

JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH
ZEMĚDĚLSKÁ FAKULTA

Bakalářská práce

Faktory ovlivňující odtokovou odezvu povodí na účinnou srážku

Studijní program: B4106 Zemědělská specializace

Studijní obor: Pozemkové úpravy a převody nemovitostí

Katedra: Katedra krajinného managementu

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

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Václav Bystřický PhD.

Autor: Martina Drozdová

2014

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Martina DROZDOVÁ**
Osobní číslo: **Z10198**
Studijní program: **B4106 Zemědělská specializace**
Studijní obor: **Pozemkové úpravy a převody nemovitostí**
Název tématu: **Faktory ovlivňující odtokovou odezvu povodí na účinnou srážku**
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 srážko-odtokových epizod. Povodňové situace jsou problémem, který způsobuje velké majetkové i jiné škody. Tato rešerše se bude zabývat faktory, které ovlivňují odezvu povodí na srážku, čímž zlepšují či naopak zhoršují povodňový potenciál daného povodí. Rešerše bude zpracována tak, aby sloužila jako podklad pro případné zpracování diplomové práce zabývající se touto problematikou.

Popis vzniku srážko-odtokových epizod.

Složky odtoku a jejich geneze.

Rozdělení srážko-odtokových epizod.

Popis faktorů ovlivňujících odtok při srážkové epizodě.

Možnosti využití těchto faktorů pro protipovodňovou a protierozní ochranu.

Rozsah grafických prací: dle potřeby
Rozsah pracovní zprávy: 40 stran textu
Forma zpracování bakalářské práce: tištěná/elektronická
Seznam odborné literatury:

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

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
Katedra krajinného managementu

Datum zadání bakalářské práce: 8. března 2012

Termín odevzdání bakalářské práce: 15. dubna 2013




Ing. Karel Suchý, Ph.D.

proděkan pověřený vedením ZF

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

L.S.



prof. Ing. Tomáš Kvítek, CSc.
vedoucí katedry

V Českých Budějovicích dne 15. března 2012

Prohlášení

Prohlašuji, že svoji bakalářskou práci Faktory ovlivňující odtokovou odezvu povodí na účinnou srážku jsem vypracovala samostatně pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu citované literatury.

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

V Českých Budějovicích dne 19. 11. 2013

.....
Martina Drozdová

Poděkování

Ráda bych tímto poděkovala vedoucímu bakalářské práce Ing. Václavu Bystřickému, PhD. za cenné rady, připomínky a trpělivost při zpracování bakalářské práce. Dále bych také ráda poděkovala své rodině, za pomoc a trpělivost během vypracování této práce.

Abstrakt

Tato bakalářská práce je zaměřena na problematiku činitelů, které ovlivňují odtokovou odezvu z povodí. Obsahuje literární rešerši, která se zabývá hydrologickým cyklem, charakteristikami srážek, povrchovým odtokem a protipovodňovou a protierozní ochranou. Cílem práce je obecné zhodnocení faktorů, které nepříznivě ovlivňují odtok z povodí.

Klíčová slova: srážky, odtok, faktory, protierozní a protipovodňová ochrana

Abstract

This bachelor thesis is focused on the factors that affect the drainage basin of the response. It contains a literature review, which deals with the hydrological cycle characteristics of precipitation, surface runoff and flood and erosion protection. The aim of the work is to evaluate the factors that adversely affect the runoff from the catchment.

The key words: precipitation, runoff, factors, erosion control and flood protection

Obsah

1. Úvod.....	8
2. Hydrologický cyklus	9
3. Atmosférické srážky	10
4. Složky celkového odtoku	12
5. Povrchová voda a odtok	14
6. Podpovrchový odtok	15
7. Podzemní vody a odtok.....	16
7.1 Klasifikace podzemních vod.....	16
8. Drenážní systémy.....	17
9. Srážko-odtokové epizody.....	18
9.1 Charakteristika srážko-odtokového procesu	18
9.2 Charakteristika srážko-odtokových modelů.....	19
10. Popis faktorů ovlivňující odtok.....	24
Studie z jižního Španělska.....	27
Studie z Číny	28
Studie ze severního Vietnamu	28
11. Eroze	30
11.1 Protierozní opatření	31
11.2 Protierozní opatření v CHKO Orlické hory	34
12. Povodně.....	35
12.1 Protipovodňová opatření	35
13. Závěr	38
14. Seznam literatury	39

1. Úvod

Voda a její přítomnost tvoří jednu ze základních podmínek pro život na naší planetě. Je to nenahraditelná složka v krajině, která je prostorově i časově nerovnoměrně rozložená. Bez vody není života, organismy ve vodě vznikly a také jí ke svému životu potřebují. Voda je drahocenná a není ničím nahraditelná, je důležitá a nepostradatelná, ale ne vždy je voda naším přítelem. Někdy se z ní naopak stává krutý nepřítel, který bere vše, co se mu postaví do cesty.

Srážky jsou významným činitelem pro tvorbu povodní nebo období sucha. V období sucha je odtok tvořen zásobami podzemní vody, při vyšší intenzitě srážkových úhrnů je odtok tvořen rychlým povrchovým a podpovrchovým odtokem. Odtok vody z povodí je ovlivněn výměrou a umístěním orné půdy, trvalých travních porostů a lesů. Velkou roli také hraje složení horninového podloží, složení půdy a její vlastnosti.

Cílem této práce je seznámení s hydrologickým cyklem, vznikem srážek a rozdělením odtoku na jednotlivé složky. Dále se zabývá charakteristikou srážko-odtokových modelů, ty nám pomáhají definovat faktory, které ovlivňují odtokovou odezvu povodí. V praxi se stanovují podle měření průtoku v jednotlivých vodoměrných profilech toku dané oblasti. Podrobněji se zabývá jednotlivými faktory, které ovlivní odtok. Na každém povodí je mnoho činitelů, které velice významně ovlivňují odtokové poměry. Mezi nejvýznamnější patří tvar povodí, druh vegetace a v neposlední řadě i sklon terénu.

Bakalářská práce se věnuje i protierozní a protipovodňové ochraně, která je nesmírně důležitá ke snížení nebo úplné eliminaci škod způsobených povodní a erozí. Eroze je celosvětovým problémem, kdy nenávratně ztrácíme nejurodnější části ornice, s tím je spojeno i zanášení a znečišťování vodních toků, kdy se do vodního prostředí dostávají hnojiva ze zemědělských obhospodařovaných oblastí. Povodně způsobují škodu především v obydlených záplavových územích, domácnostem a podnikatelským subjektům.

2. Hydrologický cyklus

Maidment (1993) uvádí, že hydrologický cyklus je nejdůležitější a nejvýznamnější princip hydrologie. Voda je na Zemi v neustálém pohybu, hlavními hnacími silami jsou sluneční záření a gravitace. K hydrologickému cyklu dochází při odpaření vody z oceánů a zemského povrchu, vysoko nad zemí v atmosférickém oběhu se zkondenzuje do páry, a díky srážkám se vrací zpět jako sníh nebo déšť. Srážky může zachytit zeleň nebo se mohou vsáknout do půdy a zde naplní podzemní vody. Část srážek se tedy vypaří a část se vsákne pod povrch, odkud se pomalu dostává do toků a řek a zbytek odtéká povrchovými toky až do oceánů a nakonec se odpaří zpět do atmosféry. Oběh vody probíhá v přírodě neustále.

Základní rovnice vodní bilance

$$\Sigma R = \Sigma O + \Sigma V$$

ΣR ... roční úhrn srážek

ΣO ... roční odtok

ΣV ... roční výpar



Obr. 1 Hydrologický cyklus

<http://ga.water.usgs.gov/edu/graphics/czech/>

3. Atmosférické srážky

Srážky vznikají, když některé z velmi drobných vodních kapek nebo ledových krystalků, které tvoří oblak, narostou natolik, že vlivem zemské tíže padají k zemi (Burroughs a kol., 1999).

Podle Kopáčka a Bednáře (2005), kteří se touto problematikou zabývají, srážky vznikají kondenzací vodních par v atmosféře. Vyskytují se v kapalně nebo pevné fázi v atmosféře nebo na povrchu země. Rozdělují vznik srážek na dva děje. První děj, nazývaný koalescence, dochází k němu v kupovitých oblacích s velkým obsahem vody, a s teplotou nad bodem mrazu. Vodní kapky jsou zpravidla malé a vzdušné proudy je udrží v oblaku i přes zemskou tíži. Kapky v důsledku turbulence na sebe naráží a spojují se do větších kapek, až jsou příliš těžké a z oblaku vypadávají. Ve vzduchu se srážejí s jinými kapkami a na zemský povrch dopadají v podobě deště. Druhý děj, Bergeronův a Findeisonův proces vzniká při tlaku nasycené vodní páry nad ledovými krystalky a přechlazenými vodními kapkami, nikoli zmrzlými. Jsou-li v oblaku přítomny obě skupenství současně, molekuly vody přechází z vodních kapek na ledové krystalky, dále narůstají na úkor vodních kapek do doby, než začnou padat.

Klasifikace srážek

Nejdůležitější veličinou, kterou charakterizujeme srážky, je jejich množství vyjádřené výškou vodní vrstvy. U deště měříme jeho dobu trvání a intenzitu, u sněhu výšku jeho pokrývky a vodní hodnotu (Šilar, 1996). Srážky se třídí podle toho, v jaké podobě dopadají na zemský povrch. Kopáček a Bednář (2005) uvádějí, že se srážky rozdělují na padající (vertikální) a usazené (horizontální). Mezi vertikální srážky patří kroupy, ledové jehličky, zmrzlý déšť, krupky, sněhová zrna, sněhové krupky, sníh, mrznoucí mrholení, mrholení, mrznoucí déšť a déšť. Atmosférické srážky horizontální jsou námraza, jíní, rosa a ledovka.

Burroughs a kol. (1999) i Jůva a kol. (1984) používají podobné dělení, klasifikují déšť podle doby trvání a oblaků, ze kterého vypadávají.

Trvalé – srážky z plošně rozsáhlých vrstevnatých oblaků, nimbostratu nebo altostratu, často doprovázené silným větrem mohou způsobit povodně na tocích s velkým povodím. Vyskytují se s menší intenzitou a dobou trvání od 6 hodin.

Občasné – srážky se objevují na menších územích. Vypadávají z kupovitých oblaků cumulus, které se tvoří při nestálosti atmosféry. Bývají to deště s vysokou intenzitou a krátkou dobou trvání. Mohou způsobit povodně na tocích s malým povodím. Trvání krátkodobého přívalového deště je od 5 minut do 6 hodin, zpravidla je však čas kratší a to do 30 minut. Vyskytují se nejčastěji od května do srpna. Krešl (2001) definuje **Děšť** jako kapalnou formu atmosférických srážek, dopadajících na zemský povrch ve tvaru vodních kapek. Maximální velikost kapek je dána rovností mezi povrchovým napětím vody a odporem vzduchu, který musí kapky při pádu překonávat.

Podle normy ČSN 73 6530 se dešť dále dělí:

Regionální dešť- druh deště zpravidla delší doby trvání, zasahujícího rozsáhlé území, s poměrně malou a málo proměnlivou intenzitou

Efektivní dešť – část srážek, která vytváří přímý odtok

4. Složky celkového odtoku

- **Povrchový odtok** – Jůva a kol. (1984) definují povrchový odtok jako gravitační pohyb vody po svahu nebo soustředěný odtok říční sítí k uzavírajícímu profilu povodí. Tento typ odtoku prochází nejprve nasycením půdy, poté fází svahového odtoku a nakonec fází soustředěného odtoku v říční síti. Brutsaert (2005) přisuzuje povrchový odtok ke členité topografii zemského povrchu. Kde probíhá povrchový odtok různými způsoby. Nejběžnější způsoby jsou ze srážek, při tání sněhu nebo přelitím malými depresemi.
- **Hypodermický odtok** – je voda vsáklá do půdy, která odtéká po málo propustné mělce uložené vrstvě a po určité vzdálenosti opět vyvěrá na povrch (Dostál a kol., 2006) Hanzel (1998) definuje hypodermický odtok jako složku celkového odtoku, která stéká do koryta toku v bezprostřední vrstvě pod povrchem bez toho, aby dosáhla na hladinu podzemní vody.
- **Podzemní odtok** – bývá označován jako základní odtok, jde o přítok podzemní vody ze zvodněných vrstev hornin, popřípadě i z půdy do vodních toků. Tohoto odtokového procesu se zúčastňuje určitá část podzemních vod, která se podílí na napájení řek a tím i na celkovém oběhu vody v krajině (Kříž, 1983).

Celkový odtok O_c má 3 základní složky:

povrchový odtok O_p ,

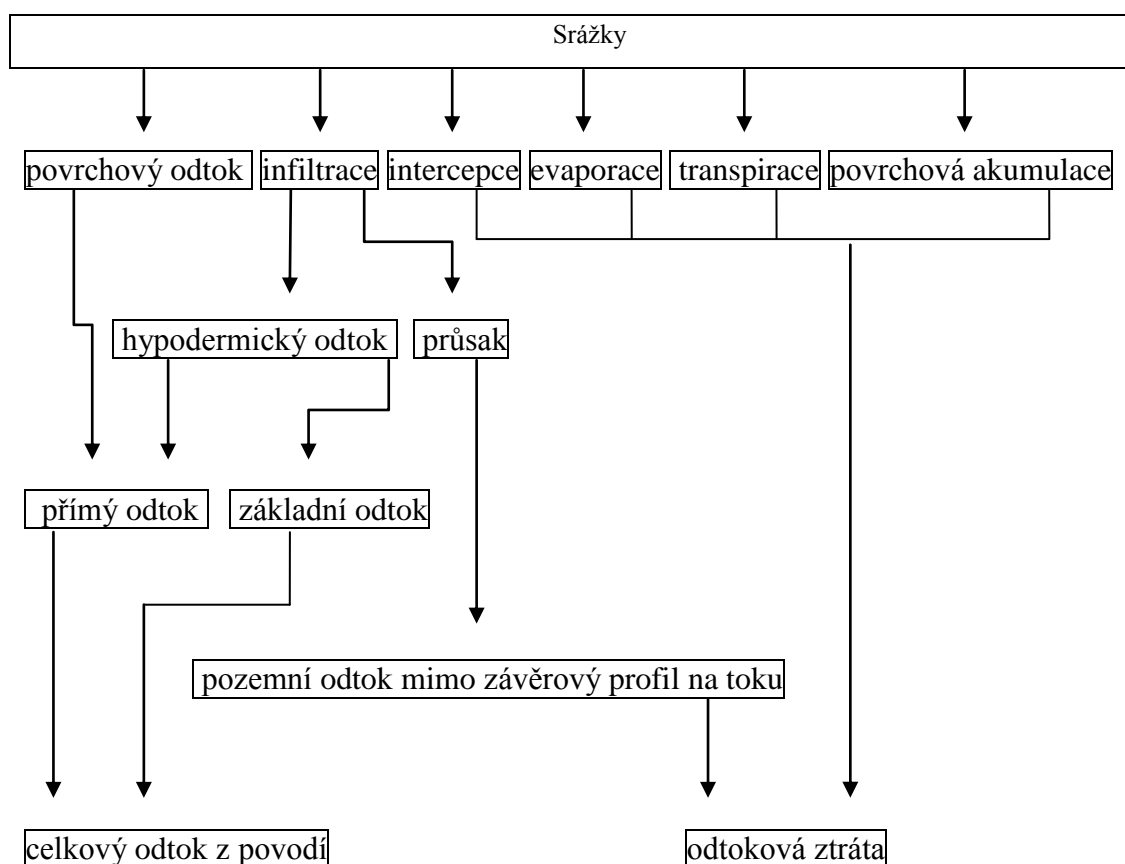
hypodermický odtok O_h ,

podzemní odtok O_z

$$O_c = O_p + O_h + O_z$$

Vodní toky jsou různé povahy a je možné je třídit z několika hledisek, například podle vzniku nebo charakteristických znaků. Dle vzniku rozlišujeme vodní toky přirozené a umělé. Přirozenými toky jsou, jestliže je jejich koryto vytvářeno přirozenou činností vody, patří sem bystřiny, potoky a řeky. Umělé toky jsou kanály, které se zřizují pro různé účely využití vody (meliorační, energetické). Rozdělení dle charakteristických znaků, kterými jsou velikost a vlastnosti povodí, délka toku, jeho podélný sklon a průtokové poměry (Jůva a kol, 1984). Dále se vodní toky rozdělují dle velikosti, ale vztah mezi jednotlivými pojmy není daný a ani hydrologové je

nepoužívají jednotně. Například Jůva a kol (1984) uvádí rozlišení vodních toků na bystřiny, horské potoky, potoky, říčky, řeky a veletoky.



obr. 2 Schéma odtokového procesu

ČSN 73 6530

Z obr. 2 vyplývá, že v inženýrské hydrologii se odtok během povodňové vlny dělí na dvě složky – na přímý odtok, který se skládá z povrchového odtoku a podpovrchového odtoku a ze základního odtoku. Přímý odtok ovlivňují především tyto činitele, nejdůležitějším faktorem je množství srážek, následuje infiltrace vody do půdy, vlhkost půdy, retence povrchu, vegetační kryt a podíl propustných a nepropustných ploch v povodí (Dostál a kol., 2006).

5. Povrchová voda a odtok

Povrchovými vodami jsou vody přirozeně se vyskytující na zemském povrchu; tento charakter neztrácejí, protékají-li přechodně zakrytými úseky, přirozenými dutinami pod zemským povrchem nebo v nadzemních vedeních (Zákon č. 254/2001 Sb.). Z hlediska vlivu na odtokový proces hraje důležitou roli zejména vlastní funkční využití území, charakter, intenzita, dynamika změn ve využití území a prostorová struktura krajinného krytu (Maidment, 1993).

Krešl (2001) definuje nesoustředěný povrchový odtok, který vzniká při větší intenzitě deště, než je intenzita vsaku, kdy srážková voda stéká v souvislé vrstvě.

Z průzkumů vyplývá, že v aridních a semiaridních oblastech za určitých podmínek převládá hortonovský odtok v odtokovém procesu. Zejména v období dešťů v horských oblastech s odkrytým horninovým prostředím bez vegetace, vzniká velká povodňová vlna, která se šíří do nižších částí údolí. Hortonovský povrchový odtok také může vzniknout ve změněném přírodním prostředí, zejména na cestách a na intenzivně využívaných pastvinách. Přibývajícím terénním měřením a laboratorními pokusy přináší poznatky, že v malých zalesněných povodích mírného pásma jsou intenzity srážek jen zřídka tak vysoké, že překročí infiltrační kapacitu půdy (Hlavčová a kol., 2001). Při rozčlenění nesoustředěného povrchového odtoku erozivními rýhami do stružek, a posléze odvod do bystřin, potoků a řek vzniká soustředěný povrchový odtok. Soukup a Hrádek (1999) rozlišují 3 fáze v procesu povrchového odtoku:

- Fáze bezodtoková – kdy intenzita deště je menší než intenzita infiltrace a průměrná výška deště je menší než retenční schopnost povodí.
- Fáze plošného (svahového) odtoku – intenzita deště je větší než intenzita infiltrace, průměrná výška deště na povodí je větší než retenční schopnost povodí nebo je retenční kapacita již naplněna. V procesu odtoku se uplatňuje především povrchový a hypodermický odtok.
- Fáze soustředěného odtoku – nastává při postupném soustřeďování odtoku do hydrografické sítě v povodí, v recipientu se uplatňují všechny složky celkového odtoku.

6. Podpovrchový odtok

Primárním vstupem vody pro tento odtok je infiltrovaná voda.

Podpovrchový odtok makropóry a jinými preferenčními cestami. Protože se vysoušení půdy i biologická aktivita (jako nejčastější původci makropórů) odehrávají blízko povrchu půdy, vyskytují se makropóry ve svrchních vrstvách půdního profilu.

Podpovrchový odtok mělkou permeabilní vrstvou. Jedná se většinou o několik desítek centimetrů mocnou vrstvu složenou z minerálních půd s vysokým obsahem organických zbytků, jejíž spodní rozhraní je charakteristické náhlým snížením hydraulické vodivosti. Tato vrstva je v mnoha studiích označena jako významné až hlavní transportní médium událostního odtoku.

Podpovrchový odtok způsobený zvýšením hladiny podzemní vody. Tento druh odtoku může být obzvláště rychlý v dolních částech svahu. Vyskytuje se v místech, kde při vysokém stupni nasycení půdního profilu, může vést k tomu, že i dodání relativně malého množství vody způsobí změnu v podobě rychlého zvýšení hladiny podzemní vody. To se dále může projevit v podpovrchovém nebo dokonce povrchovém odtoku.

Podpovrchový odtok nenasyčený. Může trvat až několik týdnů po srážce (BRUTSAERT, 2005).

7. Podzemní vody a odtok

Zákon č. 254/2001 Sb. o vodách, definuje podzemní vody následovně. Podzemními vodami jsou vody přirozeně se vyskytující pod zemským povrchem v pásmu nasycení v přímém styku s horninami; za podzemní vody se považují též vody protékající podzemními drenážními systémy a vody ve studních.

Pro hydrologii podzemních vod jsou příznačné některé metody, jejichž předmětem je určení přírodních nebo využitelných zdrojů podzemních vod.

Jde o způsoby stanovení velikosti těchto zdrojů na základě znalosti některých rysů režimu podzemních vod nebo rozdělení celkového odtoku na jeho jednotlivé složky a určení základního (podzemního) odtoku (Kříž, 1983)

7.1 Klasifikace podzemních vod

Kříž (1983) dělí podzemní vody v zemské kůře podle různých hledisek. Při klasifikaci vychází z původu podzemních vod, jejich skupenství, chemických a fyzikálních vlastností. Vybrané dělení podzemní vody dle vzniku:

- **Fosilní voda** – též nazývána juvenilní nebo hlubinná voda, vzniklá v hlubinných vrstvách zemské kůry kondenzací vodních par, které se vytvořily při tuhnutí magmatu. Fosilní voda se dostává na zemský povrch, především v oblastech s aktivní vulkanickou činností, zejména jako gejzíry a termální prameny.
- **Vadózní voda** – je převážná část z celkového množství podzemních vod na Zemi, vznikla tím, že vody z povrchu zemského vnikly do horninového nebo půdního prostředí. Neustále se doplňují vodou z atmosférických srážek, které se vsakují do půdy a propustných vrstev hornin. Vadózní voda se podílí na nepřetržitém oběhu vody, působením vnějších a vnitřních sil, především energie slunečního záření, gravitace a zemské rotace.
- **Poříční podzemní voda** – jsou to mělké podzemní vody infiltrované do říčních náplavů. Vznikají prosakováním vody z vodních toků, z přirozených i umělých vodních nádrží. Hladina kolísá v závislosti na povrchových vodách.

8. Drenážní systémy

Drenážní systémy jsou vodohospodářskými stavbami, které ovlivňují vodní režim půd, respektive režim odtoku z pozemku a pokud se vyskytují na významné ploše, také odtok z celého povodí. Podzemní drenáže nenarušují celistvost pozemků při zachování vysoké účinnosti odvodnění a neomezují provoz v rámci jejich celoročního hospodaření. Obecným jevem společným pro drenážní systémy je absence údržby (Kulhavý a Soukup, 2010).

Augeard a kol. (2005) popisují šíření povrchového odtoku po celé ploše území, které závisí převážně na drenážní účinnosti, především na hloubce, rozteči a případně jejím zapojením. Zaměřují se na mechanismy kontroly infiltrace a geneze povrchového odtoku, zejména na půdách s drenážními systémy a s vlivem povrchové krusty. Experiment byl proveden během jedné sezóny na prašné půdě. Popisují zde charakteristiky povrchu půdy, které byly pravidelně zaznamenávány v místě experimentu, ale i na jiných pozemcích s různými systémy drenáží. Výsledky potvrzují, že některé srážko-odtokové události byly vyvolány vysokou hladinou podzemní vody. Události se staly v zimním období, kdy dopadající kapky vytvářejí na povrchu země ledové krusty, po kterých voda stékala. Dále konstatují, že systémy odvodnění pozemků účinně snižují výskyt povrchového odtoku a to nejen snížením hladiny podzemní vody v zimním období, ale také tím, že zamezí uzavření povrchu půdy (Augeard a kol., 2005).

Nastupující změny klimatu, které prohlubují diference disponibilní vody v povodí (na jedné straně deficit vláhy, na druhé straně přívalové srážky) mění úhel pohledu na existenci odvodňovacích systémů a měly by zvýšit zájem o modernizaci či rekonstrukci systémů odvodnění v zemědělsky využívané krajině včetně rozšíření jejich funkce o řízení drenážního odtoku resp. o ovládání hladiny podzemní vody (Kulhavý a Soukup, 2010).

Kulhavý a kol. (2011) konstatují, že odvodnění ovlivňuje prvotně režimy mělkého podpovrchového, povrchového a podzemního odtoku, vodní bilanci nenasycené zóny. Ovlivněn je také režim recipientu drenážních vod. Cílem odvodnění je vodu odvádět a tomuto jsou přizpůsobeny i stanovené hydraulické parametry odvodňovacího systému ve všech jeho částech. Jednou ze základních návrhových hodnot drenážních systémů je specifický drenážní odtok, který byl pro území ČR volen v rozmezí od 0,33 do 0,65 l.s.ha⁻¹.

9. Srážko-odtokové epizody

Srážko-odtokové epizody je možné rozdělit na dvě skupiny podle doby trvání a celkového odtékajícího množství na události způsobené letními krátkými, ale vydatnými srážkami z bouřkové činnosti a události vyvolané podzimními delšími dešti s nižší intenzitou (Šanda a kol., 2006).

Odlíšné dělení používají Unucka a Adamec (2008), srážko-odtokové epizody rozčlenili na regionální srážku v kombinaci s málo nasyceným povodím a přívalovou srážku v kombinaci s nasyceným povodím. U experimentálních povodí se srážko-odtokové odezvy vybírají z časových řad několika let, u kterých je zaznamenán počátek a konec odtokové epizody. Trvání jednotlivé epizody je v řádu hodin a srážkový úhrn v milimetrech (Šanda a Císlarová, 2009). Významné srážko-odtokové epizody jsou nejčastěji z konvektivních srážek v letním období, nelze však vyloučit významné epizody v kterékoliv části roku.

9.1 Charakteristika srážko-odtokového procesu

Dle Matouška (2010) srážky dopadající na povrch země jsou jednak zadržovány na povrchu vegetace a půdy, jednak se infiltrují či vsakují do půdy, popř. se vypařují zpět do ovzduší. Po nasycení půdy deštěm a při intenzitě vyšší, než je intenzita vsaku, popřípadě při tání sněhu, stéká srážková voda nejprve v souvislé vrstvě jako plošný odtok (ron), až posléze se rozčleňuje erozivními rýhami do stružek a jimi odtéká do bystřin, potoků, které vytvářejí hydrografickou síť. Odtokové jevy se projevují vysokou variabilitou vztahů půdního sacího tlaku, půdní vlhkosti či celkového obsahu vody v půdním profilu vůči okamžité intenzitě odtoku. Stávající vlhkost půdního profilu je podmíněna historií plnění pórového prostoru. Půdní profil je většinou nenasycený, ale po většinu času se blíží nasycení, to ovlivňuje průběh podpovrchového odtoku. Vztah mezi půdní vlhkostí a podpovrchového odtoku s celkovým odtokem je velmi těsný (Šanda a kol., 2006). Například vrstva štěrkopísku po určitou dobu pohlcuje veškerý dopadající déšť a teprve po úplném nasycení všech pórů propustné vrstvy nastane při trvajícím dešti povrchový odtok, ale ten je již velmi malý.

Povodňová vlna

Pavlásek a kol. (2006) podrobně definují charakteristiky vzniku povodňové vlny. Na tvorbě povodňových vln a jejich charakteru se podílí celá řada procesů, které se vzájemně ovlivňují. Charakter výsledné povodňové vlny je ovlivněn řadou okolností, jako jsou srážkový úhrn, jeho časové a prostorové rozložení na povodí, geometrické a orografické charakteristiky povodí, charakter povrchu povodí, předchozí vláhové poměry, hydropedologické a hydrogeologické charakteristiky povodí, antropogenní zásahy v povodí a mnoho dalších.

Brutsaert (2005) zmiňuje protipovodňové usměrnění neboli koryto směřování povodňových vln, který je klasickým problémem. Jedná se o matematický postup sledování pohybu vody z jednoho místa na druhé. Zahrnuje přeměnu atmosférických srážek do různých podzemních a povrchových odtoků. Povodňová vlna může vzniknout následkem silných dešťů, hromadného tání sněhu, selháním nebo vylitím z přírodních nebo umělých hrází nebo v důsledku sesuvu půdy nebo zemětřesení.

9.2 Charakteristika srážko-odtokových modelů

Klasifikace Světové meteorologické organizace hydrologické modely rozděluje na:

1. black box modely
2. koncepční
3. hydrodynamické
4. stochastické

Black box modely většinou nějakým způsobem „obcházejí“ fyzikální podstatu hydrologických procesů pomocí vhodně zvolené algoritmizace a lze konstatovat, že z pochopitelných důvodů se používají stále méně. Koncepční a hydrodynamické modely jsou obecně založeny na deterministických pravidlech a předpokládají určitou opakovatelnost hydrologického jevu. Stochastické modely se snaží nějakým způsobem postihnout náhodnost a pravděpodobnost hydrologického jevu, vztah mezi příčinou a důsledkem zde není explicitně řešen.

Pro hydrologickou předpovědní praxi a krajinný management se používají zejména srážkoodtokové modely, které simulují s-o proces. Pomocí numerických metod jsou zde aproximovány jednotlivé komponenty hydrologické bilance a s-o procesu. Takové modely umožňují při vhodně zvolené schematizaci (diskretizaci

jednotlivých sfér řešeného povodí) řešit jak celkový s-o proces, tak i procesy v rámci jednotlivých komponentů hydrologické bilance území.

Mezi výhody těchto modelů můžeme zařadit i fakt, že na měřených a horských povodích jsou schopny produkovat prakticky využitelné výsledky. Vyjma zimního období jsou z hydrometeorologických dat striktně vyžadovány pouze údaje o srážkách v časovém kroku adekvátním požadavkům na kvalitu výstupu například simulace delšího období v denním kroku, krátkodobá předpověď kulminačního průtoku v hodinovém kroku (Hanzlová a kol., 2006).

Existuje mnoho srážko-odtokových modelů, zde jsou uvedeny některé modely používané v České republice. Podstatu srážko-odtokového modelování popsal Jeníček (2007), které je dnes dynamicky se rozvíjející oddělení hydrologie a vodního hospodářství. Vývoj je způsoben rychlým pokrokem počítačů a informačních technologií. Tento vývoj umožňuje lidstvo seznamovat s novými možnostmi použití vody jako základní potřeby a zároveň vyvinout účinnou ochranu proti ní. Typická struktura každého srážko-odtokového modelu, pochází ze zjednodušené struktury povodí, je to systém vertikálních nádrží, které tvoří lineární kaskády modelu.

Metoda CN křivek

Krešl (2001) uvádí, že množství povrchově odtékající vody měříme přímo, jen z malých plošek, při studiu odtoku ve vztahu k jednotlivým činitelům. V běžných podmínkách praxe se odtok z povodí stanoví podle měření průtoku v určitých vodoměrných profilech toků. Při sledování časového průběhu průtoku se jeho integrací vypočte odtok za časový úsek, který vychází ze vzájemného vztahu mezi výškou vodní hladiny v korytě a průtokem. Šilar (1996) konstatuje, že při zkoumání povrchového odtoku vycházíme především z hydrologických měření, která se provádí na vodních tocích a k tomuto účelu zřízených sítích pozorovacích stanic, ve kterých se pravidelně měří vodní stavy a průtoky.

Podle Unucka a Adamce (2008) povrchový odtok nastává po nasycení svrchních horizontů srážkovou vodou. Povrchový odtok je v případě SCS metody odvozován z následujícího vzorce:

$$Q = \frac{(P - I_a)^2}{(P - I_a + S)^1}$$

kde Q ... povrchový odtok [mm]

P ... srážky [mm]

I_a ... počáteční ztráta na povodí [mm], často lze odhadnout vzorcem $I_a = 0,2S$

S ... koeficient daný vztahem:

$$S = 25,4 \times \frac{1000}{CN} - 10$$

CN...průměrné číslo odtokové křivky v daném povodí

Metoda CN-křivek vychází z návrhové srážky, která je vyjádřena formou srážkového úhrnu pro srážku určité periodicity. Hlavním předpokladem je rovnoměrné zasažení řešeného povodí srážkou stejné intenzity. Čím vyšší je číslo CN-křivky, tím vyšší bude podíl povrchového odtoku v přímém odtoku (Dostál a kol., 2006).

Adamec a Unucko (2008) dále uvádí že, metoda byla vyvinuta pro stanovení povrchového odtoku a fluvialní eroze ze zemědělských ploch. Mezi výhody této metody patří jednoduchá schematizace v programu GIS. Řešení přináší uspokojivé výsledky. Pro různé možnosti nasycení půdy je do řešených vztahů začleněn parametr „předchozích vláhových podmínek“. Je to bezrozměrný koeficient, který upravuje základní vztah povrchového odtoku dle úhrnů srážek předchozích dnů. Získané hodnoty jsou v rozmezí 0,4 – 2,22 a liší se dle úhrnu srážek i dle čísla CN křivek.

MIKE - SHE

Model dánské firmy patří do skupiny koncepčně distribuovaných modelů. Webové stránky výrobce uvádějí, že software MIKE – SHE je komplexní model pro bezproblémovou integraci všech důležitých procesů hydrologického cyklu v povodí. Typické aplikace modelu jsou spojeny s využíváním povrchových a podzemních vod, závlah a dalších aplikací. Jeníček (2007) popisuje, z čeho se software skládá. Vytváří se z několika částí výpočtu objemu a distribuce vody v průběhu jednotlivých fází odtoku:

- Srážky, které slouží jako vstupní data
- Celkový výpar, včetně intercepce (zachycené srážky)
- Povrchový průtok – na základě 2D modelu konečných diferencí

- Podpovrchový tok v nenasycené zóně – jednoduchý dvouvrstvý model
- Základní průtok – MIKE-SHE obsahuje 2D a 3D modely základního toku, založený na metodě konečných diferencí

HEC-HMS

Tento model je pokračovatelem HEC1, rozvíjí se již od 60. let armádou USA. Nespornou výhodou je skutečnost, že se jedná o bezplatný software a na internetu je dostupný. Webové stránky výrobce (staženo 2013) uvádějí, že hydrologické prvky jsou připojeny v dendritických sítích pro simulaci odtokového procesu.

Mezi prvky patří: povodí, dosah, křižovatka (uzel), nádrž a zdroj. Výpočet vychází z předcházejících prvků v navazujícím směru. Meteorologická analýza dat vychází z meteorologického modelu, který zahrnuje srážky, evapotranspirace a tání sněhu.

Základní složky popsal Jeníček (2007):

- Model objemu odtoku – zahrnuje některé metody např. CN křivek
- Modely přímého odtoku – dostupná je i metoda kinetické vlny
- Model základního průtoku – zde si můžeme vybrat konstantní odtokový model a exponenciální pokles
- Ostatní modely – ve zvláštních případech je možné také simulovat nádrže, jezy a další

HEC-HMS můžeme automaticky i manuálně vyvážit parametry, model je vhodný pro povodí do rozlohy 500km².

NASIM

Srážko-odtokový model NASIM je vyroben německou firmou Hydrotec, rozvíjel se od 80. let a patří do skupiny koncepčních a deterministických modelů.

Základními prvky jsou:

- Generace dešťových srážek – můžeme použít pro rozdělení na kapalné a pevné srážky, nebo použijeme kombinaci obou
- Prostorové rozdělení srážek
- Koncentrace odtoku – tok vody v nenasycené a nasycené zóně půdního profilu je lineární nebo nelineární

Pro kalibraci tohoto modelu byla vyvinuta programová jednotka pro manuální vyvážení.

HYDROG

Navržen pro spojitou simulaci odtoku vody z povodí, součástí mohou být vodní nádrže a poldry. Metodika řešení srážko-odtokových vztahů je založena na schematizaci dílčích povodí do orientovaného síťového grafu, kde jsou vodní toky tvořeny hranami grafu, dílčí povodí tvoří množinu zavěšených ploch a bodové zdroje (přítoky a nádrže) jsou zastoupeny uzly. Povodí má přiřazené atributy – plocha, délka povrchového odtoku, drsnost povrchu, hydraulická vodivost a podzemní odtok.

Výhodou softwaru je možnost využít přepočteních kalibračních koeficientů, které umožňují upravit chování dílčích povodí najednou bez nutnosti fyzického zásahu do jejich parametrů. Model zohledňuje krajinný pokryv podle typových skupin ploch (les, pole) a hydrologické vlastnosti těchto typů se účastní výpočtu odtokové ztráty podle Hortona (Unucka a Adamec, 2008).

K modelovacímu softwaru můžeme ještě dodat fakt, že jednotlivé produkty se liší použitím metodik pro hydraulickou a hydrologickou přeměnu vzdušné srážky na povodí. Mnohdy modelovací produkt nabízí více metodik najednou v rámci jediného projektu (Unucko, 2008).

10. Popis faktorů ovlivňující odtok

Soukup a Hrádek (1999) popsali faktory ovlivňující odtok, kde jsou průtoky na povodích drobných vodních toků vyvolány přívalovými dešti, které se vyznačují vysokou intenzitou a kratší dobou trvání. Přívalové deště ovlivňují řadu faktorů povrchového odtoku a tím výsledné charakteristiky povodňové vlny.

Čurda a kol. (2011) konstatují, že extrémní hydrologické jevy vznikají jako důsledek působení výjimečného průběhu přírodních procesů, nejčastěji jde o výskyt abnormálních meteorologických situací, které jsou ovlivněny geografickými podmínkami spolu s antropogenní činností.

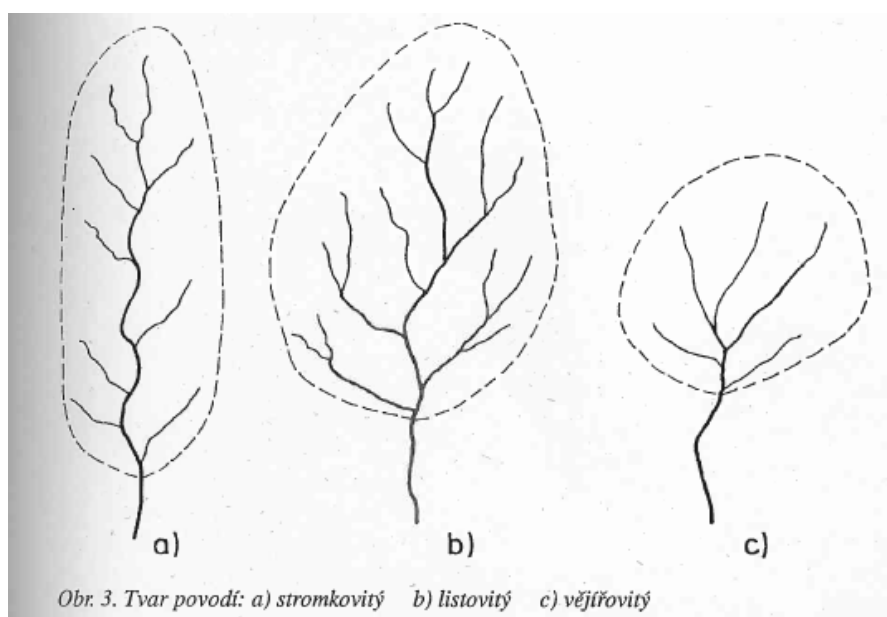
Základní geometrické charakteristiky povodí je plocha a tvar povodí. Tvar povodí ovlivňuje dobu soustředování odtoku ze svahů do údolnice, z hlediska maximálních průtoků jsou nejpříznivější povodí protáhlého tvaru. V obr. 3 jsou znázorněny různé tvary povodí a říčních sítí. Povodí s tzv. stromkovitou říční soustavou je protáhlé a voda se v něm postupně dostává do bodu, který povodí uzavírá. Naproti tomu v povodí s říční soustavou vějířovitého tvaru se odtok velmi rychle soustřeďuje do uzavírajícího bodu. Při jinak stejných geomorfologických podmínkách a při stejných srážkách odtok z povodí stromkovitého tvaru pozvolna stoupá a pak pomalu klesá, zatímco odtok z povodí vějířovitého tvaru vytváří ostrou špičku s vysokým průtokem v době vrcholení, která rychle opadá. Příkladem povodí stromkovitého tvaru jsou některé slovenské řeky, například Váh a Hron. Příkladem vějířovitého povodí je říční síť Mže, Úhlavy, Úslavy a Radbuzy, které se spojují v Plzni (Šilar, 1996).

Orografické poměry povodí charakterizují nadmořská výška a sklonové poměry. Výškové poměry povodí ovlivňují klimatické a meteorologické charakteristiky povodí, zejména srážky, teplotu vzduchu a výpar (Soukup a Hrádek, 1999).

Sklonové poměry povodí, charakterizované průměrným sklonem svahů a údolnice, ovlivňují rychlost dobíhání vody v povodí a tím dobu soustředování odtoku ze svahů a rychlost proudění v údolnici. Hodnoty průměrného sklonu terénu jsou pro jednotlivá povodí extrahovány z mapy sklonů. Sklony terénu hrají velmi podstatnou roli a jejich odvození je potřeba věnovat náležitou pozornost (Dostál a kol., 2006). Spád říčního toku se mění s časem i s místem, vyvíjí se během geomorfologického vývoje toku a v určitém časovém období se liší od místa k místu.

Geomorfologicky mladé toky mají spád nevyrovnaný. Průběhem času se spád na dolním toku snižuje a největší spád zůstává na horním toku (Šilar, 1996).

Geologické a půdní poměry ovlivňují především akumulaci a retenci vody v povodí. Mezi hlavní půdní vlastnosti patří významná infiltrační schopnost a malá retenční kapacita, která vede k rychlému odtoku srážkové vody do vodních toků. Organosoly poskytují velký retenční prostor pro vodu, postupně ji uvolňují do toků, ale při jejich plném nasycení jsou velmi negativní Čurda a kol., (2011). Kategorie uvažované jako nepropustné jsou zástavby, obytné zástavby a husté zástavby (města). Posléze je vypočítáno poměrné zastoupení těchto ploch v každém povodí. Pro posouzení infiltračních poměrů v území se pracuje s hodnotami nasycení, upřednostňována jsou data bonitovaných půdně-ekologických jednotek. Data komplexního průzkumu půd se používají pro plochy, u kterých nejsou znány informace Z BPEJ (David a Krása, 2010).



Obr. 3

Zdroj: Šilar J., Hydrologie v životním prostředí

Adamec a kol. (2007) uvádějí, že významnou skupinou vlivu vegetace je funkce vegetačního krytu jako ochranného faktoru půdy, v jejíchž horizontech se odehrává podstatná část transformace srážkové vody na odtok. Lesní porost a zejména lesní půda ovlivňuje kulminaci a tvar hydrogramu srážko-odtokové epizody vlivem nástupů faktorů, kterými jsou intercepce, evapotranspirace, akumulace, retence a retardace. Funkce lesního porostu je závislá na skladbě, jeho

stáří a zdravotním stavu. Vliv lesa (jehličnatý, listnatý, smíšený a křoviny) a trvalých travních porostů má své limity vzhledem k intenzitě a délce trvání příčinné srážky a charakteru srážko-odtokové epizody na odtokové poměry a retenci povodí. (Hanzlová a kol., 2006).

Vegetační pokryv je jedním z nejdůležitějších. V pásmu České republiky je velká část vrchních partií povodí pokryta lesem a často zde vznikají povodňové situace. Studiu vlivu lesních porostů na hydrologický režim menších povodí je věnována velká pozornost (Chlebek a Jařabáč, 1997). Z hlediska účinnosti vegetačního krytu na zvýšení retence vody v povodí lze uvést jako nevhodnější lesní porosty, trvale travní porosty, dočasné travní porosty a úzkořádkové polní plodiny. Vegetační kryt primárně nevytváří žádné akumulací prostory, ale chrání půdu před erozními jevy a následně před zanášením toků a nádrží. Tím je sníženo nebezpečí zmenšování stávajících akumulací prostorů. Změny porostní struktury jak prostorové, tak i druhové či přímé odlesnění mohou iniciovat krátkodobou odezvu povodí, její dynamiku i parametry jednotlivých srážko-odtokových epizod i odezvu dlouhodobou při změnách ve specifickém nebo základním odtoku. U vlivu způsobeným přímým působením vegetačního krytu se uplatňují procesy intercepce a evapotranspirace. Předchozí nasycení povodí přímo determinuje odezvu povodí na srážkový impuls, tedy příčinnou srážku (Adamec a kol. 2007).

Dostál a kol. (2006) uvádějí, že využití území je jedním ze základních a nejdůležitějších podkladů a je možno pro její odvození využít celou řadu podkladů od satelitních snímků se středním až vysokým rozlišením, přes letecké snímky, nejrůznější mapové podklady různých měřítek, až po vlastní terénní průzkum. Důležitou součástí informací o způsobu využití území je zjištění osevních postupů na orné půdě. Za účelem omezení maximálního odtoku je třeba zlepšovat provzdušnění zemědělských půd a jejich strukturu, zejména odstraňovat zhutnění půdy. Na odvodněných pozemcích je nutné provádět pravidelnou údržbu tak, aby odvodňovací sítě, zvláště podzemní, byly funkční a na zemědělsky využívaných pozemcích udržovaly požadovanou hladinu podzemní vody. Udržovat vodní toky s údolní nivou ovlivňující charakteristiky povodňové vlny především svou akumulací a retenční schopností. Obnovovat přirozené funkce vodních toků, odstraňováním nevhodných úprav toků, zvyšováním odolnosti břehů a koryt proti vodní erozi a zajištěním stability při povodních. Neškodné odvádění povodňových

průtoků vyžaduje zajištění požadované kapacity koryta toků, v závislosti na požadovanou N-letou ochranu přilehlého území.

Stav a drsnost povrchu bez vegetace ovlivňují rychlost proudění vody po svahu a aktuální infiltrační schopnost půdy. Struktura povrchu půdy může být narušena kinetickou energií dopadajících kapek deště za rozbřednutí povrchu půdy respektive za vzniku půdního škrálopu (Soukup a Hrádek, 1999).

Krešl (2001) uvádí, že faktory působí společně a v různých kombinacích. Souvislosti mezi odtokem a atmosférickými srážkami jsou často utajeny. Ve větší míře zasahuje i činnost člověka, především výstavba nových nádrží, výstavba měst a uspořádání cestní sítě.

Studie z jižního Španělska

Arnau-Rosalén a kol. (2005) provedli průzkum na dvou stranách údolí (severní a jižní svah) hory Sierra Cortina. Ve středomoří v jihovýchodním Španělsku, kde klimatické podmínky postupně přechází z aridních až k subhumidním oblastem. Roční úhrn srážek je 387 mm s průměrnou teplotou 17,9 °C, půdy jsou klasifikovány jako leptosoly. Průměrný sklon severního svahu je 18 ° jižního 22 °.

Je zde velmi důležitý jak nedostatek vody, tak i vysoká intenzita srážek během bouřkových událostí. Významný dopad hospodaření v minulosti a současné lidské činnosti způsobily nerovnoměrný vegetační kryt, který závažně ovlivňuje hydrologické a erozní chování na svazích.

Odtokové koeficienty v celé sadě experimentů ukazují obrovský rozdíl mezi vegetací a holou plochou (koef. 0,02 a 0,25). Mezi různě zarostlými pozemky je variabilita velmi nízká a i rozdíly zde jsou minimální. Na severních svazích, byl dán koeficient 0,02 a na jižní straně 0,03. Hodnoty potvrzují evidentní infiltrační funkci půdy pod vegetací. Dostupná řada srážkových událostí, které odpovídá odtok, byla analyzována z hlediska chování jednotlivých parametrů (rychlostí infiltrace vody dle Hortonovského modelu, mírou srážek potřebných pro zahájení odtoků, a závěrečnou infiltrací v ustáleném stavu). Hortonovský tok se objeví pouze za určitých podmínek, které jsou v kombinaci s nasycením půdy. Byla uskutečněna simulovaná srážková událost 55 mm v délce trvání 1 hodiny. Výsledné hodnoty nesoustředěného odtoku byly zaznamenány v 11 zkoumaných oblastech, kde je výška odtékající vody v rozmezí 1 – 4 mm. Na severní straně svahu - 62% povrchu

neprodukuje odtok, na jižním svahu 45%, je to dáno druhem vegetace (Kavyl přepevný, Kostřavice větevnatá a borovice halepská).

Studie z Číny

Yonghui a Fei (2009) provedli průzkum v povodí řeky Haihe v Číně, kde odtok mírně klesá v důsledku změny klimatu nebo lidské činnosti.

Cílem je určení náhlé změny v odtoku, která vede ke zjištění hlavních faktorů ovlivňující tuto změnu. V této studii byl použit postupný Mann-Kendalův test, který byl aplikován na osm dílčích povodí. Test se prováděl pro období 1960-1999, kdy se používal k identifikaci základních trendů srážek a odtoků. Výsledky naznačují, že i nevýznamné změny ve srážkách způsobily značný pokles v odtoku v pěti z osmi sledovaných povodí. Náhle změny v odtoku proběhly v období 1978-1985, prostřednictvím korelačního srovnání mezi srážkami a odtokem se zjistilo, že hlavním faktorem jsou klimatické změny. Nutné je také poznamenat, že v těchto letech probíhala pozemková reforma, která motivovala zemědělce produktivně spravovat své přerozdělené pozemky. Z tohoto důvodu se zvýšilo využívání dešťové vody.

Analýza ukazuje, že pokud překročí obdělávání půdy 25% z dílčího povodí, dochází k poklesu odtoku. Můžeme dojít k závěru, že vysoké procento obdělávané zemědělské půdy a s ním související využívání vody jsou nejpravděpodobnějším faktorem poklesu odtoku v povodí. Toto zjištění je v souladu s předchozími studiemi v povodích. Důležité je využití půdy, pokrytí půdy rostlinami i rozloha obdělávané půdy v jakémkoliv dílčím povodí dochází k výraznému poklesu odtoku.

Studie ze severního Vietnamu

Podwojewski a kol. (2008) provedli průzkum v severním Vietnamu, experimentální povodí se nachází ve městě Dong Coa, přibližně 50 kilometrů od Hanoje. Povodí má rozlohu 46 ha a je obklopen kopci s průměrným sklonem 40%. Roční úhrn srážek činí 1600 mm.h^{-1} , z nichž je 90% soustředěno v období dešťů. Relativní vlhkost vzduchu je velmi vysoká, měsíční průměr je 77%.

Byla zkoumána tři různá stanoviště. První půdní blok je porostlý Cassavou (Maniok jedlý), na druhém bloku se pěstuje Brachiaria (tráva) a na třetím bloku je neobdělávaná půda. Na dvou blocích (Cassava i Brachiaria) je z počátku povrch

holý. Po vzrůstu rostlin je nejvyšší odtokový koeficient přibližně 35%. Po jednom roce pěstování Brachiarie vytváří velký pokles v odtoku a to přibližně 10 krát a též mají výbornou schopnost udržení půdy před erozí. Podobné chování náleží i bloku s neobdělávanou půdou, která je porostlá z 95% plevem. Povrchový odtok zůstává v lese nejnižší 1-2% z celkového odtoku ročně. U půdy ležící pod lesem je odtok mírně zvýšený než u Brachiarie, pravděpodobně je to dáno koncentrací kapek.

Druhým velmi významným faktorem je biologická aktivita v půdě. Masivní biologická aktivita je zaznamenána na všech zkoumaných pozemcích, je dána existencí mravenců, termitů a žížal, kteří napomáhají infiltrační rychlosti, navíc žížaly se pohybují 10 cm pod povrchem a tím dokážou výrazně zdrsnit povrch a zpomalit tím povrchový odtok.

11. Eroze

V souvislosti s výskytem extrémních povodňových událostí na našem území je řešena nová strategie, která je zaměřená na postupné zvyšování retenční schopnosti krajiny. Otázkou zůstává, do jaké míry jsme schopni tímto způsobem snížit povodňové zatížení a zranitelnost krajiny. Záleží na fyzicko-geografických poměrech konkrétních postižených území (Čurda a kol., 2011).

Analýzy dat získaných z experimentálních povodí naznačily rozdílné vlastnosti sledovaných povodí. Stanovené území se nachází v okolí Modravy, kde byl srovnáván zdravý les a mrtvý les. Z výsledků je zřejmá nenahraditelnost vitálního lesního porostu na vyrovnané odtokové poměry. Jak při vydatných srážkách, tak i během relativně suché periody. Mrtvý les postižený kůrovcovou kalamitou, vykazoval velké množství odtékající vody z důvodu poničeného vegetačního krytu pojezdy těžebních mechanismů. Zde je snaha se vrátit k přirozeným ekologickým stavům a vazbám, aby dobře fungovaly v souladu s přírodními zákonitostmi (Křovák a Kuřík, 2001).

Opakem předešlého tvrzení o nenahraditelnosti vitálního lesa je studie z vrcholového pásma Šumavy. Která v případě třech povodí, jenž jsou kryta zdravým smrkovým lesem, holinou porostlou bylinami a mrtvým lesem s bylinnými podrosty.

Bylo dokázáno, že mrtvý les má vyrovnanější odtokový režim, než holina, měřeno odtokovým koeficientem, ale rozdíl nebyl nijak výrazný. Také se ukázalo, že mrtvý les měl dokonce vyrovnanější odtokový režim než les zdravý, ale rozdíl byl opět nepatrný. Nevznikly extrémní odtoky kvůli malé části odlesnění (Tesař a kol., 2004).

Odlesnění nezpůsobí výrazný nárůst odtoku ani vzestup kulminačního průtoku. Odlesněné plochy téměř okamžitě zarostou náhradním porostem, který půdu plně zakryje. V důsledku toho je transpirace původního stromového porostu nahrazena stejně mohutnou transpirací náhradních porostů (Tesař a kol., 2004).

Čurda a kol., (2011) zmiňují v rámci protipovodňové ochrany i možnost využití tzv. klauz, které byly v minulosti vybudované na Šumavě pro plavení dříví během jarního období. V současné době by je bylo možné využít v podobě suchých či řízených poldrů, které by během extrémních epizod zadržely vodu a přispěly tak ke zmírnění kulminačních průtoků povodňových vln v níže položených částech toků. Zároveň by jejich retenční prostor mohl být využit při suchých periodách k navýšení toků.

Čurda a kol. (2011) potvrdili vzájemný vztah mezi povodňovými průtoky a podílem plochy rašelinišť v povodí. Zároveň zmiňují extremitu povodní u vodních toků, které prošly revitalizačními opatřeními. Uskutečněných v hrazení původních melioračních kanálů, které rašeliniště odvodňují. Z hlediska ročního průběhu mají vyrovnávací účinek v období průměrných událostí. Na druhé straně vykazují i negativní jev, jakmile překročí určitou úroveň průtoku, dochází ke zvýšení odtokové extremity.

11.1 Protierozní opatření

Švehlík (2005) uvádí, že vodní eroze je přírodní jev, který vzniká činností povrchových vod z přivalových nebo dlouhotrvajících srážek, při tání sněhu a tekoucími vodami v bystřinách, potocích a řekách. Proces vodní eroze probíhá ve třech fázích. V první fázi voda půdu smívá a vymílá, poté ji transportuje na jiná místa, kde erodovanou zeminu usazuje a sedimentuje. Vašek (2005) popisuje vodní erozi jako proces, který v přírodě probíhá a v ekologicky stabilní krajině se neprojevuje destruktivně. Problém eroze nastal hlavně v souvislosti s využíváním zemědělské půdy a nabyl na aktuálnosti i v souvislosti se stále častějšími přivalovými dešti, které se projevily povodněmi v posledních letech na Moravě, ve východních Čechách nebo ve Středočeském kraji.

Dle Augearda (2004) je přesné pochopení hydrologických procesů vyskytujících se na zemědělské půdě zásadní pro zlepšení mechanismů, jak ovládat vodu proti erozi půdy a vzniku záplav. Současná tendence vedoucí k intenzivnímu zemědělství v kombinaci se špatně odvodněnými půdními bloky, které mají rozšířenou praxi zejména v Evropě a Severní Americe, může mít nedozírné následky. Zemědělské půdy byly navrhovány a realizovány se systémem odvodnění přebytečné vody z půdního profilu. Nyní na pozemcích dochází ke změnám ve využití oproti době, v níž byly systémy navrženy proto je důležité pozemky přizpůsobit k dnešnímu využití.

Podle Buzka (2004) je eroze celosvětovým problémem, půda je nenahraditelným přírodním zdrojem, který slouží jak pro zemědělství, tak pro lesní hospodářství. Intenzita vodní eroze výrazně stoupá v rozmoklé krajině po vydatných srážkách nebo mohutném tání sněhu. Při práci lesních a zemědělských strojů, dochází výraznému poškození svahů a lesních komunikací.

Zemědělskou půdu na svazích se snažíme před erozí chránit. Jedná se o komplexní opatření, vzájemně se doplňující a respektující současné požadavky ochrany krajiny a možnosti zemědělské výroby (Němec a Hladný, 2006). Kulhavý a kol. (2011) se zaměřil na opatření přispívající ke zmírnění škodlivého projevu vodní a větrné eroze, např. převedením co největší části povrchového odtoku na vsak do půdního profilu, zachycením smyté půdy nebo neškodné odvedení povrchových vod až do vodoteče či svést vodu do jiného místa, kde nemůže způsobit přímou škodu.

Buzek (2004) navrhl protierozní opatření na povodích Moravskoslezských Beskyd. Lesy byly rozděleny do čtyř funkčních skupin, z důvodu snížení vodní eroze vlivem mechanizačních prostředků:

První skupina – lesy s vodoochrannou funkcí, které jsou situované podél vodních toků. Zde je potřeba snížit nebo úplně vyloučit při pracích v lesích zemní mechanizační prostředky. Při svážení dřeva je možno použít lanovkových systémů, popřípadě využívat síly koní a tím jen minimálně poškodit povrch terénu.

Druhá skupina – lesy s protierozní funkcí, které se nachází na strmých svazích se sklonem nad 20°. Druhá skupina je podobná té první. Pro koncentrování dříví by se měli využívat lanovkové systémy, a nikoliv pozemní technika.

Třetí skupina – lesy odsávající, nachází se na zamokřených půdách. Při použití traktorů zde dochází k velkému poškození povrchu. Šach (1986) zpřesnil údaje o vodní erozi při intenzivní těžbě dřeva na zamokřených půdách, při výzkumu zjistil, že dochází ke zvýšenému odnosu půdy až 195m³ z 1 ha, po skončení těžby do 1 roku dochází ještě k odnosu přibližně 2 m³ ha⁻¹.

Do čtvrté skupiny podle Buzka (2004) patří lesy s infiltrační funkcí se sklonem do 20°, v této skupině je možné používat i kolové mechanizační prostředky (traktory), ale je zapotřebí omezit hustotu cestní sítě a omezit počet průjezdů v jedné stopě. Důležité pro omezení negativních následků fluviaální eroze je vhodná volba mechanizačních prostředků pro koncentrování dřeva na určená stanoviště. Správná volba technologie závisí na přírodních podmínkách dané lokality a v případě poškození povrchu je nutná důsledná asanace škod.

Kulhavý a kol. (2011) definuje tři typy opatření pro zmírnění vodní a větrné eroze, Agrotechnická, organizační a technická opatření.

Agrotechnická opatření

- Bezorební osevní postup – jedná se o postup pěstování plodin bez hlubšího kypření ornice. Cílem je maximálně zachovat vegetační kryt půdy a tím předcházet vodní a větrné erozi a omezit ztráty půdní vláhy. Bezorební osevní postupy jsou vhodné pouze pro některé plodiny a vyžadují použití speciální mechanizace.

Organizační opatření

- Zatravňování, zalesňování, protierozní rozmístování plodin, pásové střídání plodin, pěstování víceletých plodin a pícnin na orné půdě, údržba trvalých travních porostů
- K účinným opatřením proti smývání ornice patří zejména pěstování širokořádkových plodin na strmých svazích, ochrana, obnova a zpevňování mezí a jiných krajinných prvků.

Technická opatření

- Protierozní průlehy a příkopy, zatravněné údolnice, protierozní hrázky, ochranné nádrže suché i se stálou hladinou vody
- Výsadba, obnova a údržba vhodných krajinných prvků je tradičním a účinným prostředkem k omezení eroze zvláště orné půdy. Jako protierozní opatření mohou kromě cíleně vysazovaných a budovaných bariér sloužit také remízky a stromořadí u silnic.

Významným projevem ke snížení eroze je zatravňování orné půdy na sklonitých pozemcích. V horských oblastech je patrná snaha o zalesňování obnažených svahů, především napadených kůrovcem nebo postižených vichřicí. V mnoha korytech horských bystřin byly provedeny úpravy podélného sklonu dna, aby zde nedocházelo k nebezpečnému pohybu splavenin. (Němec a Hladný, 2006).

11.2 Protierozní opatření v CHKO Orlické hory

Vašek (2005) vyhodnocuje erozi v Orlických horách. Na jaře v roce 2005 došlo k velkým erozním splachům půdy na velkých svažitých blocích s pěstovanou kukuřicí, také došlo k zanesení části obce Lukavice splavenou zeminou. V důsledku změny ekonomických podmínek dochází k útlumu zemědělského hospodaření v horských oblastech a následně k zatravnění většiny bloků orné půdy. V podmínkách CHKO Orlické hory je velká část zemědělských pozemků využívána jako pastviny a louky. Pozemkové bloky orné půdy se nacházejí na kopcovité krajině, na které hospodaří Agropodnik Zdobnice a.s. a zde zcela chybí ekologicky stabilizační prvky. Pro optimalizaci využívání krajiny v oblasti zadala v roce 2000 Správa CHKO Orlické hory vypracování plánu ÚSES. V tomto plánu jsou velké zemědělské bloky rozděleny napříč interakčními prvky a biokoridorem.

Ve velkých půdních blocích jsou jako protierozní opatření obnovovány meze a do nich vysazovány výhradně původní druhy dřevin – hloh obecný, bříza bělokorá a třešeň ptačí. Předpokladem je vysazení dřevin v 2 600 m dlouhých ekologicky stabilizačních prvcích. Další části krajiny ohrožené erozí jsou koryta nově revitalizovaných vodních toků. Proto jsou v břehových zónách vysazovány porosty tvořené autochtonními druhy vrb a olší. Eroze hrozí i na vlhkých, svažitých pastvinách v místech soustředování skotu, kde dochází ke značenému rozrušování drnové vrstvy. Ve velkých blocích pastvin v místě průlehů a údolnic byly vysázeny remízky například na Nebeské Rybné 3,25 ha, na Souvlastní 1,8 ha. Tyto plochy byly zcela vyjmuty z pastvin. Byly oploceny a chrání půdu v místech, která jsou k erozi nejzranitelnější.

12. Povodně

Podle zákona 254/2001 Sb. se povodněmi rozumí přechodné výrazné zvýšení hladiny vodních toků nebo jiných povrchových vod, při kterém voda již zaplavuje území mimo koryto vodního toku a může způsobit škody. Povodeň může být způsobena přírodními jevy, jako jsou tání sněhu, dešťové přeháňky nebo chod ledů nebo jinými vlivy, zejména poruchou vodního díla, která může vést až k jeho protržení.

Za nebezpečí povodně se považuje situace zejména při dosažení stanoveného limitu vodního stavu nebo průtoku ve vodním toku a jeho stoupající tendenci. Nebo při déletrvajících vydatných dešťových srážkách, popřípadě prognóze nebezpečí intenzivních dešťových srážek, očekávaném náhlém tání sněhu, nebo při vzniku nebezpečných ledových zácp a nápěchů. Poslední nebezpečnou situací při povodni je vznik mimořádné situace na vodním díle, kdy hrozí nebezpečí protržení nebo jiné poruchy.

Dostál a kol. (2006) konstatují, že nebezpečnost jednotlivých povodí je v současné době klasifikována především na základě negativní zkušenosti z povodňových situací na různých místech. Za povodňově riziková jsou proto považována povodí, kde jsou výrazné negativní zkušenosti zachycené lidskou pamětí. Existuje však řada povodí, která jsou stejně nebo pravděpodobně ještě i více nebezpečná, než ta kde k povodňovým situacím došlo, ale nebyla dosud zasažena dostatečně silnou příčinnou srážkou.

N-leté hodnoty vyjadřují průměrnou dobu opakování povodní. Jedná se o posouzení extrémnosti kulminačního průtoku. Hodnoty se zjišťují statistickou analýzou dlouhodobých časových řad pozorovaných maximálních průtoků. 100-letá povodeň je taková, jejíž kulminační průtok je v dlouhodobém průměru dosažen nebo překročen jedenkrát za sto let (Němec a Hladný, 2006).

12.1 Protipovodňová opatření

Dumbrovský a kolektiv (2007) se zabývá povodněmi, které mohutně zasáhly Českou republiku v letech 1997 a 2002, vyvolaly v řadách odborníků a v obyčejných lidech příliš otázek a názorů ohledně dalšího postupu ochrany před zdrcujícími účinky povodní. V současné době jsou uplatňovány dva přístupy, které vedou k návrhu protipovodňových opatření.

Technický přístup – spočívá v ochraně majetku a aktivit v oblastech vystavených povodňovému nebezpečí, jedná se o ochranu urbanizovaných částí inundačních území systémy hrází, mobilním hrazením, zkapacitněním úseku vodních toků.

Také je za pomoci návrhů různých typů nádrží řešena nutnost kompenzace inundačních prostorů toků vyjmutých z transformace škodlivých povodňových průtoků umělými prostory akumulace.

Biotechnický přístup – navazuje na technická liniová a plošná opatření na vodním toku, klade důraz na aplikaci systému komplexních ochranných opatření v ploše povodí a navazující pozemkové úpravy. Mají vedle protierozní a protipovodňové ochrany i účinek ve zvýšení retenční schopnosti krajiny a zvýšení její ekologické stability.

Strategie ochrany před povodněmi (2000) hovoří o nezbytnosti vytvoření prostorové rovnováhy mezi hospodářským rozvojem území a potřebou využít toto území ke zpomalení odtoku a akumulaci vody. Mezi opatření v krajině je změna využívání pozemku, změny rostlinného pokryvu, zatravnění a zalesňování břehů a přirozených inundací. Nadměrná srážková činnost vyvolává kromě povodňové situace i nestabilitu svahů v postižené oblasti, jež způsobuje velké škody na krajině, na budovách a může zhoršit průběh povodně.

Strategie ochrany před povodněmi v ČR

Na základě usnesení vlády ČR č. 382, ze dne 19.4.2000 Strategie ochrany před povodněmi v České republice, které vychází ze zahraničních zkušeností i z provedených analýz povodňových situací určuje následující zásady:

- Pro efektivní omezení následků povodní je nejpodstatnější prevence,
- Na zabezpečení realizace preventivních opatření ke snížení škodlivých následků povodní se musí podílet kromě státu také subjekty – na úrovni regionů, okresů, obcí a vlastníků nemovitostí,
- Efektivní preventivní opatření je nutné uplatňovat systémově v ucelených povodích a s provázáním vlivů podél vodních toků,

- Pro efektivní ochranu před povodněmi je třeba vycházet z kombinace opatření v krajině, která zvyšují přirozenou akumulaci a retardaci vody v území a technických opatření k ovlivnění povodňových průtoků,
- Pro návrhy k ochraně před povodněmi je třeba využívat výstupy z moderních technologií matematického modelování (simulace) povodní, které zpřesňují vymezení rozsahu a průběhu povodní a zároveň dovolují posuzovat účinnost zvolených opatření podél celého vodního toku,
- S ohledem na charakter území a geografickou polohu České republiky je nezbytné řešit ochranu před povodněmi v mezinárodním kontextu, zejména v rámci stávajících mezistátních dohod o spolupráci v povodích řek přesahujících hranice státu.
- Vzhledem k finanční náročnosti je zabezpečení účinné ochrany před povodněmi víceletý proces, kdy prioritou státního zájmu je podpora prevence oproti úhradě nákladů za škody způsobované povodněmi,

Strategie je dokument s dlouhodobou platností otevřený pro doplňující návrhy, které budou reagovat na vývoj poznání a rovněž plnění navrhovaných opatření.

13. Závěr

Bakalářská práce je zaměřena na popis složek odtoku a jejich geneze, pochopení těchto složek je velmi důležité pro pozdější zmírnění následků nekontrolovatelného odtoku.

Povodně způsobují v České republice značné škody, v období 1980 – 1988 to bylo ročně v průměru více jak 500 mil. Kč a celkem 10 životů. Časté jsou případy, kdy škody z jedné povodně přesahují částku 1 mld. Kč například povodeň v červenci 1981 na Berounce, Vltavě a Labi. V posledních 16 letech postihly Českou republiku dvě největší povodně za posledních 100 let. V roce 1997 to byly červencové povodně především na Moravě, při nichž došlo ke ztrátě 60-ti lidských životů a celkové přímé materiální škody dosáhly 63 mld. Kč. V srpnu 2002 katastrofální povodně zasáhly především povodí Vltavy a následně i dolního Labe. Celkové škody dosáhly 73 mld. Kč a o život přišlo 17 lidí (údaje z Povodňového plánu ČR, 2007).

Z práce vyplývá, že největší faktor, který ovlivňuje odtokovou odezvu, je výskyt abnormálních meteorologických situací, ty jsou ovlivněny geografickými podmínkami České republiky. Významnou roli hraje i sklon terénu, vegetační kryt a antropogenní činností působící na určité území. Na zvýšení retenční schopnosti krajiny má příznivý vliv lesní porost, trvalé travní porosty a úzkořádkové polní plodiny. Z průzkumu vyplývá rozdíl mezi zdravým vitálním smrkovým lesem, mrtvým lesem s bylinným porostem a holinou. Výsledkem bylo zjištění, že zdravý les má vyrovnanější odtokový režim než holina. Mrtvý les má také vyrovnaný odtok z důvodu bylinného porostu, který nahradí stejně mohutnou transpiraci odumřelého lesa. Ani odlesnění nezpůsobí výrazné škody, téměř okamžitě zarostou náhradním porostem.

K zabránění povodní lze postavit v inundačních území systémy hrází, které umožní rozlití vody do okolí. Z hlediska protierozní ochrany je důležité zatravňování popřípadě zalesňování obnažených svahů. Proti smývání ornice je možné i pěstování úzkořádkových rostlin (obiloviny, řepka) a údržba mezí a jiných krajinných prvků včetně přizpůsobení prvků územních systémů ekologické stability (ÚSES). Je možné využívat i bezorební osevní postupy, které jsou vhodné pouze pro některé plodiny a vyžadují použití speciální techniky (secí stroje pro přímé setí). Proti erozi jsou účinné i protierozní průlehy a příkopy nebo ochranné nádrže, které mohou být suché nebo se stálou hladinou vody.

14. Seznam literatury

1. Adamec M., Březková L., Hanzlová M., Horák J., Unucka J. (2006): Modelování vlivu land use na srážkoodtokové vztahy s podporou GIS. Příspěvek na konferenci Říční krajina 4. Olomouc, 335-350.
2. Arnau-Rosalén E., Calvo-Cases A., Boix-Fayos C., Lavee H., Sarah P. (2008): Analysis of soil surface component patterns affecting runoff generation. An example of methods applied to Mediterranean hillslopes in Alicante (Spain). *Geomorphology*: 595 – 606.
3. Augéard B., Kao C., Chaumont C., Vauclin M. (2005): Mechanisms of surface runoff genesis on a subsurface drained soil affected by surface casting. A field investigation. *Physics and Chemistry of the Earth*: 598-610.
4. Burroughs W. J., Crowder B., Robertson T., Vallier-Talbotová E., Whitaker R., Zillman J. (1999): Cesty za poznáním počasí. Václav Svojtka & Co, Praha
5. Buzek L. (2004): Plaveninový režim jako ukazatel intenzity vodní eroze v horských zalesněných povodích. *Journal of Hydrology and Hydromechanics* 1/2004: 24-40.
6. Calvo-Case A., Arnau-Rosalén E., Boix-Fayos C., Lavee H., Sarah P. (2008): Analysis of soil surface component patterns affecting runoff generation. An example of methods applied to Mediterranean hillslopes in Alicante (Spain). *Geomorphology*: 595-606.
7. David V., Krása J. (2010): Povodňová rizika v malých povodích. GIS Ostrava. Konference
8. Dostál T., David V., Vrána K., Nováková H. (2006): Studie odtokových poměrů v povodí Weisseritz. ČVUT v Praze, projekt EMTAL, Praha.
9. Dumbrovský M., Ivanová Z., Macků M., Pavka P., Hošková V., Pavlík F., Maděřičová Š., Beníček Z., Křížková S., Vašíňová K., Uhrová J. (2007): Návrh strukturálního řešení protierozních a protipovodňových opatření v povodí Dědiny, Praha.
10. Hanzel V. (1998): Hydrogeológia. Dionýza Štúra, Bratislava.

11. Hanzlová M., Horák J., Unucka J., Halounová L., Židek D., Boukalová Z. (2006): Klasifikace pokryvu v území v povodí Bělé pro hodnocení srážko-odtokových poměrů. *Geoinformatika ve veřejné správě*.
12. Hlavčová K., Holko L., Szolgay J. (2001): Tvorba a modelovanie odtoku na svahoch a z malých povodí. *Životné prostredie* 3/2001.
13. Chlebek A., Jařabáč M. (1997): Beskydská experimentální povodí. Stoleté výročí extrémních atmosférických srážek, sborník referátů, 42-47.
14. Jeníček M. (2007): Rainfall – runoff modelling in small and middle large catchments – an overview. *3/2007: 305-313*.
15. Jůva K., Hrabal A., Tlapák V. (1984): *Malé vodní toky*, SZN, Praha
16. Kopáček J., Bednář J. (2005): *Jak vzniká počasí*. Karolinim, Praha
17. Krešl J. (2001): *Hydrologie podzemních vod*. Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, Brno
18. Kříž H. (1983): *Hydrologie podzemních vod*. Academia, Praha.
19. Křovák F., Kuřík P. (2001): Vliv lesních ekosystémů na odtokové poměry krajiny. *Aktuality Šumavského výzkumu: 75-79*.
20. Kulhavý Z., Fučík P., Tlápková L. (2011): *Metodická příručka pro žadatele OPŽP*, Praha
21. Kulhavý Z., Soukup M. (2010): *Zemědělské odvodnění a krajina*. In: *Sborn. Voda v krajině*, s. 97-104
22. Maidment D. R. (1993): *Handbook of Hydrology*. McGROW-Hill, New York, s. 1424
23. Matoušek V. (2010): *Poznávání odtokových vlastností malých povodí za regionálních dešťů*. Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, Praha.
24. Němec J., Hladný J. (2006). *Voda v České republice*, Consult, Praha.
25. Pavlásek J., Máca P., Ředinová J. (2006): *Analýza hydrologických dat z Modravských povodí*. *Journal of Hydrology and Hydromechanics* 2/2008: 207-216
26. *Příručka ochrany proti vodní erozi* (2012). Ministerstvo životního prostředí, Praha
27. Soukup M., Hrádek F. (1999): *Optimální regulace povrchového odtoku z povodí*, Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy. Praha.

28. Strategie ochrany před povodněmi (2000), schválená vládním usnesením ze dne 19. Dubna 2000
29. Šach, 1986: Vliv obnovených způsobů a těžební dopravní technologie na erozi půdy.
30. Šanda M., Císlerová L. (2009): Transforming hydrographs in the hillslope subsurface 4/2009: 264-275
31. Šanda M., Hrnčář M., Novák L., Císlerová M. (2006): Vliv půdního profilu na srážkoodtokový proces, *Journal of Hydrology and Hydromechanics* 2/2006: 183-191
32. Šilar J. (1996): Hydrologie v životním prostředí. Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava
33. Švehlík R. (2005): Vodní eroze na jihovýchodní Moravě v obrazech. Přírodovědný klub v Uherském Hradišti. s. 5-64.
34. Tesař M., Šír M., Zelenková E. (2004): Vliv vegetace na vodní a teplotní režim tří povodí ve vrcholovém pásmu Šumavy. *Aktuality Šumavského výzkumu II*: 84-88.
35. Unucka J. (2008): Modelování vlivu lesa na srážkoodtokové vztahy a vodní erozi pomocí GIS. *Vodní hospodářství* 7/2008: 225-231.
36. Unucka J., Adamec M. (2008): Modelování vlivu krajinného pokryvu na srážko-odtokové vztahy v povodí Olše. *Journal of Hydrology and Hydromechanics* 4/2008: 257-271.
37. Vašek M. (2005): Protierozní opatření v akcích PPK CHKO Orlické hory. *Ochrana přírody* 9/2005: 265-269.
38. Yonghui Y., Fei T. (2009): Abrupt change of runoff and its major driving factors in Haihe river catchment, China. *Journal of Hydrology*: 373-383.
39. Zákon č. 254/2001 Sb. – vodní zákon

Internetové zdroje:

40. <http://www.dhisoftware.com/products/WaterResources/MIKESHE.aspx>.
Staženo dne: 8.2.2013.
41. <http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-hms/>. Staženo dne: 8.2.2013