

**JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH
BUDĚJOVICÍCH
ZEMĚDĚLSKÁ FAKULTA**

Studijní program: B4106 Zemědělská specializace

Studijní obor: Pozemkové úpravy a převody nemovitostí

Katedra: Katedra krajinného managementu

Vedoucí katedry: doc. Ing. Pavel Ondr, CSc.

Bakalářská práce

Odtokové poměry a jejich změny v povodí ČR i v zahraničí

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

Autor práce: Radka Ryšavá

Rok: 2014

JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH
Fakulta zemědělská
Akademický rok: 2012/2013

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Radka RYŠAVÁ**
Osobní číslo: **Z11784**
Studijní program: **B4106 Zemědělská specializace**
Studijní obor: **Pozemkové úpravy a převody nemovitostí**
Název tématu: **Odtokové poměry a jejich změny v povodích ČR i v zahraničí**
Zadávací katedra: **Katedra krajinného managementu**

Zásady pro vypracování:

Práce bude mít charakter literární rešerše týkající se odtokových poměrů povodí. Odtokové poměry se vytvářejí jako výslednice celkových přírodních poměrů, které jsou však též ovlivňovány činností člověka. 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.

Charakteristika základních pojmů - odtokový součinitel, odtokový režim, vodní režim, atd.

Faktory ovlivňující odtokové poměry.

Vliv hospodaření v povodí na odtokové poměry.

Změny odtokových poměrů (krátkodobé i dlouhodobé) v ČR i zahraničí.

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

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

Serrano, E.S. Hydrology for Engineers, Geologists and Environmental Professionals. HydroScience Inc. Lexington, Kentucky, 1997, 468 s.

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


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

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

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

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

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


prof. Ing. Milošlav Soch, CSc.
děkan

L.S.


doc. Ing. Pavel Ondr, CSc.
vedoucí katedry

V Českých Budějovicích dne 20. března 2013

Prohlášení

Prohlašuji, že svou 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 elektronickou cestou (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 Jindřichově Hradci dne 28. 3. 2014

Radka Ryšavá

Poděkování

Tímto děkuji vedoucímu bakalářské práce Ing. Václavu Bystřickému, Ph. D. za odborné vedení, cenné rady a připomínky v průběhu zpracování mé bakalářské práce. Dále bych chtěla poděkovat rodině za podporu a trpělivost při studiu a zpracování bakalářské práce.

Abstrakt

Tato bakalářská práce je orientovaná na odtok, jeho vznik, složky a faktory, které tento odtok ovlivňují. Dále je zaměřena na hydrosféru, hydrologický cyklus a v neposlední řadě je zaměřena na změny odtokových poměrů v ČR i zahraničí, závisících na podnebí a na zdroji vodnosti řek. Mezi zdroje vodnosti řek řadíme například dešťové srážky, tající sníh, podpovrchové vody, tající ledovec.

Dále se tato bakalářská práce zabývá odtokovými poměry a jejich změnami v povodí ČR i v zahraničí a je vyhotovena v podobě literární rešerše. Definuje základní pojmy této problematiky a podrobně vysvětluje jednotlivé složky odtoku. Mezi složky odtoku řadíme povrchový, podpovrchový a podzemní odtok. Dále popisuje hydrologický cyklus, který může být malý či velký. Voda se na zemský povrch dostává v podobě srážek, například v podobě sněhu, nebo deště. Tyto srážky mají vliv na odtok.

Klíčová slova

Odtokový poměr, odtokový součinitel, odtokový režim, vodní režim

Abstract

This bachelor thesis is oriented towards the drain, its origin, the elements and factors that affect runoff. It is focused on the hydrosphere, the hydrological cycle, and finally focuses on changes in runoff conditions in the Czech Republic and abroad, depending on the climate and the source water levels of rivers. Between sources of water levels of rivers include, eg rainfall, melting snow, subsurface water, melting glacier.

Furthermore, this bachelor thesis deals with the bypass ratio and changes in the basin of the Czech Republic and abroad, and is written in the form of a literature review. It defines the basic concepts of the problem and explains in detail the individual components of runoff. Among the ingredients drain we classify surface runoff, subsurface and groundwater runoff. Further it also describes the hydrological cycle, which can be small or large. The water gets to the earth surface in the form of precipitation, for example such as snow or rain. These collisions affect runoff.

Keywords

Drainage conditions, runoff coefficient, drainage system, water system

Obsah

1	Úvod.....	9
2	Cíl a metodika práce.....	10
2.1	Cíl práce	10
2.2	Metodika práce	10
3	Hydrosféra.....	11
3.1	Atmosférická voda	12
3.2	Povrchová voda	13
3.3	Podpovrchová voda	13
3.4	Podzemní voda	13
4	Hydrologický cyklus	15
4.1	Malý a velký hydrologický cyklus	15
4.2	Hydrologický rok	16
4.3	Hydrologická bilance	16
5	Charakteristika základních pojmů.....	20
6	Odtok.....	24
6.1	Teorie tvorby odtoku	24
6.2	Složky odtoku.....	25
6.3	Faktory ovlivňující odtok	29
6.3.1	Reliéf.....	29
6.3.2	Fyzickogeografické podmínky.....	31
6.3.3	Geologické a hydrogeologické podmínky	32
6.3.4	Pedologické podmínky.....	33
6.3.5	Landcover.....	35
6.3.6	Klimatické podmínky.....	36
7	Vliv hospodaření v povodí na odtokové poměry	38
7.1	Orná půda	38

7.2	Trvalý travní porost	40
7.3	Lesní porost	41
8	Změny odtokových poměrů v ČR i zahraničí	42
8.1	Odtokový součinitel v České republice a zahraničí	43
9	Závěr	51
10	Seznam literatury	52
11	Seznam obrázků	57
12	Seznam tabulek	58

1 Úvod

Odtokové poměry jsou vytvářeny jako výslednice celkových přírodních poměrů, které jsou ovlivňovány též činností člověka. Režim vodních toků je závislý na proměnlivé příjmové složce atmosférických srážek. Tato složka je následně transformována v odtokových procesech dalšími vlivy (výpar, hydrogeologické vlastnosti, morfologie krajiny, geologickou stavbou území, vegetačními poměry).

Česká republika se rozděluje výsledkem geomorfologického a geologického vývoje na výškovou členitost a jednotlivá úmoří. Tento vývoj se projevuje i v dalších podmínkách pro odtokové poměry, protože vytváří prostředí, ve kterém nebo na kterém dochází k odtoku srážkových vod. Dále rozhoduje o vývoji vegetace, půdy a důležitých činitelů. Nejvíce se na vodnosti řek v České republice podílejí srážky spadlé ve formě deště či sněhu. Podpovrchové vody se podílejí na vodnosti řek mnohem méně.

Tato práce bude zaměřena na odtokové poměry v povodí vytvářené jako výslednice celkových přírodních poměrů, které mohou být ovlivňovány činností člověka například hospodařením v povodí, které negativně ovlivňují vodní režim v krajině. Populace roste a lidé se snaží zintenzivňovat zemědělskou výrobu, která vede k odvodňování a pozměňování toku. Bude zde také poukázáno na problematiku a rozdělení odtoku. Jak dochází k ovlivňování nejrůznějšími aspekty, za kterých vzniká odtok a tím ovlivňuje koloběh vody v přírodě. Podrobněji bude vypracována část, zabývající se odtokovým součinitelem v České republice a v zahraničí.

2 Cíl a metodika práce

2.1 Cíl práce

Cíl bakalářské práce je pomocí odborné literatury shrnout informace, které se týkají odtokových poměrů povodí v České republice a zahraničí.

2.2 Metodika práce

Bakalářská práce je zaměřena na literární rešerši, která se zabývá oběhem vody v přírodě, faktory ovlivňující odtokové poměry, vlivem hospodaření v povodí na odtokové poměry a změnami odtokových poměrů. Dále charakterizuje základní pojmy (odtokový součinitel, odtokový režim, vodní režim, atd.)

3 Hydrosféra

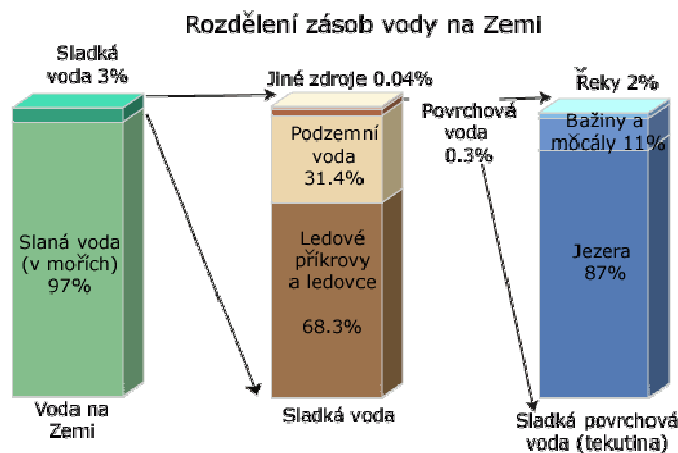
Davie (2008) definuje hydrosféru jako veškerou vodu, vyskytující se na Zemi. Hydrosféra zahrnuje vodu atmosférickou, povrchovou, podpovrchovou a vodu obsaženou v biosféře.

Voda patří mezi nejrozšířenější látky na Zemi. Dle Plecháče (1974) je její výskyt prostorově i časově nerovnoměrně rozdělen. Zajímavostí je, že kdyby celý objem vody, který obsahuje zhruba 1,33 miliardy km³, zakryl zemský povrch, na Zemi by se objevilo moře o hloubce přibližně 2620 m. Celkový objem vody na Zemi je obsažen ve světových mořích, oceánech, ledovcích, atmosféře, ale také v podzemní a povrchové vodě. Moře a oceány pokrývají 71% zemského povrchu, největší oceán je Tichý oceán. Jeho velikost je větší než všechny světadíly dohromady, má rozlohu 180 mil. km². Asi 20% rozlohy pevniny je pokryto věčným ledem a sněhem.

Rozdělení zásob vody na Zemi

Říha (1987) se zmiňuje o tom, že voda je nezbytnou složkou životního prostředí člověka, rostlin i živočichů. Dle Kravky (2009) převažuje voda slaná, tvořící kolem 97% celkové vody na světě. Sladká voda tvoří zbylá 3% a je obsažena ve velkém množství v ledovcích a polárním ledu. Přibližný odhad je 32 000 km³. Za trvalý zdroj povrchové vody podle Říhy (1987) můžeme považovat jen tu část, která se obnovuje v koloběhu vody, což je jen asi 0,3%. Pohyb vody v koloběhu látek je v přírodě téměř nezničitelný a uměle nevyvolatelný.

Detailní popis množství vody vyskytující se na Zemi dle Netopila (1972) zobrazuje obr. 1. Z obrázku je patrný popis celkových zásob sladké vody, kde 68,3 % je obsaženo v ledovcích a ledových příkrovech. Další 31,4 % sladké vody se nalézá v zemi.



Obr. 1: Rozdělení zásob vody na Zemi, Zdroj: S. H. Schneider, 1996

3.1 Atmosférická voda

Voda je podle Tölgyessva (1984) nedílnou součástí atmosféry a vyskytuje se zde ve formě par jako vlhkost ovzduší, kapek nebo zrněk, které tvoří oblaka či jako atmosférické srážky dopadající na povrch země. Atmosférická voda, též nazývána srážková voda je chápána jako voda v kapalném či tuhém skupenství při zkapalnění vodních par, která přechází z ovzduší na zemský povrch. Srážky rozdělujeme na kapalně (déšť, rosa, mlha) či tuhé (sníh, jinovatka), podle teploty a stupně nasycení vzduchu parami.

Atmosférické srážky

Tölgyessv (1984) se zmiňuje o vertikálních srážkách, které se vytvářejí ve vyšších vrstvách atmosféry a následně padají k zemi ve stavu kapalném (déšť) nebo ve stavu tuhém (sníh). Horizontální srážky se vytvářejí kondenzací vodních par na povrchu země, na rostlinách či předmětech (mlha, rosa, jinovatka).

Srážky lze rozlišovat dle Goldsteina (1984) také podle původu a délky jejich trvání. Srážky krajinné (oblastní, regionální, cyklonální), jsou dlouhodobé, územně rozsáhlé, ale málo vydatné. Srážky přívalové (lokální, lijáky), jsou výraznou konvencí převážně v letním období. Tyto deště se vyznačují svou krátkodobostí, velkou intenzitou a působením na malém území. Srážky orografické, jsou vyvolávány ochlazováním vzdušných hmot při jejich proudění nad horami či jinými terénními překážkami. Tyto srážky se vyznačují delší dobou trvání a menší intenzitou.

3.2 Povrchová voda

Tölgyessv (1984) tvrdí, že se povrchové vody vyskytují trvale či dočasně na zemském povrchu. Povrchová voda odtéká nebo může být zadržována v umělých či přirozených nádržích na povrchu země. Vzniká ze srážek, z výtoků podzemních vod a z tajících ledovců. Zdrojem povrchových vod jsou atmosférické srážky.

Vodní recipient

Vodní recipient je podle Donigiana a kol. (1995) vodní útvar, do něhož stékají povrchové vody. Je to útvar, který přijímá vodu z určitého povodí. Vzniká buď přirozeně, nebo je vytvořen uměle, tedy člověkem. Rozlišujeme vody přirozeně stojaté, kam řadíme oceány, moře, jezera či močály a uměle stojaté, kam patří rybníky, přehrady nebo nádrže. Vody přirozeně tekoucí jsou veletoky, řeky, potoky, bystřiny a uměle tekoucí, což jsou kanály či průplavy.

3.3 Podpovrchová voda

Cunge (1998) popisuje podpovrchovou vodu jako část hydrosféry, která se vyskytuje ve všech skupenstvích pod zemským povrchem a to chemicky i fyzikálně vázaná. V minerálech a horninách se voda vyskytuje jako chemicky vázaná, sorpční, kapilární, či gravitační voda, nebo jako vodní pára a led. Chemicky vázaná voda je z hydrologického hlediska nevyužitelná. Mechanicky vázaná voda se vyskytuje buď v pásnu provzdušnění jako půdní voda nebo v pásnu nasycení jako podzemní voda.

Tölgyessv (1984) tvrdí, že se podpovrchové vody nacházejí pod povrchem země a jsou důležitým zdrojem pitné vody. Dále mají využití například ve zdravotnictví, průmyslu či zemědělství. Výskyt těchto vod, jejich kvalita či pohyb jsou ovlivňovány prostředím. Podpovrchové vody se vytvářejí prosakováním povrchové vody pod zemský povrch a třídí se dle různých kritérií. Nejčastější třídění je dle původu, vazby, hloubky, ve které se voda vyskytuje a skupenství.

3.4 Podzemní voda

Tölgyessv (1984) zmiňuje, že podzemní voda tvoří okolo 20 % světových zásob sladké vody. Podzemní voda souvisle vyplňuje pukliny a dutiny ve zvodněných horninách. A má rozsáhlou hladinu. Podzemní vody můžeme

klasifikovat dle hydraulických poměrů zvodněného prostředí. Klasifikuje se na základě míry propustnosti horninového prostředí, množství a druhu rozpuštěných látek a v neposlední řadě podle teploty či skupenství.

V období sucha je dle Pelikána (1983) hlavním zdrojem většiny povrchových toků. Pokud dojde ke znečištění podzemních vod je velice nákladná a dlouhodobá náprava její jakosti.

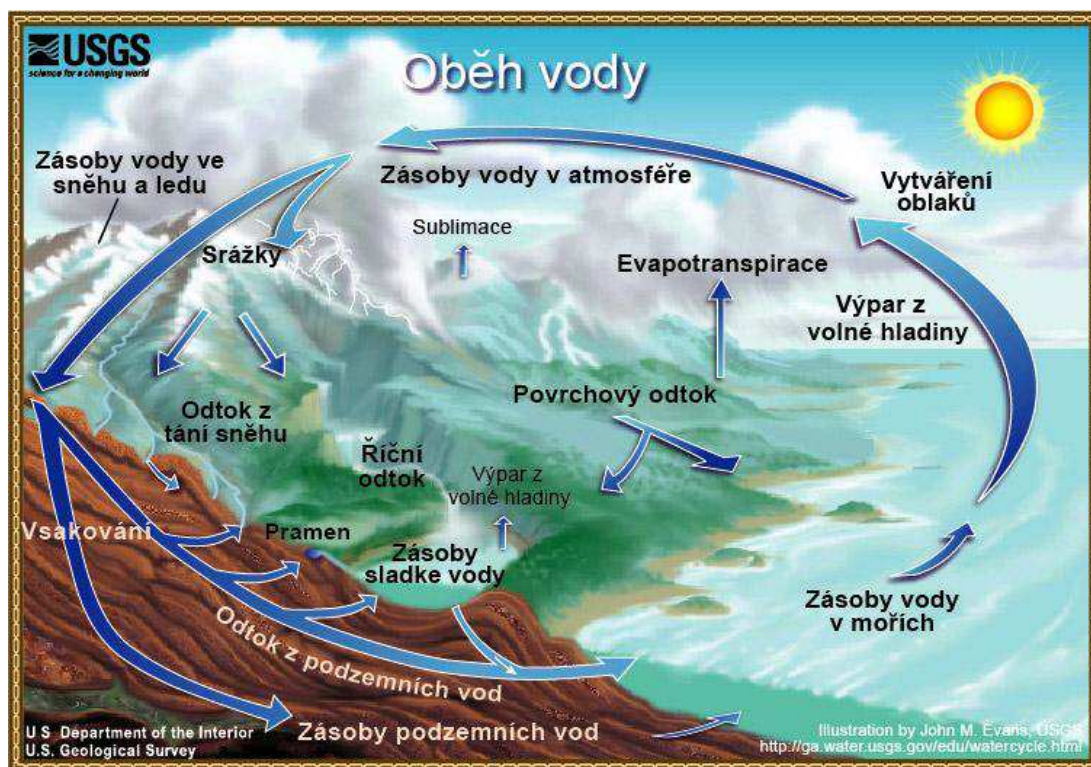
4 Hydrologický cyklus

Hydrologický cyklus můžeme podle Gordona a kol. (2008) také nazývat krevním oběhem biosféry. Z důvodu, že dochází za pomoci odtoku, podzemní vody a evapotranspirace k přemísťování vody mezi ekosystémy, což následně vede ke změně energetické rovnováhy v krajině.

Serrano (1997) tvrdí, že pro vodu na Zemi je typický její nepřetržitý oběh, spojený se změnou skupenství. Hydrologický cyklus je uzavřený oběh vody. Vlivem slunečního záření, jenž je energií pro tvorbu oběhu vody v přírodě, dochází k výparu vody z vodní hladiny, z půdy, povrchu rostlin atd. Voda se tak dostává do atmosféry, ve které je pomocí proudění vzduchu přemísťována na jiné místo. Na tomto místě, pokud jsou příznivé podmínky, dochází ke kondenzaci a následné depozici srážek na zemský povrch. Zde se voda vsakuje, tím obohacuje půdní profil vláhou, zvětší množství podzemních vod, dodává objem vody v jezerech, rybnících a řekách a poté se znovu vypaří do atmosféry.

4.1 Malý a velký hydrologický cyklus

Bratrych (2005) popisuje, jakou roli mají v malém hydrologickém cyklu oceány. Z jejich povrchu se vypařuje zhruba 5 krát více vody než z povrchu Země. Větší množství vypařené vody se vrací po krátkém zdržení zpět do oceánů ve formě srážek. Na obr. 2 je znázorněno, jak se cyklu účastní také voda vypařená z povrchu země. Voda, která se vypaří z povrchu země, se dostane do atmosféry, kde zkapalní a opět padá na zemský povrch v podobě srážek. Ovšem na zemský povrch dopadne pouze část vody ve formě srážek vypařená z povrchu oceánů. Velký hydrologický cyklus se liší od malého tím, že asi jedna třetina spadlé vody se stává součástí povrchových vod, další část se vsákne a tím zvětší zásoby podzemní vody. Odtud se část vody znovu vrací do vodních toků a oceánů. Zbytek spadlých srážek se vypaří.



Obr. 2: Malý a velký hydrologický cyklus, Zdroj: J. Langhammer, 2007

4.2 Hydrologický rok

Hydrologický rok je určen dle Šilara (1996) tak, aby dopadlé sněhové srážky v tomto období stihly také odtéct. Hydrologický rok nastane ve střední Evropě 1. listopadu a končí 31. října následného roku. Srážky dopadlé ve formě sněhu začátkem zimy se tak dostávají s jarním odtokem do shodného bilančního období. Začátek i konec bilančního období patří do ročního období s obvykle ustálenými srážkovými a odtokovými poměry, takže je pravděpodobné, že objem vody je v jednotlivých složkách hydrosféry území na začátku hydrologického roku obdobný jako na konci. Tato informace má důležitý účel pro sestavení bilanční rovnice.

Sommer (1973) zmiňuje častou chybu vodohospodářů. Při bilanci přebírají z publikací roční hodnoty odtoků, které bývají vypočítané pro hydrologický rok a z publikací klimatických přebírají hodnoty srážek, které se však stanovují pro kalendářní rok.

4.3 Hydrologická bilance

Hydrologická bilance vychází dle Kříže (1983) z jediné domněnky, že jediným zdrojem vody v přírodě jsou srážky, které se účastní hydrologického cyklu.

Obsah vodní bilance a způsob jejího stanovení upravuje v souladu s vodním zákonem č. 254/2001 Sb. vyhláška Ministerstva zemědělství č. 431/2001 Sb. Blažek (2006). Goudie a kol. (1994) popisuje hydrologickou bilanci jako bilanci, která nám udává vztah mezi jednotlivými složkami hydrologického cyklu. Je to množství vody, které těmito složkami prochází. Hydrologickou bilanci stanovujeme pro určitý čas a prostor. Prostorem v hydrologické bilanci může být jakékoli území, například území mapového listu, správní území či geografický celek. Nejčastěji se tato bilance stanovuje pro orografické povodí. Výhodou orografického povodí je, že má území uzavřený celek, ve kterém se snadněji vyšetřují vztahy mezi odtokem a srážkami.

Vyhláška Ministerstva Zemědělství (2001) zmiňuje, že sestavení hydrologické bilance má každoročně na starosti Český hydrometeorologický ústav, kde jsou výstupy bilance udávány jako podklad pro sestavení vodohospodářské bilance.

Základní členy hydrologické bilance

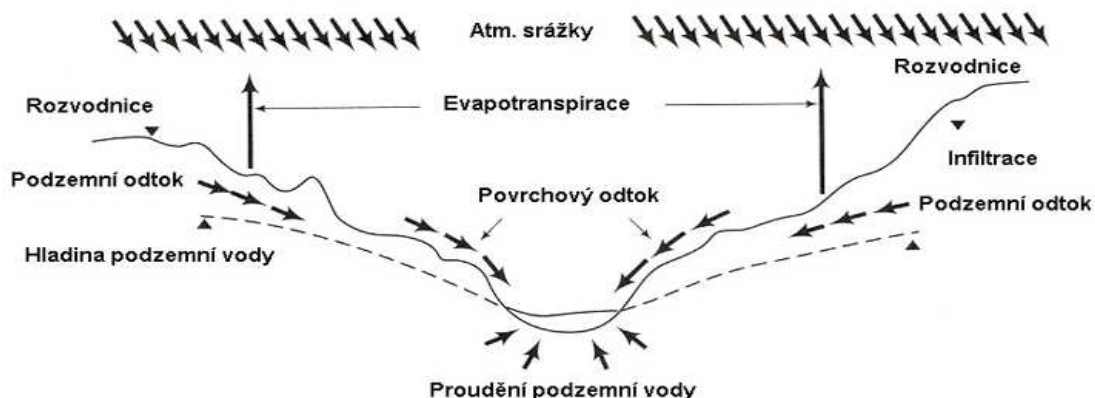
Podle Kněžeka a Kessla (2004) obr. 3 patří mezi základní členy hydrologické bilance atmosférické srážky, evapotranspirace a celkový odtok.

Atmosférické srážky jsou hlavní a zároveň jedinou verzí vstupu vody do hydrologické bilance. Vydatnost srážek se obvykle udává v milimetrech vodního sloupce a je měřena tzv. srážkoměry.

Evapotranspirace patří mezi důležité procesy, při které dochází k výdeji vody z povodí. Evapotranspirace je chápána jako výpar vody z různých povrchů, jako je například vodní hladina, půda, ale také výpar vod způsobený biologickými procesy živých organismů.

Celkový odtok je hlavním odvodem vody z povodí. Můžeme ho rozdělit na tři části: povrchový odtok, hypodermický odtok a odtok základní. Hodnotu celkového odtoku získáváme měřením průtoku na jednotlivých profilech. Z celkového odtoku je možné za pomoci separace hydrogramu vyčlenit základní neboli podzemní odtok a odtok povrchový.

Základní odtok je ta část celkového odtoku z území k určitému profilu na povrchovém toku, který je tvořen podporou z podzemních vod. Základní odtok tvoří pohyblivou složku podzemních vod, která je součástí hydrologické bilance. Tento odtok je nejčastěji možno zaznamenat v období sucha, kdy delší dobu neprší a v tocích teče jen voda vyvěrající z podzemí. Základní odtok změřit nelze, je totiž smíchan s odtokem povrchovým i podpovrchovým.



Obr. 3: Členy hydrologického cyklu. Zdroj: Domenico a Schwartz, 1998

Rovnice hydrologické bilance

Členy rovnice musí být určeny pro určitý časový úsek. Pro stanovení bilanční rovnice platí dle Sommera (1973), čím kratší časový úsek, tím je obtížnější určit stejnorodost individuálních členů rovnice ve větších povodích. Za jeden den lze stanovit bilanční rovnici jen pro velmi malá povodí. Zatímco dle Blažka a kol. (2006) hydrologickou bilanci uspořádává Český hydrometeorologický ústav. Regionální vodohospodářskou bilanci zaručují správci povodí, což jsou státní podniky Povodí.

Tvar bilanční rovnice je buď zkrácený, nebo rozvedený.

Zkrácený tvar rovnice:

$$HS = O + HE \pm \Omega$$

Kde jednotlivé členy rovnice znamenají,

O – odtok vody

HS – atmosférické srážky

He – klimatický výpar

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

Rozvedený tvar rovnice:

$$HS = OV + OP + OZ + OS + HE_{(P)} + HE_{(r)} + HE_{(t)} + HE_{(v)} \pm \Omega_1 \pm \Omega_2 \pm \Omega_3 \pm \Omega_4 \pm \Omega_5$$

kde jednotlivé členy rovnice znamenají,

HS – atmosférické srážky,

OV - soustředěný povrchový odtok ve vodních korytech,

OP - povrchový odtok nesoustředěný plošný,

OZ - odtok podzemní vody půdní,

OS - odtok do hlubších vrstev, nevyskytující se na povrchu v daném území,

$HE_{(P)}$ - výpar z půdy,

$HE_{(r)}$ - výpar z povrchu rostlin (intercepce), neproduktivní výpar srážek (10-15%)

$HE_{(t)}$ - produktivní výpar z rostlin (transpirace), dýchání z rostlin (u lesních porostů 150-450 mm/ rok)

$HE_{(v)}$ - výpar z vodní hladiny (led, sníh),

Ω_1 - přírůstek nebo úbytek podpovrchové a podzemní vody,

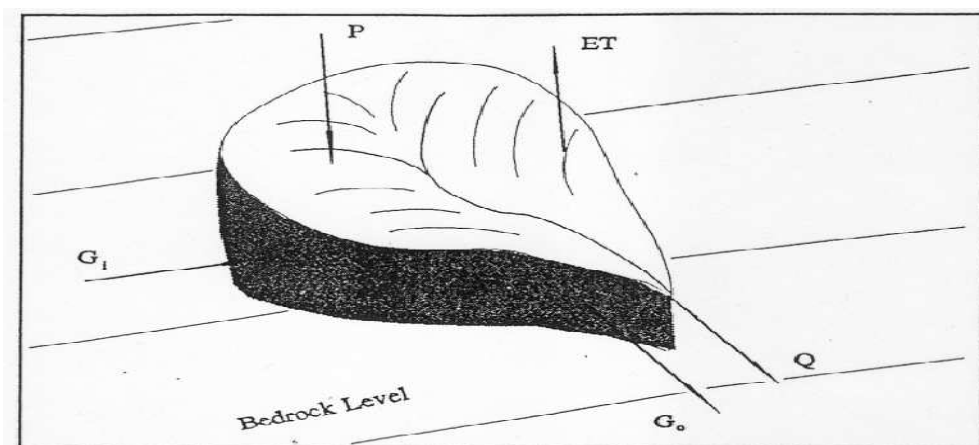
Ω_2 - přírůstek nebo úbytek vody v nádržích,

Ω_3 - přírůstek nebo úbytek vody v ovzduší,

Ω_4 - přírůstek nebo úbytek vody v biomase rostlin,

Ω_5 - přírůstek nebo úbytek vody v biomase živočichů

Z důvodu neměnnosti objemu vody v hydrosféře, platí podle Kosa a Říhy (2000) rozšířený tvar bilanční rovnice. Členy této bilanční rovnice bývají velice často vyjádřeny v jednotkách výšky vodního sloupce. V rovnici tedy lze zanedbat Ω_3 , Ω_4 , Ω_5 .



Obr. 4: Hydrologická bilance povodí Zdroj: Serrano, 1997

5 Charakteristika základních pojmů

Odtokový součinitel

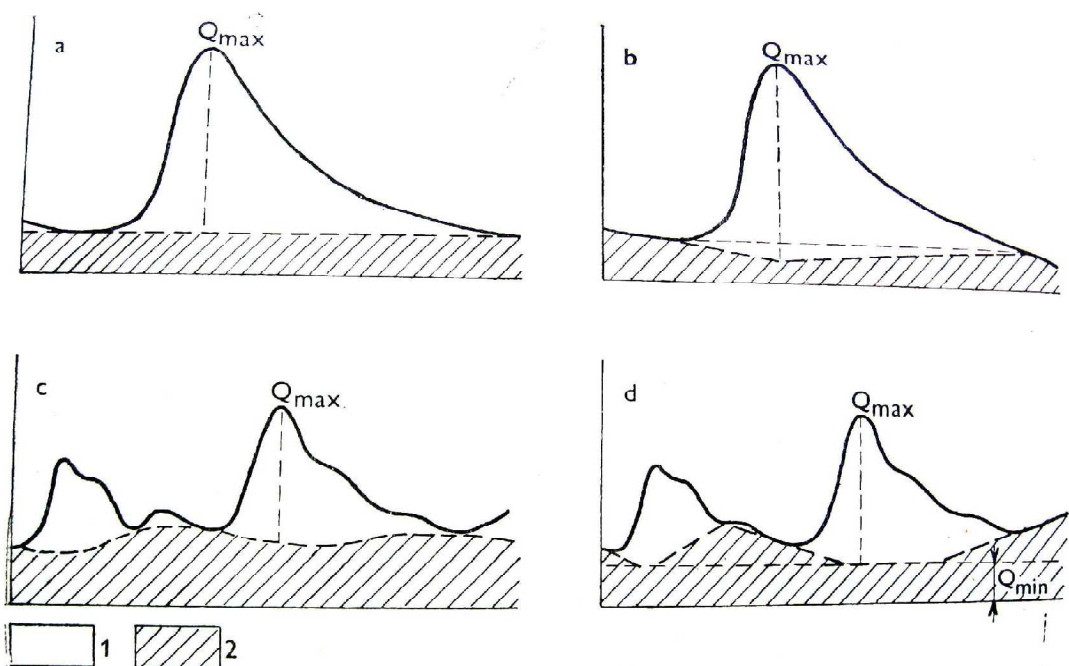
Matoušek (2010) zmiňuje, že se odtokový součinitel využívá pro výpočet redukovaných ploch odvodňovaného území. Součinitel je závislý na druhu a naklonění odvodňované plochy. Rovnice pro výpočet odtokového koeficientu, se dá vyjádřit jako vztah mezi odtokem a srážkami v povodí za určitý čas.

Rovnice má tvar $\varphi = H_o/P$, kde φ je odtokový součinitel, H_o výška odtoku v [mm] a P srážkový úhrn v [mm]. Tento součinitel vyčísluje, kolik vody z celkového množství spadlých srážek odeče z povodí bez rozlišení činitelů geografického prostředí.

Odtokový režim

Odtokový režim udává změny ve vodnosti toků během roku. Může být znázorněn graficky pomocí hydrogramu. Znázorněn je dle Solzgaye a kol. (2007) na obr. 4, hydrogram je křivka, která vyjadřuje průtok v čase. Tento režim závisí na vlivu mnoha faktorů, které se uplatňují v celém povodí, také ovlivňují odtok z plochy, ale i odtok přímo v korytě. Odtokové poměry toku jsou tak v malé závislosti na podnebí a na zdroji vodnosti řeky. Mezi zdroje vodnosti řeky patří dešťové srážky, tající sněh, podpovrchová voda či tající ledovce. Vodní tok pak může vystřídat na své délce i několik typů odtokových režimů.

Odtokový poměr rozdělujeme dle Klimenta a Matouškové (2006) na dva základní typy podle zdrojů vodnosti toků. Rozdělujeme ho na jednoduchý a komplexní. Jednoduché odtokové režimy jsou ovlivňovány nejčastěji jedním zdrojem vodnosti, protože je povodí klimaticky homogenní. Uplatnění zde nachází hlavně nadmořská výška a kontinentalita. Mezi jednoduché režimy patří oceánský dešťový, tropický dešťový, monzunový, glaciální neboli ledovcový a nivální neboli sněhový. Komplexní odtokové režimy mají hlavně velké řeky, oproti jednoduchým odtokovým režimům jsou komplexní režimy ovlivňovány nejméně dvěma zdroji vodnosti, které se mohou kombinovat. Kombinují se různé klimatické podmínky v dílčích částech povodí. Nejčastěji se ukazují dvě maxima a dvě minima odtoku. Mezi komplexní odtokové režimy řadíme niválně-pluviální neboli sněhovo-dešťový či pluvio-nivální neboli dešťovo-sněhový.



Obr. 5. Různé způsoby rozčlenění hydrogramu na přímý a základní (podzemní) odtok. 1 – přímý, 2 – základní. Zdroj: Kříž, 1983

Vodní režim

Vodní režim krajiny vysvětluje Kravčík (2010) výsledkem hydrologického cyklu, který je ovlivněn hydrologickými vlastnostmi povodí, kam patří množství srážek, výpar, hustota říční sítě, sklon a členitost reliéfu, délka údolnice, plocha povodí, vegetační poměry či geologické a pedologické poměry. Dále může být ovlivněn hospodařením člověka mimo lidská sídla, sem řadíme zemědělství – plocha orné půdy, lesnictví – lesnatost, druhové složení porostů. Činností člověka v sídelních útvarech, jako jsou stavby, zpevněné plochy a silnice. Technickými stavbami, které usměrňují vodní režim, což jsou například přehrad, rybníky, jezy, opevnění břehů a dna nebo odvodňovací stavby.

Infiltrace

Infiltrace je součástí hydrologického cyklu. Dle Fettera (2001) jde o vsakování vody do půdy a propustných hornin. Jedná se o jeden z nejdůležitějších způsobů vzniku podzemních vod. Infiltraci můžeme dělit na přirozenou a umělou. Rozdíl mezi přirozenou a umělou infiltrací je, že při přirozené infiltraci dochází k vsakování srážkové vody, povrchové vody nebo vody z roztátého sněhu. Pokud dojde k vsakování z řek, rybníků nebo moří můžeme infiltraci nazývat jako

břehovou. Při umělé infiltraci dochází k vsakování vody umělým zaplavením povrchu země. Užívá se při získávání pitné vody. Infiltrovaná voda se započítává mezi ztráty na povodí.

Daňhelka (2007) zmiňuje, že je infiltrace považována za základní proces, který ovlivňuje tvorbu odtoku. Míru infiltrace ze srážek ovlivňují dvě charakteristiky. Infiltrační rychlost a infiltrační kapacita. Infiltrační rychlost určuje, jaké množství vody proniká povrchem půdy do půdního profilu. Rychlost proto bývá závislá na charakteristice půdy. U jílovitých půd je intenzita infiltrace nízká, u písčitých půd je rychlost infiltrace vysoká. Charakteristika infiltrační kapacity udává objem vody, který půda může obsahovat a zadržet. U písčitých půd je infiltrační kapacita malá, naopak velkou infiltrační kapacitu mají půdy jílovité. Pokud se poruší jedna z těchto charakteristik, nastane povrchový odtok. Pokud dojde k tomu, že intenzita efektivní srážky bude vyšší, než maximální infiltrační rychlost, část vody nebude stačit pronikat do půdního profilu a to povede k povrchovému odtoku. Jestliže nastane překročení infiltrační kapacity, voda půdu úplně zaplní, protože není schopna další srážky přijímat. K povrchovému odtoku může docházet i při relativně slabé intenzitě srážek.

Retence

Retence je podle Petříčka a Cudlína (2003) chápána jako schopnost krajiny zadržovat vodu a tím zpomalovat odtok srážek z daného území. Také je možné tento pojem chápat jako dočasné zadržování vody ve vegetaci, objektech v povodí, v pokryvné vrstvě půdy, v půdě a v takzvaném odtokovém procesu. Retence napomáhá k poklidnému hydrologickému cyklu, či k menšímu odplavování živin.

Hrabě a Buchgraber (2004) tvrdí, že povrchový odtok svým retenčním působením omezují travní porosty. Travní porosty mají vysokou infiltrační schopnost díky neutužené, humózní a strukturní půdě. Při přívalových a dlouhotrvajících deštích se uplatňuje tento efekt na svažitéch pozemcích, kde travní porosty převyšují retenční schopnosti půd.

Klute (1986) zmiňuje, že k retenci vody dochází nejen na povrchu ale také pod povrchem. Půda totiž může zadržovat velký objem srážkové vody. Množství zadržené vody závisí na typu půdy, její mocnosti, pórovitosti, obsahu humusu, nasycenosti a dalších faktorech. Opatření, která zvyšují retenční účinky, jsou jedním

z nejdůležitějších preventivních prostředků povodňové ochrany. Zvýšení retence je možné docílit pomocí technických a biologických opatření v povodí. Na vzniku bleskových povodní se podílí snížená retence, při těchto povodních je infiltrační kapacita naplněna a ve svažitém terénu dochází k odtoku. Níže položené oblasti doplácují na protipovodňové zábrany, díky kterým dochází ke zvyšování množství vody v korytě a ke zvyšování rychlosti vody.

V posledních sto letech podle Tesaře a kol. (1990) klesla retenční schopnost krajiny trojnásobně. Jednou z příčin tohoto poklesu jsou chybějící mikroorganismy, které zničí hnojení zemědělských pozemků. K tomuto dochází především při necitlivém hospodaření, kdy je půda rozorána a spojena do velkých krajinných celků a voda se nemá kde zastavit. Povrchový odtok vzniká, pokud intenzita deště je větší než intenzita vsaku, nebo při delší době trvání dešťů dochází k nasycenosti půdy a tím se povrchový odtok zvětšuje.

Retenční vodní kapacita

Retenční vodní kapacita je řazena mezi základní hydrolimity, kterou můžeme charakterizovat dle Kutílka (1978) jako maximální množství vody, které je půda schopna zadržet v soustavě kapilárních pórů. Voda je poté postupně pro rostliny uvolňována. V přírodě je půda považována za nádrž o velkém množství retenčního objemu. Tento objem značně převyšuje objem vody ve vodních tocích nebo v nádržích. Ovlivnění změny srážky na odtok z povodí ovlivňuje retenční kapacita půd. Při překročení retenční kapacity půdy může způsobit povodňovou vlnu. Konečné hodnoty retenční vodní kapacity zohledňují průměrnou hloubku profilu a obsah vody. To vystihuje skutečné množství vody, které při srážkách půda umožňuje zadržet.

6 Odtok

Odtok definuje Shaw (1994) jako hydrologický pojem, který udává množství vody odtékající za určitý čas z povodí. Velikost odtoku se označuje Q a udává se v $l \cdot s^{-1} \cdot km^{-2}$. Celkový odtok zahrnutý do hydrologické bilance je tvořen několika složkami. Tyto složky dělí Kravka (2009) na:

a) Povrchový odtok - Voda, odtékající z povrchu v terénu, kde vznikaly podmínky pro tvorbu odtoku.

b) Podpovrchový odtok - Voda infiltrovaná do půdy. Před odtokem z povodí nedosahuje hladina podzemní vody.

c) Základní odtok – Odtok podzemní vody.

Odtok vody je začleňován Hubačikovou (2009) do hydrologické bilance podzemních vod. Odtok z povodí je globální množství vody, která proteče závěrovým profilem. Odtok se začne vytvářet spadnutím srážek. Vlivem gravitace se začne vytvářet na zemském povrchu nejprve plošný odtok. Dále vlivem členitosti terénu se odtok koncentruje ve stružkách, struhách, potocích a tocích. A nakonec vytvoří povrchový soustředěný odtok.

Při depozici srážek závisí dle Kvítka a kol. (2005) na faktoru nasycenosti půdy a půdního povrchu zda dojde k tvorbě odtoku. U sněhových srážek se zabýváme hlavně velikostí sněhové hmoty a jejím složením. Na našem území připadá na jednoho obyvatele přibližně 1450 m^3 ročního odtoku, což je v evropském průměru asi jedna pětina.

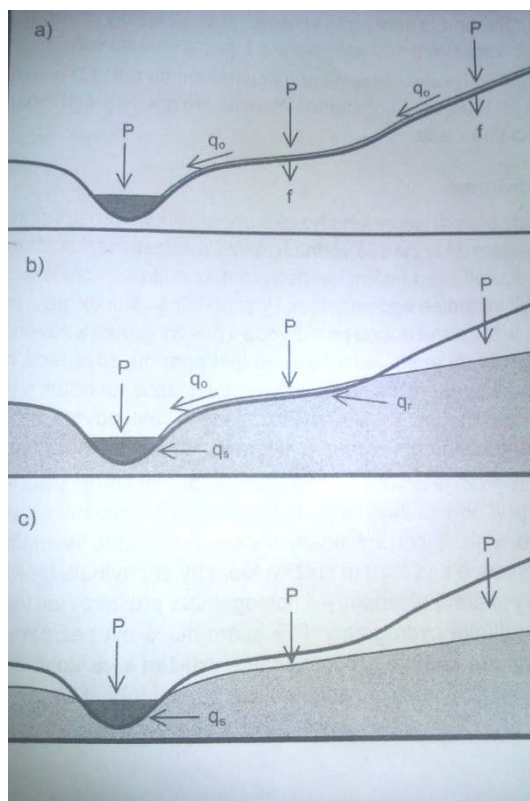
Specifický odtok

Definici specifického odtoku Kvítka a kol. (2006) můžeme vyjádřit jako množství vody, která odeče z 1 km^2 povodí řeky za 1 sekundu. Odtok lze zjistit tak, že průměrným odtokem Q vydělíme plochu povodí F . Rovnice pro specifický odtok $q = Q/F$. Výsledek se udává v litrech za sekundu na km^2 ($l \cdot s^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$).

6.1 Teorie tvorby odtoku

Beven (2001) považuje za nejznámější teorii, která tvrdí, že se na povodí v průběhu deště tvoří povrchový ron. Tento ron odvádí vodu po povrchu do vodních

recipientů. (obr. 5. a) Další teorií je teorie povrchového odtoku ze saturovaných ploch. Tato teorie očekává vznik vratného odtoku, a tím i povrchového v blízkosti recipientů. (obr. 5. b) Poslední teorií je teorie podpovrchového odtoku s povrchovým odtokem. Celý odtok je uskutečňován díky infiltraci a odtoku půdou (obr. 5. c).



Obr. 6: Teorie tvorby odtoku. P – srážky, q_o - povrchový odtok, q_r - vratný odtok, q_s – podpovrchový odtok, Zdroj: Beven, 2001

6.2 Složky odtoku

Odtok, který je součástí hydrologické bilance, lze rozdělit do tří složek. Složky odtoku povrchového, podpovrchového a podzemního.

Povrchový odtok

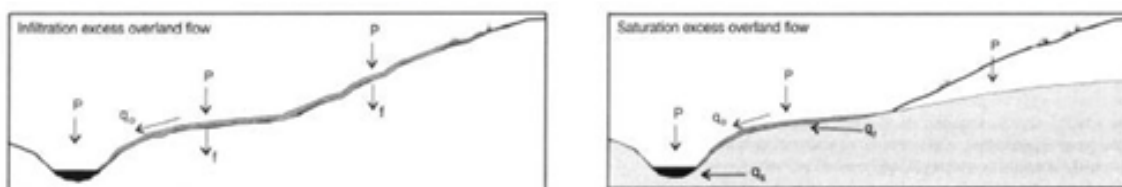
Podle Serrana (1997) se povrchový odtok koncentruje vlivem sklonu zemského reliéfu a vyčlenění v lokální brázdy, stružky, rýhy, bystřiny a potoky, které se nakonec spojují v říčky, řeky a veletoky, končící vyústěním do moře. To vede k tomu, že na něm můžeme pozorovat několik fází, které můžeme poměrně spolehlivě předpovídat a vypočítat. Jedná se o větev vzestupnou a sestupnou, dále

o dobu koncentrace či dobu prodlení. Povrchový odtok se nejčastěji objevuje v oblastech, které jsou odlesněné.

Na obr. 6 je znázorněn vznik povrchového odtoku. Povrchový odtok se koná s určitým časovým zpožděním za příčinného deště na povodích o malé rozloze. Podle Krešla (2001) vzniká díky srážkám, které dopadají na povrch. Tyto srážky jsou zadržovány na povrchu vegetace a půdy. Srážky se do půdy vsakují, nebo se odpařují zpět do ovzduší. Srážková voda dle intenzity deště stéká nejprve v souvislé vrstvě jako svahový povrchový odtok, až poté se rozčlení erozními rýhami do stružek a jimi dále odtéká do potoků či řek, které vytváří říční hydrografickou síť. Tato intenzita srážek musí být vyšší než intenzita vsaku. K fázi soustředěného povrchového odtoku dochází, jestliže nastane při tání sněhu ke stékání srážkové vody v souvislé vrstvě jako nesoustředěný povrchový odtok.

Povrchový odtok je definován Serranem (1997) jako voda, která odtéká rovnou po povrchu území. Tato složka odtoku je považována za nejrychlejší ze všech složek. K odtoku dochází na místech, kde srážky převažují nad ztrátami. Vznik tohoto odtoku můžeme zařadit do tří typů vzniku:

- a) Hortonovský odtok, kde dochází k překročení infiltrační kapacity půdy,
- b) tzv. Dunnyho odtok, kde dochází k překročení retenční kapacity,
- c) opětovná exfiltrace vody v nižších částech svahu.



Obr. 7: Vznik povrchového odtoku Zdroj: Beven, 2001

Podpovrchový odtok

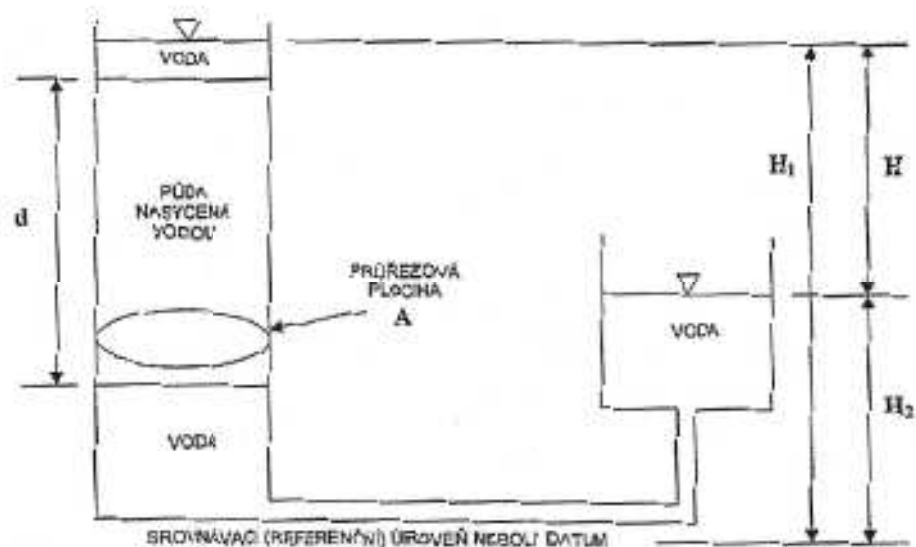
Infiltrace je podle Serrana (1997) hlavním vstupem podpovrchového odtoku. Voda opouští povodí dříve, než dosáhne hladiny podzemní vody. Podpovrchový odtok lze dělit na nasycený a nenasycený. Rozdíl mezi nimi je dán dobou, po kterou se vsáknutá kapalina drží v půdním profilu. Dalším rozdílem je doba, po kterou voda bude cestovat povodím. Přerozdělení vody v nenasycené zóně je vedena zákonem průtoku vody přes nenasycené pórovité prostředí.

Na obr. 7 je znázorněn rozdíl mezi nasyceným a nenasyceným odtokem: Serrano (1997) udává, že nasycený odtok vodu nezadrží, z důvodu nedostatku prostorů v půdě. Prostory, které by byly možné pohlcovat vodu, jsou už zcela plné. Proto dochází k rychlému odtoku, stejně tak jako tomu bylo u povrchového odtoku. Oproti tomu u nenasyceného povrchového odtoku nejdříve dochází k vyplnění vzduchových prostor v půdě. Proudění probíhá v mikro a makro pórech. Následně se stává z nenasyceného odtoku nasycený. Voda poté opět putuje podpovrchovým odtokem dále do povodí.



Obr. 8: Podpovrchová voda, Zdroj: J. Langhammer, 2007

Kvítek a kol. (2006) tvrdí, že dobu, kdy dochází k zaplavování půdy, nazýváme zpoždění. Tento děj nazýváme zpožděný odtok. Zpožděný odtok je možné pozorovat ale i spočítat díky Darcyho rovnici. Dle obr. 8 lze Darcyho zákon popsat jako rychlost průtoku kapaliny nasycenou oblastí tělesa. Zákon udává lineární závislost rychlosti proudění na rozdílu tlaků proudícího media a vzdálenosti sledovaných bodů.



Obr. 9: Darcyho zákon Zdroj: Kvítek a kol. 2006

Darcyho zákon je vyjádřen vztahem: $Q = -k \cdot A[(H_1 - H_2) / d]$

Kde:

Q – objem pronikající kapaliny nebo plynu v cm^3/s

k - Darcyho konstanta

A - plocha v cm^2 , kterou proudící médium protéká

H_1 - hydraulická výška na vstupu

H_2 - hydraulická výška na výstupu

d - vzdálenost mezi místy 1 a 2

Podzemní odtok

Podzemní odtok vody je chápán podle Hrádka a Kuříka (2008) jako proud podzemní vody. Tento proud se pohybuje podle nachýlení nepropustného podloží a jeho rychlost závisí na profilu půdního a horninového prostředí či na zdroji podzemních vod. Srážky, které se infiltrují k hladině vod podzemních, pronikají podzemním přítokem do hlavního toku opožděně za povrchovým odtokem.

Podzemní odtok je ta část celkového odtoku, která se časem začne ukládat do podzemních vod. Především se podle Brutsaerta (2005) jedná o vodu, jenž se usazuje a prosakuje do půdního profilu. Nicméně si voda později najde cestu do potoků, řek, jezer, podzemních jezer a jiných recipientů. Pokud dojde po srážce k zastavení vsakování vody, můžeme se domnívat, že celý odtok je utvořen hromadným

odtokem. Tento odtok hromadí všechnu vodu do podzemního odtoku a tím stahuje všechnu vodu z celého povodí. Předpovědí pro podzemní odtok je, že nám dokáže určit průtokovou rychlost pro dané povodí. Touto průtokovou rychlostí nám dokáže určit, jak může dané území utrpět, jestliže nedojde k očekávanému vsakování vody či pokud odstraníme ochranné prostředky, mezi které řadíme inženýrské stavby nebo zadržovací zařízení, jako například poldry. Podle těchto informací můžeme následně určovat, chování toku při základním odtoku, v suchém období, při dlouhotrvajících deštích, tak i při přívalové srážce. Jestliže máme územně i inženýrsky podobné povodí, můžeme očekávat, že jejich chování bude stejné jako povodí už jednou naměřené. Méně výstižné předpovědi vycházející z podobných povodí, jsou obvykle zapotřebí například pro zemědělce, pro to, aby zhodnotili, zda je možné zavlažovat či odvodňovat.

Serrano (1997) zmiňuje, že výskyt podzemního odtoku bývá největší v oblastech krasů a v oblastech, která jsou v přirozeně zalesněných vodních předělech.

6.3 Faktory ovlivňující odtok

6.3.1 Reliéf

Vliv na reliéf má podle Bevena (2001) odtok srážkových vod. Jako příklad je větší sklon, který urychluje srážkový odtok a možnost infiltrace je proto menší. Jestliže má terén hluboké zářezy do zvodnělých vrstev odvonění je lepší. Sklenička (2003) popsal reliéf následovně. Reliéfy můžeme rozložit na hlavní geometrické plochy. Geometrické plochy pojmenováváme geneticky stejnorodými plochami a jsou výsledkem jednoho pochodu. Tyto plochy mají rozmanitý sklon, orientaci, vzhled oproti světovým stranám a odlišnou expozici. U vzhledu terénu záleží hlavně na formě spádnice. Rozlišujeme plochy přímkové, konkávní a konvexní.

Sklon terénu

Dále Sklenička (2003) popisuje sklon terénu. Ten můžeme rozdělit na plochy rovinné, mírně skloněné, značně skloněné, příkře skloněné, velmi příkře skloněné, srázy a stěny. Dle Petržílka a Kočarka (1959) na sklonu povodí závisí síla eroze.

Odtok bývá prudší, pokud je více vody a pokud je strmější její spád. Výsledek erozivní činnosti a energie jsou koryta řek a údolí.

Rovnice pro sklon toku se dělí podle Krešla a Bartuňkové (1978):

Rovnice pro průměrný sklon povodí:

$$I_p = (H_{max} - H_{min}) * S_p^{-1/2}$$

Kde:

I_p - délka vrstevnic

H_{max} - výšková kóta nejvyššího místa

H_{min} - výšková kóta nejnižšího místa

S_p - plocha povodí

Průměrný sklon toku

$$I_t = (H_{max} - H_{min}) * L^{-1}$$

Kde:

I_t - délka vrstevnic

H_{max} - výšková kóta nejvyššího místa

H_{min} - výšková kóta nejnižšího místa

L - délka údolnice

Členitost terénu

U terénu se podle Krešla a Bartuňkové (1978) musí vždy staničit vznik, tedy 0 km, které se nachází u ústí zájmového toku do toku vyššího řádu. Tok se dá prodloužit dle průběhu vrstevnic až k rozvodnicím (nejnižší místo údolí). Délka toku je délka údolnice L k rozvodnici. Dalšími vlastnostmi určenými na mapě zjišťujeme výškovou kótu nejnižšího místa H_{min} , nejvyššího místa H_{max} , délku rozvodnice L_r , délku vrstevnic L_i , délku celé vodní sítě L_s . Pokud budeme chtít přesnější určení průměrných výšek v povodí i plochy značíme S_i . S_i vymezuje individuální vrstevnice a rozvodnice, výškové kóty počátečního H_{min} a H_{max} charakteru údolnice. Hodnoty se dosazují do vztahů pro vypočítání vlastností povodí.

Demek (1987) tvrdí, že reliéf patří mezi přírodní faktor. Pozoruhodně ovlivňuje styl využívání krajiny. V České republice můžeme rozlišovat na základě vzhledu,

geneze a stáří 5 základních skupin reliéfů. Akumulační roviny, sníženiny, pahorkatiny, vrchoviny a hornatiny.

Nížina

Nížina je území, které se nachází v nadmořské výšce 0 – 200 m. Skládá se ze zpevněných či málo zpevněných usazenin. Tyto usazeniny jsou uloženy horizontálně či subhorizontálně. Nížiny mívají reliéf měkký, rovinný nebo pahorkatinný.

Vysočina

Vysočina je území, které se nachází v nadmořské výšce nad 200 m. Toto území má zpevněný až členitý reliéf. Další dělení vysočiny kvůli členitosti je na velehornatiny, hornatiny, pahorkatiny a vrchoviny.

6.3.2 Fyzickogeografické podmínky

Plocha povodí

Velikost povodí (udávána v km²) má podle Daňhelky (2007) vliv na odtok srážkových vod. Ovlivňuje maximální specifický odtok. Dle Krešla (2001) bývá specifický odtok u malých povodí větší než u povodí velkých. Lze také říct, že čím menší povodí toku je, tím je odtok v roce rozdělen nestejněměrněji. Naopak u povodí s rostoucí plochou stoupá hodnota kulminačních průtoků a současně klesá maximální specifický průtok.

Tvar povodí

Tvar povodí řadíme podle Hubačkové (2009) mezi charakteristiky, které stanovují uspořádání říční sítě, ovlivňují dobu, za kterou se soustředí voda z plochy povodí do určitého profilu toku, a také má dopad na extrémní charakteristiky odtoku.

Povodí má obvykle tvar asymetrického protáhlého listu. Nejširší bývá ve střední části a postupně směrem k prameništi dochází k zužování povodí.

Kvítek a kol. (2006) vyjadřuje součinitel tvaru povodí jako:

$$\alpha = B / L_{\text{ú}}$$

$$B = F / L_{\text{ú}}$$

Kde:

α - součinitel tvaru povodí

B - střední šířka tvaru povodí

L_i - délka údolnice

F - plocha povodí

Dle hodnoty součinitele rozlišujeme povodí protáhlá $\alpha < 0,24$, přechodného typu $\alpha = 0,24-0,26$ a povodí vějířovitá $\alpha > 0,26$. Nejméně příznivá povodí z hlediska maximálního průtoku jsou povodí protáhlého tvaru.

6.3.3 Geologické a hydrogeologické podmínky

Pórovitost

Pórovitost patří mezi nejdůležitější geologickou a hydrogeologickou podmínku, která ovlivňuje odtok. Benetin (1958) tvrdí, že čím větší pórovitost, tím větší schopnost hornin pojmout více vody. Jednotlivé dutiny jsou různě velké. Ve velkých dutinách účinkuje gravitace, pomocí níž dochází k pohybu. V malých dutinách dochází k velmi pomalému pohybu za pomoci kapilárních sil. Půda se považuje za nasycenou, pokud dojde k naplnění všech pórů v zemi. Určování pórovitosti se zakládá na množství vody, jež zaplní všechny póry. Pórovitost nám udává podíl objemu vody a objemu suchého vzorku. Výsledkem by mělo být relativní číslo menší než 1.

Geologické podloží

Propustnost geologického podloží je významná pro vytvoření odtoků v období bez srážek. Dle Krešla (2001) při vydatnějších deštích nepropustné vrstvy, které mají málo mocný půdní překryv, snižují retenční kapacitu povodí a napomáhají tak prudkému stoupání průtoků.

Typ horniny

Nejbohatší na vodu jsou podle Bedienta a Huberta (2002) vrstvy úlomkovitých hornin vytvořené již ve čtvrtohorách. Tyto horniny nazýváme glaciální vrstvy, které mohou dosáhnout tloušťky až několika stovek metrů. Horniny dělíme na propustné (štěrk, písek, úlomkové sedimenty), nepropustné (žula, syenit, čedič, jíly,

slíny) a polopropustné (rašelina, stmelené úlomkovité horniny jako je pískovec či slepenec, spraš)

6.3.4 Pedologické podmínky

Půdními charakteristikami jsou ovlivňovány infiltrační a retenční schopnosti území. Zásadní vliv na rozdělování celkového odtoku mají podle Daňhelky (2007) geologické a půdní poměry. Němec (1965) tvrdí, jestli dojde k zamrznutí půdy, odtok probíhá bez ztrát povrchového odtoku, nezávisle na tom, o jaký půdní druh se jedná. Nejlepší retenční schopnost mají půdy písčité, tím, že mají větší infiltrační rychlost avšak menší retenční schopnost, dokáží zmenšit rychlý, často nepříznivý povrchový odtok a zvýšit pomalý podzemní odtok.

Mezi pedologické podmínky patří podle Bedienta a Huberta (2002) například fyzikální vlastnosti půdy, které dokáží charakterizovat půdu (její vlhkost, hydraulickou vodivost), kořenový systém a systém chodbiček půdních živočichů. Kvítek a kol. (2006) zmiňuje, že půdní poměry mají zásadní vliv na velikost a intenzitu vsaku vody a tím rozhodují o rozložení a velikosti odtoku. Informace o půdních poměrech lze získat z pedologických map.

Freebaim a kol. (1986) popsal lehké, středně těžké a těžké půdy následovně:

Lehké půdy

Lehké půdy jsou písčité a sypké půdy, které se vyskytují na navátých písčích a pískovcích. Jsou dobře propustné a provzdušněné proto v těchto půdách protéká voda rychle a půdy následně vysychají. Jsou vhodné pro mírně náročné plodiny s nutným zavlažováním.

Středně těžké půdy

Středně těžké půdy jsou půdy hlinité, které se vyskytují v nížinách. V České republice patří mezi nejrozšířenější půdy. Tyto půdy jsou významné svým hlubokým horizontem. Svou podobou a vlastnostmi se podobají černozemi.

Těžké půdy

Těžké půdy jsou jílovité půdy s nevhodnou zrnitostní skladbou. Tato skladba vytváří prostředí, které bývá propustné pro vzduch a vodu jen ztěžka. Tyto půdy

bývají náchylné na sléhavost a zamokření. Z těchto důvodů jsou tyto půdy zemědělsky nevyužívané.

Půdní hydrolimity

Kutílek (1978) tvrdí, že hydrolimity slouží ke stanovení objemu půdních pórů. Podle účinku působení sil na vodu v půdě můžeme rozeznávat 3 základní kategorie půdní vody, gravitační, kapilární a absorpční. Orná půda je vymezena gravitační a kapilární půdní vodou.

Hydrolimitami neboli hraničními hodnotami vlhkosti půdy se dle Hrádka a Kuříka (2002) posuzuje přítomnost vody v půdě. Určitá půdní vlhkost, dosažená za přesně definovaných podmínek. Rozlišujeme hydrolimity základní jako objektivně existující rozmezí mezi energetickými kategoriemi, půdní vody a hydrolimity aplikované, jako další charakteristiky týkající se typických vlhkostních stavů půdy.

K základním hydrolimitům patří:

a) Adsorpční vodní kapacita (AVK), která udává obsah vody při rozmezí kategorie vody adsorpční a kapilární stanovené z rozboru adsorpčních izoterem.

b) Retenční vodní kapacita (RVK) je maximální množství vody, které je půda po nadměrném zavlažení schopná zadržet v téměř rovnovážném stavu. Představuje tak rozmezí mezi kapilární a gravitační vodou.

K aplikovaným hydrolimitům patří:

a) Monomolekulární adsorpční vodní kapacita (MAK), která je stanovena přibližně

v exsikátoru nad 58 % H_2SO_4 nebo přesněji z adsorpční izotermy.

b) Bod vadnutí (BV) je dán vlhkostí půdy, kdy rostliny jsou trvale nedostatečně zásobeny vodou. Konvenčně BV odpovídá sacímu tlaku $pF = 4,19$, tj. 15,2 baru.

c) Polní vodní kapacita (PVK) je ustálený stav vlhkosti přirozeného půdního profilu po nadměrném zavlažení při vyloučení vlivu srážek, výparu a podzemní vody

d) Maximální kapilární vodní kapacita (MKK) udává schopnost půdy zadržet vodu pro potřeby rostlin v kapilárních pórech.

6.3.5 Landcover

Landcover dle Skleničky (2003) udává v určitém čase aktuální využívání vegetace a krajiny. Je především kombinací tří dílčích atributů krajiny (struktura krajiny, landuse, vegetační pokryv).

Sklenička (2003) popisuje strukturu krajiny a land use následovně:

Struktura krajiny

Krajina se stanovuje na jednotlivé stavebné části z důsledků nestejnorodostí jednotlivých krajinných atributů. Krajina se také může jevit jako stejnorodé území (bez struktury), protože v jeho rámci neexistují rozdíly v dílčích attributech. Struktura krajiny patří mezi jedny z nejvýznamnějších faktorů, které ovlivňují biodiverzitu.

Land use

Land use obsahuje biofyzikální a socioekologickou složku. Obsahuje jak formu analýzy aktuálního nebo historického stavu, tak hodnocení krajiny z pohledu vhodnosti pro jednotlivé využití. Na určitou lokalitu jsou specifické požadavky forem land use. Tyto požadavky jsou dány krajinnými vlastnostmi. Po srovnání požadavků s land use typem můžeme poté poskytnout informace o vhodnosti dané formy využití krajiny.

Vegetační pokryv

Vegetační pokryv má podle Daňhelky (2007) zřetelný vliv na infiltraci srážek, tím dochází k ovlivňování množství podzemních vod či velikosti odtoku. Pomocí land use je možné určit míru intercepce území a jeho infiltrační vlastnosti. Tímto je výrazně ovlivněna intenzita přímého odtoku. Zemědělské plochy jsou pro vznik přímého odtoku velice příznivé, zvláště tehdy když se zde pěstují vinice, chmelnice. Tyto plochy však nejsou dostatečně zapojeny do pěstování plodin chránících půdní povrch.

Kvítek a kol. (2006) zmiňuje, že vegetační pokryv (plochy lesů, pole, louky) reguluje množství srážek, které zachytí rostliny, množství vody do nich vsáklé, dále ztráty z výparů, rychlost vody proudící po svazích. Můžeme tedy říci, že vegetační pokryv značně předurčuje fáze procesu odtoku vod z povodí. Zastoupení a situování vegetačního pokryvu lze nalézt v topografických mapách.

Podle Krešla (2006) dochází k takzvané intercepci, jestliže dešťové kapky dopadají na povrch vegetačního pokryvu a jsou zadržovány molekulárními silami, tak se malé množství zadržené vody odpaří a část srážkové vody stéká či skapává na zem.

Kvítek a kol. (2005) se zmiňuje o indexu trvalých kultur, který se využívá k určování vhodného stavu kultur. Tento index zohledňuje současný a původní stav kultur dané krajiny.

$$ITK = (R.k + T.l + V.m + X + Y.n) / (L + P + S + M + N)$$

Kde jednotlivé členy rovnice znamenají,

ITK - index trvalých kultur

L - historické zastoupení luk v krajině [ha]

P - historické zastoupení pastvin [ha]

S - historické zastoupení lesů [ha]

M - historické zastoupení mezí a remízků [ha]

N - historické zastoupení stojatých vod a mokřadů [ha]

R - současné zastoupení luk [ha]

T - současné zastoupení pastvin [ha]

V - současné zastoupení lesů [ha]

X - současné zastoupení mezí a remízků [ha]

Y - současné zastoupení stojatých vod a mokřadů [ha]

k, l, m, n - koeficienty vyjadřující kvalitu porostů z hlediska funkce ochrany kvality vod:

k - koeficient kvality porostu – louky

l - koeficient kvality porostu – pastviny

m - koeficient kvality porostu – lesní porosty

n - koeficient kvality porostu – rybníky a nádrže

6.3.6 Klimatické podmínky

Klimatické podmínky mají vliv na tvar a sílu odtoku. Řadíme sem hlavně dešťové srážky, i když na odtok mají vliv i další faktory jako jsou teplota vzduchu a půdy, směr a rychlost větru, vlhkost vzduchu výpar ve všech formách a tlak vzduchu.

Němec (1965) popsal srážky, teplotu vzduchu a intenzitu slunečního záření následovně:

Srážky

Srážky určují velikost odtoku podle jejich množství, druhu a časovém rozdělení. U srážek je důležitá doba a intenzita, které ovlivňují celkový odtok. V období lijáků, kdy jsou srážky prudké a krátké, se odtok krátkodobě prudce zvýší. Naopak u dlouhých a mírných dešťů se odtoky utváří postupně a na delší dobu. Srážky ve formě sněhu mají odtokový součinitel větší než dešťové srážky v teplejších ročních obdobích. Důvodem je, že v zimě nenastává tak silný výpar a voda se nevsakuje do půdy tak masivně jako v teplých ročních obdobích.

Teplota vzduchu a intenzita slunečního záření

Na jaře dochází k oteplení vzduchu a sluneční záření vyvolává tání sněhu. To vede ke zvyšování odtoků z povodí a průtoků v řekách. V létě se při vysokých teplotách vzduchu zvyšuje výpar ze spadlých srážek, z půdy ale i z volné hladiny. V letním období bývá značné množství srážek, ale i přes to jsou odtoky z povodí poměrně malé.

Problematikou klimatických změn se zabývá Svazek 32 Národního Klimatického programu ČR (2000). Jako klimatické změny jsou chápány například vývoj imisí, zvýšení atmosférické teploty v závislosti na CO₂ (oxid uhličitý). Tento program se specializuje také na pokles průměrných průtoků. Změny hydrologického režimu jsou viditelné, je-li pokles průměrných průtoků okolo 15 % a výsledek je považován za optimistický. Je-li výsledek poklesu průměrných průtoků v rozmezí 25-40 % je výsledek považován za negativní a dochází při něm k základním změnám.

7 Vliv hospodaření v povodí na odtokové poměry

Intenzita využívání krajiny je limitována přírodními a hospodářskými podmínkami oblasti. Rozvoj a využívání krajiny, které se posuzují měřítky po celá desetiletí, ovlivnili podle Rožnovského a Lischmanna (2002) celou oblast přírodních, hospodářsko-ekonomických, ale také sociálních procesů. Tyto procesy pak mění přímo či nepřímo podmínky pro vytváření odtoku z povodí. Důvodem jsou úpravy vlastnických vztahů, přizpůsobování venkova současně s pronikáním tržních vztahů v zemědělství, ale také realizace programů udržitelného využívání krajiny a její ochrany.

Změny využívání krajiny ovlivňují poměry hydrologické i vodohospodářské v rámci dílčího povodí. Hlavně u určitých typů malých povodí tyto zásahy mohou mít významný vliv na srážko-odtokový proces. V minulosti se intenzivně zatěžovala krajina zemědělskou výrobou, která se vyznačovala extrémně velkými plochami obhospodařovaných pozemků. Na druhou stranu se začal zvyšovat podíl lesních ploch a trvalých travních porostů. To umožňovalo realizaci vodochranných a půdoochranných opatření řešených například v rámci projektů komplexních pozemkových úprav, realizací programů na obnovu a revitalizaci venkovské krajiny či revizi ochranných pásem vodních zdrojů. Jejich funkční prvky podporují přirozené akumulaci a retenční schopnosti povodí s cílem zvýšit stabilitu oblasti a prevenci ochrany před extrémními hydrologickými jevy (dlouhodobá sucha, povodňové stavy).

7.1 *Orná půda*

Půdy se určují na základě zrnitosti, což je poměrné zastoupení dvou zrnitostních kategorií skeletu a jemnozeme. Půdy lze rozdělit na lehké (písečné půdy), středně těžké (hlinité půdy) a těžké (jílovité půdy).

Eroze na zemědělských půdách

Eroze půdy v zemědělství znečišťuje povrchový a podpovrchový odtok smyvem, odnosem a vyluhováním půdy. Stupeň znečištění vody se různí dle klimatických, geomorfologických, geologických, vegetačních či pedologických podmínek.

Kvítek a kol. (2005) tvrdí, jestliže intenzita a úhrn srážek převýší infiltraci vody do půdy, dojde k povrchovému odtoku, poté se snažíme o omezování povrchového odtoku a vodní eroze. Vodní eroze zapříčiní škody nejen na území, kde k ní dochází, ale i na území kde se projevuje lokálními nánosy či povrchovým smyvem, který vytváří erozní rýhy, rýžky a stružky, které soustředí povrchový odtok. Při častém opakování se snižuje retence půdy, zvyšují se ztráty půdních částic z povrchových vrstev půdy a poté dochází ke zhoršení jejích fyzikálních vlastností a ke snižování úrodnosti půdy.

Pro omezení povrchového odtoku a eroze se navrhuje takzvaná návrhová opatření, která dělíme na organizační (delimitace kultur a zatravnění, střídání plodin, velikost pozemku, rozmístění plodin v osevních postupech), agrotechnické (vrstevnicové obdělávání, mulčování, stabilizace povrchu půdy, setí do hrubé brázd, výsev do ochranné plodiny či strniště), technické (příkopy, průlehy, ochranné hrázky, protierozní nádrže, terasování, polní cesty s protierozním charakterem)

Parametry, které ovlivňují erozi, jsou podle Kvítka a kol. (2005) zatravnění, vhodná pozemková úprava, pásové pěstování plodin, vhodné osevní postupy.

Odtok na orné půdě

Při velkém povrchovém odtoku podle Janečka (2005) představují vysoké riziko na orných půdách vodní eroze v případě pěstování širokořádkových plodin, mezi které patří například kukuřice, slunečnice či brambory. Povrchový odtok může zapříčinit poškození ornice. Mulč neboli odumřelá biomasa rostlin na povrchu půdy má význam na regulaci povrchového odtoku. Povrchový odtok se snaží způsobit smyv zeminy, z velké části na svažitéch pozemcích.

Jestliže je půda nadměrně zásobena vodou, podle Kvítka a kol. (2005) se snažíme o odvodňování půdy. Odvodňování se provádí v takové míře, aby se zlepšila provzdušněnost půd, která působí na chemické, biologické a fyzikální vlastnosti půdy.

Jonáš a kol. (1990) tvrdí, že v zemědělských povodích je nadměrný povrchový odtok nežádoucí. Tento odtok je závislý na vegetativním pokryvu a hospodaření na půdě, na velikosti povodí a jeho tvaru, intenzitě srážek, na intenzitě vsaku a výparu, transpiraci rostlin a schopnosti zadržovat vodu v půdním profilu, na morfologických, geomorfologických a půdních poměrech v povodí.

7.2 Trvalý travní porost

Trvalé travní porosty - louky a pastviny řadíme dle Oduma (1977) do zemědělského půdního fondu. Přirozená travinná společenstva nalezneme tam, kde jsou srážky příliš malé pro udržení životní formy lesa. V přirozené středoevropské krajině jsou tyto formace omezeny na základě ekologických charakteristik na nezalesněná stanoviště.

Piro a Wolfová (2008) zmiňují, že v dnešní době je velmi moderní zatravnění, kdy se použije několik druhů trav a jetelovin. Byliny mají totiž výhodu, že dokáží zvýšit druhovou rozmanitost a tím zvyšují schopnost zadržovat povrchovou vodu. Podle Kvítka a kol. (2005) ke zvýšení evapotranspirační mohutnosti území dosáhneme vhodným výběrem ploch k zatravnění. Na kvalitu vody mají příznivý vliv zatravněvané orné půdy.

Dále Kvítek a kol. (2006) zmiňují, že ke zvýšení retenční schopnosti a infiltrační kapacity půdy je žádoucí změnit druh pozemku. Většinou dochází ke změně z orné půdy na louky a pastviny. Ke zvýšení retenční schopnosti dochází zejména proto, že dochází ke změně struktury horizontů půdy a objemu pórů zadržujících vodu.

Odtok na TTP

Trvalé travní porosty převádí podle Kvítka a kol. (2006) povrchový odtok v odtok podpovrchový. Tento odtok převádí nejen ze srážek, které dopadnou na zasakovací oblast, ale zejména z vody, která přitéká z území vyskytujících se ve vyšších polohách.

Návrhová opatření pro snížení vodní eroze a povrchového odtoku zmiňuje Kvítek a kol. (2005). Patří sem opatření organizační, kdy dochází ke změně tvaru luk, tak aby se povrchový odtok nesoustřeďoval v místech s drnovým fondem a pratotechnická opatření, kdy by se nemělo zemědělsky obhospodařovat území ve

svazích nad 12°. Z důvodu výskytu plevele a polehlých trav, by mohlo vést ke zvýšení či zrychlení povrchového odtoku.

7.3 Lesní porost

Dle Krešla (2001) je při srážkách dopadlá voda vázána na povrchu, jestliže jsou srážky intenzivní, dochází k větší intenzitě vsaku a přebytečná voda se hromadí v terénních mikrosníženinách. K většímu množství zadržované vody na povrchu půdy v lesích napomáhají mechový porost a pokrývný humus. Mají totiž větší smáčitelnou plochu. Retence srážkové vody na povrchu bývá kolem 1,0 – 7,5 mm a u mechorostů v rozmezí 5 – 15 mm.

Les je podle Kvítka a kol. (2006) velmi specifické prostředí. Vyspělý a hlavně zdravý les dokáže ovlivňovat odtok v krajině. S vyhovujícím zastoupením dřevin je les schopen pojmout a zachytit značné množství vody ze srážek, poté vodu vsáknout a následně zásobovat toky v povodí.

Míchal a kol. (1992) tvrdí, že lze lesy dělit na přírodě blízké lesy, které se bez lidských zásahů vývojově mění do vyspělejších forem a přírodě vzdálené lesy, které se bez lidských zásahů začínají rozpadat. Jestliže dojde ke spontánnímu vývoji, jsou tyto lesy nahrazovány odolnějšími lesy, které mají schopnost odolávat vnějším faktorům.

Odtok v lesích

Odtok v lesích se určuje jako množství atmosférických srážek, které mohou odtéct H_O . Tvar rovnice pro odtok atmosférických srážek z lesních porostů dle Krešla a Bartuňkové (1978):

$$H_O = H_C - (E_R + E_{tr} + E_P) \text{ (mm)}$$

Kde jednotlivé členy rovnice znamenají,

H_O - potenciální odtok

H_C - množství srážek

E_R - výpar z povrchu rostlin (intercepce)

E_{tr} - produktivní výpar z rostlin (transpirace)

E_P - výpar z půdy

8 Změny odtokových poměrů v ČR i zahraničí

Auer a kol. (2005) zmiňuje, že jsou odtokové poměry vytvářeny jako výslednice celkových přírodních poměrů. Na tyto přírodní poměry působí i vlivy člověka. Režim vodních zdrojů je závislý na proměnlivém příjmu atmosférických srážek. Tyto srážky se poté transformují v odtokovém procesu dalšími vlivy (výpar, morfologií krajiny, kvalitou půd či vegetačními poměry).

Věštník ministerstva životního prostředí (2008) se zmiňuje, že na změny odtokových poměrů působí efekty ochranných opatření. Tyto opatření snižují hodnoty přímého odtoku a zvyšují retence (potencionální, celkové přirozené). Jestliže se sníží průměrná doba opakování srážek, účinnost ochranných opatření v povodí se zesílí. Jako pozitivní efekt při uskutečnění ochranných opatření je zvýšení ekologické stability území.

Na odtokové poměry v řekách podle Auera a kol. (2005) může mít vliv dlouhodobých změn krajiny. Období, kdy dochází ke snižování či zvyšování odtoku, může být ovlivněno nepravidelnými úhrny srážek, kolísáním teplot, nebo také zásahy do krajiny. Studia, která se zabývají odtokovými poměry na řekách v závislosti využívání krajiny, mohou mít jediný problém, a to nedostatečné množství časových dat, které nepokryjí celé období změn v krajině. V České republice je možno datovat změny krajiny pomocí topografických map od roku 1836 (doba II. vojenského mapování). Z důvodu nezakládání měřících stanic zároveň, způsobilo kratší a nestejně dlouhé časové řady charakteristik odtokových a srážkových poměrů. Zdrojem údajů, pomocí kterých můžeme charakterizovat dlouhodobé změny srážek, mohou být restrukce z tzv. proxy dat (letokruhy stromů, dokumentární prameny).

Macklin a kol. (2006) tvrdí, že velikost průměrného odtoku je určována nejen rozložením srážek, ale i vlivem reliéfu. Největší odtok má západní část Evropy, z důvodu velkého množství hor a vyvýšenin. Nejmenší odtok vykazují poloostrovy jižní Evropy, přesněji jejich východní části, kde se nachází velké množství kotlin a nížin. V místech, kde na zem dopadne nejmenší množství srážek, a kde je velký výpar.

8.1 Odtokový součinitel v České republice a zahraničí

Faktory ovlivňující odtokový součinitel

Dle Sriwongsitanona a Taesombata (2011) hlavními faktory ovlivňující hodnotu odtokového součinitele v povodí jsou: půdní typ, sklon povodí a využívání půdy. Odtokový součinitel je zapotřebí pro výpočet odtoku vody v povodí pomocí tzv. racionální metody. Rovnice racionální metody $Q = CIA$, kde C je součinitel odtoku, ostatní parametry jsou I – intenzita srážek pro daný interval a Q – vrchol odtoku vody, A – oblast rozvodí. Odtokový součinitel musí mít hodnotu mezi nulou a jedničkou.

Plochy, které jsou relativně nepropustné (ulice, parkoviště) mají odtokový součinitel bližší jedné. Za to povrchy s vegetací zachycují povrchový odtok a povrchy umožňující pronikání dešťových srážek do půdy mají nižší odtokový součinitel. Plochy s větším sklonem mají vyšší součinitel odtoku z důvodu většího množství odtoku vody. Půdy, které mají vysoký obsah jílu, neumožňují infiltraci, a tudíž mají relativně vysoký odtokový součinitel. Zatímco půdy s vysokým obsahem písku mají vyšší míru infiltrace a nízký součinitel odtoku. Dle Sriwongsitanona a Taesombata (2011) lze rozlišit půdu do čtyř skupin, které poskytují informace užitečné pro určování odtokových součinitelů v povodí. Tyto čtyři skupiny půd jsou označeny jako A, B, C a D. Klasifikace dané půdy může být na základě popisu vlastností či na základě naměřené minimální míry infiltrace půdy. Charakteristiky čtyř skupin půd lze popsat jako:

Skupina A: Hluboký písek, hluboké spraše, agregované půdy.

Skupina B: Malé spraše, písčité hlíny.

Skupina C: Hliněné hlíny, mělké písčité hlíny, zeminy s nízkým obsahem organických látek, půda obvykle s vysokým obsahem jílu.

Skupina D: Půdy, které výrazně bobtnají, když jsou mokré, těžké plastické jíly, některá slaniska.

Česká republika

Český hydrometeorologický úřad udává, že na velikostech odtokových součinitelů je možné prokazovat externitu povodní. Odtokový součinitel je poměr mezi odtokovou výškou [mm] a výškou srážek v povodí [mm].

Odtokovou výšku získáme ze vztahu: $R = (W * 1000) / A$ [mm]

Kde členy rovnice znamenají,

W - objem povodňové vlny v milionech m^3

A - plocha povodí v km^2

Dle Kuříka a Hrádka (2002) byl počátkem výpočtu objemu pro jednotlivá povodí čas, kdy průtok začal výrazně stoupat. Ukončením výpočtu bylo, když průtok v toku dosáhl dlouhodobého průměrného průtoku. Jestliže došlo k ovlivnění poklesové větve vlny dalšími srážkami či manipulacemi na nádržích, byly průtoky na poklesové větvi nahrazeny plynulým poklesem (odhadem výtokové čáry). Z těchto důvodů lze považovat výpočet odtokového součinitele pouze za orientační hodnoty.

Odtokový součinitel získáme ze vztahu: $\varphi = W_{pv} / P$

Kde členy rovnice znamenají,

φ - objemový součinitel odtoku

P - srážka

W_{pv} - objem povodňové vlny

Hodnoty odtokových součinitelů dle tabulky č. 1 jsou nejvyšší v povodích, na kterých byly zaznamenány Českým hydrometeorologickým úřadem nejvyšší srážky za rok 2002. Největší zaznamenaný součinitel odtoku byl v povodí Malše, kde za přívalových srážek odteklo více než 70% vody. V první srážkové vlně odteklo 65% vody a ve druhé srážkové vlně odteklo 90% vody. Prokázalo se, že silné nasycení povodí srážkami první vlny zamezilo absorbování dalších srážek. V povodí Vltavy v Praze odteklo necelých 50% objemu srážek, v Ústí nad Labem odteklo necelých 40% objemu vody ze srážek.

Id	Profil	Tok	API 6. 8. [mm]	API 11. 8. [mm]	Srážky [mm]	Odtok [mm]	koeficient odtoku
0845	Jablonec nad Jizerou	Jizera	36.8	30.5	203.8	72.5	0.36
0910	Železný Brod	Jizera	31.7	26.2	121.4	37.5	0.31
1018	Předměřice	Jizera	34.8	28.0	83.1	13.8	0.17
1040	Brandýs nad Labem	Labe	40.7	31.0	78.5	8.8	0.11
1110	Březi	Vltava	31.6	119.1	273.6	165.0	0.60
1120	Kaplice	Malše	39.9	174.7	324.9	240.1	0.74
1125	Ličov	Černá	36.7	209.0	395.2	299.0	0.76
1126	Pořežín	Malše	37.2	176.9	340.0	251.5	0.74
1130	Řimov	Malše	35.8	170.7	330.9	238.4	0.72
1150	Roudné	Malše	31.6	161.2	321.8	223.6	0.69
1151	České Budějovice	Vltava	31.7	133.5	289.5	185.4	0.64
1310	Klenovice	Lužnice	38.9	104.8	219.5	119.6	0.54
1330	Bechyně	Lužnice	41.5	102.1	213.5	107.3	0.50
1380	Sušice	Otava	31.3	117.8	280.1	141.6	0.51
1430	Němětice	Volyžka	38.1	113.0	250.6	148.4	0.59
1500	Heřmaň	Blanice	47.8	119.3	266.7	154.1	0.58
1510	Písek	Otava	39.3	113.8	250.8	136.4	0.54
1520	Dolní Ostrovec	Lomnice	37.2	85.8	182.7	106.5	0.58
1530	Varvažov	Skalice	26.9	70.2	174.1	70.6	0.41
1610	Zruč nad Sázavou	Sázava	40.5	40.2	144.0	35.2	0.24
1672	Nespeky	Sázava	43.8	50.7	141.9	32.4	0.23
1690	Zbraslav	Vltava	38.5	92.0	210.0	105.6	0.50
1730	Stříbro	Uhlavka	33.9	62.6	117.1	37.7	0.32
1790	Staňkov	Radbuza	27.2	60.6	134.1	42.8	0.32
1799	Lhota	Radbuza	29.5	70.7	152.6	61.1	0.40
1820	Klatovy	Uhlava	38.2	109.8	250.6	104.3	0.42
1830	Štěnovice	Uhlava	32.7	95.7	222.6	96.8	0.43
1860	Plzeň-Bílá Hora	Berounka	32.0	75.6	156.9	60.1	0.38
1870	Koterov	Uslava	28.1	78.3	218.3	110	0.50
1880	Nová Huť	Klabava	23.9	74.8	226.9	100.6	0.44
1900	Plasy	Střela	22.5	45.5	126.6	12.8	0.10
1910	Liblín	Berounka	28.4	70.6	164.7	64.4	0.39
1960	Čenkov	Litavka	23.8	71.1	204.3	73.2	0.36
1973	Beroun	Litavka	21.6	58.9	181.5	49.8	0.27
1980	Beroun	Berounka	27.7	66.3	163.9	65.9	0.40
2001	Praha-Chuchle	Vltava	35.0	82.9	193.9	92.5	0.48
2210	Ústí nad Labem	Labe	36.2	61.8	147.1	54.7	0.37
2260	Trnice	Bílina	36.5	32.5	142.6	24.5	0.17
3200	Hrádek	Lužická Nisa	42.3	36.9	156.9	51.9	0.33
3230	Frydlant	Smědá	36.2	30.6	205.0	120.8	0.59
4290	Janov	Moravská Dyje	28.7	65.2	146.8	47.4	0.32
4300	Podhradí	Dyje	37.7	88.7	180.4	70.1	0.39
4320	Vysočany	Želetavka	24.9	72.8	148.9	45.2	0.30
4340	Vranov	Dyje	34.9	84.2	172.3	62.7	0.36
4350	Znojmo	Dyje	34.6	81.4	166.4	56.0	0.34
4370	Trávní Dvůr	Dyje	34.2	76.1	150.6	36.8	0.24
4650	Dvorce	Jihlava	26.9	55.3	151.5	47.3	0.31

Tabulka 1: Průměrné hodnoty ukazatele předchozích srážek a srážek na povodí vybraných, Zdroj: Český hydrometeorologický úřad

V České republice jsou maximální hodnoty součinitele odtoku větší než 50%. Tyto maximální hodnoty můžeme nalézt v Moravskoslezských Beskydech (Morávka 59%, Ostravice 55%), na horním toku Moravy (56%) či na Labi nad Hostinným (54%). Nejnižší hodnoty v České republice mají přítoky Labe a dolního toku Vltavy, kde se součinitel odtoku pohybuje mezi 10 až 15%. Z větších toků má

nižší odtokový součinitel Dyje (v ústí do Moravy 18%, nad Novomlýnskými nádržemi 14%)

Vodní a odtokový režim

Přirozený režim odtoku se projevuje vysokou vodností v jarních měsících (v době kdy dochází k tání sněhu ve vyšších oblastech povodí). Ke zvýšení vodnosti způsobené vytrvalými dešti dochází na přelomu června a července a jsou nejvíce patrné na Bečvě. Ke konci léta, na podzim a v zimě jsou typické nízké odtoky. Jestliže převládají dlouhé zimy, které jsou charakteristické oblevami, dochází ke zvýšení odtoku.

Dle názoru Demka (1992), čím vyšší nadmořská výška, tím se období kulminace jarních povodní opožďuje a může doznívat i v květnu. Charakteristikou Bečvy a horního toku Moravy je opožďování jarních povodní. V nížinách či pahorkatinách odtaje sníh během února a března. Rozkolísanost průtoků nastává u toků na hornatém území severní a severovýchodní Moravy. Proto lze povodí Moravy rozdělit do tří odlišných částí:

1) Část beskydsko-karpatská, která vyplňuje východní část povodí Moravy. Roční úhrny srážek se zde pohybují od 600 mm do 1000 mm. Specifický odtok zde klesá z hodnot, které dosahovaly 20 l/s.km² na 3 l/s.km² v Dolnomoravském úvalu. Zalesnění zde nestačí upravit extrémní odtoky.

2) Jesenická oblast, která vyplňuje pramennou část povodí Moravy. Roční úhrny srážek se zde pohybují okolo 650 mm, ale můžou překročit i 1000 mm. V místech dobrého zalesnění přesahují specifické odtoky i 10 l/s.km², ale směrem k Hornomoravskému úvalu klesají pod 5 l/s.km².

3) Západní oblast, kterou tvoří povodí Dyje a západní část povodí hlavního toku Moravy. Roční úhrny srážek se zde pohybují okolo 700 mm. Avšak v místech Českomoravské vrchoviny srážky nedosahují 600 mm a v nejúrodnější části Dyjsko-svrateckého úvalu nedosahují srážky ani 500 mm. Hodnoty specifického odtoku se pohybují v mezích od 3 do 5 l/s.km² a v sušších oblastech může specifický odtok klesnout i pod 3 l/s.km².

Typy odtokového režimu

V České republice se podle Blažka a kol. (2006) vyskytují tři typy odtokového režimu:

Oblast vrchovinno-nížinná, která zaujímá nížinné toky řek. Je specifická tím, že vysoký odtok způsobují nejen srážky v jarních měsících, ale i značné množství zimních srážek, které jsou nejčastěji dešťové. Za období jara a zimy odeče 60% celkového celoročního množství vody. Zařazujeme sem toky středních Čech, hlavně přítoky Sázavy a středního a dolního Labe.

Oblast horská sněhová, která se vyznačuje jako hlavní zdroj vodnosti na jaře, kdy dochází k tání sněhu. V této oblasti se vyskytují toky pramenící v horách či jen jejich horské pesty (Metuje, Vlatava nad Berounkou, Lužnice, Otava). Maximum vodnosti nastává mezi březnem a květnem. Minimum vodnosti nastává ke konci zimy, vyjimečně může nastat na podzim. Za období od prosince do května odeče 50% až 60% celkového celoročního množství vody.

Oblast horská sněhovodešťová, která se na našem území vyskytuje jen vyjimečně. Projevuje se jen v Beskydech v povodí Olše. Tato oblast spojuje hlavní zdroj odtoku z tajícího sněhu s vydatnými srážkami. Hlavním srážkovým obdobím je jaro a léto. Maximum vodnosti nastává v červnu a červenci.

Slovenská republika

Rozdělení území Slovenské republiky na úmoří a výškovou členitost, dle slovenského hydrometeorologického ústavu, je výsledkem geologického a geomorfologického vývoje. Tento vývoj se projevuje i ve tvorbě dalších podmínek, které jsou důležité pro odtokové poměry. Například se podílí na rozhodování o vývoji dalších činitelů, o půdě a vegetaci, nebo vytváří prostředí, kde dochází k odtoku srážkových vod. Mezi nejdůležitější zdroje vodnosti slovenských řek jsou atmosférické srážky, mnohem méně se podílejí na napájení vodních toků podpovrchové vody.

Povodí	Q _a	H _s	H _o	φ
	m ³ /s	mm	Mm	%
Váh	152,0	926	451	49
Nitra	24,5	665	151	23
Hron	55,7	805	323	40
Ipeľ	21,0	654	129	19
Slaná	20,9	744	207	28
Hornád	32,2	710	234	33
Poprad	25,6	819	429	52
Bodrog	110,2	696	306	44

Tabulka 2: Bilance oběhu vody ve vybraných povodích Slovenska, Zdroj: Slovenský hydrometeorologický ústav

Ve Slovenské republice jsou maximální hodnoty součinitele odtoku větší než 50% pouze v povodí Poprad. Nejnižší hodnoty mají povodí Ipeľ a Nitra, kde se součinitel odtoku pohybuje mezi 19 až 23 %.

Dle Slovenského hydrometeorologického ústavu na území Slovenska v dlouhodobém období spadne přibližně 753 mm srážek. Povodí Váh patří mezi nejvlhčí povodí (926 mm), jako nejsušší povodí je považován Ipeľ (654 mm). Z celého Slovenska odteče průměrně 34,7 % spadlých srážek za rok. Solzgay a kol. (1994) tvrdí, že plošné rozdělení odtoků na Slovensku se dá přehledně vyjádřit mapou izolinií průměrných ročních specifických odtoků. Na jeho prostorovou proměnlivost má rozhodující význam vertikální členitost ale i další činitelé.

Slovenské povodí Dunaje a Visly se dělí dle Solzgaye a kol. (1994) na čtyři hydrologicky odlišné oblasti:

1) Oblast východoslovenská, která je charakteristická rozsáhlou oblastí Východoslovenské roviny, či horskými částmi, na nichž se objevují strmá odlesněná úbočí. V této oblasti se průměrná výška ročních srážek pohybuje pod 800 mm a v nížinné oblasti klesá pod 650 mm. Průměrné roční specifické odtoky na východoslovenské nížině klesají většinou pod $3 \text{ l.s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$.

2) Oblast jihoslovenská nížinná, která se vyskytuje na málo členitém území, to je Podunajská nížina. V této oblasti průměrná výška ročních srážek klesá pod 650 mm až k 600 mm. V nejjihnějších částech může výška ročních srážek klesnout i pod

550 mm. Specifické odtoky bývají nižší než $3 \text{ l.s}^{-1}.\text{km}^{-2}$. Hlavním zdrojem vodnosti v této oblasti jsou ve značné míře zásoby podzemních vod.

1) Oblast vysokohorská je považována za největší a hydrologicky nejdůležitější, zahrnuje horní a střední části povodí největších západoslovenských řek (Váhu, Nitru, Hronu a Vislu). Tato oblast je velmi členitá s velkými výškovými rozdíly a vyskytují se zde nejvyšší úhrny srážek na Slovensku, které mohou překročit i 1000 mm. Horské hřebeny jsou z velké části odlesněny, proto zde nastává značná erodovatelnost. Specifické odtoky převyšují hodnoty $10 \text{ l.s}^{-1}.\text{km}^{-2}$. Ve Vysokých Tatrách je to až $60 \text{ l.s}^{-1}.\text{km}^{-2}$.

2) Povodí řek Ipl'u a Slané, kde je území značně členité a velká část území, která se prudce sklání k jihu je sopečného původu. V této oblasti průměrná výška ročních srážek nepřekročí 1000 mm. Specifické odtoky bývají nižší než $10 \text{ l.s}^{-1}.\text{km}^{-2}$ někdy i $5 \text{ l.s}^{-1}.\text{km}^{-2}$. Z důvodu velmi svažitých území, která jsou značně odlesněna, zde vzniká významná eroze.

Odtokový režim

O přirozeném hydrologickém režimu a rozdělení vodnosti během roku rozhoduje dle Solzgaye a kol. (2007) na Slovensku množství vody, která je nahromaděna ve sněhové pokrývce a doba tání. Z toho vyplývá, že toky s podobným rozdělením vodnosti během roku vznikají v oblastech, která jsou podobná geomorfologicky a klimaticky. Na Slovensku rozlišujeme podle rozdělení vodnosti tři oblasti:

1) Oblast vrchovinno-nížinnou, která je charakteristická dešťovosněhovým typem odtoku. Tato oblast odvodňuje nižší pohoří, nížiny, vrchoviny a většinu kotlin Slovenska. Měsíce březen, duben, někdy i listopad a prosinec jsou bohaté na vodu. Maximum vodnosti nastává v zimě a na jaře (více než 60% celoročního odtoku). Nejvyšší měsíční průtoky bývají v březnu, minimální v září. Hodnoty specifického odtoku se pohybují od $1,5$ do $10 \text{ l.s}^{-1}.\text{km}^{-2}$ a koeficient odtoku je 10 až 30%.

2) Oblast středohorskou, která je charakteristická sněhovodešťovým typem odtoku. Tato oblast zaujímá větší část území Slovenska. Duben až červen jsou měsíce s nadprůměrnou vodností ve vyšších polohách, v nižších polohách jsou to měsíce březen až květen. Maximum vodnosti nastává v dubnu. Minimum vodnosti

připadá na konec zimy. Tato oblast zahrnuje povodí toků stékajících z hor (Váh, Hron). Hodnoty specifického odtoku se pohybují od 15 do 30 $\text{l.s}^{-1}.\text{km}^{-2}$ a koeficient odtoku je 40 až 60%.

3) Oblast vysokohorskou, která je charakteristická přechodným sněhovým typem odtoku. Maximum vodnosti nastává v dubnu až červenci. Nejvyšší měsíční průtoky bývají v květnu. Minimální vodnost připadá na leden a únor. Hodnoty specifického odtoku se pohybují od 30 do 60 $\text{l.s}^{-1}.\text{km}^{-2}$ a koeficient odtoku je 70 až 80%.

9 Závěr

V této práci bylo zjištěno, že pokud na subpovodí převažuje orná půda, můžeme předpokládat výskyt velkého povrchového odtoku. Malý či žádný vegetační pokryv na orné půdě zachytí velice malé množství vody. Les nebo trvalý travní porost má větší infiltraci díky mohutné vegetaci a spleťtému kořenovému systému rostlin. Díky infiltraci mají trvalé travní porosty, louky či pastviny větší schopnost přetvářet povrchový odtok na odtok podpovrchový. To vede ke zmenšení povrchové eroze a zmenšení povodní z důvodu, že dojde ke zpomalení vody, která poté do centrálního toku dorazí opožděně v menších dávkách. Les je nejlepší land use pro zadržování vody a minimalizaci erozí. Díky hlubšímu kořenovému systému a lepší kvalitě humusu má větší schopnost vsakovat vodu les listnatý. Les je také velice schopný zachycovat ve velkém množství srážkovou vodu a následně je schopen částečné množství vody vrátit zpět do ovzduší evapotranspirací.

V této práci byl porovnán odtokový režim a odtokový součinitel v České republice a Slovenské republice. V České republice se vyskytují tři typy odtokového režimu. Nejvíce odteče za období jara a zimy z celkového celoročního množství vody z oblasti vrchovinné-nížinné. Do těchto oblastí zařazujeme toky středních Čech a toky středního a dolního Labe. V České republice jsou maximální hodnoty součinitele odtoku větší než 50%. Tyto maximální hodnoty můžeme nalézt v Moravskoslezských Beskydech, na horním toku Moravy či na Labi nad Hostinným. Na Slovensku rozdělujeme odtokový režim také na tři typy. Nejvíce vody odteče ve vysokohorské oblasti, přibližně 70 – 80%. Na Slovensku jsou maximální hodnoty součinitele odtoku větší než 50 % pouze na povodí Poprad. Jinak jsou hodnoty součinitele odtoku vždy pod 50 %.

10 Seznam literatury

- 1) Auer, I., Bohm, R., et al.: HISTALP — historical instrumental climatological surface time series of the Greater Alpine Region. 2007. *Int J Climatol* 27 (1):17–46 s.
- 2) Bedient, P. C., Huber, W. C. *Hydrology and floodplain analysis – Third Edition*. Prentice Hall, London 2002, 763 s.
- 3) Benetin, J. *Pohyb vody v zemině*. Vydavatelstvo SAV, Bratislava 1958, 207 s.
- 4) Beven, K. J.: *Rainfall-runoff modelling: The Primer*. Chichester, J. Wiley and Sons, 2001, 360 s.
- 5) Blažek, V., Cílek, V., Ehrlich, P., Frank, D., Gregel, J., Hladký, J., Hofmeister, T., Janský, B., Kakos V., Kender, J., Kopp, J., Král, M., Krátká, M., Krátký, M., Kvítek, T., Lídlová, D., Langhmaier, J., Maníčka, J., Matoušek, V., Matoušková, M., Nesměrák, I., Němec, J., Nietscheová, J., Plesník, J., Pokorný, D., Punčochář, P., Řádek, T., Satrapa, L., Šámalová, Z., Šťastný, B., Vrabec, M., Vylita, T., Zeman, O.: *Voda v České republice*. Pro Ministerstvo zemědělství vydal Consult, 2006, 258 stran, ISBN 80-903482-1-1.
- 6) Bratrych, V.: *Živel Voda*. Vydala © Agentura Koniklec v Praze, Praha 2005, 295 s.
- 7) Brutsaert, W.: *Hydrology an introduction*. Cambridge University Press, Cambridge 2005, 605 s.
- 8) Cunge, J.: ANSWERS-2000, Runoff and sediment transport model., *Journal of Environmental Engineering*, January 1998, 77 s.
- 9) Daňhelka, J.: *Operativní hydrologie, Hydrologické modely a nejistota předpovědím* Praha, 2007, ISBN 978-80-86690-48-3
- 10) Davie, T.: *Fundamentals of hydrology*. Routledge, New York, 2008, 200 s.
- 11) Demek, J.: *Obecná geomorfologie*. Akademia, Praha 1987. In: Sklenička, P. *Základy krajinného plánování*. Vydalo nakladatelství Naděžda Skleničková, Praha 2003, 321s.
- 12) Donigian, A, Jr., Imhoff, J., Ambrose, R.: *Modeling watershed water quality*, v Singh, VP., *Environmental hydrology*, U.S. Government, 1995, 377-426 s.7
- 13) Domenico, P. A. Schwartz, F.W. (1998): *Physical and Chemical Hydrogeology*, 2nd Edition, John Wiley and Sons, New York.
- 14) Fetter, C. W.: *Applied Hydrogeology*, Prentice Hall Inc., Upper Saddle River, New Jersey, 2001, 598 s.

- 15) Freebaim, D. M., Wockner, G. H., Silbum, D. M., Agricultural Water Management, Effects of catchment management on runoff, water quality and yield potential from vertisols, 1986, 19 s.
- 16) Goldstein, R. A., Gherini, S. A., Chen, C.w., Mok, L. and Hudson, R.J.M., Integrated acidification study (ILWAS): a mechanistic ecosystem analysis. Phil. Trans. R. Soc. London B 305,1984, 409-425.
- 17) Gordon, L., J., Peterson, G., D., Bennette, E., M.: Agricultural modifications of hydrological flows create ecological surprises, Trends in Ecology and Evolution, vol. 4, 2008, s. 211 – 219
- 18) Herrmann, A., Koll, J., Maloszewski, P., Rauert, W. and Stichler, W.: Water balance studies in a small catchment on paleozoic rock using environmental isotope tracer techniques. IAHS Publ., 1986, 156 s.
- 19) Hrabě, F., Buchgraber, K.: Pícninářství, Travní porosty, MZLU Brno, 2004, 154 s.
- 20) Hrádek F., Kuřík P.: Hydrologie. FLE ČZU Praha, 2002
- 21) Hrádek, F., Kuřík, P.: Hydrologie. Česká zemědělská univerzita v Praze, 2008, 280 s., ISBN 978–80–213–1744–4.
- 22) Hubačíková, V.: Hydrologie. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, 2009.
- 23) Janeček, M. Ochrana zemědělské půdy před erozí. ISV nakladatelství, Praha 2005, 195 s.
- 24) Jonáš, F., a kolektiv Pozemkové úpravy. © Státní zemědělské nakladatelství, Praha 1990, 512 s.
- 25) Karimipour, F., Ghandehari, M., Ledoux, H., Watershed delineation from the medial axis of river network, Computers and Geosciences, 2013, 132-147
- 26) Kliment, Z., Matoušková, M.: Changes of runoff regime according to human impact on the landscape. Geografie-Sborník ýGS, 111, p.3, Praha 2006, 292-304 s.
- 27) Klute, A. (1986) Water retention: laborator methods. In: A. Klute (ed.) Methods of soil analysis. Part 1. Physical and mineralogical methods. American Society of Agronomy – Soil Science Society of America, Madison, Wisc., pp. 635–662.
- 28) Kněžek M., Kessler J.: Metody Výpočtu základního odtoku., 2004, - http://www.chmi.cz/hydro/opzv/publikace/vypocet_zakl_odt.htm
- 29) Kos, Z., Říha, J., Vodní hospodářství 10. Skript. Praha ČVUT: 2000.
- 30) Kravčík, M., Pokorný, J., Kohutiari, J., Kováč, M., Tóth, E.: Voda pre ozdravenie klímy – nová vodná paradigma, Krupa Print, Žilina 2007, MVO Ľudia a voda,

- Združenie miest a obcí Slovenska, Obecně prospěšná společnost ENKI a Nadácie pre podporu občianskych aktivít, 2010, 94 s., ISBN 978-80-969766-5-2
- 31) Kravka, M.: Lesnického a krajinářské hydrologie a hydrauliky. Brno: Mendelova Zemědělská a lesnické univerzita, 2009, 2432.
 - 32) Krešl, J. Hydrologie. Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, Brno 2001, 128 s.
 - 33) Krešl, J., Bartuňková, P. Lesnické meliorace cvičení, Státní pedagogické nakladatelství Praha, Praha 1978, 144 s.
 - 34) Kříž, H., Hydrologie podzemních vod. Praha: Academia, 1983, 289 s.
 - 35) Kříž, H.: Hydrologie podzemních vod. Československá akademie věd, Praha, 1983, 292 s.
 - 36) Kutílek, M., 1978: Vodohospodářská pedologie [Soil hydrology]. SNTL/ALFA, Praha, Bratislava, 296 s.
 - 37) Kvítek, T. a kolektiv Využití a ochrana vodních zdrojů. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích Zemědělská fakulta, České Budějovice 2005, 169 stran.
 - 38) Kvítek, T. a kolektiv Zemědělské meliorace. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích Zemědělská fakulta, České Budějovice 2006, 164 s.
 - 39) Langhammer J., Povodně a změny v krajině. PřF UK a MTP, Praha, 2007, 350 s.
 - 40) Macklin, M. G., Benito, G., Gregory, K. J., Johnstone, E., Lewin, J., Michczyńska, D. J., Soja, R., Starkel, L., Thomdycrafr, V. R., Past hydrological events reflected in the Holocene fluvial record of Europe, Catena, 2006, 145-154 s.
 - 41) Matoušek, V.: Poznávání odtokových vlastností malých povodí za regionálních dešťů, Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, veřejná výzkumná instituce, 2010, 103 s. ISBN 978-80-87402-08-5
 - 42) Míchal, I. a kolektiv Obnova ekologické stability lesa. ACADEMIA, Praha 1992, 172 s.
 - 43) Němec, J. Hydrologie. Praha: Státní zemědělské nakladatelství, 1965., 91 s.
 - 44) Odum, E. P., Základy ekologie, Academia Praha, 1977, 733 s.
 - 45) Pelikán, V., Ochrana podzemních vod. SNTL Praha, 1983
 - 46) Petříček, V., Cudlín, P., Máme bojovat proti povodním?, Životné prostredie, Ústav krajinném ekologie SAV Bratislava, vol. 4, 2003, s. 22 – 35
 - 47) Petržílek, B., Kočárek, E. Základy geologie, vydala PRÁCE, vydavatelství ROH, Praha 1959, 570 s.

- 48) Plecháč, V.: Úloha vody v dlouhodobém vývoji ČSR, plánované hospodářství č. 5 a č. 6 Praha 1974, 26-33 s.
- 49) Piro, Z., Wolfová, J. Conservation of the carpathian grassland diversity. Projekt UNDP-GEF 2255/1705, © FOA Nadační fond pro ekologické zemědělství, Praha 2008, 108 s.
- 50) Rožnovský, J., Litschmann, T.: XIV. Česko-slovenská bioklimatologická konference, Lednice na Moravě, 2002, 352-356 s., ISBN 80-85813-99-8
- 51) Říha, J.: Voda a společnost, SNTL – Nakladatelství technické literatury, n. p., 1987, 340 s.
- 52) Schneider, S. H., In Encyclopedia of Climate and Weather. Water resources. New York: Oxford University Press, č. 2, 1996, 817-823 s.
- 53) Serrano, E. S.: Hydrology of Engineers, Geologists and Environmental Professionals. HydroScience Inc. Lexington, Kentucky, 1997, 468 s.
- 54) Shaw, E. M. Hydrology in Practice. London: Spon Press, 1994.
- 55) Sklenička, P. Základy krajinného plánování. Vydalo nakladatelství Naděžda Skleničková, Praha 2003, 321 s.
- 56) Sommer, M.: Aplikovaná hydrologie. Brno: Rektorát Vysokého učení technického, 1973, 247 s.
- 57) 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.
- 58) Szolgay, J., Hlavčová, K., Lapin, M., Parajka, J., Kohnová, S.: Vplyv zmeny klímy na odtokový režim na Slovensku, 2007, 160 s., ISBN 978-80-87071-50-2
- 59) Šilar, J.: Hydrologie v životním prostředí. Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, 1996, 136 stran, ISBN 80-7078-361-3.
- 60) Tesař, M., Šír, M., a Kubík, F., 1990: Estimation of surface runoff using simulation of the soil water movement [Stanovení povrchového odtoku z přívalového deště obecného průběhu aplikací numerické simulace pohybu vody v zemině]. Vodní hospodářství, 4: 149–153 s.
- 61) Tölgyessv, J. a kol.: Chémia, biológia a toxikológia vody a ovdušia. Vydavateľstvo slovenskej akademie vied, Bratislava 1984, 532 s.
- 62) Věstník Ministerstva životního prostředí č. 11/2008, Ministerstvo životního prostředí, Praha 10, 2008

63) Vyhláška Ministerstva zemědělství č. 431/2001 Sb. - o obsahu vodní bilance, způsobu jejího sestavení a o údajích pro vodní bilanci

11 Seznam obrázků

- 1) Obr. 1: Rozdělení zásob vody na Zemi
- 2) Obr. 2: Malý a velký hydrologický cyklus
- 3) Obr. 3: Členy hydrologického cyklu
- 4) Obr. 4: Hydrologická bilance povodí
- 5) Obr. 5: Různé způsoby rozčlenění hydrogramu na přímý a základní (podzemní) odtok
- 6) Obr. 6: Teorie tvorby odtoku
- 7) Obr. 7: Vznik povrchového odtoku
- 8) Obr. 8: Podpovrchová voda
- 9) Obr. 9: Darcyho zákon

12 Seznam tabulek

- 1) Tabulka 1: Průměrné hodnoty ukazatele předchozích srážek a srážek na povodí vybraných
- 2) Tabulka 2: Bilance oběhu vody ve vybraných povodích Slovenska