

JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH  
ZEMĚDĚLSKÁ FAKULTA

Studijní program: B4106 Zemědělské specializace  
Studijní obor: Pozemkové úpravy a převody nemovitostí  
Katedra: Katedra krajinného managementu  
Vedoucí katedry: prof. Ing. Tomáš Kvítek, CSc.

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

PŘÍMÝ ODTOK – VZNIK A METODY  
STANOVENÍ

AUTOR PRÁCE: ANDREA NEUBAUEROVÁ

VEDOUCÍ PRÁCE: ING. VÁCLAV BYSTRICKÝ

ČESKÉ BUDĚJOVICE 2012

JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH  
Fakulta zemědělská  
Akademický rok: 2010/2011

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Andrea NEUBAUEROVÁ**  
Osobní číslo: **Z09518**  
Studijní program: **B4106 Zemědělská specializace**  
Studijní obor: **Pozemkové úpravy a převody nemovitostí**  
Název tématu: **Přímý odtok - vznik a metody stanovení**  
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 přímého odtoku. Tato složka odtoku je tzv. rychlou odezvou povodí na spadlou srážku o dostatečné intenzitě. 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 přímého odtoku
- porovnání jednotlivých metod.

Rozsah grafických prací: **dle potřeby**  
Rozsah pracovní zprávy: **35 - 40 stran**  
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.**

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

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

Datum zadání bakalářské práce: **14. března 2011**

Termín odevzdání bakalářské práce: **15. dubna 2012**

JIHOČESKÁ UNIVERZITA  
V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH  
ZEMĚDĚLSKÁ FAKULTA  
studijní oddělení  
Studentská 13 ④  
370 05 České Budějovice



prof. Ing. Miloslav Šoch, CSc.

děkan

L.S.



prof. Ing. Tomáš Kvítek, CSc.

vedoucí katedry

V Českých Budějovicích dne 14. března 2011

## Prohlášení

Prohlašuji, že svoji bakalářskou práci 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 jejich internetových stránkách.

Datum: 30.3. 2012

Podpis student:

## **Poděkování**

Nejprve bych chtěla poděkovat vedoucímu pracovníkovi mé bakalářské práce Ing. Václavu Bystřickému za to, že mi pomáhal při sestavování bakalářské práce, za odborné vedení, cenné rady a připomínky. Díky všem těmto aspektům a úkonům mi pomohl zkvalitnit a dokončit mou bakalářskou práci. V neposlední řadě bych chtěla poděkovat své rodině, že mi připravili takové podmínky, za kterých jsem mohla nerušeně pracovat a za to, že mě v mé práci vždy podporovali.

## Abstrakt

NEUBAUEROVÁ, A. *Přímý odtok – vznik, metody stanovení*. České Budějovice 2012. Bakalářská práce. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích. Zemědělská fakulta, obor Pozemkové úpravy a převody nemovitostí. Katedra krajinného inženýrství. Vedoucí práce V. Bystřický.

Tato bakalářská práce se zabývá problematikou přímého odtoku (direct runoff) a za hlavní cíl považuje objasnit základní pojmy této problematiky a podrobně vysvětlit rozdělení jednotlivých složek přímého odtoku, který zahrnuje povrchový nasycený a hypodermický odtok. Následně popisuje jeho účast v hydrologickém cyklu, tzn., že je součástí stálého oběhu podzemní a povrchové vody na Zemi. Voda se na zem dostává v podobě srážek, ať už se jedná o sněhové nebo dešťové srážky. Extrémní srážky jsou nebezpečné svoji silou, úhrnem a intenzitou. Díky těmto zmíněným situacím je možný vznik hydrologických událostí, kterými jsou povodně nebo období sucha. Spadlé srážky mají velký vliv na povrchový odtok a transport půdních částic. Při spadu srážek v podobě prudkého a intenzivního deště vzniká odtok přímý.

Tato práce je zaměřena na vznik a geneze přímého odtoku. Dále, na faktory ovlivňující odtok, mezi které se řadí klimatické a antropogenní podmínky, vegetace, druh půdy a atmosférické srážky. Jsou zde objasněny vybrané metody případné separace, které jsou podrobně vysvětleny a popsány. V této části problematiky jsou zmíněny metody CN křivek, metoda GROUNG, MPGM, analýza poklesových větví a nakonec metoda digitálního filtru dle Chapmana. Těmito metodami je odtok dělen na základní a přímý.

**Klíčová slova:** hydrologický cyklus, hydrologická bilance, odtok vody, povrchový odtok, podpovrchový odtok, drenážní odtok, přímý odtok, povodí, faktory ovlivňující odtok, metody separace

## **Abstract**

The bachelor's thesis occupies with an issue of a direct flow. The main purpose is the explanation of the basic terms of the issue and the explanation of the sorting of particular parts of a direct flow, that involves a surface saturated flow and a hypodermic flow. Subsequently the thesis describes its participation in the hydrogeological cycle, which means the participation in the permanent circulation of a surface and underground water on Earth. The extreme precipitations are dangerous due to their force, total sum and intensity. The inception of hydrological occurrences like floods or dry seasons is possible owing to this. The fallen precipitations have a big influence on a surface flow and a transportation of soil particles.

The thesis is focused on the inception and the genesis of a direct flow. Further it focuses on the factors that influence the flow. Among these factors belong climatic and anthropogenic conditions, vegetation, type of soil and atmospheric precipitations. There are clarified selected methods of potential separation which are explained and described in detail. This part of the issue mentions CN curve method, GROUND method, MPGM, analysis of dropped subdivisions and finally method of digital filter (Chapman). These methods divides the flow on an elemental flow and direct flow.

**Keywords:** hydrological cycle, water balance, run-off, surface run-off, subsurface run-off, drainage run-off, direct run-off, separation method, catchment area, factors affecting run-off:

## Obsah

1	ÚVOD .....	- 9 -
2	KOLOBĚH VODY V PŘÍRODĚ .....	- 11 -
2.1	OBĚH VODY.....	12
2.2	VODA .....	13
2.3	ROZDĚLENÍ ZÁSOB VODY NA ZEMI .....	15
3	ODTOK VODY.....	16
3.1	FAKTORY OVLIVŇUJÍCÍ ODTOK .....	20
3.2	HYDROLOGICKÁ BILANCE.....	27
4	PŘÍMÝ ODTOK.....	31
4.1	POVRCHOVÝ ODTOK.....	32
4.2	PODPOVRCHOVÝ ODTOK.....	34
4.3	DRENÁŽNÍ ODTOK.....	35
5	METODY SEPARUJÍCÍ PŘÍMÝ ODTOK .....	36
5.1	CN KŘIVKY .....	36
5.2	DIGITÁLNÍ FILTRY.....	39
5.3	METODA GROUND .....	40
5.4	METODA MGMP .....	41
5.5	ANALÝZA POKLESOVÝCH VĚTVÍ .....	42
6	POROVNÁNÍ JEDNOTLIVÝCH METOD .....	43
7	ZÁVĚR.....	45
8	SEZNAM LITERATURY.....	47



## 1 Úvod

Voda v krajině je podmínkou života a nezastupitelnou složkou životního prostředí. Je to jeden ze základních elementů. Význam vody v přírodě nespočívá jen v množství a jakosti, a proto nesmíme zapomenout, že důležitým významem je i přenos energie a látek v oběhovém cyklu. Voda již zdaleka není považována jen za surovinu, ale je chápána jako základní součást životního prostředí, kterou je nutno zachovat pro příští generace v co největším množství a nejlepší kvalitě (ČERVENÝ A BOHM, 1984). Voda je účastníkem podstatných biologických procesů, fyzikálních pochodů a tvorby klimatu. Nachází se v zemské atmosféře, oceánech, pevninách, tvoří toky, přirozené i umělé vodní nádrže.

V souvislosti s narůstajícími nároky na vodu pro průmysl a zemědělství se vynořuje otázka, zda není velkými odběry narušována celková bilance oběhu vody v přírodě. Místně se může vodohospodářská činnost člověka projevit výrazně jen v odtoku, lokálně v zavlažovaných oblastech ve velikosti výparů a v kvalitě průmyslových a hustě zalidněných oblastech vodních zdrojů, zejména vody řek (PHILIP A WAYNE, 1988). Dále je dostatek vody důležitý pro rostlinnou a živočišnou výrobu, průmysl a dopravu, rekreaci a sport. V příliš velkém množství je však voda nebezpečná a častější záplavy způsobují v krajině značné škody. Společným jmenovatelem obou extrémních hydrologických jevů (povodně a období sucha) je proces odtoku vody z povodí.

Odtok je známý hydrologický pojem, vyjadřuje se tím objem vody, který odteče za určitý časový úsek z povodí. Zde však jakákoliv podobnost končí. Zatímco je odtok vody v období sucha tvořen základním odtokem, který je dotován především zásobami podzemních vod, při extrémních srážko-odtokových událostech je dominujícím procesem rychlý odtok povrchový (srážky převažují nad ztrátami) a mělkým podpovrchovým prouděním (MATOUŠEK, 2010), kdy voda, která se infiltruje do půdy, nedosahuje hladiny podzemní vody. Tyto dvě složky tvoří tzv. přímý odtok (SMAKHTIN, 2001).

Výška celkového odtoku je součtem výšek odtoku povrchového a podpovrchového, tj. hypodermického (půdního) a podzemního. Povrchový odtok vzniká v tenkých plošných vrtech obvykle jen na malých, málo propustných ploškách. V jiném pojetí je představa, že obě složky přímého odtoku vznikají na nepropustných půdách, nebo vodou nasycených ploškách.

Převážná část České republiky se nachází na semihumidních půdách a na jaře, při zvýšených srážkových úhrnech, dochází k plnému nasycení těchto půd

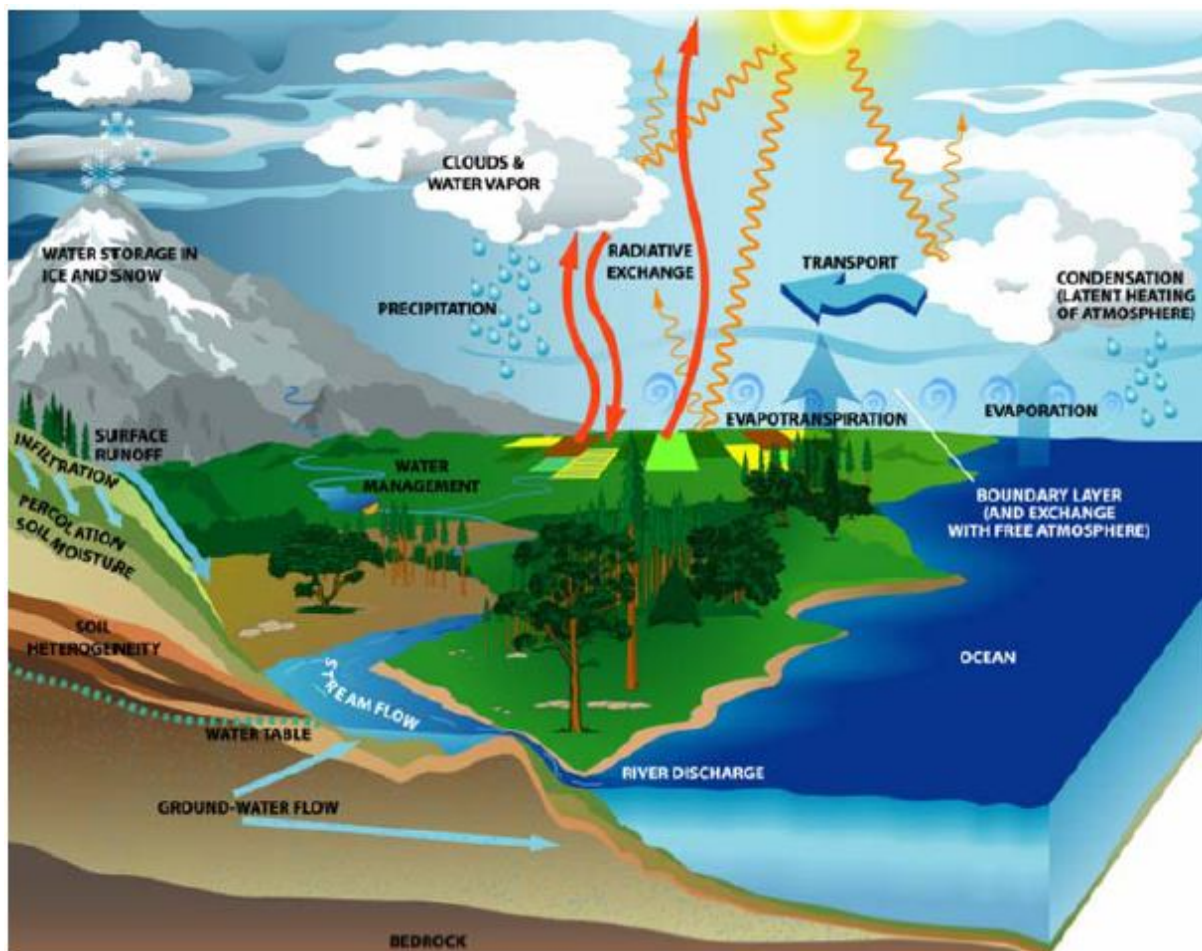
vodou a je potřeba odstranit přebytky vody. Rozložení spadlých srážek odpovídá plošnému rozložení průměrného odtoku. Detailní vlastnosti reliéfu, vyjádření horizontální a vertikální členitosti, kterými jsou sklon svahů a údolí, nám nejvíce ovlivňuje odtok z povodí. Také geologické a půdní poměry určují velikost povrchového odtoku vody z povodí (SOUKUP A HRÁDEK, 1999).

Po povrchu rychle odtéká srážková voda a tím se rychle zvyšuje množství vod v říčních korytech. Vsakující voda tvoří v podložních horninách zásoby podzemní vody. Aniž bychom si to nějak zvlášť uvědomili, právě antropogenní vlivy, tedy vlivy vytvořené člověkem, velice ovlivňují odtok vody, jeho vznik a koloběh vody v přírodě hned v několika směrech. Hospodaření s vodou, výstavba, pěstování určitých kultur, vegetační kryt a způsob využívání půdy, to vše jsou velice důležité faktory ovlivňující odtok.

Hydrologický cyklus, hydrologická bilance, kam se odtok zařazuje, dále geneze odtoku a faktory ovlivňující odtok, jsou základními pojmy, které náleží do problematiky vzniku přímého odtoku a v této práci budou objasněny. Mezi metody stanovení přímého odtoku byla zahrnuta metoda „GROUND“, „MGPM“, CN křivek, poklesových větví a digitální filtry. Následně u jednotlivých a výše zmíněných metod budou teoreticky popsány jejich klady a zápory, vhodnost použití při posouzení přímého odtoku.

## 2 KOLOBĚH VODY V PŘÍRODĚ

Koloběh vody (hydrologický cyklus), který můžeme vidět na obrázku č. 1, je stálý oběh povrchové a podzemní vody na Zemi, doprovázený změnami skupenství. Sluneční záření a gravitace jsou hlavními hnacími silami v koloběhu vody (SKLENIČKA, 2003).

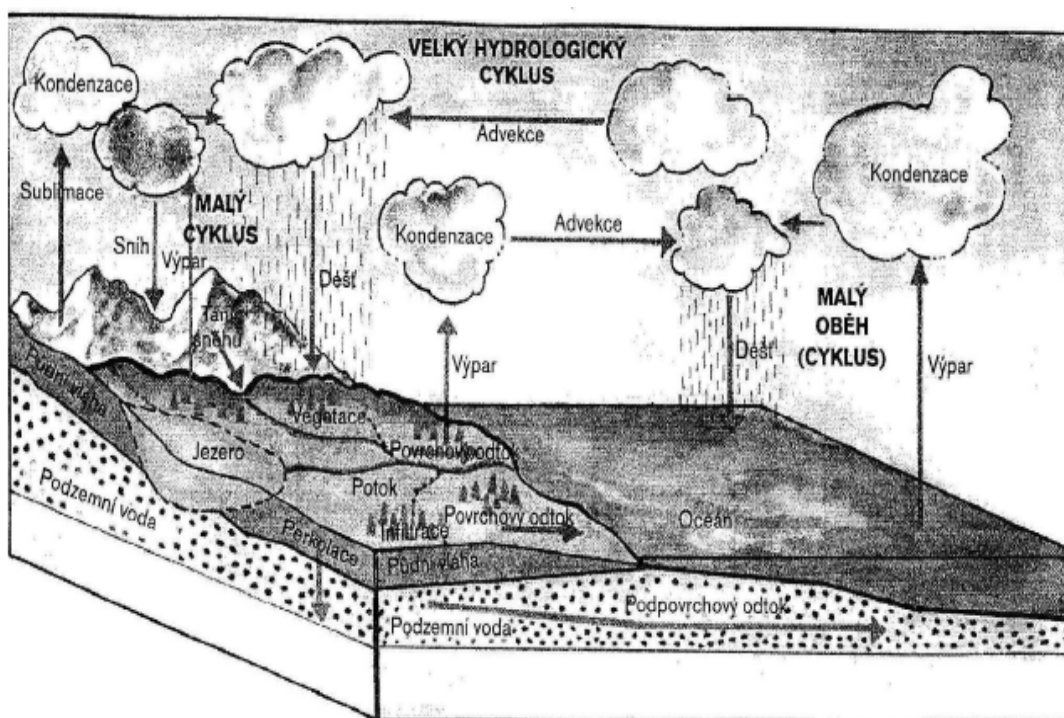


Obr. č. 1: Hydrologický cyklus (SERRANO, 1997)

## 2.1 OBĚH VODY

Lidé začali zvolna poznávat dynamiku složitých pochodů a zákony, kterými se řídí oběh vody v hydrosféře. Mezníkem byl rok 1674, kdy Francouz Pierre Perrault publikoval dílo „O PŮVODU PRAMENŮ“. Tím položil základ k vědě o oběhu vody-Hydrologii.

Základní součástí oběhu vody na Zemi je odtok vody z kontinentů do oceánů, což je zřejmé z obrázku č. 2. Ten probíhá v tzv. velkém oběhu. Ve velkém koloběhu vody dochází k přesunům vody mezi oceánem a pevninou (BRATNYCH a kol., 2005) - (výpar z oceánů → přenos vzduchovými hmotami nad pevninou → odtok řekami a pod zemským povrchem do oceánů). Na rozdíl od malého oběhu vody, který je také graficky zaznamenán na obrázku č. 2, při němž dochází k výměně vody jen v rámci světového oceánu nebo v rámci. Území ČR je zapojeno jak do velkého oběhu, jehož dimenze zde určují střeoevropské klimatické poměry, tak do malého oběhu probíhajícího v místní krajině (NĚMEC A HLADNÝ, 2006). Malý oběh vody, jak již bylo výše zmíněno, probíhá pouze nad oceány nebo pouze nad bezodtokovými oblastmi (KRAVKA, 2009) – tedy místní výpar z přehřátých míst zvyšující vlhkost vzduchu, atmosférický přenos a srážky v chladnějších polohách – má termoregulační význam. Hlavním významem malého oběhu vody je vyrovnávání mikroklimatu (PETŘÍČEK A CUDLÍN, 2003).



Obr. č. 2: Velký a malý hydrologický cyklus (MATOUŠOVÁ, 2005)

## 2.2 VODA

Voda ( $H_2O$ ) je sloučenina dvou atomů vodíku a jednoho atomu kyslíku, navzájem spojených polární kovalentní vazbou. Vazby atomů H - O - H svírají mezi sebou úhel 104,5 stupňů. Voda se řadí mezi čirou, bezbarvou, v silné vrstvě namodralou kapalinu, bez chuti a zápachu. Teplotu tání dosáhne při 0 stupňů, teplotu varu při 100 stupňů, při 3,98 stupňů má největší hustotu ( $1,000 \text{ g.cm}^{-3}$ ). Mrznutím se objem vody zvětšuje asi o 1/11 (KRAVKA, 2009). Dále můžeme říct o vodě, že se jedná o nejrozšířenější sloučeninu, která se vyskytuje v přírodě ve skupenství plynném, kapalném a pevném (KRAVKA, 2009) a je v neustálém pohybu.

Účinkem slunečního záření, hlavním zdrojem energie, se voda vypařuje z vodní hladiny, z půdy i vegetace a ve formě plynného skupenství. Prouděním vzduchu prochází do horních vrstev atmosféry (HUBAČÍKOVÁ, 2009), kde se mění na tekutý stav a vrací se zpět na povrch Země jako srážka. Srážky se častěji vypařují ještě před jejich dopadem na zem. Hrabanka a půdní povrch slouží k zachycení určité části srážek, tento úkon se nazývá povrchová akumulace (KREŠL, 1999). Další voda se může buď vypařit, nebo infiltrovat do půdy (SERRANO, 1997). Po spadu srážek se jejich menší část zadrží na vegetaci (intercepce). Maximální množství, které vegetační kryt může zachytit, nazýváme potenciální intercepcí (u listnatých stromů tvoří až 20% spadlé srážky, u jehličnatých porostů tvoří až 60% spadlé srážky). Zadržovaná voda může být evaporována do atmosféry nebo se dostává na zemský povrch (SMITH A WHEATCRAFT, 1993). V dalším procesu pohybu vody dochází opět k jejímu výparu a k dalšímu návratu na povrch Země v podobě deště, sněhu, krup, námrazy, mlhy apod. (NETOPIL, 1972). Taktéž se vodní pára ve vzduchu sráží nebo-li kondenzuje jako rosa nebo námraza na rostlinstvu. Většina této vody se opět vypařuje nebo je pohlcena rostlinami a jimi vypařena, tj. transpirována (NĚMEC, 1965). Transpirace závisí na rostlinných biologických procesech, lokalitě, meteorologických faktorech ovlivňujících výpar a na půdní vlhkosti (SERRANO, 1997). Část vody vyplňuje mikrodeprese reliéfu (detence) a zároveň začíná vsak (infiltrace).

Evaporaci (výpar) z vodní hladiny nebo z povrchu půdy a rostlinou transpiraci biologické vody je složité rozlišit, a proto tyto procesy označujeme jako evapotranspirace (BRUTSAERT, 2005). Transpirace a evaporace jsou základním dělením výparu. Míra výparu závisí na dostupnosti energie na povrch a na schopnosti vodní páry proniknout do atmosféry. Difúze je ovlivněna různými fyzikálními procesy, ale princip ztráty vody z půdy, vodní hladiny a z rostlin je stejný (SHUTTLEWORTH, 1993).

Na celkové vodní bilanci porostu se významně podílí jak intercepce, tak i povrchová akumulace vody, avšak nemohou svoji velikostí významně ovlivnit utváření odtoku. Děj, kdy se voda vsakuje do půdy, nazýváme infiltrace, která je důležitým činitelem pro retenci (KANTOR, 2003). Infiltrace je proces, kdy srážková voda, putuje půdním profilem z jednoho bodu do druhého. Tyto dva procesy nelze separovat od sebe. Velikost infiltrace je limitována velikostí pohybu půdní vody a naopak pohyb půdní vody vzniká až po infiltrační události (procesu), po které následuje proces redistribuce této infiltrované vody (RAWLS a kol., 1993).

Ta část vsáklé vody, která se gravitační silou dostává do nejbližšího recipientu, aniž by dosáhla hladiny podzemní vody, vytváří tzv. hypodermický odtok. Pokud jsou podzemní vody v hydraulickém propojení s korytem vodního toku, vytékají do něj jako tzv. základní odtok. Další druh odtoku se nazývá povrchový a nastává za normálních podmínek, pokud je intenzita deště větší než intenzita vsaku (NĚMEC A HLADNÝ, 2006). Vodní toky odvádějí vodu z krajiny, přičemž jsou zásobovány povrchovým i podpovrchovým odtokem vody. Povrchový odtok se tedy uplatňuje v případě, když se srážková voda nestačí vsakovat do půdy, většinou tedy po intenzivních deštích nebo rychlém tání sněhu. Podpovrchový odtok probíhá daleko rovnoměrněji, a to především jako odtok podzemní vody, která vystupuje v podobě pramenů nebo výronem přímo do koryt řek. Tento proces podzemní a povrchové vody zvaný hydrologický cyklus nebo oběh vody probíhá na povrchu Země nepřetržitě (NETOPIIL, 1972). Je podmíněn vypařováním a pohybem vody v atmosféře.

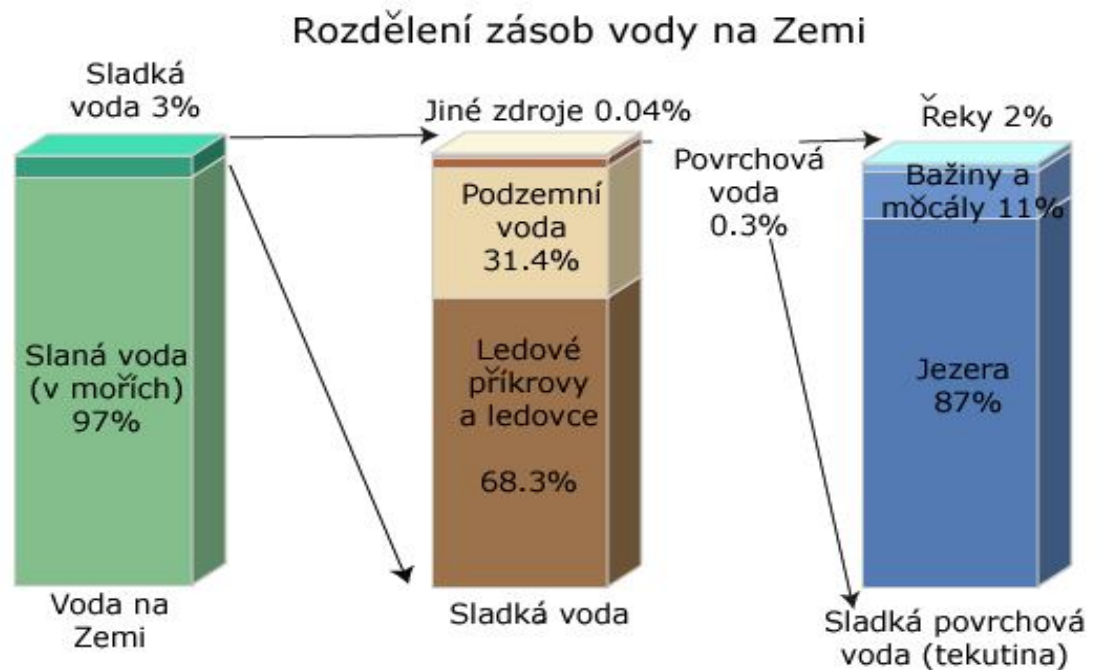
Hospodaření s vodou na území České republiky se formuluje již po celá staletí. Na začátku osidlování docházelo k regulaci vodního režimu území, zřizováním rybníků a odvodněním bažin (KVÍTEK a kol., 2005).

Rozvodí Severního, Černého a Baltského moře dělí Českou republiku na tři hlavní povodí: Odry, Labe a Dunaje. Síť vodních toků odtéká průměrně asi 15 mld. m<sup>3</sup> vody/rok. Při velkém kolísání v nejsušším a nejvodnatějším roce v rozmezí od 8 do 19 mld. m<sup>3</sup> za rok, kdy se přihlíží na klimatické podmínky (KVÍTEK a kol., 2005). Území České republiky totiž patří k odtokovým oblastem pevnin. Lokální komplikace odtoku působí pouze antropogenně podmíněné bezodtokové sníženiny, jako například rozsáhlé lomy vytvořené povrchovou těžbou hnědého uhlí v severních Čechách (NĚMEC A HLADNÝ, 2006).

### 2.3 ROZDĚLENÍ ZÁSOB VODY NA ZEMI

Detailní ozřejmení faktu, kde a v jakém množství se voda na Zemi vyskytuje, je patrné z obr. č. 3. Z celkového množství vody, které činí přibližně 1 400 miliónu kubických kilometrů vody je zhruba 97 % slané vody. Z obrázku je patrné, že z celkových zásob sladké vody je více než 68 % obsaženo v ledu a ledovcích. Další 30 % sladké vody se nachází v zemi. Povrchové zdroje sladké vody, jako jsou řeky a jezera, obsahují zhruba 93 000 krychlových kilometrů, což je jen zlomek procenta celkového objemu vody na Zemi. Přesto jsou řeky a jezera každodenními hlavními zdroji vody pro většinu lidí.

Na povrchu zeměkoule je voda rozdělena velice nerovnoměrně (oceány, pásma pouští, močály). Z celkové plochy povrchu Země 510 000 000 km<sup>2</sup> (509,95. 10<sup>6</sup>) zaujímá povrch oceánů a moří 361. 10<sup>6</sup> km<sup>2</sup> (NETOPIL, 1972). Ve výše uvedeném odstavci je uvedeno, že převážná část sladké vody je akumulována v ledovcích a sněhu. Jejich odhad je 32 000 (tis. Km<sup>3</sup>) (KRAVKA, 2009) a pevniny 149. 10<sup>6</sup> km<sup>2</sup>. Ze 149. 10<sup>6</sup> km<sup>2</sup> souše probíhá z plochy 117. 10<sup>6</sup> km<sup>2</sup> přímý odtok vody do oceánů a moří. Tato území jsou nazývaná oblasti s odtokem nebo odtokovými oblastmi. Zbýlých 32 (tis. Km<sup>3</sup>) tvoří oblasti odloučené od oceánů a moří, zvané bezodtokové. V bezodtokových oblastech se všechna voda, která tam spadne, vypaří. K největším bezodtokovým oblastem se může hlásit povodí Kaspického a Aralského jezera (MAIDMENT, 1993). Pevninskými a podpovrchovými zdroji je voda půdní a podzemní. Podzemní voda má odhadovaný objem 8 mil km<sup>3</sup>. Celková zásoba vody na pevninách je tedy 2,8%, v ovzduší cca 0,0009%. Sumární vodní zdroje Země činí 1 400 325 10.<sup>3</sup>km<sup>3</sup> (KRAVKA, 2009).



Obr. č. 3: Rozdělení zásob vody na Zemi (S. H. Schneider, 1996).

### 3 ODTOK VODY

Poznávání odtokových vlastností povodí začíná zjištěním nárůstu průtoku v toku v závislosti na srážce. Na počátku deště se srážka vsakuje do půdy a průtok v toku se nezvětšuje. Zvětšení průtoku v toku se dostavuje po určité době, která je závislá na vlastnostech půdy a zastavěnosti povodí. Komunikace, stavení, objekty a zpevněné plochy brání pronikání srážky do půdy a vyvolávají povrchový odtok, který způsobuje v toku brzký nárůst průtoku ze srážky (MATOUŠEK, 2010).

ČSN 73 6530, Názvosloví hydrologie z roku 1983, nám udává tyto definice:

- **Odtok**
  - 1) Odtékání vody po povrchu i pod povrchem terénu v procesu oběhu vody v přírodě
  - 2) Objem vody odtoklé z povodí nebo vodního útvaru za daný časový interval.
- **Přírozený odtok** – odtok neovlivněný umělým zásahem
- **Ovlivněný odtok** - odtok ovlivněný umělým zásahem.
- **Plošný odtok (ron)** – nesoustředné stékání vody po povrchu terénu.
- **Soustředění odtok** – soustředěné stékání vody sítí vodních toků.



- **Celkový odtok** – souhrn všech složek odtoku procházející závěrovým profilem za daný časový interval.
- **Základní odtok** – složka celkového odtoku tvořená výronem podzemních vod do sítě vodních toků po povrchu terénu.
- **Povrchový odtok** – složka celkového odtoku, která dotéká z povodí do sítě vodních toků po povrchu terénu
- **Hypodermický odtok** – složka celkového odtoku, která stéká do koryta toku v bezprostřední vrstvě pod povrchem povodí, aniž by dosáhla hladiny podzemní vody.
- **Přímý odtok** – složka celkového odtoku tvořena povrchovým a hypodermickým odtokem.
- **Výška odtoku** – objem vody odtoklé z povodí nebo z daného území za daný časový interval, vyjádřený vrstvy rovnoměrně rozložené po ploše tohoto povodí nebo území.
- **Výška odtokové ztráty** – rozdíl mezi výškou srážek a výškou odtoku, tzv. ta část výšky srážek, která se nezúčastní odtoku v korytě vodního toku.
- **Objem odtoku** – objem vody odtoklé z povodí nebo vodního útvaru za uvažované období.
- **Součinitel odtoku** – podíl objemu (nebo výšky) odtoku a objemu (nebo výšky) příslušných srážek způsobující tento odtok.
- **Součinitel povrchového odtoku** – součinitel odtoku stanovený ze vztahu udává, jaká část dešťové srážky se přeměňuje na povrchový odtok.
- **Doba odtoku, doba doběhu** – doba, kterou potřebuje částička vody spadlá na určitém místě povodí, aby povrchově dotekla do uvažovaného profilu.

Odtok vody je důležitý člen hydrologické bilance a bilance podzemních vod. Odtok z povodí je celkové množství vody proteklé závěrovým profilem. Odtok se začíná vytvářet spadnutím srážek a působení gravitace vytváří na zemském povrchu nejdříve na malých plochách plošný odtok (nesoustředěný), pak se vlivem členitosti terénu koncentruje ve stružkách, struhách, rýhách, potocích a tocích a vytváří povrchový soustředěný odtok (HUBAČÍKOVÁ, 2009). Tuto fázi odtoku vodních sítí nazýváme soustředěný povrchový odtok. (MATOUŠEK, 2010). Část spadlých srážek se vsákne do půdy, pohybuje se puklinovým prostředím geologických vrstev až k hladině podpovrchové vody, kde se vytváří podpovrchový odtok. Velikost odtoku je charakterizována průtokem – Q. Průtok je množství vody,

keré protéká za jednotku času příčným profilem toku, měříme jej obvykle v  $\text{m}^3\text{s}^{-1}$  nebo v  $\text{l}\cdot\text{s}^{-1}$  (KRAVKA, 2009).

Specifický odtok vyjadřuje, jaké množství vody odtéká za jednotku času z jednotky plochy povodí, udává se v  $\text{l}\cdot\text{s}^{-1}\text{km}^{-2}$  (SHAW, 1990). Specifický odtok je průtokem vztažený na jednotku plochy  $S_p$  k zájmovému profilu. Zjistíme ho, jestliže průtok vydělíme plochou povodí nad měrným profilem. Podobný význam má i tzv. výška odtoku. Tento údaj představuje průměrnou vrstvu vody rovnoměrně rozloženou na ploše povodí, která odtekla za určité období. Protože se obvykle vyjadřuje v  $\text{mm}\cdot\text{rok}^{-1}$ , umožňuje srovnávat odtok s množstvím srážek spadlých na povodí za stejné období. Vyjádříme-li odtok v % srážek, získáme součinitel odtoku (koeficient odtoku). I tento údaj nám pomůže určit, kolik vody z celkového množství, spadlé v podobě srážek, odtéká z povodí říční sítí bez rozlišení činitelů geografického prostředí. (Kolektiv autorů ČHMÚ, 1965-1970).

$$q = \frac{Q}{S_p} \quad \left[ \frac{\frac{\text{l}}{\text{s}}}{\text{km}^2} \right]$$

kde:

- q** specifický odtok
- Q** průtok (l/s)
- S<sub>p</sub>** plocha povodí (km<sup>2</sup>)

Pro celkový odtok  $Q_C$  platí:

$$Q_C = Q_p + Q_h + Q_{pd} + Q_{podz}. \quad \left[ \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right]$$

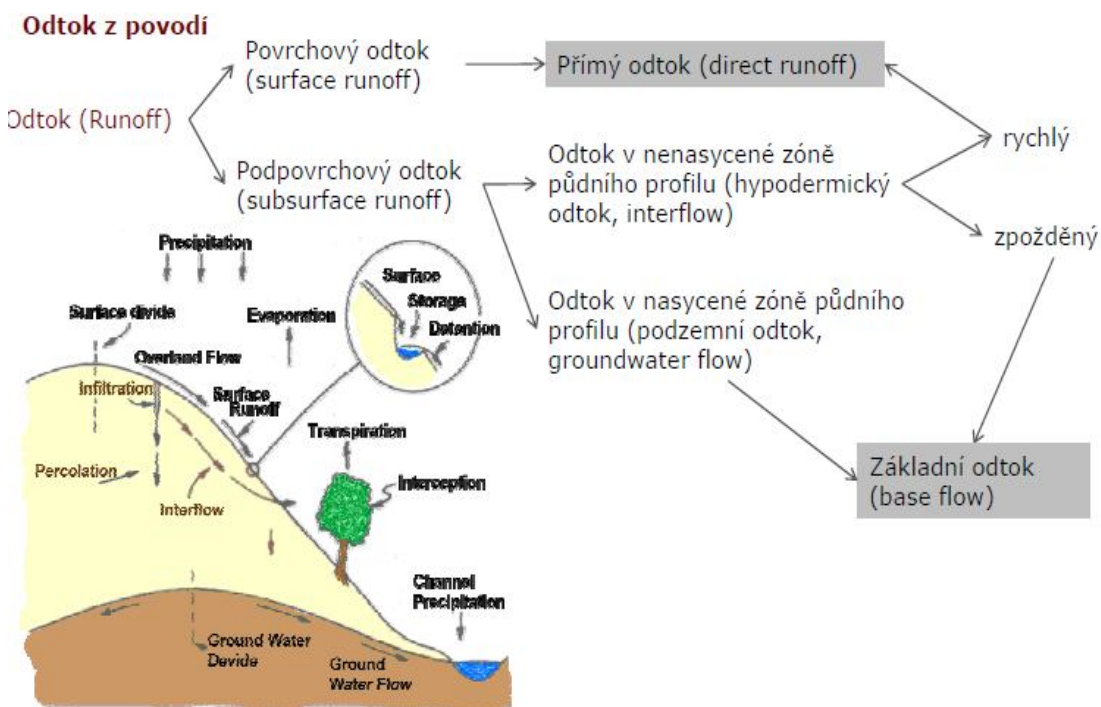
Kde:

- Q<sub>p</sub>** povrchový odtok
- Q<sub>h</sub>** hypodermický odtok
- Q<sub>pd</sub>** podzemní odtok do řeky a pramene
- Q<sub>podz</sub>** podzemní odtok bez výstupu na povrch v povodí

(SCHWARZ A ZHANG, 2003)

Celkový odtok lze rozdělit na přímý odtok, který zahrnuje povrchový i hypodermický odtok, a na základní odtok, který má pro řešení hydrologických úloh rozhodující význam, protože pochází ze zásob podzemní vody (MELIORIS a kol., 1986). Je tomu tak proto, že vyčlenění samostatné složky povrchového a hypodermického

odtoku je zpravidla dosti obtížné. Na obrázku č. 4 je velice srozumitelně znázorněno, přesné dělení jednotlivých složek odtoku.

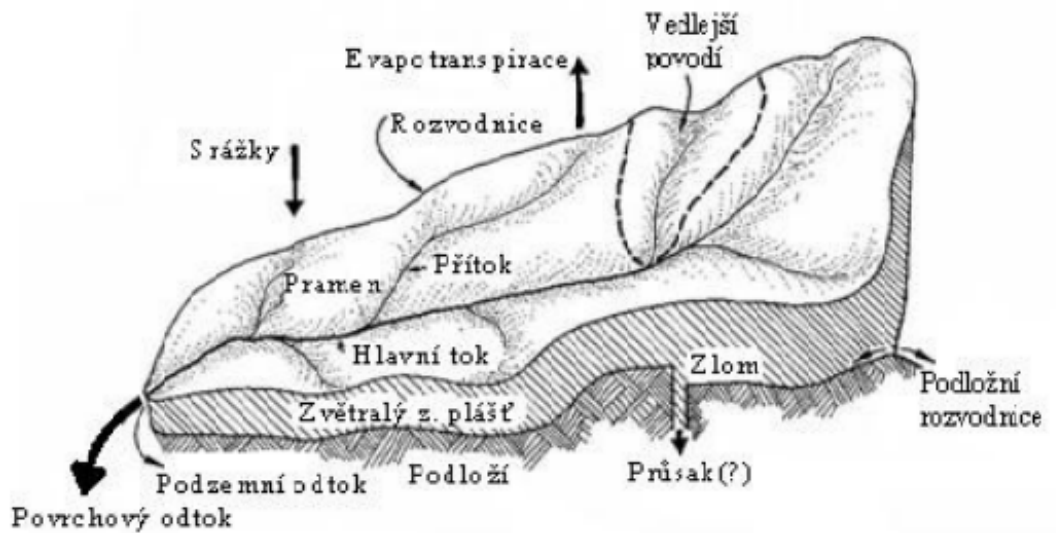


Obr. Schéma srážko-odtokového procesu (Zdroj: Johnson, D., 1999)

Obr. č. 4: Odtok vody (JENÍČEK, 1985)

Povodí je základní hydrologickou oblastí, v které se zkoumá odtokový proces a zjišťuje vzájemný vztah bilančních prvků (KUŘÍK, 2001). Je to území uzavřené z hydrologické stránky. Do povodí nepřitéká žádná voda po povrchu ani pod povrchem půdy. Srážky, které dopadnou na jeho povrch, odtékají jedním hlavním tokem. Avšak Dijksma a kol., (2002) uvádí, že se liší plocha „hydrologického“ povodí a to u takových povodí, jejichž hladina podzemní vody se nachází hluboko pod terémem. Povodí povrchových vod je jednoznačně určeno profilem na hlavním toku a je vymezeno rozvodnicí (MAIDMENT, 1993). Možno vidět na obrázku č. 5.

Rozvodnice je smyšlená čára vyznačující geografickou hranici mezi sousedními povodími. Rozvodnice podpovrchových vod, která je určena geologickým složením a průběhem nepropustných vrstev, není vždy totožná s rozvodnicí povrchových vod (NĚMEC, 1965).



Obr. č. 5: Modelové povodí (JURAČKOVÁ, 2007)

### 3.1 FAKTORY OVLIVŇUJÍCÍ ODTOK

Řekami a potoky protéká během roku neustále se měnící množství vody a toto kolísání udává režim toku, který je výsledkem působení velkého množství činitelů úzce spjatých s povodím toku. Nejsou to pouze vlastnosti povrchu povodí, ale také prostředí s ním spojeného, tj. atmosféry, půdních a geologických vrstev pod povrchem povodí.

#### a) Fyzikálně – geografické činitele

- Půdní a geologický faktor
- Klimatický faktor
- Vegetační faktory
- Vliv lidské činnosti
- Vodní nádrže – přírodní i umělé
- Hustoty říčních sítí

#### b) Fyzikálně – geometrické činitele

- Velikost a tvar povodí
- Plocha povodí
- Délka toku

#### c) Antropogenní faktory:

- využívání pozemků, nádrže – historické rybníky

### **Vliv geologických charakteristik**

Mocnost půdy, typ, tvar a sklon povodí jsou ovlivněny geologickými charakteristikami. Geologické podmínky uplatňují svůj význam u zkoumání propustných a nepropustných území (DAŇHELKA, 2007). Geologické podloží a jeho propustnost (pískovec, krasové vápence...) má význam pro vznik odtoku v období bezdeští.

Propustné vrstvy snižují povrchový odtok ve prospěch odtoku podzemního (NĚMEC, 1965). Ovšem nepropustné vrstvy (krystalické horniny, ruly...) s málo mocným půdním přeryvem snižují celkovou retenční kapacitu povodí a spolupůsobí při prudkém stoupání průtoků při vydatných deštích. Nepropustné vrstvy mají dobrý vliv na utváření povrchového odtoku. Z toho vyplývá, že geologické poměry povodí umožňující vznik velkých zásob podzemní vody (štěrk, pískovce), mají čáry překročení průtoků ploché. Také mají vliv na zvýšení povrchového odtoku. Opakem jsou pak povodí mající čáry překročení strmé (KREŠL, 2001).

Hodně podobné vlastnosti, jako u výše zmíněných nepropustných vrstev, mají rašeliny. Zde je třeba upozornit na zkoumání jejich hydrologických vlastností a vlivů na odtok; zkoumali je Mařaň a Lhota. Podle jejich výzkumů je značně nepodložené, že rašeliny slouží jako nádrže podzemní vody. Rašeliny sice vodu přijímají, avšak dost těžko vydávají. To je příčina, při které vzniká velmi rychlý povrchový odtok (NĚMEC, 1965).

### **Vliv pedologických charakteristik**

Půdní a geologické poměry mají hlavní vliv na rozdělení celkového odtoku mezi odtok povrchový a podzemní.

Infiltrační a retenční schopnosti území jsou ovlivněny půdními charakteristikami (DAŇHELKA, 2007).

Jestliže půda zmrzne, probíhá po ní odtok prakticky bez vsaku, tj. beze ztrát povrchového odtoku, a to nezávisle na tom, o jaký druh půdy jde (NĚMEC, 1965). Mezi půdní druhy se řadí půdy písčité, které mají větší infiltrační rychlosti, ale menší retenční schopnost. Písčité půdy tedy zmenšují rychlý a často nepříznivý povrchový odtok a zvyšují pomalý odtok podzemní (NĚMEC, 1965). Opačné podmínky poskytují půdy ulehle a nepropustné, zejména jsou-li deště na polohách s větším sklonem (JŮVA, 1957). Z předchozích řádků mělo být nastíněno, že strukturní půda nejen vyrovnává kolísání odtoků, ale také představuje zásobu vody pro rostliny a napájení toků.

Nejvýstižnější plošnou vypovídací schopnost mají mapy bonitovaných půdně ekologických jednotek, které jsou zpracovány pro celou republiku pro zemědělské půdy a mapy lesních typů zpracované pro lesní půdy (SOUKUP A HRÁDEK, 1999).

### **Územní faktor**

Výrazný je vliv vyčlenění konfigurace území a sklonitosti, délky i tvary svahů. Větší sklonitost území nebo jejich svahy podporují vznik povrchového odtoku, urychlují ho a soustřeďují. Naopak na malých sklonech odtéká voda pomaleji a má časově větší možnost vsakovat se do půdy, což množství odtoku zmenšuje (SOUKUP A HRÁDEK, 1999).

### **Vliv klimatu**

Klimatické faktory ovlivňují tvar a sílu odtoku. Zahrnují se tam hlavně dešťové srážky, které jsou nejdůležitějším klimatickým faktorem odtoku (PHILIP a kol., 1948). Na odtok však působí i další faktory, kterými jsou teplota vzduchu a půdy, výpar ve všech svých formách, vlhkost vzduchu a s ní spojený sytostní doplněk, směr a velikost větru a tlak vzduchu.

Velikost odtoku závisí nejen na množství srážek, ale také na jejich druhu a časovém rozdělení. Srážky ve formě sněhu dávají zásadně větší odtokový součinitel než dešťové srážky v teplejších ročních obdobích, protože v zimě není tak silný výpar a voda se nevsakuje do půdy tak vydatně jako v teplých ročních obdobích (NĚMEC, 1965). U jednotlivých srážek je důležitá také jejich doba a intenzita a to podstatně ovlivňuje velikost celkové odtoku. Prudké a krátké lijáky okamžitě a krátkodobě prudce zvyšují odtok z povodí, kdežto dlouhé a mírné deště ho zvyšují postupně a utváří odtoky na delší dobu.

Dalším důležitým klimatickým činitelem odtoku je teplota vzduchu a intenzita slunečního záření. Na jaře se zvyšuje teplota vzduchu a sluneční záření vyvolává tání sněhu a pravidelně se zvyšují odtoky z povodí a průtoky v řekách. V létě pak vysoká teplota vzduchu zvyšuje značně výpar jak ze spadlých srážek, tak i z půdy a volné hladiny. I přes značné srážky v letním období jsou odtoky z povodí poměrně malé.

Svazek 32 Národního Klimatického programu ČR (2000) se zabývá problematikou klimatických změn za použití tří hydrologických modelů a dat z dvanácti povodí. Klimatickými změnami rozumíme např. zvýšení atmosférické teploty v závislosti na oxidu uhličitém (CO<sub>2</sub>), vývoj imisí. Také se specializuje na pokles průměrných průtoků. Je-li jejich pokles kolem 15%, je tento výsledek považován za optimistický a jsou viditelné změny hydrologického režimu. Naopak

pokles průměrných průtoků v rozmezí od 25 – 40%, je považován za negativní výsledek, při němž dochází k zásadním změnám hydrologického režimu.

### **Vliv vegetace**

Vegetační kryt ovlivňuje povrchový odtok kladně i záporně. V zásadě lze říci, že půda krytá jakýmkoli vegetačním krytem je odolná vůči erozi, a proto je vegetační kryt z vodohospodářského hlediska výhodný (NĚMEC, 1965). Land use (land cover) determinuje míru intercepce určitého území a jeho infiltrační vlastnosti. Tím je výrazně ovlivněna intenzita rychlé složky odtoku. Za rychlou složku odtoku se považuje přímý odtok. Pro vznik rychlého odtoku jsou nepříznivé zemědělské plochy bez dostatečného zapojení pěstovaných plodin chránících půdní povrch (chmelnice, vinice, porosty kukuřice a ostatní porosty na začátku vegetační sezóny), (DAŇHELKA, 2007). Zatímco kultury les, louky a sady poskytují kryt půdy trvale, na orné půdě je kryt vzhledem k jednoletému vývoji plodin proměnlivý. V tom spočívá zvláštnost orné půdy, a proto je nezbytné věnovat pozornost jak střídání plodin, tak rozmístění honů (SOUKUP A HRÁDEK, 2007).

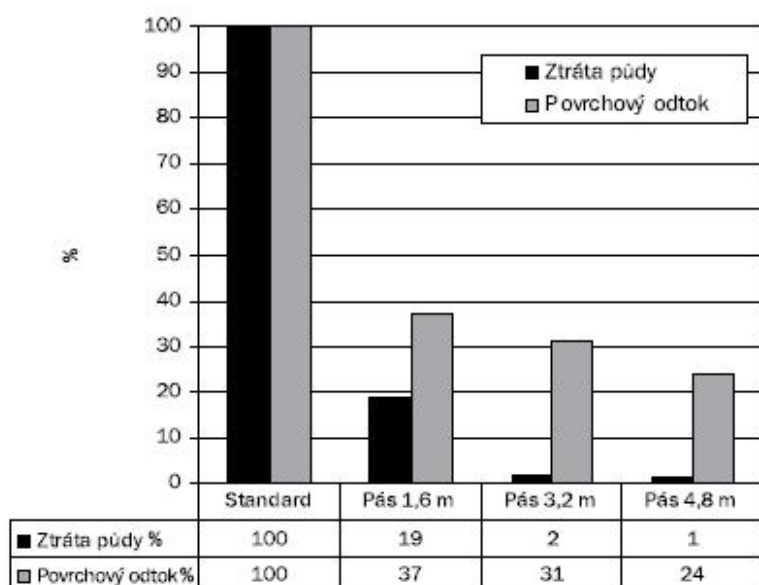
Za velice perspektivní věc se považuje povrch země, který je pokrytý travním porostem. Takovému povrchu to dodává značnou drsnost, což zmenšuje rychlost odtoku a zvyšuje vsakování do půdy, takže snižuje okamžitý povrchový odtok ve prospěch pozdějšího podzemního odtoku (NĚMEC, 1965). Také dobře vzrostlé luční porosty podporují vsakování dešťové vody a podílí se na zmenšení povrchového odtoku (JŮVA, 1957). Nyní se od travních a lučních porostů přešlo k lesním půdám s dobře vyvinutou vrstvou hrabanky a humusu. Takovéto půdy se můžou pyšnit velkou vsakovací schopností. Nejvíce vody pohltí lesní výsadba, ve které převládá dub. Dále pak lesy lipové a střední místo zaujímají lesy modřínové a březové. Kdežto smrkové lesy uchovávají z dlouhotrvajících srážek vody nejméně.

Vliv lesa na odtoky zkoumal v ČSSR doc. Onž. Dr. Zd. Válek již od roku 1962 na bystřinných tocích Kýchové a Zděchovky. Povodí Kýchové má rozlohu 409 ha, je zalesněno z 92,2%, kde odtoky byly vyrovnané, bez katastrofálního extrému. Kdežto povodí Zděchovky o rozloze 402 ha je prakticky bezlesé (zalesněnost 4,2%; Válek, 1958). Odtok zde způsoboval značnou erozi půdy a ničil vegetaci. Dlouholetá pozorování ukázala, že v bezlesém povodí někdy nastávají po lijácích a sněhovém tání povrchové odtoky více než 10násobné (NĚMEC, 1965).

Protierozní opatření jsou travní pásy, tzv. ochranné, které jsou často navrhovány Evropě, tak i v mimoevropských zemích, např. USA, Čína. Pozoruje se u nich zejména vliv šířky na snížení povrchového odtoku a ztrát půdy erozí v různých půdních a klimatických podmínkách. Řada studií dokazuje, že se jedná o

účinná opatření snižující povrchový odtok a transport sedimentů (BLANCO a kol., 2004).

Například buffery o šířce do 6 m sníží povrchový odtok o 10–50 %, ve srovnání s pozemkem bez vegetačního pásu (BORIN a kol., 2010). Výše je naznačeno, že funkčnost ochranných travních pásů na snížení povrchového odtoku se zvyšovala s šířkou pásu a rozdíly mezi pásy byly minimální a činily mezi nejužším a nejširším pásem 10 %, tzn., že funkčnost nejširšího pásu byla o 10 % vyšší než u středně širokého pásu. Snížení povrchového odtoku všemi třemi pásy byla ve srovnání se standardem průkazná na hladině významnosti 0,05, a to i u pásu o šířce 1,6 m a u pásů širokých 3,2 m a 4,8 m byla vysoce průkazná, jak lze vidět na grafu č. 1. (LENA a kol., 1995).



Graf 1. Vliv šířky pásu na snížení povrchového odtoku a ztráty půdy

### **Vliv zásahů člověka do povodí**

Vytváření srážkového odtoku se účastní i značnou měrou kulturní poměry charakterizované užíváním, obděláváním i hnojením zemědělské půdy, polohovým umístěním kultur, volbou osevních postupů. Orba nebo setba plodin po svahu zvyšuje povrchový odtok, neboť setba se stává odpadovým příkopkem. Také orba po svahu zvyšuje erozi na pozemku. Naopak správné umístění kultur a pozemků, jako je orba po vrstevnici mohou srážkový odtok značně zmenšit (JŮVA, 1957).

„Člověk“ se podílí na zvýšení odtoku a snížení vsaku vody do půdy. Je to způsobeno rozrůstáním ploch s propustným povrchem (silnice, parkoviště, domy). „Člověk“ se snaží nějakým způsobem záměrně regulovat odtok a to například



výstavbou přehrad, jež mají za úkol zmenšení variability průtoků tím, že zadržují vodu. Buď může být přítok vody menší, než množství vody vypuštěné nebo naopak. Tedy, že přítok vody je větší než množství vody vypuštěné. Za účelem zmírnění ročního průtoků z  $1500 - 9000 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  na pouhých  $500 - 2000 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  byla vystavena přehrada na řece Peace (PETERS A PROWSE, 2001).

Dalším zásahem ovlivňující odtok je vykácení lesa, což vede k negativním událostem. Proto je dobře zdokumentované území před a po vykácení lesa z hlediska odtoku (např. HORNBECK a kol., 1993). V lese dochází k významné ztrátě srážkové vody jejím zachycením na listech a větvích stromů, odkud se voda vypaří. To má za příčinu, že do povrchového odtoku se zapojí větší podíl srážkového úhrnu, a to z několika důvodů. Za prvé se sníží intercepční kapacity a za druhé se sníží výpar. V podmínkách ČR se této problematice velice podrobně věnoval například Tachecí (2002).

Posledním zmíněným antropogenním vlivem jsou tzv. rozdělovací objekty, které slouží k převodu vody a mají za úkol ovlivnit odtok. Takto ovlivněný odtok se nazývá antropogenní specifický odtok ( $\text{l} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$ ). Tyto rozdělovací převody jsou vybudovány na povodí Ostravice mezi jednotlivými povodími. V letech 1971 – 199 Kaňok (1997) vyjádřil pomocí antropogenního specifického odtoku převod vody.

### **Velikost plochy povodí**

Povodí je území vztahované k určitému profilu na toku omezené rozvodnicí. Plocha povodí se stanoví planimetrováním z map vhodného měřítka a však v období GISu se už tato metoda nepoužívá (KVÍTEK a kol., 2006). Plocha povodí se udává zpravidla v  $\text{km}^2$  a velikost povodí ovlivňuje maximální specifický odtok (HUBAČÍKOVÁ, 2009).

Z malých povodí je přirozeně větší max. specifický odtok než z povodí velkých. Rovněž lze konstatovat, že čím je menší povodí toku, tím nerovnoměrněji je rozdělen odtok v roce (Krešl, 2001). Naopak s větší rostoucí plochou se zvyšuje hodnota kulminačních průtoků a zároveň klesá max. specifický průtok (DAŇHELKA, 2007). Na průměrné roční charakteristiky odtoku nemá v podstatě rozměr povodí vliv, ale můžeme říci, že čím menší je povodí toku, tím míň rovnoměrnější je rozdělení odtoku v roce.

### **Tvar povodí**

Určuje uspořádání říční sítě, ovlivňuje dobu, za kterou přichází voda z jednotlivých částí povodí do daného profilu toku a má vliv na extrémní charakteristiky odtoku (NĚMEC, 1965). Přirozené povodí má zpravidla tvar symetrického nebo asymetrického listu, více či méně protáhlého (HUBAČÍKOVÁ, 2009).

### **Délka toku**

Pod délkou toku je označována vzdálenost ústí od pramene měřenou po střednici toku. Toky na mapě se zakreslují zkráceně bez podrobných zákrutů. Při měření správné délky toku z mapy je třeba při značné vlnitosti toku násobit z mapy měřenou délku koeficientem 1,01 – 1,1 výjimečně 1,25 (HUBAČÍKOVÁ, 2009).

### **Nádrže, historické rybníky, poldr**

Nezanedbatelnou složkou akumuláčních prostor v povodí jsou nádrže a historické rybníky. Odhaduje se, že koncem 16. století jich existovalo na našem území cca 75 tis. rybníků s úhrnnou plochou kolem 180 tis. ha. V současné době je odhadován jejich počet na 22 – 25 tisíc. Celkově se odhaduje počet malých vodních nádrží a rybníků (ve smyslu ČSN 75 24 10) na 22 – 25 tisíc, s celkovou plochou 50 tis. ha. Představují objem zadržené vody cca 420 mil. m<sup>3</sup>.

Speciální typ malých vodních nádrží tvoří tzv. suché poldry. Poldr je definován jako přirozený nebo uměle omezený prostor přilehlý k toku (ČSN 73 65 15), který po naplnění vodou při povodni má retenční schopnost a snižuje povodňový průtok v toku. Jeho úkolem je zachycovat a krátkodobě akumulovat vodu z přívalových srážek (SOUKUP A HRÁDEK, 1999).

### **Způsob využívání pozemků**

Má přímý vliv na proces povrchového odtoku a na hydrologickou bilanci povodí z hlediska celkového objemu přímého odtoku, na akumulaci vody v půdním profilu a v povrchových mikrodepresích. Společně se způsobem hospodaření a provozem zemědělské, průmyslové a komunální sféry v území má tento faktor mimořádný vliv na intenzitu erozních, transportních a akumuláčních procesů v povodí.

## 3.2 HYDROLOGICKÁ BILANCE

Nejobecnějším řešením vzájemných vztahů složek, které se podílí na koloběhu vody, je zpracování hydrologické bilance, která představuje porovnání atmosférických srážek, odtoku a zásoby povrchových a podpovrchových vod. Podle stupně zjištění jednotlivých činitelů můžeme rozepsat řadu bilančních rovnic od nejjednodušších, porovnávajících srážky s odtokem a ztrátovou složkou př. Ponce a Shetty (1995), dále rovnice odtokových složek, skrytou komunikaci vody, změny zásob vody, rozčlenění ztrátové složky na jednotlivé druhy výparu, případně i transpirace rostlin. Výše zmíněné metody jsou založeny na jednoduchém principu a při jejich použití vznikají problémy v nepřesnosti extrapolace bodově získaných hodnot a metodické obtížnosti při stanovení zvláště bilančních rovnic. Je tedy nutné kombinovat prvky přímo měřené s hodnotami stanovenými empiricky nebo odhadem (KNĚŽKA, 1988).

### **Hydrologická bilance České republiky**

Základním bilančním obdobím je v hydrologii hydrologický rok. V ČR začíná 1. listopadu předešlého a končí 31. října běžného kalendářního roku proto, aby všechny spadlé srážky otekly v témže roce a byla splněna časová jednotka všech členů bilanční rovnice (KREŠL, 2001). V zásadě jde o to, aby všechny srážky spadlé v hydrologickém roce (tedy i sníh a led) v něm také otekly a byla tak splněna časová jednotka všech členů bilanční rovnice. Čím je však období, za které se hydrologická bilance stanovuje, kratší, tím obtížnější je stanovit jednotlivé členy bilanční rovnice tak, aby mezi nimi byla zachována jednotka času, zvláště jde-li o větší povodí (NĚMEC, 1965).

Když to berem z pohledu hydrologického „účetnictví“ jsou na straně příjmu téměř jen srážky. Přítok ze sousedních států (Ohře, Lužnice) je v celku zanedbatelný. Výdaje vody probíhají výparem a odtokem z našeho území. Dlouhodobě musí být roční bilance zapsaná rovnicí vyrovnaná: srážky (685 mm) = výpar (488 mm) + odtok (197mm). U nás vydává krajina mnohem více vody výparem než odtokem. Z ČR odeče v průměrném roce 28,8 % spadlých srážek vody, tj. asi 15,6 miliard m<sup>3</sup>. Část odtoku se podílí na dotaci zdrojů podzemní vody, která činí v průměru 1,4 miliard m<sup>3</sup> ročně. Uvedené bilanční hodnoty je třeba považovat za průměrné, liší se jak v jednotlivých letech, tak i mezi jednotlivými povodími. Například objem ročního odtoku vody z území ČR kolísá mezi 8 a 9 miliard m<sup>3</sup> (HLADNÝ, 2000).

## **Bilanční údaje pro Českou republiku pro rok 2005**

Atmosférické srážky činily 57 730 mil. m<sup>3</sup>, evapotranspirace 42 872 mil. m<sup>3</sup>. Přítok vody na území státu znamenal pouze 781, roční odtok pak 15 639 mil. m<sup>3</sup>. Zdroje povrchových vod měly objem 5 489 mil. m<sup>3</sup>, zdroje vod podzemních odhadem 1 305 mil. m<sup>3</sup>.

Znamená to, že Česká republika, vymezející pomyslnou střechu Evropy, je územím pramenným a odtokovým. Je proto dominantně závislá na atmosférických srážkách (KRAVKA, 2009).

## **Hydrologická bilanční rovnice**

Hydrologická bilance vychází ze základního předpokladu, že srážky, které se účastní oběhu v přírodě, jsou jediným zdrojem vody (KŘÍŽ, 1983).

Množství vody, které odteklo ze zájmového území po povrchu a pod povrchem půdy za vyšetřované období, nám udává odteklé množství vody, jehož hodnotu stanovujeme z výsledků vodoměrných pozorování. Rovnice hodnotí změny povrchové a podzemní vody způsobené převážně klimatickými činiteli. Hydrologická bilance poskytuje podklad změn zásob vody, jež se mění dle způsobu užívání vody a antropogenními zásahy (ČESKÝ HYDROMETEOROLOGICKÝ ÚSTAV, 2002).

Při výpočtech bilanční rovnice je zanedbaný hypodermický odtok vzhledem k převažujícímu sestupnému a svislému proudění vody v pásmu. Podzemní odtok je řešen rovnicí pro podzemní průtok, která se stanoví dle výsledků hydrologického průzkumu a pozorování stavů hladiny podzemních vod v daném profilu.

Jelikož se objem vody v hydrosféře nemění, platí následující bilanční rovnice a grafické znázornění na obr. č.:

$$\mathbf{HS = OV + OP + OZ + OS + HE(p) + HE(r) + HE(t) + HE(v) \pm \Omega 1 \pm \Omega 2 \pm \Omega 3 \pm \Omega 4 \pm \Omega 5}$$

Zjednodušeně:  $\mathbf{HS = O + HE \pm \Omega}$

Kde:

**HS** ATMOSFÉRICKÉ SRÁŽKY

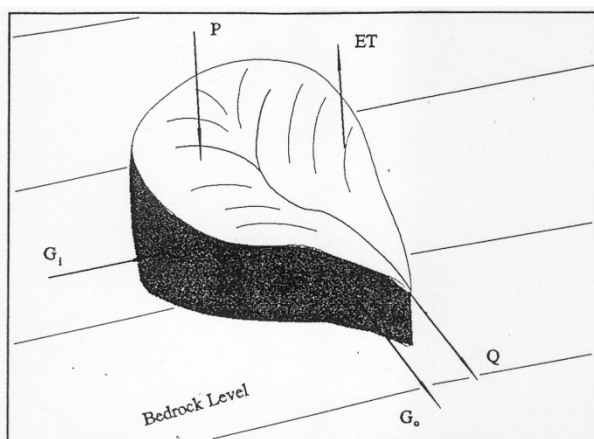
**O** odtok vody

- OV soustředěný povrchový odtok (ve vodních korytech)
- OP nesoustředěný povrchový odtok (plošný)
- OZ odtok podzemní vody

- OS odtok vody do hlubších vrstev (nevyvěrá na povrch v uvažovaném území)
- HE** klimatický výpar
- HE(p) Výpar z půdy
  - HE(r) Výpar z povrchu rostlin (intercepce), neproduktivní výpar části srážek zachycených nadzemními částmi porostů a předměty (10 až 15 % srážek)
  - HE(t) Produktivní výpar z rostlin (transpirace) – dýchání rostlin, spotřeba vody rostlinami pro vlastní stavbu buněk
  - HE(v) Výpar z vodní hladiny
- Ω** množství vody, které snížilo nebo zvýšilo zásoby povrchové a podzemní vody
- Ω1** Přírůstek nebo úbytek vody povrchové a podzemní
- Ω2** Přírůstek nebo úbytek vody v nádržích
- Ω3** Přírůstek nebo úbytek vody v ovzduší
- Ω4** Přírůstek nebo úbytek vody v biomase rostlinstva
- Ω5** Přírůstek nebo úbytek vody v biomase živočišstva

Složky Ω3, Ω4, Ω5 jsou kvantitativně zanedbatelné a obvykle se s nimi neuvažuje.

(KOS A ŘÍHA, 2000)



Obr. č. 6: Hydrologická bilance povodí (SERRANO, 1997)

- P** srážky
- Q** celkový odtok
- G<sub>i</sub>** přítok podzemní vody
- G<sub>o</sub>** odtok podzemní vody
- ET** evapotranspirace
- ΔS** množství vody, které zvýšilo nebo snížilo zásoby povrchové a podzemní vody

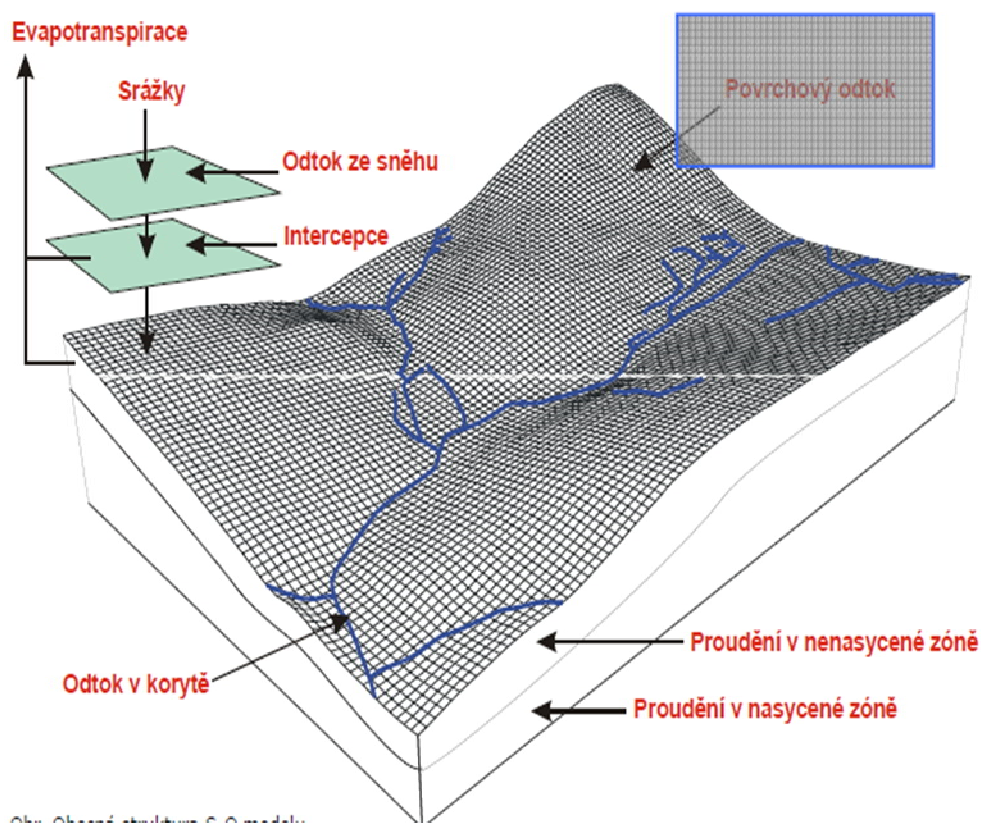
### **Jak rychle odtéká voda z našeho území**

Nejprve dešťová kapka dopadne na povrch reliéfu našeho území. Dále, jako součást povrchového odtoku postupuje do nejbližšího recipientu. Odtud postupuje dál korytem říční sítě. Celková doba, kterou potřebuje, aby dotekla, až do závěrečného profilu zájmového povodí, se nazývá dobou dotoku. Doba, kterou překoná vzdálenost mezi dvěma profily v říční síti, se označuje jako doba postupu.

Na území ČR se pohybuje od několika hodin podle velikosti povodí až do 24 hodin. Průtoky povodňových vln postupují v průměru ve středních a dolních tratích větších toků rychlostí okolo 5 km za hodinu. Pokud se chce využít doby dotoku musí se již předpovídat na základě informací o spadlých srážkách. Časový předstih se pak zhruba až zdvojnásobí ovšem za cenu zmenšené přesnosti předpovědi (v průměru  $\pm 20\%$  veličiny skutečné), (NĚMEC A HLADNÝ, 2006).

#### 4 PŘÍMÝ ODTOK

Přímý odtok zahrnuje povrchový nasycený odtok a hypodermický odtok, jak je znázorněno na obrázku č. 7. Přímý odtok je označován za rychlý odtok vody v průběhu a krátce po ukončení srážky. Podrobnější členění a separace přímého odtoku je popsáno v následujících odstavcích.

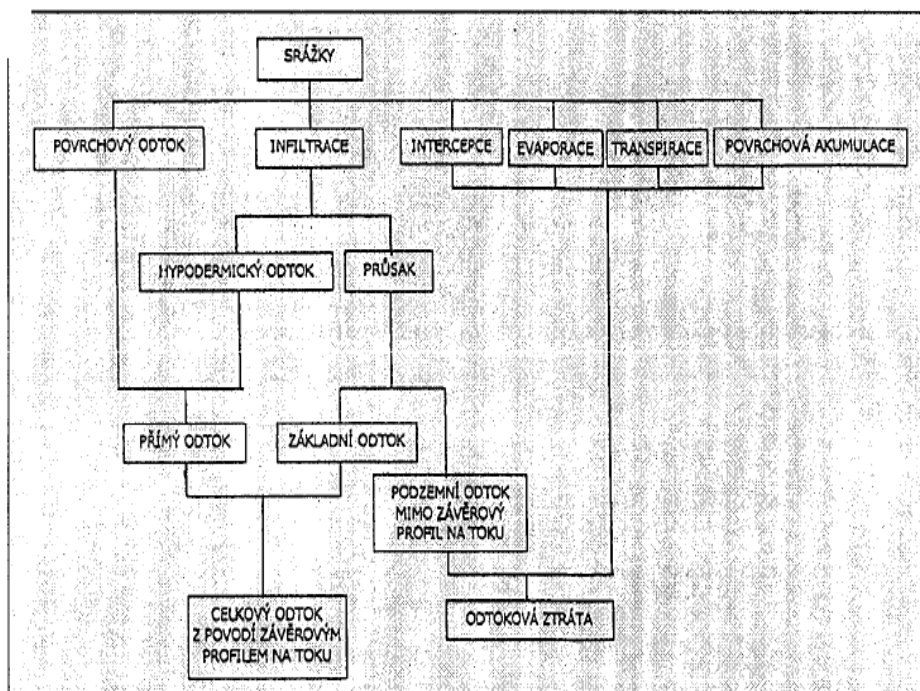


Obr. Obecná struktura S-O modelu

Obr. č. 7: Obecná struktura S-O modelu (JURAČKOVÁ, 2007)

## 4.1 POVRCHOVÝ ODTOK

### rozdělení srážky na povodí



Obr. č. 8: Rozdělení srážek na povodí (ČSN 73 6530, 1983)

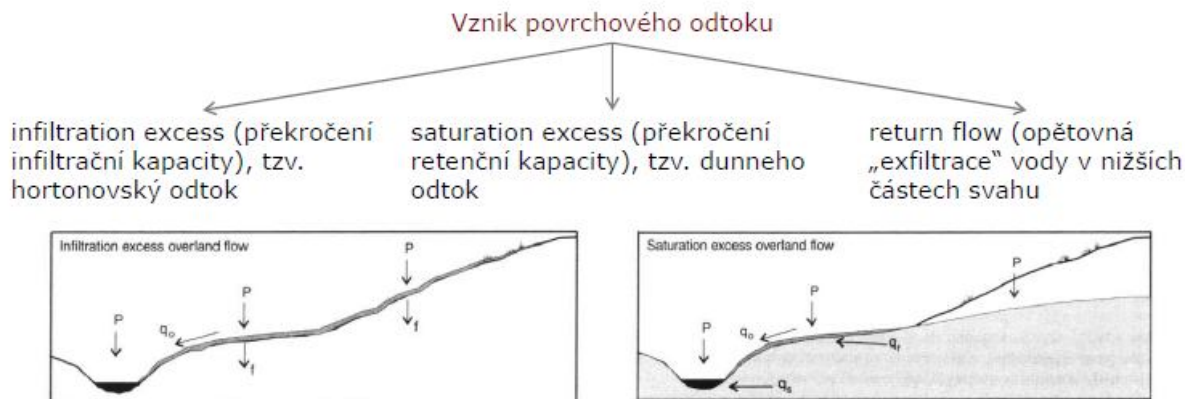
Výška celkového odtoku  $TQ$  je součtem výšek odtoku povrchového a podpovrchového, tj. hypodermického (půdního) a podzemního. Povrchový a hypodermický odtok je ve svém součtu označován jako odtok přímý, podzemní odtok jako odtok základní.

Povrchový odtok vzniká v tenkých plošných vrstvách obvykle jen na malých, málo propustných ploškách s určitým topografickým reliéfem. Tyto plošky mohou patřit, jak k infiltračním plochám, tak i k jeho aluviálním částem, tj. plochám nasyceným vodou. Podle této koncepce plošného povrchového odtoku (ronu) je jev zván dle jejího autora hortonovským povrchovým odtokem, znázorněn na obrázku č. 9.

Jinou koncepcí je představa, že obě složky přímého (tzv. nasyceného) odtoku (povrchová a hypodermická) vznikají na nepropustných, nebo vodou nasycených ploškách, jejichž velikost v průběhu srážko – odtokového procesu se zvětšuje. Tyto plochy jsou označovány jako zdrojové plochy (variable source areas), (DUNNE, 1978).



- voda, která plošně odtéká po povrchu
- nejrychlejší část odtoku



Obr. č. 9: Vznik povrchového odtoku (BEVEN, 2001)

Půda se postupně sytí srážkou a po určité době nastane stav jejího úplného nasycení. Za tohoto stavu zůstává srážka na povrchu, odtéká po spádnicí terénu do toku a nastává povrchový odtok. Příchod povrchového odtoku do toku se projeví výrazným zvýšením průtoku v toku a právě počáteční skokové zvýšení průtoku identifikuje počátek povrchového odtoku z povodí. Tím začíná nová fáze odtoku. K podpovrchovému odtoku se připojuje povrchový odtok, který se postupně vyvíjí a zvětšuje. Povrchový odtok je dominantní a právě on způsobuje náhlé zvýšení průtoku v toku a ovlivňuje průběh a velikost povodně (MATOUŠEK, 2010). Při zjišťování odtokových vlastností povodí se soustřeďuje především na vyhodnocení této fáze odtoku. Povrchový odtok ze srážky  $Q_t$  ( $m^3/s$ ) se určuje ze známého vztahu:

$$Q_T = C_T * A_T * \frac{H_T}{T} * \frac{1}{3,6} \quad \left[ \frac{m^3}{s} \right]$$

Kde:

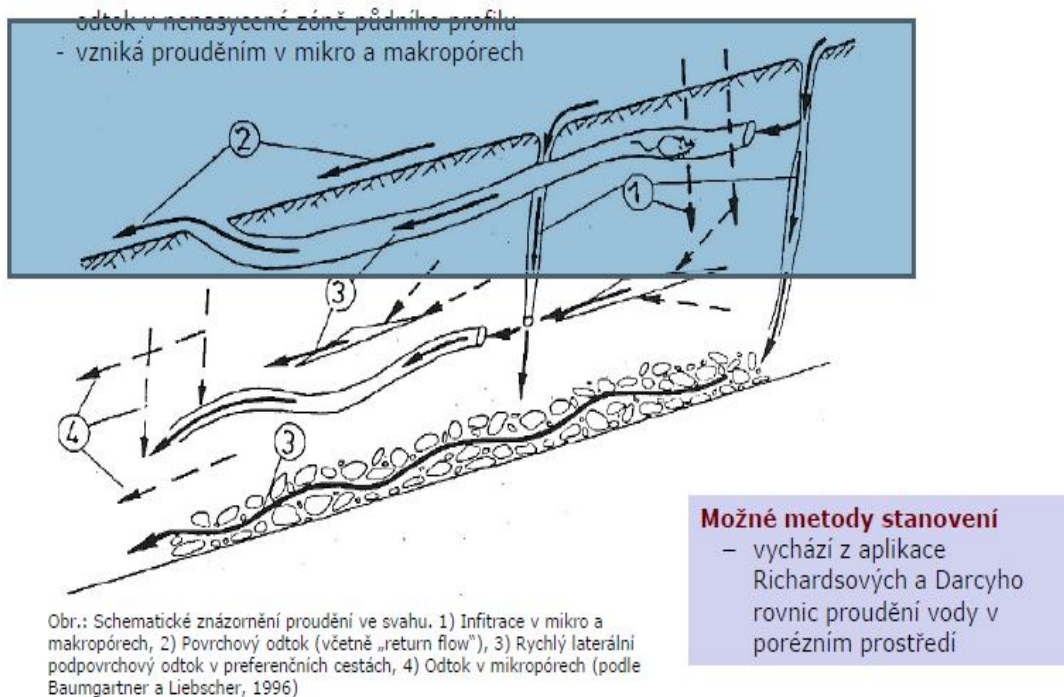
- T** doba dotoku v hod.  
 **$C_T$**  součinitel povrchového odtoku za dobu dotoku  
 **$A_T$**  plocha odtoku odpovídající době dotoku T v  $km^2$   
 **$H_T$**  úhrn srážky za dobu dotoku T v mm  
 **$Q_T$**  průtok v toku v  $m^3/s$  vyvolaný povrchovým odtokem z plochy  $A_T$

Vztah vyjadřuje dávno známý a prověřený poznatek, že velikost odtoku z plochy zasažené deštěm závisí na velikosti odtokové plochy vymezené dobou dotoku na velikosti odtokové srážky, kterou udává součinn  $C_T$ . V tomto vztahu je celá složitost srážko-odtokového procesu vložena do jedné veličiny, a to do součinitele

povrchového odtoku za dobu dotoku  $C$ . Pokud budeme znát hodnoty této veličiny, můžeme bez obtíží předpovídat povodňové průtoky ze srážky a při znalosti možných srážek určovat, jak velké povodně mohou být (KEMEL, 2000).

## 4.2 PODPOVRCHOVÝ ODTOK

### Hypodermický odtok (interflow)



Obr. č. 10: Hypodermický odtok (interflow) (BAUMGARTNER A LIEBSCHER, 1996)

K hypodermickému odtoku dochází v horní vrstvě půdy v nenasycené zóně, ale s možností dotace povrchového odtoku, aniž by bylo dosaženo hladiny podzemní vody (obr. č. 10). Nejčastější příčinou vzniku hypodermického odtoku jsou méně propustné, nakloněné vrstvy půdy, nebo propojeny povrchové systémy kořenů a chodbiček, tzv. privilegované cesty hypodermického odtoku. Další příčinou hypodermického odtoku je gradient půdní vlhkosti.

V porovnání s povrchovým odtokem, bývá hypodermický odtok pomalejší, obě odtokové formy se často prolínají a během odtokové fáze na povodí dochází ke změně odtokové formy i několikrát (BEVEN, 1986). I když jsou obě tyto formy hydrologicky špatně oddělitelné, používá řada modelových technik jejich součtu, tj. přímého odtoku.

Druhá část infiltrované vody, tj. hlubší filtrace, někdy uváděná jako perkolace, přispívá ke zvýšení zásob podzemní vody a ve formě podzemního odtoku z této nasycené zóny s větším či menším časovým zpožděním napájí hydrografickou síť.

Je ovšem evidentní, že tato klasifikace všech tří odtokových složek je schematická a nemůže zobrazovat složitost odtokového procesu, nicméně všechny odtokové modely fyzikálně založené, toto schéma ve své stavbě respektují.

Matematický model srážko odtokového procesu je zjednodušenou představou složitého hydrologického systému se vzájemnými vazbami mezi proměnnými veličinami. Hydrologický systém je definován jako systém především fyzikálních procesů, působících na vstupní proměnné za účelem jejich transformace ve výstupní proměnné. Hydrologicky matematický model tedy představuje algoritmus řešení rovnic, kterými je popsána struktura, či chování povodí (nebo obojí) během srážko-odtokového procesu (FLEMING, 1975).

### **4.3 DRENÁŽNÍ ODTOK**

Je to voda vytékající z systémů podpovrchového odvodnění zemědělských půd, je specifickou hydrologickou charakteristikou povodí mnoha drobných vodních toků. Nabízí se celá řada metod popisu a analýzy drenážního odtoku (DOLEŽAL a kol., 2000), k nimž patří i separace různých odtokových složek uvnitř drenážního odtoku samotného. Drenážní odtok bývá často považován za pouhou složku hypodermického odtoku (DOLEŽAL a kol., 2000). Ve skutečnosti se však sám skládá z několika složek, jejichž geneze je různá. Tuto skutečnost rozpoznali jako jedni z prvních Fidler (1970) a Švihla (ŠVIHLA a kol., 1992).

Režim drenážního odtoku je analyzován z hlediska svých složek – přímého a základního odtoku, které se liší svou genezí. Přímá složka drenážního odtoku je odezvou na srážku nebo na tání, zatímco základní složka je výslednicí dlouhodobé redistribuce podzemních vod.

Bylo navrženo mnoho metod, empirických i hydrologicky zdůvodněných, jak separovat přímý odtok od odtoku základního. Většina z nich je založena na grafické nebo početní analýze hydrogramu, tj. grafu závislosti průtoku nebo specifického odtoku na čase (PILGRIM A CORDERY, 1993).

Nověji se v rámci jak přímého, tak základního odtoku rozlišuje několik dílčích složek. Na rozhraní mezi oběma hlavními kategoriemi odtoku nadto bývá vyčleňována třetí hlavní složka, v češtině podle ČSN 726530 (1983) označována jako hypodermický odtok (interflow), která je výsledkem mělce podpovrchového proudění vody směrem dolů po svahu ve svrchních, propustných vrstvách půdy (MOSLEY A KERCHAR, 1993).

## 5 METODY SEPARUJÍCÍ PŘÍMÝ ODTOK

### 5.1 CN KŘIVKY

metoda CN křivek – přijatelná dle ČSN 75 1300 – „Hydrologické údaje povrchových vod“

nelze použít pro výpočet odtoku z tání sněhu

výstupem je:

**objem odtoku**

**kulminační průtok**

**vstupy:**

- srážkový úhrn – rovnoměrný na řešené ploše
- hydrologické vlastnosti půdy
- obsah vody v půdě (předchozí nasycení)
- vegetační kryt
- velikost nepropustných ploch
- retence, intercepce, ...

**pro kulminační průtok navíc:**

- charakteristiky povodí (sklonitost, tvar)

Jednou z metod, řešících problematiku přímého odtoku z významných dešťů na povodí bez limnigrafického měření, je metoda čísla odtokových křivek (Curve Number Method, dále CN), vyvinutá americkou Službou ochrany půdy (U. S. Soil Conservation Service) a v současné době je používána v mnoha zemích světa, včetně České republiky. A s tím se i rozrůstá okruh literatury (KOVÁŘ, 1994), která řeší výhody a nevýhody metody CN křivek. Odborná literatura (U. S. SCS, 1972, 1986, 1992), (HAWKINS, 1979), (JANEČEK a kol., 1983, 1982) uvádí podmínky a metodiku pro její použití.

Metoda je oblíbená pro svou jednoduchost a dostupnost vstupních údajů. Jednoduchost spočívá v reakci odtoku z přívalového deště na čtyři snadno pochopitelné vlastnosti povodí: půdní hydrologické charakteristiky, využití a obhospodařování půdy, vlastnosti povrchu a předchozí nasycenost povodí (PONCE A HAWKINS, 1996). Jejího využití je doporučováno zejména na malé povodí do plochy cca 10km<sup>2</sup> (U. S. SCS, 1986).

Metoda CN je modelem infiltrační ztráty a byla původně vytvořena jako celkový model (tedy prostorový i časový) pro převod výšky přívalové srážky na objem přímého odtoku. Nedostatkem tohoto modelu je, že nepopisuje prostorové a časové variability a její použitelnost je omezena na modelování ztrát při přívalových deštích.

Princip metody je založen na hypotéze lineárního vztahu poměru skutečného a maximálně možného (potenciálního) rozdílu výšky srážky  $H_S$  a výšky přímého odtoku z ní  $H_0$  a poměru hodnot ke srážce:

$$\frac{H_S - H_0}{A} = \frac{H_0}{H_S}$$

Kde:

$H_S$  výška srážky (mm)

$H_0$  výška přímého odtoku (mm)

$A$  potenciální retence aktivní zóny povodí (mm) po úpravě:

$$A = 25,4 * \frac{1000}{CN - 10}$$

Z toho objem přímého odtoku:

$$O_{ph} = 1000 * P_p * H_0$$

$$H_0 = \frac{H_S^2}{H_S + A}$$

Po zavedení počáteční ztráty  $R_1$  dle metodiky CN, 20 %  $A$ , je základní rovnice upravena:

$$H_0 = \frac{(H_S - R_1)^2}{H_S - R_1 + A} = \frac{(H_S - 0,2A)^2}{(H_S + 0,8A)^2} = , \text{ jestliže } H_S \geq 0,2A$$

Tuto základní hypotézu CN metody je nutno doplnit bilanční rovnicí:

$$H_S = R_1 + V + H_0$$

Kde  $R_1$  je počáteční ztráta v bezodtokové fázi, která je součtem ztrát intercepce, Počáteční absorpce povrchu půdy, akumulace v mikrodepresích a infiltrace před začátkem přímého odtoku je kumulativní infiltrace (po odečtení  $R_1$ ).

$$H_S = H_0 + R_1 + V$$

$$\frac{V}{S} = H_S + H_O + R_1$$

$$V = H_S + H_O + R_1$$

Potenciální retence A se určí výpočtem z čísla křivky CN<0,100>:

$$A = \frac{25\,400}{CN} - 254$$

Hodnota parametru CN je potom:

$$CN = \frac{25400}{A + 254}$$

Řešíme-li rovnici tak, abychom vyjádřili A, dostáváme:

$$A = 5H_S + 10H_O - 5H_O$$

Pro stanovení CN dle metodik U. S. SCS (nebo JANEČEK., 1983, 1999) je nutno vyhodnotit hydrologické skupiny půd (dle map BPEJ), které se dále dělí na propustné půdy, především písčité s velkou zrnitostí,  $K_S > 1,1$  m. den<sup>-1</sup>. Mezi půdy se střední schopností vsaku i při plném sycení, řadíme převážně půdy hlinité, hlinito-jílovité se střední zrnitostí  $0,45 < K_S < 1,1$  m. den<sup>-1</sup>, následně půdy s malou schopností vsaku, touto vlastností se vyznačují půdy jílovito-hlinité a jílovité s jemnou zrnitostí  $0,24 < K_S < 0,45$  m.den<sup>-1</sup>. A jakou poslední skupinou jsou půdy s velmi malou schopností vsaku, hlavně jíly, půdy s trvale vysokou hladinou podzemní vody a mělké půdy na téměř nepropustném podloží s velmi jemnou zrnitostí  $K_S < 0,24$  m.den<sup>-1</sup>.

Dále se vyhodnocuje vliv povrchu povodí, tj. zastoupení vegetace a způsobu hospodaření na povodí (land use: orná půda, TTP, lesy, intravilán, atd.).

Jako poslední vyhodnotíme předchozí vláhové poměry (PVP), určené součtem srážek za předchozích 5 dnů před přivalovým deštěm.

Výsledná CN je dána váženým průměrem jednotlivých lokalit a dle předchozích vláhových poměrů ze dne na den. Tyto kontinuální změny je možno vyjádřit sezónní potenciální retencí AS (J):

$$AS(J) = 1,3A$$

$$J) = \frac{[\sin(JD - 5 + 180)] + 1}{2} + 0,1A(J)$$

Kde JD je pořadové číslo dne v roce:

$$JD = 30 (\text{číslo měsíce} - 1) + \text{číslo dne}$$

Další vývoj metody CN vedl ke zjištění korelačních vztahů mezi hodnotami CN a fyzikálními parametry půd, zejména nasycené hydraulické vodivosti  $K_s$  při retenční vodní kapacitě  $S$  (PoVK), případně retenčního součinitele sacího tlaku  $S$  (KOVÁŘ, 1994):

$$CN = f_1(K), CN = f_2(S_f)$$

Tyto vztahy se úspěšně aplikují při implementaci srážko-odtokových modelů (např. u modelu KINFIL).

## 5.2 DIGITÁLNÍ FILTRY

Digitální filtry původně sloužily k zjištění signálu (LYNE A HOLLICK, 1979) a vykazovaly téměř stejné výsledky jako konvenční metody. Jako digitální filtry se uvádí metody dle Chapmana a Maxwella, Hollicka (stručný popis bychom našli v GRAYSON a kol., 1996).

Při používání filtru je nezbytné odhadnout velikost koeficientu (parametru) pomocí jiné metody – Analýza poklesové větve, nebo použít již osvědčenou hodnotu koeficientu pro dané podmínky (velikost povodí, formát vstupních dat).

Metoda dle Chapmana odděluje složku podpovrchovou, nebo-li hypodermickou a složku podzemní nebo-li základní.

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

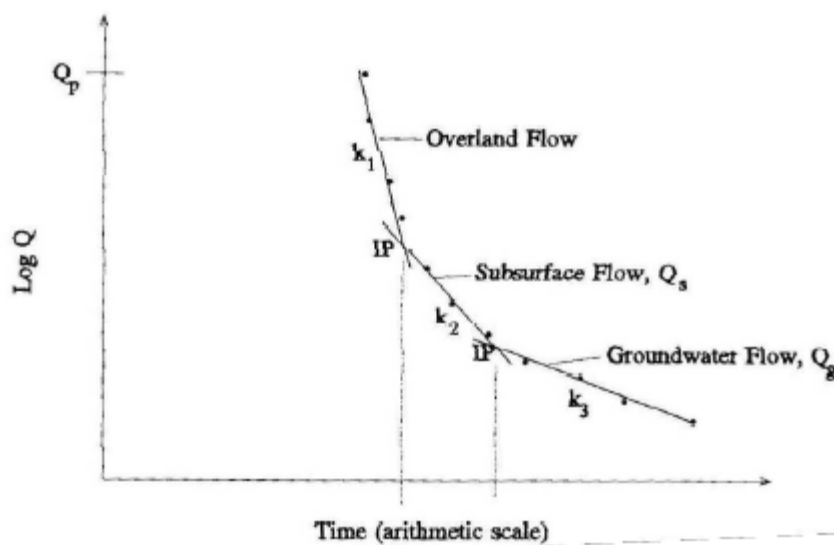
$$Q_{slow}(i) = \frac{k}{2-k} Q_{slow}(i-1) + \frac{1-k}{2-k} Q_{total}(i)$$

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

Vzorec pro výpočet základního odtoku metodou digitálního filtru dle Chapmana (CHAPMAN, 1999).

Kde:

- Q(i)** průměrný denní průtok v i-tém dni  
**Qtotal** celkový odtok  
**Qslow** základní odtok  
**K** bezrozměrná konstanta (je nastavená empiricky)



Obr. č. 11: Inflexními body v poklesové větvi (SERRANO, 1997)

### 5.3 METODA GROUND

Metodu GROUND („separation of GROUND water run-off“) vypracoval Doležal a Jain (JAIN, 1997). Jedná se o metodu empirickou. Separované hydrogramy středních denních odtoků z povodí o ploše řádu 1 km<sup>2</sup> by měly vypadat věrohodně, jsou-li posuzovány „od oka“.

Vznikla z potřeby přibližně separovat přímý a základní odtok na malém povodí z datové řady středních denních průtoků v závěrovém profilu. Koeficient



přírůstků základního odtoku COEF je jediným proměnlivým vstupním parametrem. Jde o empiricky oddělenou hodnotu pro povodí řádu 1 km<sup>2</sup> je 0,075. Vnitřním parametrem, nepočítají - li se pomocné proměnné, je logická proměnná FLOOD a přírůstek základního odtoku DIFF. Při součtu přímého a základního odtoku v každém časovém intervalu je součet roven celkovému odtoku (JAIN, 1997). Výstupem jsou dvě řady středních denních průtoků. Následuje nejprve přímý a poté základní odtok z povodí.

#### **Algoritmus metody GROUND:**

Prvním členem algoritmu je základní odtok, tj. přímý odtok v prvním dni nulový. Předpokládá se, že nenastane povodňová situace (FLOOD = .FALSE.). Následující den je porovnán průtok ve dni předchozím s průtokem v daném dni. Následující postupy záleží, zda přetrvává či nikoli povodňová situace v předchozím dni. Můžou nastat čtyři situace:

- Povodňová situace nepřetrvává, průtok se nezvyšuje. Předpokládá se, že v prvním dni a dnech jemu předcházející nenastala povodňová situace
- Povodňová situace nepřetrvává, průtok se zvyšuje. Tento případ se považuje za začátek povodňové situace.
- Povodňová situace přetrvává, průtok se zvyšuje.
- Povodňová situace přetrvává, průtok se nezvyšuje.

(KULHAVÝ a kol., 2001)

Algoritmus metody GROUND je podrobně popsán a rozebrán po jednotlivých krocích v Kulhavý a kol., (2001).

## **5.4 METODA MGMP**

Metoda MGPM („modifikována graficko-početní metoda“), za jejího autora je považován Kulhavý, vznikla z potřeby rozdělit a rozčlenit dlouhodobé datové řady středních denních průtoků. Rozčlenění se na složky přímého a základního odtoku při nedostatku doplňujících měření (údaje o hladině podzemních vod, o vlhkosti půdy, srážkových poměrech apod.), s plánovanou aplikací na data drenážních odtoků. U metody MGPM je to stejné jako u metody GROUND.

Jde o rozčlenění hydrogramu podle zásady, že každá odtoková vlna, která je zřetelná, má příčinu v určité srážkové epizodě. Hlavním úkolem algoritmu je separovat část odtoku, která je hlavní odezvou na srážku (efektivní déšť). Vychází –

li se z předpokladu, že základní odtok má plynulý průběh a kolísá pozvolna v závislosti na vývoji dlouhodobé hydrologické bilance povodí (drenážní skupiny). Jehož maximum je rovno celkovému odtoku v závěrovém profilu. Algoritmus MGPM je zpracován v programu Visual Basic jako extenze tabulky aplikace Exel (KULHAVÝ a kol., 2001).

## 5.5 ANALÝZA POKLESOVÝCH VĚTVÍ

Pro popis výtokové čáry (poklesové větve) se ve většině případů užívají vztahy odvozené Boussinesquem, které jsou pečlivě analyzovány např. Slepíčkou a kol., (1989). Výtoková čára vyjadřuje postupný pokles odtékajícího množství v čase. Výtoková čára se považuje za stabilní, jestliže přírodní a antropogenní podmínky ji definující, zůstávají stejné a nepodléhají žádným změnám (KNĚŽEK A KESSL, 2000). Je velmi obtížné nalézt delší bezesrážkové období a s tím související dlouhé úseky výtokových čar v našich klimatických podmínkách (KNĚŽKA A KESSL, 2000).

Poklesové větve rozčleňují celkový objem odtoku na efektivní srážky a podzemní odtok s delší dobou zdržení (SERRANO, 1997). Tvar přímky dosáhne poklesová větve v tom případě, je-li rovnice, která je uvedena hned pod tímto odstavcem, rovna nule.

Obecně je známo, že dva inflexní body metody rozčlenění hydrogramu jsou určeny exponencionálně klesající křivkou:

$$q_e = q_0 * e^{-kt}$$

kde:

**q<sub>0</sub>** hodnota průtoku v čase 0

**q<sub>e</sub>** hodnota průtoku v čase

**t** čas

**k** konstanta

(BEDIENT A HUBERT, 2002)

Koeficient je závislý obzvláště na hydraulickém sklonu hladiny podzemní vody. Další činitelé, kteří mají vliv, jsou tvar povodí a jeho morfologie, druh a propustnost hornin atd. Jsou považováni za relativně neměnné. V praxi bývá často hydraulický sklon nahrazován úrovní hladiny podzemní vody. Pro vyčlenění podzemního odtoku se metody výtokové čáry používají nejčastěji jako takzvané metody přiblížení (KNĚŽEK, 1988).

Při potřebě spolehlivého zjištění výtokových čar je důležité udělat následující. Je důležité analyzovat 15 – 20 poklesových fází vln pro spolehlivé popsání výtokových čar (KREJČOVÁ, 1990). U poklesových vln je dokázáno, že horní části poklesových větví je vyjádřené prudké klesání průtoků a naopak dolní část se vyznačuje pozvolnějším klesáním (STEHLÍK, 1998).

Další možností, které nám metoda analýzy poklesových větví umožňuje, je její použití pro předpověď průtoků v bezesrážkových obdobích a k definování návrhových malých průtoků (např. DEMUTH A HAGEMANN, 1993; VOGEL A KROLL, 1992). Avšak tato metoda najde své uplatnění i při stanovení infiltrovaného množství podzemní vody do nádrže (FRÖLICH a kol., 1994). To je umožněno díky tomu, že separace odtokových složek pomocí poklesových větví bývá vztahována na jednotlivé události nebo na celý hydrogram (BATES A DAVIES, 1988).

## 6 POROVNÁNÍ JEDNOTLIVÝCH METOD

Metodou základní a hojně používanou, pro stanovení přímého odtoku bude popsána jednoduchá metoda CN křivek. Jak již bylo výše řečeno, jedná se o metodu jednoduchou a předvídatelnou. Tato stabilní metoda se používá pro odhad výšky přímého odtoku. Je to založeno na přívalové srážce podporovanou empiricky zjišťovanými údaji. Dalším velkým plusem této metody je závislost pouze na jednom parametru číslu odtokové křivky – CN, který se měří jako funkce 4 hlavních vlastností ovlivňujících odtok (ŠERCL, 2006):

- hydrologické skupiny půd: A, B, C, D,
- třídy využívání a obhospodařování pozemků: zemědělské, pastevní, lesní a zastavěné,
- hydrologické podmínky povrchu: špatné, uspokojivé, dobré,
- předchozí vlhkosti, včetně dalších zdrojů variability: I, II, III.

Nyní budou popsány negativa metody CN křivek. První negativem je, že metody byly založeny s použitím regionálních údajů ze středozápadu, celé USA a (plus) z jiných zemí. Při použití v jiných geografických nebo klimatických oblastech je dobré dbát jisté opatrnosti při použití (BEVEN, 2001). Další opatrnosti je třeba dbát při použití na velkých povodích. Při nižší a velmi nízkém CN a srážky se metoda může stát velmi citlivá na CN a předchozí podmínky (ŠERCL, 2006). Původně tato metoda byla určena pro zemědělské lokality, pro které se nejlépe hodí. Dále byla vytvořena pro odhady odtoků z přívalových srážek v tocích se

zanedbatelným základním odtokem. Zanedbatelný odtok se dá vysvětlit jako poměr odtoku k celkovému odtoku, kdy se přímý odtok blíží k jedné. Jistým předpokladem je, že metoda CN se nejlépe aplikuje na malých a středně velkých povodích. Podíl počáteční retence = 0,2 musíme interpretovat jako regionální parametr. Metoda CN byla upravena pro využití v našich podmínkách (JANEČEK, 1982) a dále doplňována (JANEČEK, 1984) až (JANEČEK, 2002). Zařazení do Metodiky ÚVTIZ v r. 1992 a do knižní publikace v r. 2002 umožňuje praktické využívání v našich podmínkách. Pro využití v naší inženýrské praxi byla tato metoda publikována formou Doporučeného standardu technického č. 4/06 vydaného Českou komorou autorizovaných inženýrů a techniků činných ve výstavbě v r. 2001.

Další uvedené metody „GROUND“ a „MGPM“ plní svůj účel dobře. Bez ohledu na nedostatky jsou výsledky dostatečně konsistentní. Není problém vyvodit závěry kvalitativní povahy. To však neznamená, že jsou to metody bezchybné, jisté nevýhody se u nich najdou. Začneme u metody MGPM, která opticky lépe odřezává vrcholy vln. Její nevýhodou jsou nadměrné reakce u menších podružných odtokových vln. Pokračujeme u metoda GROUND, která je vytvořena primárně pro malá povodí v ČR. Mezi její negativum se počítá ignorace podružné odtokové vlny. Jak již bylo řečeno, metoda GROUND vznikla s potřeby rychle separovat přímý a základní odtok. Tato práce se sice zabývá separací přímého odtoku, a však velkým negativem je, že základní odtok podle metody GROUND nabíhá pomaleji a se zpožděním.

Další představovanou metodou separace odtoku jsou digitální filtry. Aby je bylo možné aplikovat v hydrologii, potřebovaly jistou úpravu. Původně sloužily pro vyhodnocování signálu vysokofrekvenčního a nízkofrekvenčního. I tato metoda je velice jednoduchá a přesnost dostačující. S výsledky jiných metod jsou kvantitativně podobné. Vstupním datem jsou průměrné celkové denní průtoky.

Poslední metodou, kterou zmíníme je analýza poklesových větví nebo-li výtokové čáry. Analýza poklesových větví je označována za metodu stabilní. Stabilní je za předpokladu, že přírodní a antropogenní podmínky zůstávají stejné. Mezi negativy je nutnost analyzovat 15 – 20 poklesových fází vln, aby byla spolehlivě určena výtoková čára (KREJČOVÁ, 1990). Metoda rozčlenění hydrogramu je dána dvěma inflexními body, které jsou dány exponenciálně klesající křivkou (BATES A DAVIES, 1988).

## 7 ZÁVĚR

Optimální regulace povrchového odtoku vody z povodí je součástí komplexního řízení vodohospodářského systému v krajině. Účelová regulace vyrovnává odtokové poměry, snižuje kulminační průtoky a posiluje protierozní odolnost povodí. K odhalení srážko-odtokových vlastností povodí je potřeba zjistit podrobné znalosti průběhu a velikosti deště na povodí. K určení deště na povodí využíváme dat ze srážkových stanic a meteorologických radarů (HRÁDEK A KUŘÍK, 2000).

Doba odtoku je závislá na sklonitosti povodí, skladbě půdy a zastavěnosti povodí. Při dostatečné infiltrační schopnosti půdy se déšť vsakuje do půdy a ta jej zadržuje v kapilárních pórech. Tím pádem se průtok v toku nějak nezvětšuje. V gravitačních pórech půdy srážková voda utváří podpovrchový odtok, který se vytváří vlivem sklonu terénu. Podpovrchový odtok postupně vzrůstá, díky zvětšující se ploše odtoku. Rychlost proudění tohoto odtoku je malá. I plocha se zvětšuje pomalu a tím pádem nastává pozvolný nárůst průtoku v toku (MATOUŠEK, 2010). Když dojde k nasycení půdy srážkou, voda se dále nemůže vsakovat, zůstává na povrchu a po něm následně odtéká. Při této situaci nastává povrchový odtok. Při rychlém tání sněhové pokrývky dochází k rychlému a extrémnímu povrchovému odtoku. Velké množství vody se nestačí vsakovat a druhým důvodem je, že půda je po zimě promrzlá.

Nová fáze odtoku nastává při skokovém zvýšení průtoku, což nám identifikuje počátek povrchového odtoku v povodí. Tento případ nastává v situaci, kdy dojde povrchový odtok do toku a k podpovrchovému odtoku se připojuje. Tím pádem dojde k zesílení a zvětšení povrchového odtoku, který se stává dominantním a ovlivňuje rozsah povodně (PONCE, 1989).

Průběh a velikost odtoku významně ovlivňuje rozliv vody do „inundačního území“. Rozliv zadržuje vodu a o zadržený objem vody v rozlivu se snižuje průtok. Podle vzduchových proudů, místě dopadu, zda se vyskytuje na rovníkové oblasti či u zemských pólů, se srážky vyskytují v různém množství, intenzitě a skupenství.

Neopomenutelným faktorem, který ovlivňuje odtok vody je i reliéf terénu, nadmořská výška a sněžná čára. Mezi ty hlavní faktory ovlivňující odtok řadíme opakování extrémních úhrnů, vlastnosti půdy, tvar a velikost povodí či svahu, reliéf krajiny, uspořádání prvků v krajině a v neposlední řadě i činnost člověka (BEDIENT A WAYNE, 1948). Díky antropogennímu vlivu je podporován velký povrchový odtok a to především v intravilánu. Jedná se hlavně a skladbu krajiny, zastavěná území a

nevhodné zásahy do krajiny. Patří sem člověkem vytvořené stavby a cesty z asfaltu či betonu zabraňující vsaku. Povrchový odtok se jeví jako maximální a je nutné vodu odvádět, ať už příkopy či pomocí kanalizačních sítí. Člověkem relativně neovlivnitelný faktor je geologické podloží. Zmírnění přímého odtoku je možné např. výsadbou vhodné vegetace. Díky tomuto opatření dochází ke zvýšení intercepce. Pokud převládá orná půda nad vegetací, lze s přesností určit, že povrchový odtok bude větší. Na orné půdě se zachytí málo vody na rozdíl od TTP, lesu a pastvin, které mají větší vsakovací schopnost. Část odtoku povrchového přechází do odtoku podpovrchového a do centrálního toku se dostává opožděně, jak již bylo zmíněno. Lesní porost je schopný zachytit velké množství srážkové vody a díky evaporaci vrací vodu zpět do ovzduší.

V dnešní době existuje několik programů, jež stimulují odtokové situace z povodí pro různé srážkové úhrny. Tyto modely mohou sloužit k navrhování protierozních a protipovodňových opatření.

V bakalářské práci, přímý odtok- vnik, metody stanovení, byly popisovány vybrané metody pro separaci přímého odtoku. Mezi metody patří GROUND a MGPM. Při srovnání jejich závěrečných výsledků zjišťujeme, že jsou jen mírně odlišné a spějí ke stejným kvalitativním závěrům. Odlišují se v závislosti na tvaru odtokových vln. Metoda GROUND lépe definuje konec období přímého odtoku (JAIN, 1997). Přičemž metoda MGPM lépe vystihuje přechod mezi podpovrchovým a základním odtokem (KULHAVÝ a kol., 2001). Metody separace odtoků za pomoci digitálních filtrů jsou uživatelsky velmi jednoduché a nenáročné. Výsledky jsou kvantitativně podobné s jinými metodami a vstupem jsou průměrné celkové denní průtoky. Za nevhodnější metodu, která je u nás použitelná na malých povodí, cca do velikosti 8 - 10 km<sup>2</sup> se řadí metoda číselných odtokových křivek. V zásadě platí, že čím nižší hodnota CN, tím je vyšší infiltrační schopnost půdy, ovlivňující retenční schopnost povodí. Pro nízká CN a nízké srážkové úhrny nelze odtokové charakteristiky stanovit, protože infiltrace je vyšší než srážkový úhrn (JANEČEK a kol., 1983). Tato metoda patří mezi hydrologické modely, které jsou schopny stanovit základní hydrologické parametry vycházející z dlouhodobě sledovaných průtoků v uzávěrovém profilu. Pomocí této metody lze prognózovat objem přímého odtoku a velikost kulminačního průtoky.

## 8 SEZNAM LITERATURY

- 1) BATES, B. C. a P. K. DAVIES. Effect of baseflow separation procedures on surface run-off models. *Journal of Hydrology*, 1988, s. 309-322.
- 2) BEDIENT, P. C. a W. C. HUBERT. *Hydrology and floodplain Analysis: Third Edition*. London: Prentice Hall, 2002, s. 763.
- 3) BEDIENT, P. C. a W. C. HUBERT. *Hydrology and floodplain Analysis*. Canada: Addison-Wesley Publishing Company, 1988, s. 309-322.
- 4) BEDIENT, P. C. a W. C. HUBERT. *Hydrology and floodplain Analysis: Third Edition*. Canada: Addison-Wesley Publishing Company, 1948, s. 309-322.
- 5) BEVEN, K. J. *Rainfall – Run-off Modelling: The Primer*. Chichester: John Wiley and Sons, 2001, s. 360.
- 6) BORIN M., PASSONI, M., THIENE M. a T. TAMPESTA. Multiple function of buffer strips in farming areas. *European Journal of Agronomy* 3, (1), 2010, s. 103-111.
- 7) BRATRYCH, V. *Živel Voda*. Praha: Agentura Koniklec, 2005. Živly.
- 8) ČERVENÝ, J., BOHM, B. *Podnebí a vodní režim ČSSR*. Praha: Státní zemědělské nakladatelství, 1984, s. 416.
- 9) DAŇHELKA, J. *Hydrologie: hydrologické modely a nejistota předpovědí*. Praha: Sborník prací ČHMÚ, 2007.
- 10) DEMUTH, S., a J. HAGEMANN. *Case study of regionalising base flow in SW Germany applying a hydrogeological index. Flow Regimes from International and Network Data (FRIEND)*, Hydrological studies, (1), 1993, s. 86-98.
- 11) DIJKSMA, R a H. A. J. LANEN. *Variable groundwater catchment size in an area with deep water tables*. 1. vyd. Contribution in proceedings, 2002. In:

*Interdisciplinary Approaches in Small Catchment Hydrology: Monitoring and Research: ERB and Northern European FRIEND Project 5 Conference, Demänovská dolina, Slovakia, 25-28 September 2002 / L. Holko, P. Miklánek, J. Parajka and Z. Kostka. - Bratislava: Slovak Committee for Hydrology-NC IHP UNESCO and Institute of Hydrology, Slovak Academy of Sciences, 2002, p. 55 - 58.*

- 12) DOLEŽAL, F., Z. KULHAVÝ, M. SOUKUP a R. KODEŠOVÁ. *Hydrology of tile drainage run-off: European Geophysical Society, XXV General Assembly*. France: Physics and Chemistry of the Earth, 2001.
- 13) DOLEŽAL, F., M. SOUKUP a Z. KULHAVÝ. *Poznámky k hydrologii drenážního odtoku. Vědecké práce*, Praha: VÚMOP, 2000, č. 11.
- 14) FÍDLER, J. *Hydrologie drenážních odtoků*, ZZ R-VI-11/3, VŠZ Praha: 1970.
- 15) FROLICH, K., W. FROLICH a H. WITTENBERG. *Determination of groundwater recharge by baseflow separation: regional analysis in northeast China*. 221. vyd. China: IAHS Publ, 1994, s. 69-75.
- 16) GRAYSON, B. R., R. M. ARGENT, J. R. NATHAN, T. A. MCMAHON a R. G. MEIN. *Hydrological recipes: estimation techniques in Australian hydrology*. China: Cooperative Research Centre for Catchment Hydrology, 1996, s. 125.
- 17) HAWKINS, R. H. a V. M. PONCE. *Run-off Curve Number: Has It Reached Maturity. Journal of Hydrologic Engineering*. 1996, č. 1, s. 11-19.
- 18) HLADNÝ, J. a J. BUCHTELE. *K metodologii předpovědí odtoku v období sucha. Vodohospodářský časopis*. 1975, č. 4/5, sv. 23, s. 400-415. *Výroční zpráva Českého hydrometeorologického ústavu 2002 = Annual report of the Czech hydrometeorological institute 2002*, 1. vyd. Praha: Český hydrometeorologický ústav, 2003.



- 19) HLADNÝ, J. *Hrozba vodní krize ve světě a strategické úkoly hydrologie. In: hydrologické dny – nové podněty a vize pro příští století. 5. národní konference pod záštitou UNESCO. 1 DÍL. Praha: ČHMÚ, 2000, s. 1-12.*
- 20) HORNBECK, J. W., ADAMS, B. M., CORBETT, E. S., VERRY, E. S. a P. J. LYNNCH. Long-term impact of forest treatment on water yield: a summary for northern USA. *Journal of hydrology*, 150. 1999, s. 323-344.
- 21) HRÁDEK, F. a P. KUŘÍK. *Hydrologie*. Praha: Zemědělská univerzita v Praze, 2002, s. 290.
- 22) HUBAČÍKOVÁ, V. *Hydrologie*. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, 2009.
- 23) HYDROLOGY. *Nation Engineering Handbook: Section 4*. Washington, 1974, s. 1.
- 24) CHAPMAN, T. A comparison of algorithms for stream flow recession and baseflow separation. *Hydrol. Process*. 1999, č. 13, s. 701-714.
- 25) 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*, 1999, č. 15, s. 41-54.
- 26) JANEČEK, M. Komplexní řešení pro vodárenství. *Vodní Hospodářství*. Praha: 2010, v. 7, s. 187-189.
- 27) JANEČEK, M. *Ochrana zemědělské půdy před erozí*. Praha: ISV, 2002.
- 28) JANEČEK, M. *Odhad objemu přímého odtoku z malého zalesněného povodí "metodou čísel odtokových křivek"*. Sborník ze symposi "Lesotechnické meliorácie v ČSSR. ČCCR: 1984, s. 156-166.
- 29) JANEČEK, M. *Využití metody "čísel odtokových křivek" k určování přímého odtoku z malých zemědělských povodí*. Vědecké práce VÚZZP. 1982, č. 1, s. 42-53.

- 30) JANEČEK, M. *Vzorkovací zařízení k zjišťování povrchového odtoku a smyvu půdy ze svažitého pozemku. In: Meliorace. Washington: 1975.*
- 31) JÚVA, K. *Geografie moří a oceánů. Praha: Karolinum, 1992.*
- 32) JÚVA, K. *Odvodňování půdy. Praha: Státní zemědělské nakladatelství, 1957.*
- 33) KANTOR, P. *Lesy a povodně. Souhrnná studie. MŽP, Praha: 2003, 48 s.*
- 34) KAŇOK, J. *Antropogenní ovlivnění velikosti průtoků řek povodí Odry po profil Kožle. Ostrava: Ostravská univerzita, 1997.*
- 35) KEMEL, M. *Klimatologie, meteorologie, hydrologie. Praha: ČVUT, 2000, s. 65-67.*
- 36) KESSL, J. a M. KNĚŽKA. *Pozorovací síť podzemních vod ve vztahu k metodám vyhodnocování režimních dat. In: Hydrologické dny. Nové podmínky a vize pro příští století. Plzeň: České Budějovice: ČSVTS, 2000, s. 65-68.*
- 37) KNĚŽKA, M. *Podzemní složka odtoku. Výzkumný ústav vodohospodářský. Praha: Státním zemědělské nakladatelství, 1988, s. 64.*
- 38) KNĚŽEK, K. a M. KLINER. *Metoda separace podzemního odtoku při využití pozorování hladiny podzemní vody. Vodohospodářsky časopis. 1974, č. 5, s. 457-466.*
- 39) KOLEKTIV. *Hydrologické poměry ČSSR. Díl I, II, III. Praha: Hydrometeorologický ústav, 1965, 1970.*
- 40) KOS, Z. a J. ŘÍHA. *Vodní hospodářství 10. Skript. Praha ČVUT: 2000.*
- 41) KOVÁŘ, P. *Využití hydrologických modelů pro určování maximálních průtoků na malých povodích, skriptum. Praha: ČZU, 2000, s. 95.*

- 42) KREŠL, J. *Hydrologie*. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, 2001.
- 43) KREŠL, J. Vliv lesa na utváření odtoku při přívalových a dlouhotrvajících deštích. *Lesnická práce*. 1999, č. 78, s. 501-503.
- 44) KŘÍŽ, H. *Hydrologie podzemních vod*. Praha: Academia, 1983, s. 289.
- 45) KULHAVÝ, Z. *Využití modelů hydrologické bilance pro malá povodí*. Praha: Výzkumný ústav meliorací a ochrana půdy, 2000.
- 46) KUŘÍK, P. a F. HRÁDEK. *Hydrologie: Skriptum ČZU LF*. Praha: 2002, s. 274.
- 47) KRAVKA, M. *Lesnického a krajinářské hydrologie a hydrauliky*. Brno: Mendelova Zemědělská a lesnické univerzita, 2009, 2432.
- 48) KVÍTEK, T. *Využití a ochrana vodních zdrojů*. České Budějovice: ZF JU: 2005, s. 169.
- 49) LANCO-CANQUI, H, C. J. GANTZER, S. H. ANDERSON, E. E. ALBERTS a A. L. THOMPSON. *Grass barrier and vegetative filter strip effectiveness in reducing run-off, sediment, nitrogen, and phosphorus loss*. Soil Sci. Soc. Am, J, 2004, s. 1670-1678.
- 50) LENA, B., M. VOUGHT a G. PINNAY. Structure and function of buffer strips from a water quality perspective in agricultural landscapes. *Landscape and Urban Planning*. 1995, Is. 1-3, č. 31, s. 323-331.
- 51) LYNE, V., HOLLICK, M. *Stochastic time-variable rainfall-run-off modeling*. I.E. Aust. Natl. Conf. Publ. 79/10, Canberra: 1979, s. 89-91. In: ŽLÁBEK, P. *Vliv uspořádání krajinné matrice na složky odtoku*. České Budějovice: 2009, s. 70. Dizertační práce. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích.
- 52) MAIDMENT, D. R. *Handbook and Hydrology*. United states of America: McGraw-Hill, 1993.

- 53) MATOUŠEK, V. *Poznávání odtokových vlastností malých povodí za regionálních dešťů*. Praha: Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, 2010.
- 54) MATOUŠEK, V. *Poznávání odtokových vlastností malých povodí za regionálních dešťů*. Praha: Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, 2001, s. 296.
- 55) MELIORIS, L., MUCHA, I., a P. POSPÍŠIL. *Poznávání odtokových vlastností malých povodí za regionálních dešťů*. Bratislava: ALFA – nakladatelství technickej a akonomickej literatury, 1986, s. 429.
- 56) NĚMEC, J. a J. HLADNÝ. *Voda v České Republice*. Praha: Consult, 2006, s. 169.
- 57) NĚMEC, J. *Hydrologie*. Praha: Státní zemědělské nakladatelství, 1965.
- 58) NETOPIL, R. *Hydrologie pevnin*. Praha: Československá akademie věd, 1972, s. 294.
- 59) PASÁK, V. *Ochrana půdy před erozí*. 1. vyd. Praha: Státní zemědělské nakladatelství, 1984, s. 164.
- 60) PETERS, D. L., a T. D. PROWSE. Regulation effects on the lower Peace River. Canada: *Hydrological processes*, 15 (16), 2001, s. 3181-3194.
- 61) PETERS, E. a H. A. VAN LANEN. *New method for base flow separation based on heads – illustrated in the Pang catchment (UK)*. *Geophysical Abstracts*, 5, 2003, Abstract no. 5525.
- 62) PETŘÍČEK, V. a P. CUDLÍN. Máme bojovat proti povodním? *Životné prostredie*. 2003, č. 4, s. 25-35.
- 63) PETTS, G. E. a C. AMOROS. *Fluvial Hydrosystems*. London: Chapman and Hall, 1996.
- 64) PHILIP, B. B. a C. H. WAYNE. *Hydrology and floodplain analysis*. New York: Addison – Wesley Publishing Company, 1988.

- 65) PILGRIM, D. H. a I. CORDERY. *Flood run-off*. Chapter 9. In: MAIDMENT, D. R. (ed.): *Handbook od hydrology*. New York: McGraw-Hill, 1993.
- 66) PONCE, V. M. *Principles and Practices, Englewood Cliffs, N.Y.* Engineering Hydrology: Prentice-Hall, 1989, s. 640. In: MATOUŠEK, V. *Poznávání odtokových vlastností malých povodí za regionálních dešťů*. Praha: Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, 2010, s. 296.
- 67) REWLS, W. J., AHUJA, L. R., BRAKENSIEK, D. L. a A. SHIRMOHAMMADI. *Infiltration and soil water movement*. In: MAIDMENT, D. R. (ed.): *Handbook of hydrology*. New York: McGraw-Hill, 1993, s. 1424.
- 68) SERRANO, E. S. *Hydrology for Engineers, Geologists and Environmental Professionals*, HydroScience Inc. Lexington, Kentucky: 1997. s. 468. In: ŽLÁBEK, P. *Vliv uspořádání krajinné matrice na složky odtoku*. České Budějovice: 2009, s. 70. Dizertační práce. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích.
- 69) SHAW, E. M. *Hydrology in Practice*. London: Spon Press, 1994.
- 70) SHERMAN, L. K. Streamflow from Rainfall by the Unit-Graph Method. *Coping with floods*. 1932, č. 108, s. 501-505.
- 71) SHUTTLEWORTH, W. J. *Evaporation*. In: MAIDMENT, D. R. (ed.), *Handbook of hydrology*. New York: McGraw-Hill Inc. 1993, s. 1424.
- 72) SKLENIČKA, P. *Základy krajinného plánování*. 2. vyd. Praha: Naděžda Skleničková, 2003, s. 321.
- 73) SLEPIČKA, F., SARGA, K., a Z. ANTON. *Moderní hydrologické metody pro hydrologické testování a bilancování*, 1. vyd. Praha: MOM, 1989, s. 317.
- 74) SMAKHTIN, V. U. Low flow hydrology: a review. *Journal of Hydrology* 240, 2001, s. 147-186.

- 75) SMITH, L., a S. W. WHEATCRAFT. *Groundwater flow*. Chapter 6. In: MAIDMENT, D. R. (ed.): *Handbook of hydrology*. New York: McGraw-Hill. 1993, s. 1424 In: ŽLÁBEK, P. *Vliv uspořádání krajinné matrice na složky odtoku*. České Budějovice: 2009, s. 70. Dizertační práce. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích.
- 76) SOUKUP, M. a F. HRÁDEK. *Optimální regulace povrchového odtoku z povodí*. Praha: Ústav meliorací a ochrany půdy, 1999, s. 98.
- 77) STEHLÍK, J. *Současný stav metodologie poklesové fáze odtoku*. Praha: ČHMÚ, 1998, s. 27.
- 78) SVAZEK 32 NÁRODNÍHO KLIMATICKÉHO PROGRAMU: *Zpřesnění scénářů projekce klimatické změny na území České republiky a odhadů projekce klimatické změny na hydrologický režim, sektor zemědělství, sektor lesního hospodářství a na lidské zdraví v ČR*, Praha: 200. s. 90.
- 79) ŠERCL, P. *Metoda CN křivek – průběžná zpráva na ČHMÚ*. Praha: 2006. In: *Rozvoj a testování modelovacího systému pro predikci povodňových odtoků v malých povodích*, Zpráva za rok 2005 projektu VaV 1D/1/5/05, DHI Hydroinform a ČHMÚ Praha: 2005, s. 50.
- 80) TACHECÍ, P. *Hydrologický režim malého horského povodí a odhad účinků změny prostoru: Doktorská disertační práce*. ČVUT Praha: 2002, s. 133.
- 81) VOGEL, R. M. a Ch. N. KROLL. Regional geohydrologic – geomorphic relationships for the estimation of low-flow statistics. *Water Resources Research*. 1992, 28 (9).
- 82) WILEY, J. *Hydrological Processes*. Professor Malcolm G. Anderson. ISI Journal Citation Reports Ranking, 2010, roč. 10, č. 76.

#### NORMY:

ČSN 73 6530. *Vodní hospodářství. Názvosloví hydrologie*. Praha, 1983.

ČSN 752410. *Malé vodní nádrže*. Praha, 1997.

ČSN 736515. *Vodní hospodářství. Názvosloví hydrotechniky. Vodní nádrže a zdrže*. Praha, 2003-2009.

Obr. č. 1., 6., 8

SERRANO, E. S. *Hydrology for Engineers, Geologists and Environmental Professionals*, HydroScience Inc. Lexington, Kentucky: 1997. s. 468. In: ŽLÁBEK, P. *Vliv uspořádání krajinné matrice na složky odtoku*. České Budějovice: 2009, s. 70. Dizertační práce. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích.

Obr. č. 2

MATOUŠOVÁ, M. *Živel voda*. Praha: Agentura Koniklec, 2005.

Obr. č. 3

In Encyclopedia of Climate and Weather. *Water resources*. S. H. Schneider. New York: Oxford University Press, č. 2, 1996, s. 817-823.

Obr. č. 4

JENÍČEK, M. *Modelování srážko-odtokových procesů na malých a středně velkých povodích*. In: LANGHAMMER, J. *Povodně a změny v krajině*. Praha: PŘF UK, 2007, s. 101-109. ČSN 736530 – Názvosloví hydrologie, 1985.

Obr. č. 5

JURAČKOVÁ, P. *Hydraulické parametry hornin v oblasti dolní Rožínky*. Bakalářská práce. Brno: 2007, s. 37.

Obr. č. 7

JURAČKOVÁ, P. *Hydraulické parametry hornin v oblasti dolní rožínky*. Bakalářská práce. Univerzita. Brno, 2007, s. 37.

Obr. č. 8

ČSN 73 6530. *Vodní hospodářství. Názvosloví hydrologie*. Praha, 1983.

Obr. č. 9

BEVEN, K. J. *Rainfall – Run-off Modelling: The Primer*. Chichester: John Wiley and Sons, 2001, s. 360.

Obr. č. 10

BAUMGARTNER, A. a H. J. LIEBSCHER. *Allgemeine Hydrologie Quantitative Hydrologie*. Berlin: Gebrüder Borntraeger, 1996.



