množství vody, které určuje odtok na pevnině a dosahuje přibližně 0,003 % celkových zásob na Zemi (Kvítek, 2006). Takže kdybychom rozložili vodu, která odtéká z řek do oceánů a moří, na hladinu světového oceánu, vznikla by vrstva asi 10 cm silná. Což je zhruba 10 % z množství srážek spadlých na povrch oceánů. Přestože zabírá říční odtok tak malé místo v oběhu vody, je v životě člověka velmi důležitým procesem (Netopil, 1972).

Největší množství vody (99 %) je obsaženo v oceánech. Z hladiny oceánů se vypařuje voda. Většinou se sráží a padá jako déšť, mlha, kroupy a sníh, nebo se sráží jako rosa nebo jinovatka. Vlhkost ve formě rosy nebo jinovatky se buď přímo vypaří,

nebo je spotřebována rostlinami a znovu se vypaří jejich póry. Zatímco srážky se částečně vypaří dříve, než dopadnou na zemský povrch. Některá část se zachycuje na povrchu rostlin a dalších předmětů, z kterých se voda vypaří přímo do ovzduší. Ta část, která dopadla na povrch Země, odtéká do řek a z nich nazpátek do moře nebo se vsákne do země. Ta voda, která se vsákne, je v půdě vázána kapilárními silami a vypařuje se. Část je využita rostlinami a vypařuje se do vzduchu, ta je nazývána transpirace a z další části vzniká voda podzemní (Šilar, 1996).

System, do něhož vstupují atmosférické srážky (H_s) a odtok, nazýváme oběh vody v uzavřeném povodí. Dochází zde k dopadu srážek H_s na povrch, kde smáčí vegetační kryt a určitá část se zde zadrží a následně značný podíl se opět vypaří do ovzduší. Tento proces se nazývá intercepce. Další část stéká nebo skapává na povrch půdy, kde se částečně zadrží, to nazýváme částečnou akumulací, a vsakem se dostane do půdy a odtéká půdou. Při těchto stavech se neustále voda vypařuje do ovzduší.

Nejdůležitějším dějem v tomto procesu je vsak. Vsak rozhoduje o tom, jestli srážková voda bude odtékat do vodní sítě půdou nebo povrchově (Krešl, 2001).



Obrázek č. 1 – Hydrologický cyklus (Serrano, 1997)

R – sluneční záření

I – infiltrace

E – evaporace

S_w – půdní vlhkost

T – transpirace

Q_s – podpovrchový odtok

W – rychlost větru

R_g – odtok do saturované zóny

P – srážky

S_g – rezervoár podzemní vody

I_n – intercepce

Q_g – odtok podzemní vody do řek, jezer
a oceánů

Na obrázku č. 1 můžeme vidět schematické znázornění oběhu vody na Zemi. Přemisťují se zde vodní masy ve stavu kapalném i pevném z vyšších míst do míst nižších. Je to dáno vlivem sluneční energie, která přechází ze skupenství tuhého a kapalného do stavu plynného.

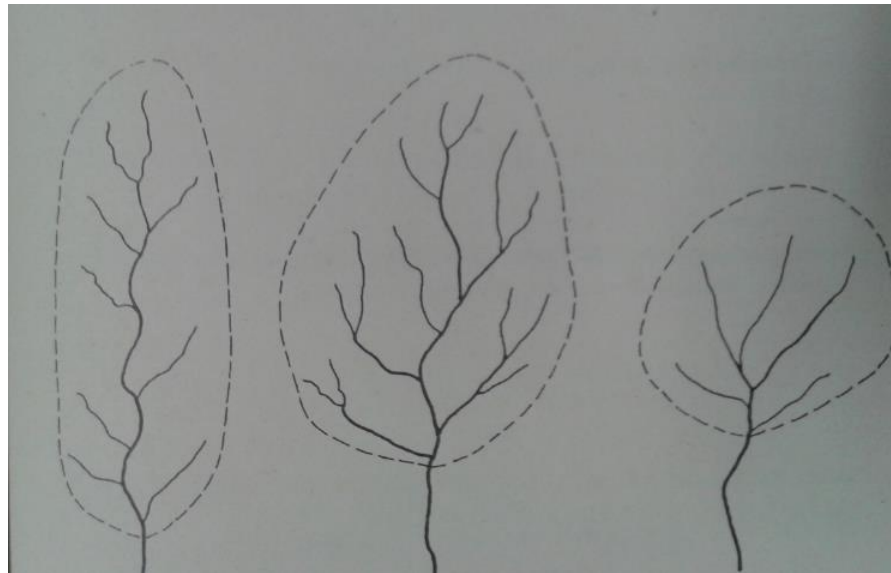
3. Hydrologická bilance

Hydrologickou bilancí se vyjadřuje množství vody, které prochází složkami hydrologického cyklu. Stanovuje se pro určitý čas a prostor. Prostorem může být jakékoliv území (např. okres, povodí, území mapového listu). Hydrologická bilance se nejčastěji stanovuje pro orografické povodí, které je uzavřeným celkem. Díky tomu lze snadněji určit vztahy mezi srážkami a odtokem (Šilar, 1996).

V povodí srážková voda stéká do určitého profilu na vodním toku a lze tedy určit vodní bilanci. Povodím je chápána vždy plocha území a je ohraničena rozvodnicí, která prochází přes hřbety a vyvýšeniny (Krešl, 2001). Toto území je soustředěně odvodňováno. Určujeme ho ve vrstevnicové mapě tak, že vynášíme postupně na obou březích čáru, která je kolmá k vrstevnicím.

Dle rozmístění terénu má povodí různý tvar a uspořádání vodní sítě. Díky těmto okolnostem je ovlivněn časový průběh odtoku z povodí (Šilar, 1996).

Kubala, Tlapáková a kol. (2003) ve svém článku zkoumali povodí Vltavy, které představuje první komplexní bilanční hodnocení v této oblasti. Zjistili, že rok 2002 byl jako celek silně srážkově nadnormální. Obzvláště pak srpen byl srážkově velmi vydatný, měsíční úhrny na mnoha místech dosáhly zcela extrémních hodnot za celé období pozorování. V dílčím povodí horní Vltava dosáhly srážkové úhrny 150 % dlouhodobého normálu, v dílčím povodí dolní Vltava to bylo v rozmezí 123 – 135 % a v dílčím povodí Berounky dosáhly 145 % dlouhodobého normálu. V hlavním městě Praze bylo dosaženo 149 % dlouhodobého normálu. Odtokové poměry jsou v oblasti povodí Vltavy typické velkými výkyvy a celkově lze tento rok hodnotit jako silně nadprůměrný. Nejvýznamnější odchylky odtoků byly zaznamenány v době povodně od počátku srpna až do poloviny září, díky této povodni byl tento rok specifický. Ovšem z hlediska bilančního hodnocení byl v podstatě normální.



Obrázek č. 2 – Povodí (Šilar, 1996)

Jestliže si určíme jednotlivé složky oběhu vody v měřitelných jednotkách, můžeme sestavit rovnici pro danou oblast a určitý časový úsek (Krešl, 2001). Je to rovnice kontinuity, kde chceme zjistit změnu objemu vody ΔV . Podle ní určíme rozdíl přírůstku (přítoku) P a úbytku (odtoku) O vody v daném území a čase.

$$P - O = +/- \Delta V \quad (\text{Rovnice č. 2})$$

Kde P zahrnuje:

- Srážky P_s
- Povrchový přítok P_{pv}
- Podzemní přítok P_{pz}
- Přírůstek vody přiváděné z jiného území P_{pr}

Kde O zahrnuje:

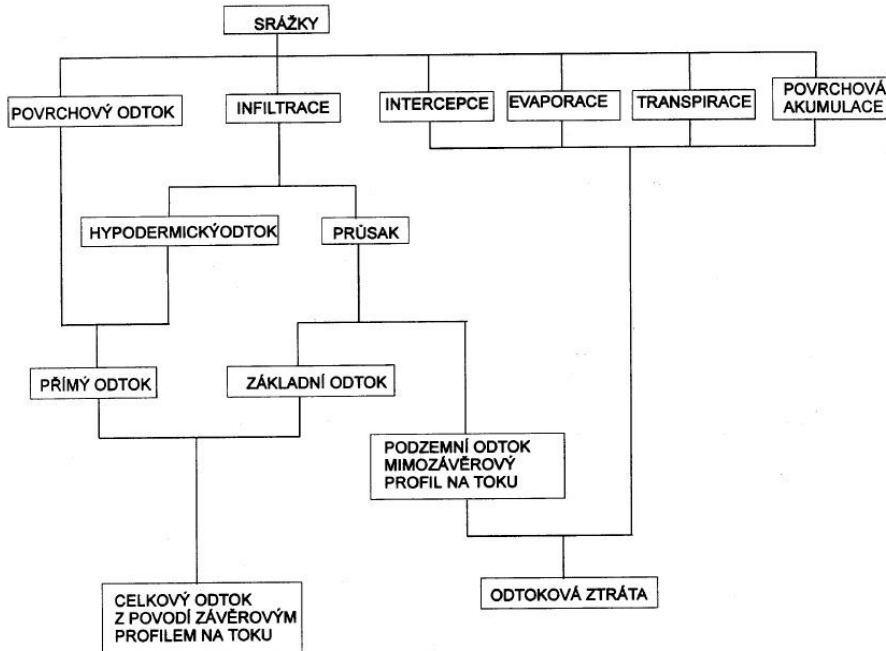
- Evapotranspirace O_{ev} (souhrn výparu z povrchu půdy, z vodní hladiny a z rostlinstva)
- Povrchový odtok O_{pv}
- Úbytek odčerpávané vody O_{od} , pokud se již nevrací zpět do území

Bilanční rovnici můžeme upravit i do jiného tvaru, jelikož v ní musíme uvážit změny současného úbytku i přírůstku povrchové i podzemní vody. Pak bude rovnice vypadat takto:

$$P_s + P_{pv} + P_{pz} + P_{pr} - O_{ev} - O_{pv} - O_{pz} - O_{od} = +/- \Delta V$$

(Rovnice č. 3)

Když se hydrologická bilanční rovnice sestavuje, je vhodné se přiklonit k hydrogeologickým a klimatickým poměrům. Díky dobře zvolenému místu a času lze vliv některých přírodních jevů v bilanci omezit a dokonce některé členy rovnice zanedbat. Lze například opomenout podzemní přítok a odtok při bilanci povrchového odtoku z uzavřeného povodí na nepropustném podloží. Dále třeba při volbě začátku a konce bilančního období, kdy je období sucha, lze zanedbat změny objemu podzemní vody. Proto sestavení bilanční rovnice vyžaduje hluboké uvážení všech okolností. V hydrologii se používá zejména ke stanovení podzemního odtoku a množství podzemní vody (Šilar, 1996).



Obrázek č. 3 - Schéma odtokového procesu (převzato z ČSN 73 6530 Názvosloví hydrologie)

Na obrázku č. 3 jsou vidět rozčlenění atmosférických srážek, které spadly na plochu dané oblasti. Voda ve vlhké oblasti se dělí na část, kdy buď odteče jako odtok povrchový, anebo zvětší zásoby povrchových vod v tocích, jezerech a umělých nádržích. A část druhá se vsakem dostane do horninové půdy. Následně pak odteče jako hypodermický odtok, nebo způsobuje zvýšení zásob podpovrchových vod. Vychází se z předpokladu, že jediným zdrojem vody jsou srážky (Kříž, 1983).

4. Rozdělení vody

4.1 Povrchová

Povrchové vody jsou všechny vody, které se přirozeně vyskytují na zemském povrchu (Pitter, 1999). Na zemském povrchu je jednak voda kontinentální a jednak voda mořská. Do kontinentální vody, kterou nalezneme na pevninách, řadíme led ve formě ledovců nebo sněhových polí a ležícího sněhu, dále vodu tekoucí (vodní toky), umělé kanály a vodní nádrže. Vodní nádrže mohou být přirozené (jezera, močály) nebo umělé (rybníky, přehradní nádrže). V oceánech se nachází mořská voda, která plní spousty proláklín mezi pevninami. Povrchová voda obsahuje kromě rozpuštěných látek četné množství suspendovaných částic, které mají odlišné původy a chemické složení, a rovněž v sobě má i mikroorganismy. Mohou jimi být řasy, sinice, bakterie, ovšem nemusí být vždy zdraví škodlivé (Pačes, 1982).

Rozdělení povrchové vody:

- A) Stojaté vody
 - 1. Přirozené – jezera, mokřady, močály, moře a oceány
 - 2. Umělé – přehradní nádrže a rybníky

- B) Tekoucí vody
 - 1. Přirozené – řeky, potoky, bystřiny, veletoky
 - 2. Umělé – průplavy a kanály

4.2 Podpovrchová

Podpovrchovou vodou rozumíme vodu, jež se nachází v pórech, puklinách a dalších otvorech v horninách, v jejich zvětřalém plášti a v půdách (Pačes, 1982). Tyto vody vznikají hlavně vsakováním (infiltrace) srážkové vody do půdy a částečně také srážením (kondenzace) odvzdušněné vodní páry v půdě (Zachar, Jůva, 1987). Její horní hranice je zemský povrch, zatímco spodní hranici tvoří horniny. V této

spodní hranici nemohou póry a pukliny existovat díky vlivu tlaku a vysokých teplot, kdy se začnou v hloubkách chovat jako plastický materiál. Podpovrchová voda je v pórech hornin stlačována a zahřívána vnitřním zemským teplem, a proto buď uniká k povrchu, nebo je začleněna do krystalových struktur nově vznikajících minerálů.

Podle toho, jak se pohybuje a v které části horninového prostředí se nachází, ji rozdělujeme na půdní vodu, vodu provzdušněného pásma a vodu nasyceného pásma. Půdní voda je voda těsně při zemském povrchu, která je vázána kapilárními a absorpčními silami v půdě. Velkou část využívají kořeny rostlin a část, která není rostlinami využita, prosakuje vlivem gravitace provzdušněnými póry a puklinami v hornině (Pačes, 1982).

4.3 Podzemní

Podzemní voda je voda, která se přirozeně vyskytuje v horninovém prostředí. Nesmí být vázána kapilárními silami. Jedná se o vodu, která se nachází v zemských dutinách a zvodnělých zemských vrstvách (Pitter, 1999).

Tato voda je hlavní součástí koloběhu vody v přírodě. Větší část podzemních vod má základ v infiltraci atmosférických srážek nebo prosakování vody z povrchových toků. Tyto se nazývají vody vadosní. Oproti tomu jen malá část podzemních vod vzniká kondenzací vnitrozemských par. Jde o vody juvenilní.

Oběh podzemní vody je proces, který závisí hlavně na vlastnostech přírodního horninového prostředí. Na celkovém odtoku se tento oběh podílí spolu s povrchovými vodami, kdy na sebe obě složky působí a souvisejí spolu. Tyto vody podléhají sezónním i dlouhodobým časovým změnám, které mohou být ovlivněny umělým zásahem (Kliner, 1978).

5. Rozdělení vody na Zemi

Na povrchu naší Země, který je 510 000 000 km², se vyskytuje asi 70,8 % moří a oceánů a pevniny asi 29,2 %. Tichý oceán je největším z oceánů (nazývá se také Pacifický oceán), který má plochu 165,7 · 10⁶ km². Na druhém místě o velikosti 81,6 · 10⁶ km² je Atlantský oceán, následuje ho Indický oceán (73,4 · 10⁶ km²) a nejmenší oceán se nazývá Severní ledový, který má velikost 14,3 · 10⁶ km².

Na pevnině jsou zásoby vody soustředěny v jezerech a nádržích, v korytech vodních toků, v ledovcích a stálé sněhové pokrývce, v horninách jako voda podzemní a v půdě jako půdní vláhá.



Obrázek č. 4 - Rozdělení zásob vody na Zemi (S. H. Schneider, 1996)

Na výše uvedeném obrázku je vidět, že slaná voda tvoří 97 % a to z 1 400 000 kubických metrů celkové vody na Zemi. Ledovce a ledy obsahují 68,3 % sladké vody. Podzemní voda je tvořena dalšími 31,4 % a jezera zabírají celých 87 % (Netopil, 1972).

6. Odtok vody z povodí

Odtok je určité množství vody, odtékající z daného území za časový úsek. Celkový odtok se skládá z povrchového odtoku v řekách a potocích a z podpovrchového odtoku (Pačes, 1982). Na toto rozdělení působí činitelé ovlivňující vsak, tj. půdní a geologické poměry, vegetační kryt, úprava půdy na velkých výměrách při zemědělském a lesním hospodářství (Krešl, 2001). Povrchový odtok tvoří srážková voda, která napršela do koryt řek, vodních nádrží a potoků. Dále pak je tvořen z vody, která ronem po povrchu dosáhla koryta vodoteče. Patří sem také voda, která přitekla do řeky po vrstvách, jež jsou méně propustné, a také se infiltrovala do provzdušněného pásma a samozřejmě se v povrchovém odtoku nachází také podzemní voda. Do podpovrchového odtoku patří podzemní voda, která prosakuje pod povrchem póry a puklinami v hornině. Na teplotě, délce a intenzitě srážek, na propustnosti půdy a hornin, sklonu svahů, zastavěnosti terénu a drenážních konstrukcích a typu vegetace je závislá velikost odtoku.

Odtok je nejvyšší na jaře při tání a nejnižší buď v zimě, jelikož voda zůstává na povrchu ve formě sněhu, nebo pak na podzim po suché letní sezóně (Pačes, 1982).

Z celkového objemu odtoku všech řek souše (36 300 km³) odtéká do Atlantského oceánu včetně Severního ledového oceánu asi 56 % a do Tichého oceánu a Indického oceánu asi 44 %. V bezodtokových oblastech protéká konečnými profily řek asi 30 000 m³/s vody (Netopil, 1972).

Odtok vody z povodí můžeme vyjádřit jednoduchou bilanční rovnicí:

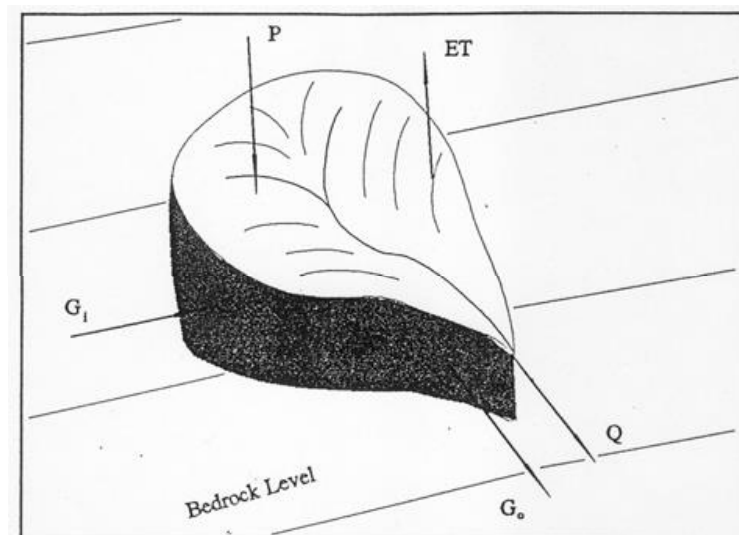
$$O = S - E \pm \Omega \quad (\text{Rovnice č. 4})$$

O – odtok vody,

S - srážky,

E - evapotranspirace,

Ω - množství vody, které zvýšilo nebo snížilo zásoby povrchové a podzemní vody



Obr. č. 5 - Hydrologická bilance povodí (Serrano, 1997)

G_o – odtok podzemní vody

G_i – přítok podzemní vody

Q – celkový odtok

P – srážky

ET – evapotranspirace

ΔS - množství vody, které zvýšilo nebo snížilo zásoby povrchové a podzemní vody

Retence a akumulace vody

Retenční vodní kapacita půdy je krátkodobá schopnost půdy zadržovat určité množství vsáknuté nebo kapilárně vztlínající se vody. Retenční schopnost půdy je charakterizovaná tzv. retenční vodní kapacitou, což si lze představit jako maximální množství vody, které je půda po nadměrném zavlažení schopna zadržet v pórech a pro potřeby rostlin ji uvolňovat (Vopravil a kol., 2010).

Retenční kapacitu půdy lze určit několika metodami:

- Laboratorní měření retenčních křivek
- Terénní infiltrační pokusy
- Tenzometrický a/nebo vlhkoměrný monitoring vodního režimu půd

- Měření srážek a odtoků v povodňových situacích
- Simulace infiltrace vody do půdy

Získané údaje jsou konfrontovány s výsledky získanými jinými metodami na dalších horských a podhorských stanovištích (Lichner L' a kol., 2004).

Zadržování vody v krajině může být dočasně přirozené nebo umělé. V závislosti na množství zatravněných a zalesněných ploch dochází ke zvýšení retence vody v prostředí. K tomu je důležité zřídit opatření, které umožňuje rychlé zasakování vod namísto jejich rychlého odtoku. Oproti tomu ke snížení retence dochází při zastavěné části povodí. Voda, která se z povodí nevypaří, slouží jako zásobárna vody, kterou využívají živočichové i rostliny, v období s nižšími srážkami (Pavlásek, 2010). Voda, která se v průběhu srážek nevsákne do půdy (procesem infiltrace) a převyší retenční kapacitu půdy, odtéká jako povrchový odtok, respektive na rovinatých pozemcích zůstává na povrchu půdy až do následné integrace a výparu. Snahou člověka je tedy zvyšovat i retenční kapacitu půd. Ta tedy závisí především na hloubce půdy, zrnitostním složení, obsahu skeletu, obsahu humusu, půdnímu typu a půdní struktuře (Vopravil a kol, 2010). Infiltrace vody a retence vody jsou půdní hydraulické vlastnosti, které upravují vstup vody do povrchu půdy a její následný přenos nebo skladování v půdě. Půdní hydraulické vlastnosti v geovědě obsahují koeficienty známé jako hydraulické parametry. Aplikace modelů infiltrace a retence vody požadují znalosti těchto hydraulických parametrů. Půdní hydraulické parametry jsou tradičně získávány prostřednictvím grafu funkcí infiltrace a retence vody (Omuto C. T., Gumbe L. O., 2002).

Akumulace vody

Akumulace vody znamená dlouhodobé zadržování vody v krajině. Voda se akumuluje v přírodních (jezera, mokřady, půda, ...) nebo uměle vytvořených (rybníky, vodojemy, vodní nádrže, ...) útvarech. Díky agrotechnickým způsobům lze zvýšit objem těchto prostorů a to způsoby jako je hrázkování či důlkování orniční a podorniční vrstvy (Soukup, Hrádek, 1999).

7. Složky odtoku a jejich geneze

Odtok celkový

Celkový odtok je určité množství vody, které odtéká z daného území (Hall, 1968). Dá se také charakterizovat jako objem vody, který odeče z povodí za jednotku času (Chmelová, Frajer, 2011). Je tvořen povrchovým odtokem v řekách a potocích a podpovrchovým odtokem. Tvoří ho souhrn všech složek odtoku, které procházejí závěrečným profilem toku za daný časový interval. Měřením průtoku na jednotlivých profilech získáme jeho hodnotu. Za pomoci separace hydrogramu, jde z celkového odtoku vyčlenit: podzemní (základní) odtok a povrchový odtok (Hall, 1968).

Odtok hypodermický

Je takovou složkou z celkového odtoku vody, která představuje odtok prosakující gravitační vody ve vrchní podpovrchové vrstvě do koryta toku. Nedosáhne k hladině podzemní vody a označuje se O_h [m^3].

Odtok přímý

Tato složka celkového odtoku zahrnuje odtok povrchový a hypodermický. Označuje se O_{ph} [m^3].

Přímý odtok se do povrchových toků dostává už v průběhu trvání deště a bezprostředně po jeho skončení. Díky dešti je tento odtok způsoben pouze nadbytkem vody a je hlavní příčinou zvýšených průtoků, povodní a vodní eroze. Většinou se za přímý odtok považuje pouze povrchový odtok (Bumerl, 2003).

Odtok základní

Základní odtok je ta část z celkového odtoku území, která je k určitému profilu na povrchovém toku a je tvořen dotací z podzemních vod. Je to tedy jen ta část odvodnění z hydrogeologické struktury (Kessler a Kněžek, 2000). Tento odtok bývá označován také jako odtok podzemní vody. Jde tedy o přítok podzemní vody ze zvodněných vrstev hornin, popřípadě i z půdy (z pásma nasycení) do vodních toků (Kříž, 1983, 22 s.).

Odtok povrchový

Tento odtok vody je jednou složkou z celkového odtoku. Je to voda, která odtéká po povrchu terénu z povodí (Soukup a Hrádek, 1999). Vzniká v okamžiku, kdy srážková voda přesáhne svým objemem vsakovací schopnost půdy, intercepci, výpar a akumulaci půdního povrchu. Nejprve probíhá proces jako plošný odtok, dále přechází v odtok soustředěný, který vytváří hydrografickou síť (Tlapák a kol., 1992).

Když je období tání, vznikají zvláštní podmínky pro vznik odtoku povrchového. Vsak je minimální a proměnlivý u jílovitých a hlinitých půd ($0,01$ a $1,0 \text{ mm den}^{-1}$), z důvodu toho, že je v zimě půda promrzlá a v povrchových vrstvách nasycená vodou. Díky tomu spousta tající vody odtéká. Odtokový koeficient je díky tomu pro vodu z roztátého sněhu ve většině případů vyšší než pro vodu dešťovou. Tento odtok se uskutečňuje především v době tání, kdy nejintenzivnější tání probíhá během 10 až 20 dnů. S ohledem na erozi je tento stav nejméně příznivý, jelikož kromě tání se objevuje i déšť a často i náhlé oteplení vzduchu (Toman a Podhrázka, 2002).

1. Fáze plošného (svahového) odtoku

Tato fáze následuje fázi bezodtokovou, kdy intenzita deště je větší než intenzita infiltrace. Průměrná výška deště na povodí je větší než retenční schopnost povodí nebo je retenční kapacita naplněna.

2. Fáze soustředěného odtoku

Fáze přichází, když se postupně soustředí odtok do hydrografické sítě v povodí. Pak se v údolnici (recipientu) objevují všechny složky celkového odtoku (Soukup, Hrádek, 1999). Hlavním zdrojem vody pro soustředěný odtok je úhrn srážek.

Odtok z překročení infiltrace (Hortonovský)

Tvoří se tehdy, když intenzita srážky je větší než infiltrační kapacita půdy. V dnešní době se v mnoha případech nemusí ani objevit, jelikož povrchový odtok není univerzálně vyskytující se jev.

Odtok z překročení nasycení

Tento odtok se vyskytuje tam, kde je předem nasycený povrch bez ohledu na srážky (zvýšená hladina podzemní vody, vývěr podpovrchového odtoku) (Brutsaert, 2005).

Odtok podpovrchový

Podpovrchový odtok tvoří podzemní voda, která prosakuje pomalu z daného území pod povrch. V celkovém odtoku zaujímá jen minimální část. V území, kde se vyskytují velmi propustné pískovce a v krasových oblastech, je tento odtok významnější než odtok povrchový (Pačes, 1982). Hlavním vstupem vody pro tento odtok je infiltrovaná voda.

Podpovrchový odtok makropóry a jinými preferenčními cestami

Biologická aktivita spolu s vysoušením půdy se odehrávají kousek od povrchu půdy, proto se makropóry objevují v horních částech půdního profilu.

Podpovrchový odtok mělkou permeabilní vrstvou

Jde o vrstvu, která se v častých teoriích označuje jako významné, dokonce hlavní transportní médium událostního odtoku. Je to vrstva, kterou tvoří několik desítek vrstev a je tvořená z minerálních půd. Ty obsahují organické zbytky. Je známá spodním rozhraním, které náhle sníží hydraulickou vodivost.

Podpovrchový odtok způsobený zvýšením hladiny podzemní vody

Tento odtok se objevuje v místech, kde je vysoké nasycení půdního profilu. Může se stát, že i malé množství vody může způsobit rychlé zvýšení hladiny podzemní vody. Následně to může ovlivnit povrchový nebo podpovrchový odtok. Většinou se stává, že je výjimečně rychlý v dolních částech svahu (Brutsaert, 2005).

Podpovrchový odtok nenasycený

Jeho doba trvání může sahát až do několika týdnů po srážce.

Odtok podzemní

Je to část infiltrované vody, která prosakuje horninami a po dosažení hladiny podzemní vody pokračuje ve svém oběhu horninovým prostředím k místu odvodnění. V hydrologické bilanční rovnici se vyjadřuje jako objem vztažený k delšímu období. Tento odtok se vyjadřuje v $m^3 \cdot s^{-1}$ nebo v $l \cdot s^{-1}$. Voda vystupuje na zemský povrch v místech, kde nasycené pásmo vystupuje na zemský povrch (koryta toků, nádrže povrchových vod, v pramenech, skrytých vývěrech). Množství podzemní vody, která vyvěrá za časovou jednotku, se nazývá vydatností. Odtok podzemní vody není přímo měřitelný, jestliže se nachází pod povrchem. Lze jej měřit až poté, co se podzemní voda dostala na povrch a stala se tak povrchovou vodou (Šilar, 1996).

Podzemní voda je největším zdrojem vnitrozemské vody na Zemi, a to i když je pomalá (Serrano, 1997). Proudí mezi propojenými póry, trhlinami větších rozměrů a mikrotrhlinami (Smith a Wheatcraft, 1993). Tím, že má celkem pomalou rychlost a má dlouhou dobu zdržení, tvoří neustálý odtok vody do vodních nádrží a vodních toků. Jsou tím zajištěny minimální výšky hladin a minimální průtok v potocích v bezesrážkových obdobích (Serrano, 1997). Je dokázáno, že pro velikost podzemního odtoku je přednější vliv litologie než srážky. Za předpokladu, že v daném místě jsou horniny, které jsou schopné akumulovat více podzemní vody, nastává situace, že i když v té oblasti málo prší, nastává tam větší základní odtok oproti deštivějším lokalitám.

Odtok ze sněhových srážek a zásob

Je zřejmé, že rozhodující význam pro tvorbu zásob vody v povodí a roční cyklus odtoku mají zimní srážky a tání sněhové pokrývky. Parametrem pro výpočet odtoku je teplota vzduchu, která bývá ve formě tzv. teplotního faktoru (faktor stupeň-den). Tento faktor znázorňuje úhrn roztálých sněhových zásob, který vzniká zvýšením teploty vzduchu o 1 °C a to po dobu jednoho dne.

Velikostí globálního záření, vlhkostí a rychlostí proudění vzduchu je dán úhrn tepla a záleží také na tom, jaká je hodnota albeda povrchu sněhové pokrývky.

Dalším rysem je retenční kapacita, která působí v procesu tání sněhové pokrývky. Díky ní jsou vyhlazovány odchylky ze dne na den a vedou proto k tomu, že i tak poměrně jednoduchý postup pro simulace odtoku, jako je metoda stupeň-den, se ukazuje jako prakticky účinný (Červený, 1984).

8. Metody stanovení jednotlivých složek odtoku

8.1 Metoda čísel odtokových křivek – CN

Tato metoda se používá pro výpočet maximálního povrchového odtoku z malého povodí. Byla rozpracována v USA službou Soil Conservation Service (SCS) roku 1964. Vychází z předpokladu, že objem a výška odtoku závisí na úhrnu srážek, druhu půdy a půdním krytu povodí. Pro výpočet odtoku je důležité určit index, který představuje činitele a odpovídá číslu odtokové křivky (CN – curve number). Pro to, abychom mohli stanovit index, je nutno určit hydrologickou skupinu půd, které jsou charakterizovány minimální vsakovací schopností.

Hodnoty CN se nedají použít v části roku, kdy je odtok tvořen tajícím sněhem.

CN je současně i ukazatelem pravděpodobnosti typu odtoku: čím větší číslo CN, tím je pravděpodobnější, že se přímý odtok týká povrchového odtoku (Krešl, 2001).

Podle metodiky CN křivek lze vypočítat:

- Objem přímého odtoku pro zadanou výšku deště
- Dobu dobíhání a dobu koncentrace
- Kulminační průtok pro zadanou výšku deště

Lze také zohlednit vliv změny charakteristik povodí na hodnoty, které uvádějí charakteristiky hydrogramu maximálního odtoku (Soukup, Hrádek, 1999).

Velikost přímého odtoku O_{pH} se stanoví podle rovnice

$$O_{pH} = 1000 * H_o * S_p \quad (m^3)$$

Výška přímého odtoku v mm je dána vztahem:

$$H_o = (H_s - 0,2 * A)^2 / H_s + 0,8 * A \quad (mm)$$

Retence určovaná podle čísla křivky CN podle vztahu:

$$A = 25,4 * [(1000/CN) - 10] \quad (\text{mm})$$

(Rovnice č. 5)

H_s – výška srážky z přivalového deště v mm

S_p – plocha povodí v km²

A – potenciální retence určovaná podle čísla křivky CN

8.2 Digitální filtry

Při používání digitálních filtrů je hlavní odhadnout, jak velký je koeficient neboli parametr, a to díky jiné metodě – Analýza poklesové větve, nebo vybrat ji prověřenou hodnotu koeficientu pro určité podmínky (formát vstupních dat, velikost povodí). Do této skupiny spadají metody podle Chapmana, Maxvella a Hollicka. Hypodermickou složku a složku podzemní odděluje metoda podle Chapmana (Lyne a Hollick, 1979).

$$Q_{total} = Q_{quick} + Q_{slow}$$

$$Q_{slow}(i) = \frac{k}{2-k} Q_{slow}(i-1) + \frac{1-k}{2-k} Q_{total}(i)$$

$$Q_{slow}(i) \leq Q_{total}(i)$$

Obr. č. 7 - Vzorec pro výpočet základního odtoku metodou digitálního filtru dle Chapmana (Chapman, 1999)

Kde:

$Q(i)$ - průměrný denní průtok v i -tém dni

Q_{total} - celkový odtok

Q_{slow} - základní odtok

K - bezrozměrná konstanta (je nastavena empiricky)

8.3 Model SMODERP

Tento model představuje plošný povrchový odtok ze srážky zadané doby trvání a proměnné intenzity v čase. Model SMODERP je postaven na rovnici kontinuity a rovnici pohybové. Skládá se z procesů intercepce, retence půdního povrchu a infiltrace.

Výstupem jsou informace o návrhových hodnotách hydrologických vlastností, které se využívají pro návrh a dimenzování protierozních opatření svahu. Byl odvozen na katedře hydromeliorací krajinného inženýrství FSv ČVUT Praha (Soukup, Hrádek, 1999).

Model umožňuje výpočet:

- Objem přímého odtoku ze svahu
- Výšku odtokové vrstvy a rychlost proudění ve zvolených profilech svahu a jejich časový průběh
- Specifické a celkové ztráty půdy vodní erozí

(Soukup, Hrádek).

8.4 Metoda Klinera a Kněžka

Tato metoda používá výsledky režimního sledování podzemních vod. V ČR je nejrozšířenější a pokrývá 75 % našeho území. Závisí na výšce hladiny povrchové vody v toku a výšce hladiny vody v přilehlém vrtu. Metodou Klinera – Kněžka lze vypočítat podzemní odtok i pro menší časové úseky. Pomocí něj jde vyčíslit podzemní odtok na povodí, které může mít plochu přibližně desítek až stovek km^2 s uzavřeným oběhem vody, pozorováním průtoků v uzavřevém profilu a sledováním vydatností pramene nebo lépe stavů hladin podzemní vody ve vrtu (Kliner a Kněžek, 1974).

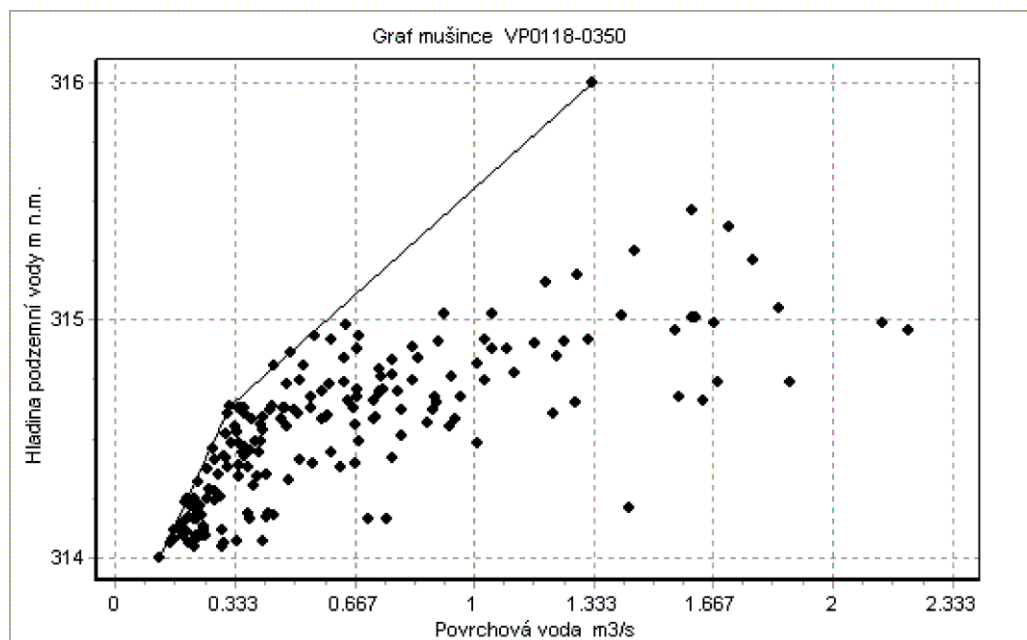
Při hydraulickém řešení pohybu podzemních vod se obvykle vychází z obecné diferenciální rovnice nestacionárního proudění homogenním porézním prostředím. Tento vztah lze vyjádřit funkcí:

$$O_z = f(H)$$

O_z = základní podzemní odtok v recipientu

H = stav hladiny podzemní vody ve vrtech (spád hladiny podzemní vody, vydatnost pramenů)

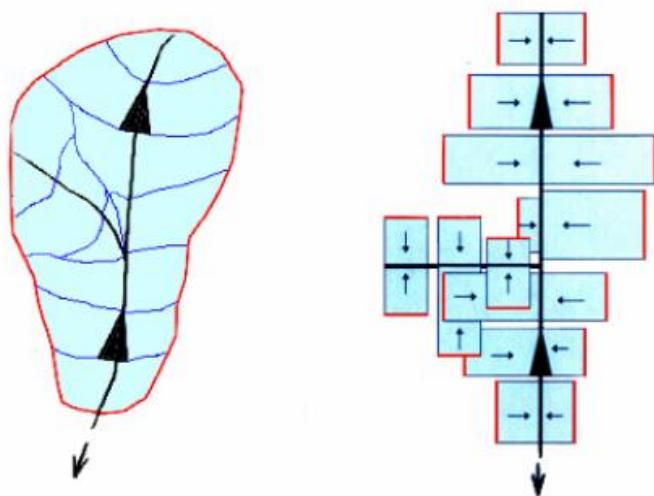
Do bilogarithmické soustavy se vynášejí dvojice odpovídajících si průtoků a kolísání hladin podzemní vody. Díky tomu by měly body z období vytvořit přímkovou závislost. Zde je podzemními vodami dotován celkový odtok. Naproti tomu období, kde jsou smíšené průtoky, ukazují, díky bodům pro určitý rozdíl hladin podzemní vody, větší průtok. Do závislosti vynášejí všechny zjištěné páry povrchového průtoku a rozdílu hladin podzemních vod bez toho, aby byl důležitý tvar hydrografu a časový průběh srážek. Dosáhlo se vztahu pro určení poměru základního odtoku k přímému a vymezení etapy základního odtoku (Žlábek, 2009). Příklad grafu této metody lze vidět na obrázku číslo 8.



Obr. č. 8 - Příklad tvorby obalové čáry v metodě Kliner – Kněžek (Kliner a Kněžek, 1974)

8.5 Model HYDROG

Tento model se skládá ze dvou modelů, a to hydrodynamického konceptuálního se soustředěnými parametry. Používá se pro malá i větší povodí, které obsahují prvky vodohospodářských soustav. Jde o simulaci celkového odtoku z povodí díky přívalovým regionálním srážkám. Vstupními daty modelu jsou údaje o průtocích, řízených odtocích z vodních nádrží a srážkách, v zimě pak i údaje o teplotě a výšce sněhové pokrývky. Obsahuje graf, díky němu je povodí schematizováno, jak je možné vidět na obrázku č. 9. Má určené vrcholy (odběry, soutoky, nádrže, odbočení odlehčovacích koryt), hrany (sít' vodních toků) a plochy (odpovídají jednotlivým dílčím povodím nebo mezipovodím, z nichž je odtok realizován do příslušného úseku koryta toku), které se připojují částem hran (svahy povodí).



Obr. č. 9 – Princip schematizace povodí modelem HYDRO

(Starý a Tureček, 1996)

Model HYDROG řeší zaprvé infiltraci podle Hortona (úhrn srážek za předchozích sedm dní), za druhé odtok podzemní vody pomocí nádrže, za třetí svahový odtok po plochách a celkový odtok v síti vodních toků. Důležité je to, že je koncipován tak, aby nevyžadoval kontinuální provoz a bylo ho možné spustit pouze v případě výskytu povodňové situace (Starý a Tuček, 1996).

8.6 Metoda stanovení základního odtoku na základě nejnižších průtoků v povrchových tocích

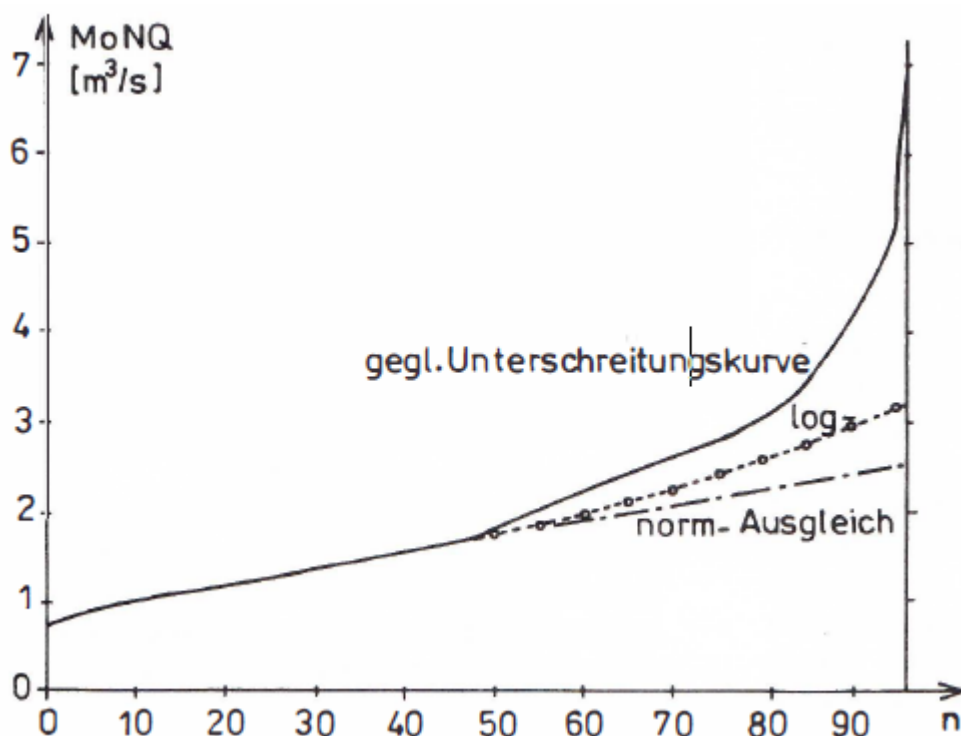
Roku 1970 byla tato metoda poprvé představena, a to na hydrologické konferenci v Palermu. Předpokladem je, že v době výskytu nejnižších průtoků jsou vodní toky napájeny převážně podzemními vodami. Podmínkou ovšem je neovlivnění toku jakýmkoliv vodními díly. Počítají se průměry z denních průměrných průtoků z období třiceti po sobě jdoucích dní s nejnižšími průtoky v jednom roce. Hledaný podzemní odtok z celého povodí toku se pak dostane z aritmetického průměru průtokových hodnot za 10 let (Kříž, 1983).

8.7 Metoda Killeho – metoda minimálních měsíčních průtoků

Tato metoda se podobá principu jako je uvedený v Castanyho metodě. Na rozdíl od ní je však doplněna o řešení grafické. Je dobré použít údaje z etapy alespoň dvanácti let (Kříž, 1983).

Tento model vedl k vytvoření nové metody určení podzemního odtoku. Cílem Killeho metody bylo eliminovat podíl povrchového a podpovrchového odtoku na určitém podzemním odtoku. Jeho představa byla, že když se vynesou vzestupně uspořádané hodnoty minimálních měsíčních průtoků do grafu společně s lineárně rozdělenými souřadnicemi, tak potom získáme obraz, který je podobný čáře trvání.

Kille také dále navrhoval transformaci rozdělení tím, že vynesou stejné vzestupně uspořádané hodnoty v semilogaritmickém grafu. S tím, že osa X je lineární a osa Y logaritmická. Vznikla tak přímka přibližně v oblasti hodnot $5 \leq n \leq 50$, za kterou je možné považovat čáru oddělující podzemní odtok.



Obr. č. 10 – Znáornění původního postupu podle Killeho (Kněžek, 1988)

8.8 Metoda BFI – Base Flow Index

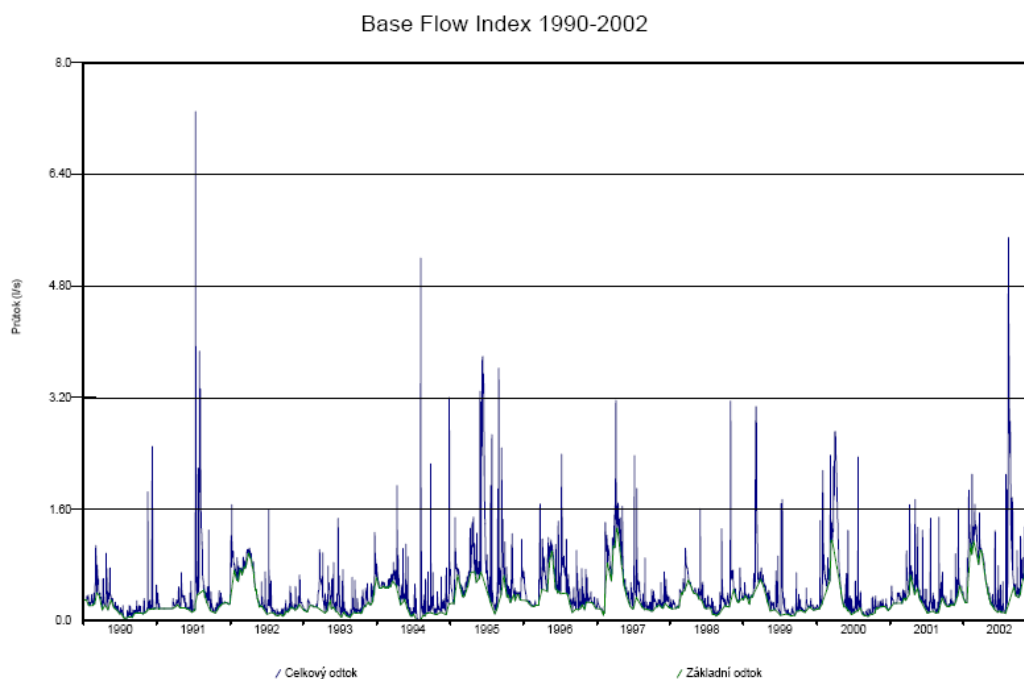
V roce 1980 vyvinul tuto metodu Britský hydrologický institut (Gustard a kol., 1992). Je to kombinace metody lokálních minim společně s křivkou vyprazdňování. Ve Velké Británii se zkoumaly změny zásob vody ve vodních nádržích a právě zde byla tato metoda utvořena. Následně se zjistilo, že touto metodou jde vypočítat základní odtok a lze ji aplikovat i na popis vývoje regionálních záplav.

BFI představuje poměr objemu celkového a základního. Hodnota BFI je pro každé povodí specifická a sděluje vliv geologických poměrů. Stanovení BFI má svůj postup:

1. Nejdříve je nutno rozdělit série dat průměrných denních průtoků na nepřekrývající se pětidenní bloky a stanovit minima pro každý z těchto bloků. Označují se jako $Q_1, Q_2, Q_3, \dots, Q_n$.
2. Dále se vytvoří řada množin ve tvaru $(Q_1, Q_2, Q_3), (Q_2, Q_3, Q_4), \dots, (Q_{i-1}, Q_i, Q_{i+1})$.

Když prostřední hodnota násobená koeficientem 0,9 je menší než obě hodnoty sousední, bude tato hodnota bodem křivky základního odtoku.

3. Hodnoty pro chybějící body pak stanovíme pomocí interpolace
4. Jestliže $QB_i > Q_1$, považujeme $QB_1 = Q_1$
5. Vypočítáme objem V_a pod křivkou základního odtoku, s počátkem v bodě QB_1 a koncem v bodě QB_n
6. Vypočítáme objem V_b pod křivkou denních odtoků pro stejné období
7. BFI pak bude poměrem V_b/V_a



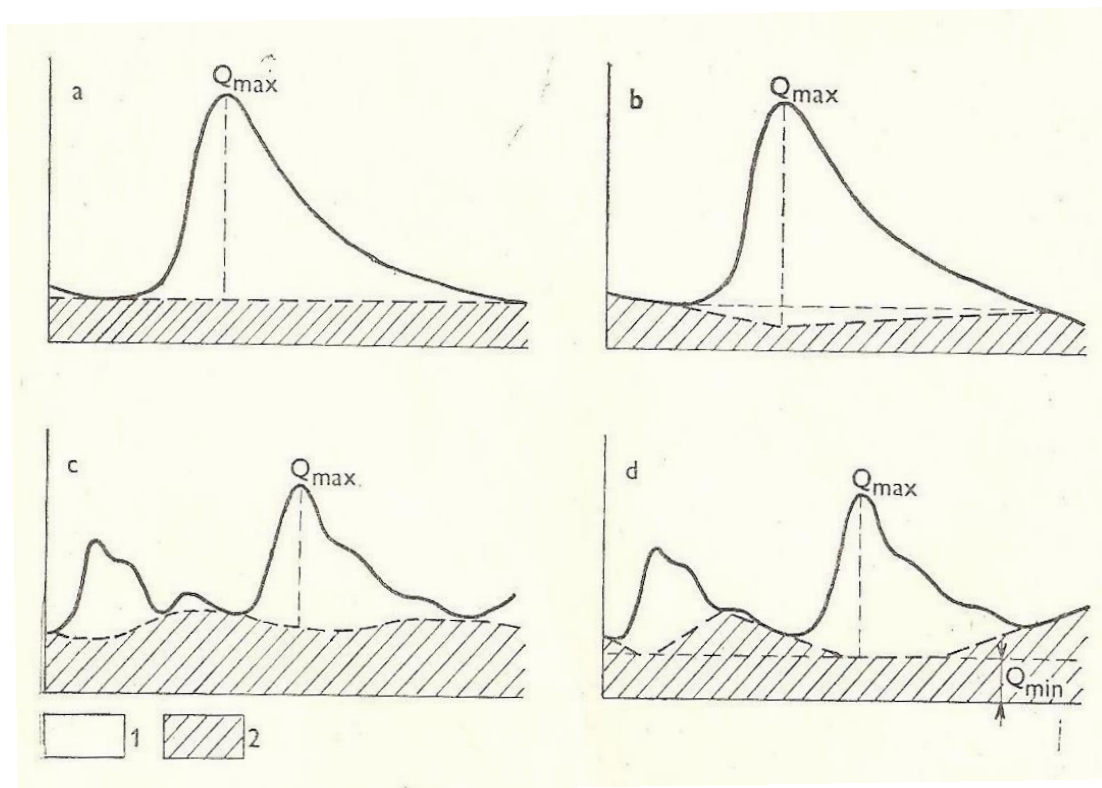
Obr. č. 11 - Separace hydrogramu metodou Base Flow Index
(Gustard, 1992)

8.9 Metoda separace hydrogramu

V hydrogramu je zachycen povrchový i základní odtok. Tento hydrograf je chronologický záznam průtoků na profilu. Určuje ho křivka, která popisuje hodnotu průtoku v daném čase. Na křivce je velmi dobře vidět počátek srážek, jenž zvyšuje hodnotu průtoku, a dále mírné ubývání průtoku po zakončení srážek (Straka, 2009).

Jedním ze způsobů separace hydrogramu je jeho rozdělení vodorovnou čarou, která probíhá počátkem průtokové vlny. Je to moment, kdy dochází k výraznému zvětšování průtoku. Z pohledu, kdy se určují základní složky odtoku, tento postup vyhovuje nejméně. Používá se metoda, kdy se určuje rozmezí mezi podzemním

přímým odtokem, která má podobu čáry a spojuje měsíční minimální průtoky. Má formu lomené přímky, která se do určité míry podobá tvaru průtokové vlny. V době, kdy je nejvyšší přímý odtok, je podzemní odtok nejnižší (Kříž, 1983).



Obr. č. 12 - Různé způsoby rozčleňování hydrogramu na přímý a základní (podzemní) odtok
 1 – přímý odtok, 2 – základní odtok (Kříž, 1983)

8.10 Metoda GROUND

Tato metoda byla zpracována Jainem a Doležalem (Jain, 1997). Bylo zapotřebí co nejrychleji separovat přímý a základní odtok z malého povodí z datové řady středních denních průtoků v závěrečném profilu. Metoda GROUND je empirická metoda, utvořená tak, aby separované hydrogramy středních denních odtoků z povodí o ploše řádu 1 km^2 vypadaly věrohodně. Model zahrnuje pouze jeden proměnlivý vstupní koeficient přírůstku základního odtoku COEF. Parametry vnitřní jsou DIFF, což jsou přírůstky základního odtoku, a FLOOD, to je logická proměnná. Jestliže se sečte přímý a základní odtok v každém časovém intervalu, rovná se to celkovému odtoku.

8.11 Model MGPM

Je to modifikovaná graficko-početní metoda, která vznikla z důvodu rozčlenění dlouhodobé datové řady středních denních průtoků na složky základního a přímého odtoku, a to při nedostatku doplňujících měření. Plánovala se budoucí aplikace na data drenážních odtoků. I u této metody jde o rozčlenění hydrogramu podle zásady, která říká, že každá zřetelná odtoková vlna má příčinu v určité srážkové epizodě. A navíc dílčí příčinné deště na sebe mohou libovolně navazovat. Algoritmus má za úkol oddělovat tu část odtoku, která je přímou odezvou na efektivní dešť. Tento algoritmus je zpracován v programu Visual Basic jako rozšíření tabulky aplikace Excel (Kulhavý a kol., 2001).

9. Faktory ovlivňující odtok vody z povodí i jeho jednotlivé složky

Atmosférické srážky nám udávají množství vody odtékající z povodí určitým profilem toku. Předurčují časový průběh odtoku a to díky svému množství a časovým rozdělením. Vztah mezi srážkami a odtokem není však přímý. Je ovlivňován jak klimatickými faktory, které se rychle vyvíjejí, tak ostatními fyzickogeografickými činiteli, které se zase tak nemění. A v neposlední řadě je ovlivněn i díky člověku (Daňhelka, 2007).

Důležitými faktory pro ovlivnění odtoku vody je sluneční záření, teplota a vlhkost vzduchu.

Pro to, abychom mohli rozdělit odtok celkový na odtok povrchový a podzemní, působí faktor ovlivňující vsak (půdní a geologické poměry, vegetační kryt, úprava půdy na velkých výměřích při zemědělském a lesním hospodářství).

Důležitost pro vytvoření odtoku v etapě bezdeští má geologické podloží a jeho propustnost (Němec, 1965). Jenomže nepropustné vrstvy, jako jsou krystalické horniny, ruly, slíny, břidlice, které mají málo mocné půdní překryvy, zmenšují celkovou retenční kapacitu povodí a účastní se na vysokém vzestupu průtoků při vydatnějších deštích.

O rychlosti odtoku v povodí rozhoduje: hustota vodní sítě, tvar, délka údolnice a spádové poměry.

Velkým faktorem je i sám člověk, který do toho podstatně zasahuje zvláště výstavbou vodních nádrží, agrotechnikou, uspořádáním cestní sítě, výstavbou měst a sídlišť. Všichni tito činitelé působí současně, komplexně a v různých kombinacích (Krešl, 2001).

1. Fyzicko-geografické charakteristiky

- Geologický faktor
- Klimatický faktor
- Vegetační faktor
- Antropogenní faktor

- Vodní nádrže (přírodní, umělé)
- Hustota říčních sítí

2. Fyzicko-geometriční činitelé

- Plocha povodí
- Tvar povodí
- Délka toku

Faktor geologických charakteristik

Geologie ovlivňuje zejména typ a mocnost půdy, tvar a sklon povodí. Vlastní geologické podmínky se uplatňují převážně ve smyslu rozložení propustných a nepropustných území (Daňhelka, 2007).

Pro utváření odtoku v období bezdeští má význam geologické podloží a jeho propustnost (Krešl, 2001). Vrstvy, které jsou propustné, snižují povrchový odtok a zvyšuje se tak odtok podzemní (Němec, 1965). Zatímco vrstvy nepropustné, mohou jimi být ruly a krystalické horniny, snižují retenční celkovou kapacitu povodí. Geologické poměry povodí umožňují vytvoření mnoha zásob podzemní vody (pískovce, šterky), protože vrstvy, které jsou nepropustné a mají malý mocný půdní překryv, snižují celkovou retenční kapacitu povodí. Následně dopomáhají při prudkém vzestupu průtoků při hutných deštích. Ty mají čáry překročení průtoků ploché. Opakem pak jsou čáry, které mají překročení průtoků (Krešl, 2001).

Mařaň a Lhota zkoumali vlivy na odtok a hydrologické vlastnosti u rašelin, které mají velmi podobné charakteristiky jako již zmíněné nepropustné vrstvy. Podle nich není nijak doložené, že rašelina je určena k nádržím podzemní vody. Rychlý povrchový odtok vzniká díky tomu, že rašelina vodu sice přijímá, ale velmi těžko vydává (Němec, 1965).

Faktor plochy povodí

Jednou z nejdůležitějších charakteristik povodí je jeho plocha F. Utváří danou představu o významu toku, který dané povodí odvodňuje (Kvítek, 2006).

Zatímco Krešl (2001) uvádí, že je větší maximální specifický odtok v povodích malých než z povodí velkých, tak Daňhelka (2007) tvrdí, že naopak s větší rostoucí plochou se zvyšuje hodnota kulminačních průtoků a zároveň klesá maximální specifický průtok.

Faktor tvaru povodí

Tvar povodí a uspořádání říční sítě ovlivňují tvar povodňové vlny vzniklé souběhem povodňových vln z jednotlivých částí povodí. Příznivější je stromovité uspořádání říční sítě, v němž nedochází k interferenci povodňové vlny z přítoků. Naopak pro vznik a vývoj povodňových vln s velkým kulminačním průtokem je nepříznivé zejména vějířovité uspořádání toků povodí. Nepravidelná říční síť se může projevit v charakteristickém tvaru povodňových vln, které mohou mít například více vrcholů (Daňhelka 2007).

Faktor pedologických charakteristik

Tyto poměry rozhodují zejména o velikosti a intenzitě vsaku vody a tím také o rozložení a velikosti odtoku. Důležité je hlavně časové rozdělení srážek, které se u ní projevuje kontinentálním typem rozložení vertikálních srážek s maximem v měsíci červenci a minimem v únoru nebo lednu. Roční srážkové úhrny se v ČR pohybují v rozmezí od 410 mm (Žatecko) do 1700 mm (v Jizerských horách) (Kvítek, 2006). Dále je půdními vlastnostmi ovlivňována i infiltrační a retenční schopnost území. Velkou infiltrační schopnost mají například půdy písčité, ovšem mají zase menší retenční schopnost. (Daňhelka, 2007). Retenční kapacita půd podstatně ovlivňuje transformaci srážky na odtok z povodí. Odtok vody z půdy do podloží vyvolaný vsakem srážky, který způsobí překročení retenční kapacity půdy, může způsobit povodňovou vlnu. Tímto mechanismem překročení retenční kapacity půd vznikají povodně. Záleží také na ročním období, protože při zamrzlé půdě probíhá povrchový odtok bez vsáknutí. Což znamená, že povrchový odtok nemá žádnou ztrátu, a to nezáleží na tom, o jaký druh půdy se jedná (Němec, 1965).

Šír a kol. (2008) ve svém článku zmínil, že významnou roli půdní vody v hydrologickém cyklu připomněl již ve své knize z roku 1978 pan Kutílek. Upozornil na skutečnost, že půdní pokryv tvoří obrovskou zásobu vody. Jeho

retenční kapacita je o řád vyšší, než je kapacita všech umělých a přírodních vodních nádrží v České republice a na Slovensku.

Faktor vegetace (využití území)

Šír a kol (2008) uvádí, že dostatečná plocha krajiny, která je pokrytá prodyšnými rostlinami, schopnými transpirace během celé vegetační sezóny, udržuje pravidelný charakter hydrologického cyklu. Během vegetačního období způsobuje transpirace dostatečné ochlazení krajiny, tudíž malé teplotní rozdíly pocházející z různých částí krajiny jsou výsledkem intenzity slunečního záření. Výsledkem tohoto je, že silné deště, jejichž vznik je způsoben velkými rozdíly v teplotě, nejsou generovány, a převládají tak deště s malou intenzitou srážek, které jsou bez problémů uloženy v půdě.

Jánský (2003) a Janeček (2002) zastávají názor, že v protipovodňové ochraně mají značný význam ekologická opatření, která zpomalují povrchový odtok a přispívají ke zvýšení retence. Vegetační pokryv nejen velice dobře chrání půdu před škodlivými účinky eroze, ale zvyšuje i vodní kapacitu půdy. Základem je nahrazování orné půdy loukami a pastvinami, dále pak výsadba rychle rostoucích dřevin, zvyšování podílu lesů charakteristických pro dané území (např. nahrazování smrkových monokultur lesem smíšeným). Kodešová a kol. (2010) zastávají názor, že velký vliv na zadržování vody v půdě má zatravnění. Své tvrzení doložila grafy s retenčními křivkami. Ty znázorňují zadržovanou vodu v půdě. Orná půda měla retenční schopnost nižší oproti retenční schopnosti pozorované na pastvinách, které jsou zatravněné. Tvary křivek prokazovaly, že půda, která nebyla pravidelně obdělávaná, obsahuje více kapilárních pórů, které jsou velmi důležité pro zadržování vody, provzdušnění půdy, živiny atd. Janeček (2002) dále uvádí, že základem biologických opatření nemusí být jen kvalitní travní porost. Při založení vegetačních pokryvů jsou vhodným doplňkem travních porostů stromy a keře.

Díky intercepci dochází v lese k významné ztrátě srážkové vody. To znamená, že se srážková voda zachytí na listech a větvích stromů a odtamtud se voda vypaří (Rowe, 1983). Zdravý vyspělý smíšený les se správným zastoupením dřevin, který má dostatečně tlustou vrstvu hrabanky a humusu, je schopen pojmout a zachytit poměrně značné množství vody ze srážek, vodu vsáknout a s časovým zpožděním

postupně tok zásobovat (Kvítek, 2006). Například v bukovém lese na Novém Zélandu, kde dopadla roční srážka 1 530 mm, průměrně propršelo až na povrch půdy pouze 69 % vody a pouze 2 % steklo na zem po kmenech stromů. Ztráty vody se liší v různých ročních sezónách. V zimě se průměrně ztratilo pouze 22 % srážkové vody, zatímco v létě, kdy stromy mají listy a kdy je vyšší teplota, se ztratilo 35 % (Rowe, 1983). V ČSSR byl zkoumán vliv lesa na odtok v bystrinách tocích Kýchové a Zděchovky. Na povodí Zděchovky (zalesnění 4%), které má rozlohu 402 ha a je skoro bezlesé, odtok na tomto místě ničil vegetaci a způsoboval ohromnou erozi půdy. Zatímco na povodí Kýchové (zalesnění 92%), které má rozlohu 409 ha, byly odtoky v rovnováze, bez větších podivuhodností (Němec, 1965).

Faktor antropogenní

Lidé se odpradáвна snaží zmírnit nerovnoměrnost odtoku a vytvořit zásoby vody tam, kde je jich potřeba. Celosvětově proto stále rostou zásoby vody v přehradních nádržích. Dnes zadržují přes 6 000 km³ vody, což je pětkrát více než v korytech všech světových řek. Jejich rozloha přesahuje 600 tis. km². Obdobně v České republice historie vodního hospodářství dokumentuje zřetelně snahu vyrovnat časovou nerovnoměrnost ve srážkové dotaci. Již na začátku 20. století bylo vybudováno na našem území 60 větších nádrží. Největší nárůst nových přehradních nádrží nastal v letech 1950 – 1970. Tehdy vznikla naše největší vodní díla. Jejich zadržený objem je však ve srovnání se světovými giganty mnohonásobně nižší. Na celkovém objemu našich 4 157 mil. m³ se podílí i akumulace vody ve více než 24 tisících malých nádrží a rybníků o souhrnném objemu 636 mil. m³. Význam těchto nádrží však nespočívá jen v zadrženém objemu, ale také v dalších krajinotvorných a hospodářských funkcích (Němec, 2006). Činnosti, které provádí člověk, nejsou jen o budování nádrží. Proto tyto práce můžeme rozdělit do tří částí. První skupina působí na říční odtok přímo tím, že řídí odtok nádržemi, odebírá a převádí vodu, upravuje toky. Druhá skupina mění vzájemné vztahy mezi prvky vodní bilance v povodí. Je to využívání zemědělského a lesnického půdního fondu, odvodňování půd nebo například urbanizace bez vlivu zásobování vodou. Poslední skupina se uplatňuje v obou směrech, což znamená, že přímo působí na odtok a mění také vzájemné vztahy mezi prvky vodní bilance. Tím mohou být závlahy, urbanizace včetně zásobování vodou (Červený a kol., 1984). V neposlední řadě se utváření

odtoku také zúčastňují činnosti, které jsou charakterizované užíváním, hnojením, obděláváním zemědělské půdy, volbou osevních postupů a polohovým umístěním kultur (Jůva, 1957).

Odvodnění

Půdu odvodňujeme, jestliže trpí zaplavováním a zamokřením, a takto se stává nevhodným stanovištěm pro osidlování, zemědělství, průmysl nebo zakládání různých staveb a zařízení jako komunikací, letišť, cvičišť, hřišť, hřbitovů. Příčiny tohoto nadbytku vody mohou být různé a zamokření se též může projevat různým stupněm škodlivosti. Jeho nejhorším případem jsou močály, které vznikají hromaděním srážkových vod nebo vylitím tekoucích a stojatých vod z břehů a zaujímají často rozsáhlé oblasti (Jůva, 1957). Při odvodnění závisí vodní režim na klimatických, půdních, hydrogeologických a hydrologických podmínkách. V našich podmínkách odvodnění často urychluje odtok vody z povodí, ovšem kvantitativní vlastnosti vodního režimu nijak významně neovlivňují (Červený a kol., 1984).

Odvodňovací úpravy, zejména pokud zaujímají rozsáhlá území, jsou zpravidla velkými a investičně nákladnými vodohospodářskými díly, při nichž se upravují toky a stojaté vody, staví ochranné hráze, kanály, drenáže, retenční nádrže i jiné stavby. V ČR nastaly během 90. let 20. století změny ve využití pozemků, které zapříčinily, že navrhované parametry, které se udávají u některých staveb u odvodnění nebo jejich jednotlivých částí, nesouhlasí s nynějšími podmínkami. Je to například v situaci, kdy dnes už je pozemek používán jako louka, ale kdysi byl kvůli plodinám, které se pěstují na orné půdě, odvodněn. (Soukup a kol., 2001). Jelikož systémy odvodnění zemědělské půdy byly navrhovány hlavně pro odvod vody z půdního profilu, která je přebytečná, tak postrádají, až na výjimku, složku retardace odtoku. U těchto systémů je nejdůležitější funkce odvodnění, kterou je třeba zachovat (Eichler a kol., 2000). Soukup a kol. (2005) uvedli ve svém článku, že v ČR bylo odvodněno přibližně 1,1 miliónů hektarů zemědělské půdy. V některých oblastech státu, v jižních a východních Čechách bylo odvodněno dokonce až 80 % zemědělské půdy.

V České republice, která je zemědělsky využívaná, jsou velmi výrazným prvkem drenážní systémy. U nás jsou plochy odvodněné drenáží, které uvádí

Zemědělská vodohospodářská správa k 1. 1. 1995, na 1 064 999 ha (Kulhavý a kol., 2007). Z celkové plochy odvodnění byl největší podíl 1 064 999 ha odvodněn systematickou drenáží. Sporadickou drenáží bylo odvodněno 12035,9 ha, otevřenými příkopy 2331,6 ha a jen 390,1 ha připadá na drenáž s řízeným odtokem. Předpokládaná životnost systémů je 40 let (Soukup a kol., 2005).

Dle tvrzení Soukupa (2005) je v České republice nutné vyhodnotit současný stav odvodňovacích systémů a zároveň stanovit podmínky a kritéria, která by poskytla impuls majitelům těchto systémů k zahájení adaptace na stávající klimatické a hospodářské podmínky. Úpravy musí být provedeny v souladu s hlavními ekohydrologickými funkcemi povodí, tudíž musí být řešeny především za účasti státu.

Faktor klima

Tímto tématem se zabývá např. Svazek 32 Národního klimatického programu ČR (2002). Vychází ze čtyř typů scénářů klimatické změny (rozvoj imisí a očekávaná citlivost vzestupu teploty, která závisí na zvětšení obsahu CO₂ v atmosféře), aplikuje tři hydrologické metody a využívá údaje z dvanácti povodí. V lepších případech se vyskytují viditelné změny hydrologického režimu, a to hlavně úbytek průměrných průtoků o 15 %. V horším případě jsou úbytky průměrných průtoků okolo 25 – 40 %. To by znamenalo hlavní změnu hydrologického režimu.

Faktor klima především ovlivňuje sílu odtoku a tvar odtoku. Hlavním klimatickým faktorem jsou srážky (Philip a kol., 1948). Kromě srážek je odtok ovlivněn také výparem, teplotou vzduchu, vlhkostí, velikostí a směrem větru a tlakem vzduchu. Odtok se zvětšuje mimo množství srážek také kvůli jejich časovému rozdělení a jejich druhu. Při dešťových srážkách v teplém období je odtokový součinitel nižší, jelikož v létě je větší výpar a voda se může lépe vsakovat. Zatímco v zimě je větší odtokový součinitel, kvůli menšímu výparu (Němec, 1965). Dále se za důležitý prvek odtoku z hlediska klima považuje teplota vzduchu a intenzita slunečního záření. Díky slunečnímu záření na jaře a tím i zvyšováním teploty vzduchu taje sníh a pravidelně se zvyšuje odtok z povodí a průtoky v řekách. Následně v létě se pak díky vysoké teplotě vzduchu výrazně zvýší výpar. A to jak ze spadlých srážek, tak i z půdy a volné hladiny. V ČR v průběhu 21. století se vyskytly

změny v teplotě a v množství srážek, které měly své důsledky. Vedly nejspíše k poklesům průměrné půdní vlhkosti a to díky vlivu změny teplot. V ročním průměru poklesla půdní vlhkost o cca 20 %, jaro bylo s minimálními změnami, léto pokleslo o 20 - 50 % a v zimě byl nárůst o 20 % (Metelka, 2010).

10. Opatření ke snížení povrchového odtoku – protierozní opatření

Následující opatření ke snížení povrchového odtoku se provádějí v odvodněných lokalitách zemědělsky obdělávaných pramenných místech. Úkolem protierozního opatření je zabránit erozi půdy a znečištění povrchových vod splachy z půd. Patří sem například polohové rozmístění kultur, protierozní osevní postupy, pásové pěstování plodin, travní zasakovací pásy, průlehy, poldry a příkopy.

Polohové umístění kultur

Rozmístění porostů v krajině hraje významnou roli při retenci vody a protierozní ochraně. Rozmísťují se podle potřeby jednotlivých oblastí, například ve více ohrožených oblastech se porosty umísťují blíže k sobě, takže rychleji vsakují vodu a tím dochází k menší erozi. Na pozemcích situovaných na kopci se kvůli ochraně půdy střídavě pěstují kultury s malou a velkou ochranou a retenční schopností.

Protierozní osevní postupy a pásové pěstování plodin

Protierozní ochrana určuje způsoby obdělávání půdy. Když má půda větší sklon než 2°, používá se vrstevnicová orba, jež chrání půdu před znehodnocením a umožňuje pomalé vsakování vody. Při opravdu velkých sklonech se používá hluboká brázdová orba, jejíž hluboké brázdy zachytávají stékající vodu. Do osevního postupu se přimíchávají travní a jetelovité porosty, které mají velkou protierozní odolnost. Plodiny by se pak měly pěstovat v určitých pásech, kde se střídá pás užitkových plodin, jako třeba okopaniny nebo obilniny, a pás ochranný, který tvoří travní porosty zachycující přebytečnou odtékající dešťovou vodu (Šálek a Legát, 1992).

Travní zasakovací pásy

Jejich význam spočívá v intenzivním vsakování povrchové vody do půdy a redukcí přísunu půdních částic a s tím spojených chemikálií, způsobených erozí, čímž chrání blízké pozemky. Proces zadržování sedimentů v pásích je závislý na čase a jeho účinnost závisí na procesu usazování (Hussein, Ghadiry a Rose, 2007).

Travní pásy jsou navrhovány v mírném odklonu od vrstevnic nebo v jejich směru. V krajině jsou velmi často využívány jako protierozní a ochranné opatření a slouží ke snížení povrchového odtoku, zvýšení retence vody a podporují zasakování.

Nejčastěji se navrhují ve směru svahu opakovaně proto, aby byl pozemek chráněn proti erozi. V zemědělské krajině ještě s biotechnickými opatřeními tvoří ochranný systém, který je nutno udržovat a kontrolovat. Dále se také mohou navrhovat podél vodních toků. Tady splňují hlavně funkci redukce sedimentů a živin transportovaných povrchovým odtokem do vodního toku.

Velmi důležité jsou parametry travních zasakovacích pásů:

Délka – Závisí na lokalitě, zejména na velikosti a tvaru pozemku.

Šířka – Závisí na sklonu pozemku a účinnosti, které chceme dosáhnout pomocí infiltrační schopnosti. Minimální šířka je 12 – 16 m. Určuje se podle požadavků účinnosti a podle sklonu pozemku (Soukup, 2008)

Travní pásy doplněné keřovou a stromovou vegetací

Na rozdíl od předešlých travních pásů mají tyto pásy keřovou a stromovou vegetaci. Díky tomu tvoří spojovací prvky a biokoridory a také napomáhají ke zlepšení estetiky. Tvoří je travní, keřové a případně i stromové pásy, které umožňují stabilizaci ekologického systému. Parametry, které se navrhují, jsou podobné jako u výše uvedených travních zasakovacích pásů.

Průlehy

Tam, kde se soustředí povrchový odtok, jsou navrhovány protierozní příkopy, rýhy a průlehy. Průlehy pomáhají k akumulaci vody a jejímu zasakování. Může být průleh za prvé bezodtoký, který potřebuje velmi dobře propustnou půdu, anebo za druhé takový, ve kterém je díky malému sklonu zajištěn odtok.

Průlehy bez odtoku není dobré uplatňovat pro orné pozemky, protože mohou být poškozeny plodiny. Naopak vhodné je to na lučních porostech, které se rychle obnovují.

Průlehy odtokové jsou z největší části zatravněny. Důležité je, aby byl odtok napojen na odváděcí příkopy.

Hlavní parametry: zejména šířka (Soukup, 2008)

Poldry

Původně byl název poldr použit v Holandsku na přelomu devátého a desátého století. Tento název byl spojen s chráněním půdy pomocí přehrad před mořskými záplavami. Později byl stejný systém ochrany půdy použit na záplavová území niv, řek, jezer a mělkých nádrží. Všechny typy těchto systémů byly nazývány poldry (Rusetski, 2009).

Podle definice Justa (2005) jsou poldry útvary schopné akumulovat vodu z průtoků a zachytit povodňovou vlnu. Oproti malé vodní nádrži má velký retenční objem, který se může rovnat objemu maximálnímu. Rozlišujeme tzv. průtočné poldry a poldry postranní. Průtočné poldry jsou objekty typu průtočné vodní nádrže, vybavené o něco větším retenčním prostorem. Zadržováním vody v tomto prostoru se zpomaluje průběh změn průtoků (zejména při povodních). Naopak postranní poldry, jsou ohrazované prostory v říční nivě, které nejsou protékány vodním tokem a do kterých se po dosažení určité úrovně hladiny vody přelévá část povodňového průtoků.

Tyto poldry mají umožňovat uzavřenou retenci, jejíž kapacita se plně využije až ve fázi povodňové kulminace. To má být jejich největší předností oproti přirozené retenci v říční nivě, protože kapacita v nivě se zaplňuje průběžně se vzestupem vody.

Pokud by tedy postranní poldr zafungoval optimálním způsobem, takže by tedy pojal vodu dané povodně, byl by jistě efektivnějším využitелеm prostoru říční nivy než stejně velká plocha pro přirozenou retenci.

Poldry a suché nádrže je možno navrhovat v horních částech povodí, kdy máme výhodu v možnosti zachycení odtoku vody ze srážek prakticky v místě vzniku soustředěného odtoku. Podle Vrány a Dočkala (2007) je nevýhodou tohoto řešení členitost terénu. V horních částech povodí zpravidla zaznamenáváme úzká, sevřená údolí, takže i vysoká hráz vytvoří v této krajině malý záchytný objem.

Druhá možnost umístění poldru je přímo nad určitým územím, kde chceme dosáhnout co největší retence. Toto řešení je často využíváno v protipovodňové ochraně, kdy poldr umístíme nad intravilánem města. Nevýhodou tohoto řešení je fakt, že v dolních částech povodí jsou průtoky výrazně vyšší než v horních částech. Při realizaci si musíme uvědomit, že toto řešení vyžaduje výrazně větší záchytný prostor.

Bohužel ideálnost těchto řešení komplikuje hned několik následujících faktorů:

1. Poldr funguje ideálně jen při určitém rozsahu povodně.
2. Náročné řešení konstrukce pro plnění daného poldru.
3. Po zaplnění vodou představuje postranní poldr neaktivní prostor, tzn. prostor nezapojený do průtočného profilu a tedy prostor nepřispívající ke zpomalování povodňového proudění.
4. Velké pořizovací náklady.

Just (2005), Strobl a Fischer (2008) se shodují v názoru, že pokud se zváží tyto zápory postranního poldru, může se ukázat, že výhodnější řešením je využít území pro přirozenou retenci v nivě, které je v podstatě bez nákladů. Je třeba si uvědomit, že umělé poldry nákladně budované by neměly být základním akumulačním prvkem. Tím by měl být volný rozliv v říčních nivách, který lze v některých případech upravovat nenáročnými zásahy do terénu.

Příkopy s odvodňovací a případně i s přiváděcí a zavlažovací funkcí

Tyto příkopy mohou být navrhovány v minimálních sklonech a to je pro ně velkou výhodou. Závlahové příkopy a kanály musí mimo jiné plnit odvodňovací funkci (Soukup, 2008).

11. Závěr

Tato bakalářská práce byla zaměřena na celkový odtok vody. Důraz byl kladen na vymezení faktorů, které ovlivňují odtok vody z krajiny. Celkový odtok představuje objem vody, který odeteče z povodí za jednotku času. Je tvořen povrchovým odtokem v řekách a potocích a podpovrchovým odtokem. Tvoří ho souhrn všech složek odtoku, které procházejí závěrečným profilem toku za daný časový interval. Díky separaci hydrogramu, jde z celkového odtoku vyčlenit podzemní a povrchový odtok.

Začátek této práce pojednává o takzvaném oběhu vody, kterým může být malý oběh, jenž probíhá pouze nad plochami oceánů a moří, a velký koloběh vody, kdy se přeměňuje voda mezi oceány a pevninou. Právě v oceánech je největší množství vody (99 %). Voda byla rozdělena na povrchovou, která se přirozeně vyskytuje na zemském povrchu a jsou jí například jezera, mokřady, rybníky, řeky a kanály. Podpovrchovou vodu nalezneme v pórech, puklinách a jiných otvorech půd. Voda, jež není vázaná kapilárními silami a je hlavní součástí koloběhu vody v přírodě, se nazývá podzemní.

Další kapitola se zabývá odtokem a metodami jeho stanovení. Například zde byla popsána Metoda čísel odtokových křivek – CN, která slouží k jednoduchému výpočtu odtoku při srážkoodtokové události na malých povodích. Nebo nejznámější metoda označována jako Metoda Klinera a Kněžka, která v České republice pokrývá 75 % území.

Hlavní částí této bakalářské práce je vymezení faktorů ovlivňující celkový odtok vody z povodí. Těmito faktory jsou geologické charakteristiky, které ovlivňují především typ a mocnost půd, tvar a sklon povodí a snižují povrchový odtok ve prospěch odtoku podzemního. Tvar povodí udává představu o významu toku, který dané povodí odvodňuje. Pedologické vlastnosti jsou důležité především pro velikost a intenzitu vsaku vody a tím také pro rozložení a velikost odtoku. Dalším významným faktorem je vegetace. Vegetační pokryv velice dobře chrání půdu před škodlivými účinky eroze. Proto jsou často navrhována protierozní opatření, jako jsou například travní pásy nebo travní pásy doplněné keřovou a stromovou vegetací. Jestliže je půda příliš zamokřená a stává se tak nevhodným stanovištěm pro osídlování, zemědělství, průmysl nebo zakládání různých staveb a zařízení, musí být

půda odvodněna. Z celkové plochy ČR má největší podíl drenáž systematická. Nejsložitějším faktorem odtoku vody z povodí je klima, které ovlivňuje hlavně sílu a tvar odtoku. Kromě těchto faktorů zasahuje do povodí svou činností i člověk. Kladně tím, že obdělává i hnojí zemědělskou půdu, volí osevní postupy a staví přehradu, ale i tím, že kácí lesy, což je negativní zásah ovlivňující odtok.

12. Seznam literatury

1. 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.
2. Brutsaert, W. *Hydrology: An introduction*. Cambridge University Press, 2005, 605 s.
3. Červený, J., Bohm, B. a kol. *Podnebí a vodní režim ČSSR*. Státní zemědělské nakladatelství, Praha, 1984, 416 s.
4. Daňhelka, J. *Operativní hydrologie: hydrologické modely a nejistota předpovědí*. Sborník prací ČHMÚ, Praha, 2007, 104 s.
5. Eichler, J., Soukup, M., Pilná, E. Využití DMT při návrhu retardace podzemního drenážního odtoku. *Sborník GIS Seč 2000*, Seč, 2000, 57-63 s.
6. 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.
7. Hall, F. R. Base flow recessions-a review. *Water Resour*, 1968, 973-983 s.
8. Hrádek, F., Kuřík, P. *Hydrologie*, ČZU Praha, 2008, 270 s.
9. Chapman, T. A comparison of algorithms for stream flow recession and baseflow separation. *Hydrol. Process*, 1000, č. 13, 701-714 s.
10. PAVELKOVÁ, Renata, CHMELOVÁ, Jindřich FRAJER a Jan GELETIČ. *Hydro.upol.cz: Vybrané kapitoly z hydrologie*. STARÝ a TUREČEK. [Http://hydro.upol.cz/?page_id=163](http://hydro.upol.cz/?page_id=163) [online]. 1996 [cit. 2015-04-16].
11. 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.
12. Janeček, M. *Ochrana nezemědělské půdy před erozí*. Česká společnost krajinných inženýrů, Pardubice, 2002, 50 s.
13. Jánský, B. *Retence vody v povodí*. Univerzita Karlova. Přírodovědecká fakulta, Praha, 2003, 60-62 s.
14. Jůva, K. *Odvodňování půdy*. Státní zemědělské nakladatelství, Praha, 1957.

15. Kadlecová, R., Germann, 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.
16. Kliner, K., Kněžek, M. Metoda separace podzemního odtoku při využití pozorování hladiny podzemní vody. Vodohospodářský časopis SAV, č. 5 sv. 22, Bratislava, 1974.
17. Kliner, K., Kněžek, M., Olmer, M. a kol. Využití a ochrana podzemních vod, Praha, 1978, 295 s.
18. Kodešová, R. Soil structure and soil hydraulic properties of Haplic Luvisol used as arable land and grassland. ScienceDirect: Soil Tillage Research, 2010, 4 s.
19. 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. Journal of Hydrology. Volumes 450-451, 2012, 267-278 s.
20. 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.
21. Kněžek, M. Podzemní složka odtoku, VÚV Praha, 1988, 171 s.
22. Krešl, J. Hydrologie. MZLU Brno, Brno, 2001, 6 s.
23. Kříž, H. Hydrologie podzemních vod. Academia, Praha, 1983, 268 s.
24. Kvítek, T. a kol. Zemědělské meliorace, České Budějovice, 2006, 69 s.
25. Kubala, P., Tlapáková, M. a kol. Vodohospodářská bilance v oblasti povodí Vltavy za rok 2002. Vodní hospodářství, 2003/vh12, 321-323 s.
26. 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, ISSN 1210-1672, 29-52 s.
27. Kulhavý, Z., Soukup, M., Doležal, F., Čmelík, M. Zemědělské odvodnění drenáží – Racionalizace využívání, VUMOP Praha, 2007, 86 s.
28. Lyne, V., Hollick, M. Stochastic time-variable rainfall-runoff modeling. I. E. Aust. Natl. Conf. Publ. 79/10, Canberra, 1979, 89-91 s.
29. Netopil, R. Hydrologie pevnin, Praha, 1972, 7 s.
30. Němec, J. Hydrologie, Praha: Státní zemědělské nakladatelství, 1965.

31. Omuto, C. T a Gumbe, L. O. Estimating water infiltration and retention characteristics using a computer program in R. ScienceDirect: Computers Geosciences, 2002, 1-6 s.
32. Pačes, T. Voda a Země, Praha, 1982, 174 s.
33. Pavlásek, J. Retenční schopnosti malého horského povodí při extrémních srážko-odtokových událostech. Vodní hospodářství, Praha, 2010, 12 s.
34. Pitter, P. Hydrochemie, Praha, 1999, 568 s.
35. Plecháš, V. Voda problém současnosti a budoucnosti, Praha, 1989, 17-19 s.
36. Poulenard, J. Runoff and soil erosion under rainfall simulation of Andisols from the Ecuadorian Paramo: effect of tillage and burning. ScienceDirect: Catena. 2001, 1-6 s.
37. Říha, J. Voda a společnost, SNTL – Nakladatelství technické literatury, Praha, 1983, 338 s.
38. Serrano, E. S. Hydrology for Engineers. Geologists and Environmental Professionals. HydroScience Inc. Lexington, Kentucky, 1997, 468 s.
39. Smith, L., Wheatcraft, S. W. Groundwater flow. Chapter 6 In: Maidment, D. R. (ed.): Handbook of hydrology. McGraw-Hill, New York, 1993, 1424 s.
40. Soukup, M., Hrádek, F. Optimální regulace povrchového odtoku z povodí, Praha, 1999, 98 s.
41. Soukup, M. a kol. Funkce zemědělských odvodňovacích systémů v současných a budoucích hospodářských a klimatických podmínkách. Vodní hospodářství, 2005/vh7, 189 s.
42. Soukup, M. Biotechnická opatření v krajině pro zvýšení retence vody na odvodněných pozemcích v pramenných oblastech, Praha, 2008.
43. Strobl, T., Fischer, M., Einsatz von gesteuerten Flutpoldern zur Entlastung bei extremen Hochwasserereignissen. Bayer: Deutscher Verein für Vermessungswesen e. V., 2008, 7 s.
44. Straka, J. Metody stanovení základního odtoku na příkladu anenského potoka v Košetících, Rešerše k bakalářské práci, Masarykova univerzita v Brně, Brno, 2009, 11 s.
45. Šilar, J. Hydrologie v životním prostředí, Ostrava, 1996, 11 s.
46. Šíř, M. Soil Water Retention and Gross Primary Productivity in the Zábrod area in the Šumava Mts. ScienceDirect: Soil and Water. 2008, 1 s.

47. Tlapák, V., Šálek, J., Legát, V. Voda v zemědělské krajině. Zemědělské nakladatelství Brázda, Praha, 1992, 320 s.
48. Toman, F., Podhrázka, J. Vliv klimatických podmínek na vznik eroze způsobené táním sněhu, 2002, 456-464 s.
49. Vopravil, J. Vliv činnosti člověka na krajinu českého venkova s důrazem na vodní režim a zadržování vody v krajině. České vysoké učení technické v Praze, Praha. 2010, 7-14 s.
50. Vrána, K. Revitalizace krajiny. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích. Fakulta zemědělská, České Budějovice, 2009, 69-87 s.
51. Zachar, D., Jůva, K. a kol. Využití a ochrana vod ČSSR z hlediska zemědělství a lesního hospodářství, Bratislava, 1987, 568 s.
52. Žlábek, P. Vliv uspořádání krajinné matrice na složky odtoku. Dizertační práce, Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, 2009, 106 s.

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek č. 1 – Hydrologický cyklus (Serrano, 1997)

Obrázek č. 2 – Povodí (Šilar, 1996)

Obrázek č. 3 - Schéma odtokového procesu (převzato z ČSN 73 6530 Názvosloví hydrologie)

Obrázek č. 4 - Rozdělení zásob vody na Zemi (S. H. Schneider, 1996)

Obrázek č. 5 - Hydrologická bilance povodí (Serrano, 1997)

Obrázek č. 7 - Vzorec pro výpočet základního odtoku metodou digitálního filtru dle Chapmana (Chapman, 1999)

Obrázek č. 8 - Příklad tvorby obalové čáry v metodě Kliner – Kněžek (Kliner a Kněžek, 1974)

Obrázek č. 9 – Princip schematizace povodí modelem HYDRO (Starý a Tureček, 1996)

Obr. č. 10 – Znázornění původního postupu podle Killeho (Kněžek, 1988)

Obrázek č. 11 - Separace hydrogramu metodou Base Flow Index (Gustard, 1992)

Obrázek č. 12 - Různé způsoby rozčleňování hydrogramu na přímý a základní (podzemní) odtok (Kříž, 1983)