

JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH
ZEMĚDĚLSKÁ FAKULTA

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

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Vliv srážko – odtokových událostí na odnosy živin z povodí

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

Autor:
Eva Streitová

České Budějovice, 2014

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

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

Jméno a příjmení: **Eva STREITOVÁ**
Osobní číslo: **Z11061**
Studijní program: **B4106 Zemědělská specializace**
Studijní obor: **Pozemkové úpravy a převody nemovitostí**
Název tématu: **Vliv srážko-odtokových událostí na odnosy živin z povodí**
Zadávající 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 událostí v povodí. Přednostně bude řešena problematika odnosů živin z povodí při těchto událostech. 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.

Popis vzniku srážko-odtokových epizod.

Rozdělení srážko-odtokových událostí.

Popis faktorů ovlivňujících odtok při srážkové epizodě.

Odnosy živin ve vodách při srážko-odtokových událostech.

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.

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.

Novotny, V., Chesters, G. Handbook of nonpoint pollution - sources and management. Litton educational publishing, 1981, 555 s.

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

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

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

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


prof. Ing. Miloslav Šoch, CSc.
děkan

JIHOČESKÁ UNIVERZITA
V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH
ZEMĚDĚLSKÁ FAKULTA
studijní oddělení
Studijní L.S. 13
370 01 České Budějovice


doc. Ing. Pavel Ondr, CSc.
vedoucí katedry

V Českých Budějovicích dne 20. března 2013

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svoji bakalářskou práci Vliv srážko – odtokových událostí na odnosy živin z povodí 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 14. dubna 2014

.....
Eva Streitová

PODĚKOVÁNÍ

Touto cestou bych ráda poděkovala vedoucímu bakalářské práce Ing. Václavu Bystřickému, Ph.D. za odborné vedení a cenné rady při tvorbě mé bakalářské práce.

ABSTRAKT

Cílem této bakalářské práce je objasnění vlivu srážko-odtokových událostí na odnos živin z povodí, a jaké srážko-odtokové události jsou hlavní příčinou odnosů. Jsou zde popsány základní živiny vyskytující se nejčastěji a v největším množství v našich vodách, mezi které patří dusík a fosfor. Je zde popsán jejich výskyt ve vodách a následná eutrofizace vod. Dále jsou v práci charakterizovány faktory ovlivňující odtok při srážkové epizodě, které svým působením určují, jaký podíl srážek odteče po povrchu, kdy a v jakém sledu se jednotlivé části srážek dostanou do koryta, zda voda steče rychle po povrchu nebo se vsákne do půdy. Fungování těchto procesů způsobuje nám známý oběh vody v přírodě, který je následně popsán v této práci.

Klíčová slova: srážky, odtok, odnos, živiny, dusík, fosfor

ABSTRACT

The aim of this bachelor thesis is to clarify the influence of rainfall drainage events on nutrients loss in river basins and which of these rainfall drainage events are the main reason for the loss. This thesis describes the elemental nutrients (nitrogen and phosphorus belong here) occurring the most often and in the biggest amount in our waters. The thesis also describes their occurrence in waters and follow-on eutrophication of waters. Further, the factors influencing the drainage during the rainfall event are defined. These factors determine, by their activity, what aliquot part of rainfall drains on the surface, when and in which sequence the individual aliquot parts of rainfall come to river basin, whether water runs off the surface quickly or whether it soaks into the soil. These processes implicate the well-known cycle of water in the nature, which is consequently described in this thesis.

Key words: rainfall, drainage, loss, nutrients, nitrogen, phosphorus

OBSAH

1. Úvod	8
2. Oběh vody v přírodě.....	9
2.1 Chemické složení vod	11
2.2 Povrchová, podpovrchová a podzemní voda.....	13
2.3 Hydrologická bilance	14
3. Srážky a odtok z povodí	16
3.1 Vznik srážek	16
3.2 Rozdělení srážek.....	17
3.2.1 Horizontální srážky	17
3.2.2 Padající srážky	18
3.3 Odtok	20
4. Popis vzniku srážko-odtokových epizod	22
4.1 Intenzita a úhrn srážek.....	22
4.2 Průtok	23
4.3 Hydrogramy.....	24
5. Faktory ovlivňující odtok při srážkové epizodě.....	27
5.1 Třídění a typologie vodních toků	32
6. Živiny v povodí.....	34
6.1 Dusík a fosfor	34
6.1.1 Dusík a jeho výskyt ve vodách	35
6.1.2 Fosfor a jeho výskyt ve vodách.....	36
6.2 Eutrofizace.....	37
6.3 Rozdělení zdrojů živin v povodí	39
7. Odnosy živin ve vodách při srážko-odtokových událostech	40
8. Závěr	45
9. Seznam použité literatury	46
Seznam obrázků	50
Seznam grafů	50
Seznam tabulek	50

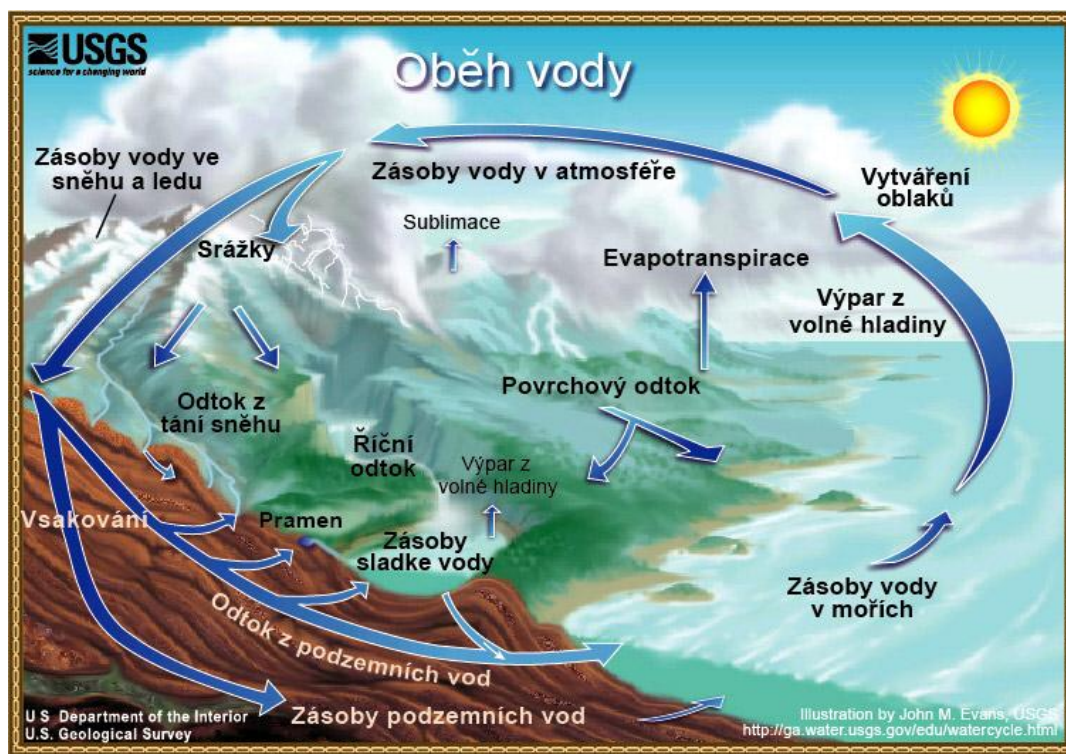
1. Úvod

Veškerá voda na Zemi a v atmosféře, bez rozdílu skupenství, se nazývá hydrosféra. Stále zřetelněji se ukazuje, že vodu, její povrchové a podzemní zdroje lze chápat jako významnou součást přírodního bohatství státu (Kemel, 1996). Voda je nejrozšířenější kapalinou na Zemi. Tvoří základ života, je jedním z hlavních faktorů životního prostředí, ale je to i ničivý přírodní živel, který má na svědomí velké množství přírodních katastrof (Broža, 1988). Největší význam pro lidstvo má voda na souši, kde se vyskytuje v omezeném a prostorově i časově velmi nerovnoměrně rozděleném množství (Kříž, 1983).

Vodopády a déšť, ledovce a prameny teplých vod, voda v pórech hornin a vodní pára unikající ze sopek, rosa a neznámé hloubky oceánů, rychlé bystřiny a pomalý pohyb veletoků – to jsou některé z forem pozemské vody, které jsou předmětem zájmu lidí již od nepaměti. Bez vody by byl povrch Země tvořen jednotvárnými krátery, tak jak známe např. z Měsíce. Nepřítomnost vody na Zemi by způsobila zcela odlišný vývoj tohoto nepatrného, ale pro lidstvo tak významného místa ve vesmíru (Pačes, 1982). Dostatečné množství dobré vody je nezbytným předpokladem zachování života na Zemi, předpokladem dalšího rozvoje lidské společnosti. Voda je pro člověka nezbytnou potravinou a surovinou, je zdrojem energie, při dostatečných hloubkách v řekách, jezerech, nádržích atd. Nejen nadbytek, ale i nedostatek vody přináší národnímu hospodářství značné škody (Kemel, 1996).

Ekosystémy tekoucích vod jsou otevřené systémy, pro něž je charakteristický přísun látek přítokem z okolí a jejich ztráty odtokem (Němec a Hladný, 2006).

2. Oběh vody v přírodě



Obrázek 1 Schéma oběhu vody podle US Geological Survey (Němec a Hladný, 2006)

Voda má zvláštní postavení mezi surovinami v tom, že není nenávratně spotřebována, ale obnovuje se v nepřetržitém koloběhu (Kliener a kol., 1978). Oběh vody probíhá v přírodě ustavičně (Kopáček a Bednář, 2005). Voda se nevyskytuje na zemské kouli ve stavu klidu. V rámci koloběhu vody v přírodě nemůže nikdy a nikde existovat bez pohybu. Základními složkami tohoto oběhu jsou srážky, výpar, povrchový a podpovrchový odtok i voda zadržovaná v nádržích (akumulace) (Plecháč, 1989). Část vody se zachytí na povrchu rostlin a těles, doplňuje objemy v prohlubních terénu, v jezerech, nádržích a rybnících. V případě deště s intenzitou převyšující intenzitu infiltrace voda odtéká povrchově po terénu a tak může zásobovat toky přímo. Část spadlé vody obohacuje půdní profil a rozhojňuje zásoby podzemních vod. Tyto zásoby dotují řeky, jezera, nádrže atd. - z nich se opět voda vypařuje do atmosféry. Tomuto jevu říkáme oběh vody na Zemi (Kemel, 1996). Oběh vody neboli hydrologický cyklus nemá začátek ani konec. Zahrnuje mnoho rozmanitých procesů výměny vody, změny skupenství, přenosu energie a chemických reakcí. Oběh vody zajišťuje fungování klimatického systému Země.

Základní součástí oběhu vody na zemi je odtok vody z kontinentů do oceánů. Ten probíhá v tzv. velkém oběhu znázorněno na obr. č. 1 (Němec a Hladný, 2006). Výměna vláh v systému atmosféra ↔ hydrosféra ↔ pevnina se označuje jako velký oběh vody. Malý oběh vody se realizuje buďto v subsystému atmosféra ↔ hydrosféra nebo pevnina ↔ atmosféra (Vysoudil, 1997). Pačes (1982) taktéž uvádí, že hydrologický oběh umožňuje výměnu velkého objemu vody, při kterém se voda, která přitekla do oceánů, vrací atmosférou na kontinenty, aby opět tekla řekami, puklinami, podzemními póry zpět do oceánu a dodává, že během tohoto oběhu voda rozpouští a unáší látky, které by jinak zůstávaly beze změny v litosféře (Pačes, 1982). Podle Němce a kol. (2006) je území ČR zapojeno jak do velkého oběhu, jehož dimenze zde určují středoevropské klimatické poměry, tak do malého oběhu probíhající v místní krajině. Právě malý oběh vody v krajině – tedy místní výpar z přehřátých míst zvyšující vlhkost vzduchu, atmosférický přenos a srážky v chladnějších polohách – má termoregulační význam. Podobně zajišťuje velký oběh vyrovnávání teplotních rozdílů v měřítku naší planety. Plecháč (1989) dodává, že základní formou existence vody, stejně jako každé jiné hmoty, je prostor a čas a má vzhledem ke koloběhu vody v přírodě mimořádný význam.

Kde bere voda energii k oběhu? Hnacím motorem je sluneční energie, která umožňuje výpar vody ze zemského povrchu do atmosféry. Voda tak získává potřebnou polohovou energii ke své pouti od atmosférických srážek přes odtok z pevniny zpět do oceánu. Energie vody proudící přes turbíny našich vodních elektráren tedy není ničím jiným, než transformovanou energií Slunce (Němec a Hladný, 2006). Voda jako přírodní zdroj je i nositelem energie mechanické, chemické a tepelné, hlavním médiem pro transport látek, surovinou pro řadu průmyslových odvětví (Plecháč, 1989).

Globální oběh přenáší obrovské objemy vody, které se dají vyjádřit v jednotkách nepředstavitelných $1\,000\text{ km}^3$. Vyjádření srážek, výparu nebo odtoku v milimetrech dává vhodnou představu o dimenzích oběhu vody v krajině. Vrstvička jednoho milimetru odpovídá objemu 1 litru vody rozloženého na plochu 1 m^2 . Celosvětově prochází ročně atmosférou více než $500\,000\text{ km}^3$ vody, což je ovšem jen zlomek celého objemu hydrosféry. Všechny řeky planety přinášejí do světového oceánu za rok průměrně $42\,000\text{ km}^3$ vody, $2\,700\text{ km}^3$ se sem dostává táním ledovců a $2\,200$

km³ činí výrony podzemní vody při pobřeží. Celkový přítok do oceánu (asi 47 000 km³) odpovídá vrstvičce vody pouhých 130 mm na hladině oceánu za rok (Němec a Hladný, 2006). Z povrchu celé zeměkoule se za rok vypaří cca 518 600 km³ vody, z čehož připadá asi 86 % na oceány a 14 % na souš. Totéž množství vody ovšem za rok zase spadne na povrch celé Země, a to cca 79 % na povrch moří a 21 % na povrch souše (Kopáček a Bednář, 2005).

2.1 Chemické složení vod

Voda vyskytující se v přírodě není chemicky čistá. Vždy obsahuje rozpuštěné plyny a rozpuštěné a nerozpuštěné anorganické a organické látky. Některé látky přijímá již v atmosféře, ale k jejímu hlavnímu obohacování rozpuštěnými látkami dochází při infiltraci půdou a horninami (Pitter, 1999). Složení přírodní vody není konstantní, ale mění se v průběhu její cirkulace v zemském tělese. Některé látky se ve vodě rozpouštějí, jiné se srážejí nebo absorbují, a právě tato proměnlivost složení a pohyblivost vody způsobuje, že je voda jedním z hlavních činitelů látkové výměny či tzv. geochemického metabolismu na Zemi (Pačes, 1982). Dalším významným znakem, který ovlivňuje jak fyzikální a chemické vlastnosti vody, tak vodní organismy, je jednosměrné proudění (Němec a Hladný, 2006).

Nejhojněji jsou v přírodních vodách zastoupeny tyto složky: vápník, draslík, hořčík, sodík, železo, chloridy, kyselina uhličitá a křemičitá, nitráty a sulfáty. S ostatními látkami se obvykle setkáváme v menších množstvích. Pokud jsou jejich koncentrace velmi malé, označujeme je jako látky stopové. Takovými stopovými složkami přírodních vod jsou například rozpuštěné kovy, jako je olovo, měď, zinek, dále některé radioaktivní prvky, zejména radium, uran a plyn radon. Kromě anorganických látek se ve vodách vyskytují i stopová množství složitých organických molekul a dalších látek. Dále voda obsahuje bakterie, mikroorganismy a větší části hmoty, které nazýváme suspendovanými látkami (Pačes, 1982).

Složení tekoucích povrchových vod se mění jak s délkou, tak i s šířkou toku. Vliv šířky bývá v našich poměrech málo výrazný, pokud nejde o oblast toku pod místem vypouštění odpadních vod nebo pod místem vyústění přítoku. Vliv šířky toku je významnější jen u veletoků. Změny ve složení povrchových vod mohou být buď

krátkodobé, nebo dlouhodobé. Krátkodobé změny jsou způsobeny převážně hydrologickými nebo klimatickými poměry. Dlouhodobější, trvalejší změny jsou způsobeny zejména antropogenní činností, spočívající v chemizaci zemědělství, urbanizaci a industrializaci (Pitter, 1999). Pačes (1982) uvádí, že chemické složení povrchových vod je velmi proměnlivé. Povrchová voda neobsahuje pouze rozpuštěné látky, ale obvykle je v ní rozptýleno i velké množství suspendovaných částic různého původu a chemického složení. Většina suspenze pochází z půdního pokryvu, ze stěn a dna říčních koryt a je tvořena částicemi jak organického, tak neorganického původu. Povrchová voda obsahuje rovněž mikroorganismy. Nejčastějšími mikroorganismy jsou bakterie, řasy a sinice, které mohou, ale nemusí být zdraví škodlivé a často ovlivňují chemické složení povrchových vod, zejména obsah nitritů NO_2^- , nitrátů NO_3^- , sirovodíku H_2S , amoniaku NH_3 , fosforu P, železa Fe a oxidu uhličitého CO_2 .

Významnými časovými změnami v chemickém složení se povrchové vody odlišují od podzemních, u nichž kolísání složení v dané lokalitě bývá podstatně menší. Podle celkového chemického složení se dělí podzemní vody na prosté vody a minerální vody. Chemické složení podzemních vod je výsledkem vzájemného působení srážkových a povrchových vod, podzemní atmosféry a horninového prostředí. Závisí především na složení půd a hornin, kterými při svém podzemním oběhu vody protékají. Kromě toho závisí také na složení srážkových a povrchových vod v dané oblasti (především v oblastech se silně znečištěnou atmosférou) (Pitter, 1999).

Chemické složení podpovrchových vod je ještě pestřejší, než je tomu u vod povrchových. Podpovrchová voda při svém průsaku horninovým prostředím rozpouští minerály a obohacuje se o minerální látky. Chemické složení tedy závisí jak na složení horninového prostředí, tak na délce a době prosakování vody. Složení podpovrchových vod je rovněž ovlivňováno příionem vod a plynů z hlubokých částí zemské kůry, odkud jsou tyto složky vytěšňovány při stlačování a zahřívání hornin (Pačes, 1982).

Chemismus vody řek je určován specifickými zvláštnostmi tohoto biotopu. Pro řeky je charakteristický především proud. S ním spojená rychlá výměna vody určuje její intenzivní působení na půdu a podloží, po němž stéká. Řeky jsou napájeny

především atmosférickými srážkami, takže jejich první ovlivnění probíhá již v ovzduší, které svou čistotou či spíše znečištěním může podstatně ovlivnit chemické složení srážkové vody (Heteša a Kočková, 1997). Složení řek již naznačuje, že povrchová voda tekoucí delší dobu korytem rozpouští větší množství látek (Pačes, 1982). Zásadní význam pro chemický režim řek má způsob jejich napájení, který může být realizován povrchovými nebo podzemními vodami. Povrchové napájení se pak ještě rozlišuje na napájení z horských sněhů a ledovců, přítoky z bažin a rašelinišť a povrchové přítoky z půdy (Heteša a Kočková, 1997).

2.2 Povrchová, podpovrchová a podzemní voda

Povrchové vody jsou všechny vody přirozeně se vyskytující na zemském povrchu. Dělí se na vody kontinentální a vodu mořskou. Kontinentální povrchové vody jsou jednak tekoucí (vodní toky) a jednak stojaté (jezera, nádrže, rybníky) (Pitter, 1999). Za trvalý zdroj povrchové vody dnes i do budoucna můžeme považovat jen tu část vody, která se v koloběhu vody stále obnovuje (Plecháč, 1989).

Voda, nacházející se v pórech, puklinách a dalších otvorech v horninách, v jejich zvětralém plášti se nazývá podpovrchovou vodou (Pačes, 1982). Pod názvem podpovrchová voda se rozumí voda v zemské kůře ve všech skupenstvích (Pitter, 1999). Přestože jsou podpovrchové vody většinou skryté před zraky člověka, představují z hlediska objemu i kvality základ našich vodních zásob. Významnou část podpovrchových vod tvoří půdní vláha, dotující kořenové systémy vegetace (Němec a Hladný, 2006). Podpovrchovou vodu rozdělujeme podle toho, jak se pohybuje a v které části horninového prostředí se vyskytuje, na půdní vodu, vodu provzdušněného pásma a vodu nasyceného pásma. Půdní voda se nachází těsně při zemském povrchu, je vázána kapilárními a adsorpčními silami v půdě a je využívána kořeny rostlin. Ta část podpovrchové vody, která vytěsnila veškerý vzduch z pórů a puklin v hornině a vytvořila v nich zcela pásmo, se nazývá podzemní vodou. Přechody mezi podpovrchovými vodami různých typů nejsou v přírodě nijak vyhraněné. Nejvyhranější a prakticky nejvýznamnější je hranice mezi zónou, v níž se ještě kromě půdní vody, gravitační vody a kapilární vody vyskytuje v pórech vzduch, a zónou zcela nasycenou podzemní vodou. Rozhraní mezi těmito zónami označujeme

jako hladinu podzemní vody. Zónu nad hladinou podzemní vody nazýváme zónou aerace (provzdušnění) a zónu pod hladinou podzemní vody nazýváme zónou nasycení (Pačes, 1982).

Podzemní voda je nedílnou součástí koloběhu vody v přírodě (Kliener a kol., 1978). Podzemní vody tvoří důležitý subsystém v rámci systému oběhu vody v krajině. Představují jeho významnou část, která probíhá pod zemským povrchem v horninovém a půdním prostředí, v němž se tyto vody hromadí a pohybují. Ve vhodných místech dochází pak k odtoku podzemních vod do vodních toků (Kříž, 1983). Pouze malá část podzemních vod vzniká kondenzací vnitrozemských par. Převážná část podzemních vod má původ v infiltraci atmosférických srážek nebo prosakováním vody z povrchových toků. Oběh podzemní vody, zahrnující fázi infiltrace, pohybu a akumulace vody pod povrchem a přirozeného odvodňování, je proces, který závisí především na vlastnostech přírodního horninového prostředí, v němž probíhá. Tento oběh se podílí spolu s povrchovými vodami na celkovém odtoku vody, zároveň však obě složky na sebe vzájemně působí a spolu souvisejí, a to nejen ve výsledné fázi odtoku, ale oboustrannou komunikací, hydraulicky i kvalitativně. Míra vzájemného působení je opět určena především přírodními podmínkami a její objasnění je jedním z hlavních dílů hydrogeologických hodnocení (Kliener a kol., 1978).

2.3 Hydrologická bilance

Primární dotaci a obnovu vodního bohatství obstarává v rámci oběhu vody příroda nezávisle na vůli lidí. Proto je při hospodaření s vodou prioritní podmínkou znalost velikosti základních složek přirozeného oběhu vody – hydrologická bilance (informace o srážkách, přírůstky a úbytky celkového a základního odtoku, zásoby vody ve sněhu, přirozené průtoky ve vybraných profílech toků v daném území) (Němec a Hladný, 2006). Hydrologická bilance představuje v podstatě porovnání atmosférických srážek, odtoku a změn zásob povrchových a podpovrchových vod v určitém území, nejčastěji v povodí některého toku (Kříž, 1983). Hydrologická bilance podzemních vod zkoumá a hodnotí zákonitosti tvorby, oběhu a režimu podzemních vod v přírodním prostředí. K tomu účelu používá obecných

hydrogeologických znalostí, zaměřuje se však převážně na hodnocení srážkoodtokových vztahů, evapotranspirace, akumulace a retardace podzemních vod v přírodním horninovém prostředí a následných projevů v odtoku povrchových vod (Kliener a kol., 1978). Melioris a kol. (1986) uvádí, že atmosférické srážky představují základní složku rovnice hydrologické bilance. Davie (2008) dodává, že srážky mají hlavní roli na množství vody v povodí a zároveň i na její kvalitu.

Koloběh vody v přírodě lze matematicky vyjádřit tzv. rovnicí hydrologické bilance (Kliener a kol., 1978). Vzájemný vztah hlavních bilančních prvků je pro povodí dán bilanční rovnicí:

$$H_s = H_o + H_v + R$$

$$H_s = H_o + H_v - R$$

H_s - množství srážek spadlých na povodí,

H_o - množství vody odteklé uzavírajícím profilem povodí,

H_v - množství vody odpařené z povrchu povodí,

R - změna zásob vody na povodí (v rybnících, jezerech, ale i v půdě, v podzemních vodách apod. (Kemel, 1996).

Výchozí údaje pro stanovení základního bilančního vztahu získáme sledováním srážkových a odtokových poměrů v síti pozorovacích stanic a měrných profilů (Kliener a kol., 1978). Základní hydrologickou oblastí, na které zjišťujeme vzájemný vztah bilančních prvků a zkoumáme odtokový proces, je povodí. Je to území, vztažené k určitému profilu na toku, omezené rozvodnicí, tj. čarou (určenou nejlépe z vrstevnicových map vhodného měřítka), probíhající po obvodových nejvyšších místech, úbočích, vrcholech, hřebenech a sedlech horstev tak, že odděluje sousedící povodí. Takto určená plocha povodí je plochou, z níž srážková voda, spadlá na kterémkoli místě, má možnost (za předpokladu, že se nevypaří, nevsákne do půdy apod.), stéci povrchově do říčního systému tohoto povodí a protéci jeho uzavěrovým profilem (Kemel, 1996). Přehled základní hydrologické bilance hlavních povodí ČR nám udává tabulka č.1.

Tabulka 1 Základní hydrologická bilance hlavních povodí ČR (Němec a Hladný, 2006).

Povodí toku - závěrová stanice	Srážky (mm.rok ⁻¹)	Odtok (mm.rok ⁻¹)	Výpar (mm.rok ⁻¹)	Podíl odtoku na srážkách (%)	Průměrný průtok (m ³ .s ⁻¹)
Labe - Děčín	668	191	477	0,29	309
Odra - Bohumín *	800	326	474	0,41	48,1
Morava - Strážnice **	726	206	520	0,28	59,6
Dyje - Nové Mlýny	594	109	485	0,18	41,1

* povodí nezahrnuje hraniční tok Olše, ** povodí nezahrnuje dolní Moravu, včetně Dyje

3. Srážky a odtok z povodí

3.1 Vznik srážek

Termínem atmosférické srážky rozumíme částice, které vznikly v atmosféře následkem kondenzace vodní páry a které se vyskytují v atmosféře, na zemském povrchu nebo na předmětech v kapalném nebo pevném skupenství (Vysoudil, 1997; Kopáček a Bednář, 2005). Následkem změn tlaku a teploty vzduchu, které nastávají při proudění vzduchu, se vzduch nasytí vodními parami. Po nasycení začínají vodní páry kondenzovat kolem kondenzačních jader, kterými jsou prachové částice nejrůznějšího původu, jako např. částice horninotvorných minerálů vnesené do ovzduší, zejména jílových minerálů, saze, pyl apod. Vzniklé kapky o průměru setin mm se zprvu udržují v ovzduší jakožto oblaka, a to vlivem své nepatrné velikosti, teploty vzduchu a pohybem vzduchu. S pokračující kondenzací narůstají a padají konečně jako déšť k zemi. Pokud kondenzace nastává pod bodem mrazu, může kondenzovaná voda krystalizovat sublimací přímo v tuhém skupenství a vzniká sníh. Rychlou kondenzací se tvoří veliké kapky a nastává prudký déšť (Šilar, 1996).

Ze zemského povrchu se stále vypařuje voda, která přechází ve formě vodní páry do atmosféry. Výpar vody neboli evaporace, se uskutečňuje z vodních povrchů, tj. z moří, jezer, řek a rybníků, ale i z povrchu pevné půdy, sněhu a ledu (Kopáček

a Bednář, 2005). Kemel (1996) uvádí, že voda se tak dostává do atmosféry, ve které je prouděním vzdušných hmot přenesena na jiné, mnohdy velmi vzdálené místo, a tam, za příznivých podmínek, může po kondenzaci vypadnout v podobě srážek na povrch zemský. Kopáček a Bednář (2005) uvádí, že kromě toho se na výparu podílí také rostliny. Sají totiž z půdy soustavou kořenů vodu, která se pak vypařuje zejména povrchem listů. Tento výpar se označuje jako transpirace. Souhrn evaporace a transpirace představuje tzv. evapotranspiraci.

3.2 Rozdělení srážek

Srážky jako výsledek kondenzace nebo sublimace vodních par dělíme podle skupenství na srážky kapalné a pevné a podle místa a způsobu vzniku na srážky horizontální a atmosférické. Horizontální srážky (též srážky usazené), tvořené kondenzací bezprostředně na povrchu země nebo na předmětech na zemi, jako rosa, jinovatka, námraza, jsou proti atmosférickým srážkám poměrně malé (Kliener a kol., 1978; Kemel, 1996). Podle Kopáčka a Bednáře (2005) rozlišujeme jako další atmosférické srážky padající (někdy též vertikální) a k nim patří déšť, mrznoucí déšť, mrholení, mrznoucí mrholení, sníh, sněhové krupky, sněhová zrna, krupky, zmrzlý déšť, ledové jehličky a kroupy.

3.2.1 Horizontální srážky

- Rosa – jemné, někdy vzájemně splývající vodní kapičky, které se při teplotě rosného bodu nad 0 °C srážejí zpravidla na horizontálních plochách předmětů při povrchu země, jako na trávě, listech apod.
- Jinovatka – označujeme tak bílou, keříčkovitou usazeninu, lesknoucí se na slunci, tvořenou ledovými krystalky.
- Námraza – je to bělavá až šedá, neprůhledná, někdy kalná sněhová či ledová hmota. U nás se námraza vyskytuje v zimě především ve středních a vysokých polohách, které jsou delší dobu v mracích složených z přechlazených vodních kapiček, a to při teplotách do -5 °C.

- Ledovka – označujeme tak hladký, průhledný, ledový povlak. Tvoří se zmrzutím přechlazených kapiček mrholení nebo dešťových kapek na předmětech, jejichž teplota je mírně pod bodem mrazu (Kopáček a Bednář, 2005).

3.2.2 Padající srážky

- Déšť - vodní srážky vypadávající z oblaků v podobě kapek o průměru větším než 0,5 mm nebo i o menším průměru, vypadávají-li velmi hustě (Kopáček a Bednář, 2005). Vysoudil, (1997) uvádí, že při větších přeháňkách jsou dešťové kapky větší, ale při pádu se odporem vzduchu rozpadávají na menší. O dešti hovoříme i v případě, kdy kapky mají průměr menší než 0,5 mm, ale vypadávají hustě.
- Zmrzlý déšť – je deštěm, při kterém vypadávají zmrzlé průzračné vodní kapky skoro kulového tvaru o průměru 1- 4 mm. Vyskytuje se pouze v zimním období za mírného mrazu při zemi (Kemel, 1996).
- Mrznoucí déšť – déšť, jehož kapky mrznou po dopadu na prochlazený zemský povrch nebo na předmětech, které však nesmějí být uměle ochlazovány ani zahřívány.
- Mrholení – vodní srážky vypadávající z oblaků, tvořené drobnými kapičkami o průměru menším než 0,5 mm, pokud nemají takovou intenzitu, aby byly považovány za déšť.
- Sníh – tuhé srážky padající z oblaků a skládající se z ledových krystalků, jež mají často tvar šesticípé hvězdice nebo jejich částí.
- Kroupy – větší padající kusy ledu různého tvaru o průměru větším než 5 mm. Vypadávají často z bouřkových oblaků (Kopáček a Bednář, 2005).
- Sněhové krupky – jsou opálově bílé částičky skoro kulového tvaru 2-5 mm, jejichž povrch je drsný. Po dopadu na zem se rozbíjejí. Vyskytují se zpravidla před sněžením nebo před deštěm.
- Ledové jehlice – jsou velmi malé, protáhlé ledové krystalky. Padají ve dnech se silnými mrazy hlavně v ranních hodinách, vznášejí se ve vzduchu a třpytí se (Kemel, 1996).

Trvalé srážky a přeháňky

Jako trvalé srážky, ať již ve tvaru deště nebo sněhu, označujeme ty, jejichž trvání není omezeno na příliš krátký časový interval. Trvalý déšť či trvalé sněžení se vyskytují nad rozlehlým územím a vypadávají z oblaků druhu Nimbostratus, popř. Altostratus. Naproti tomu přeháňky nemají delšího trvání, za to však jsou co do množství spadlých srážek často vydatné. Mohou se totiž vyznačovat většími intenzitami. Srážky přeháňkového charakteru postihují menší oblasti a někdy jsou lokalizovány na poměrně velmi malé plochy. Přeháňky vypadávají především z oblaku druhu Cumulonimbus. Průběh srážek zejména přeháňkového charakteru vyjadřuje tzv. intenzita srážek. Tato veličina udává množství srážek spadlé za jednotku času, zpravidla v mm za minutu či hodinu (Kopáček a Bednář, 2005).

Srážky frontální a nefrontální

Frontální srážky tj. ty srážky, které padají v oblasti atmosférických front, jsou obecně dvojího druhu. Srážky před teplou frontou v podobě trvalého deště nebo sněžení a srážky v oblasti studené fronty, kde před ní jsou obvykle ve tvaru přeháňek a bouřek, za ní mohou být ve tvaru trvalého deště. Srážky uvnitř vzduchové hmoty (srážky nefrontální) padají ve značných vzdálenostech od atmosférických front. Přitom je samozřejmě nutné rozlišovat srážky uvnitř teplé a studené vzduchové hmoty. Pro teplé, obvykle stabilní vzduchové hmoty jsou typické srážky v podobě mrholení, v zimním období často ve formě sněhové krupice. Ve studených, zpravidla astabilních vzduchových hmotách se objevují srážky konvekční v podobě přeháňek (Kopáček a Bednář, 2005).

Rozdělení podle původu a okolností za jakých deště vznikly

- 1) deště z tepla,
- 2) deště orografické,
- 3) deště cyklonální (regionální, též krajinné).

1. Děšť z tepla vznikají kontaktním ohřátím vlhkého vzduchu o zemský povrch, následujícím jeho výstupem do vyšších vrstev atmosféry, kde se dynamicky ochladí, tak je v poměrně krátké době dosaženo rosného bodu. Je-li ve vzduchu přítomno dostatečné množství kondenzačních jader, nastane vysrážení přebytečné vlhkosti ze vzduchu a za příznivých podmínek narůstání vodních kapek či ledových krystalů. Tyto deště se vyznačují velkými intenzitami, zasahují menší plochy. Způsobují rozvodnění menších toků. Jsou typické pro oblasti rovníkového pásma, u nás se vyskytují v letním období (Kemel, 1996).

2. Deště orografické vznikají mechanickým účinkem pohoří, která zdvihají proudy vlhkého vzduchu do výše, kde nastává rozpínání, ochlazení, kondenzace a vznikají srážky. Srážky spadnou na návětrnou stranu pohoří, zatímco závětrná strana zůstává v dešťovém stínu (Šilar, 1996). Bývají často vytrvalé, zpravidla však s intenzitou menší než u dešťů první skupiny (Kemel, 1996). V České republice jsou příkladem Krušné hory s dešťovým stínem v Podkrušnohoří a na Žatecku (Šilar, 1996).

3. Deště cyklonální vznikají postupující tlakovou depresí (cyklonou). Malé hluboké cyklony jsou doprovázeny průtržemi mračen (velká intenzita), ploché cyklony vyvolávají vytrvalé deště zasahující velké rozlohy při nižších intenzitách - způsobují rozvodnění na celé říční síti velkých území (Kemel, 1996).

3.3 Odtok

Voda, vyskytující se v přírodě ve formě povrchové nebo podzemní, není v klidu, ale ve stálém oběhu, při němž vlivem slunečního tepla přechází výparem z hladiny moří, jezer, tekoucích vod, půdy i vegetace do ovzduší jako vodní pára, vytváří po ochlazení oblaka a jako dešťové nebo sněhové srážky padá opět na zemi. Pokud se pak zčásti ihned nevypařila, vsakuje do půdy, nebo odtéká po povrchu půdy a vytváří srážkový odtok (Jůva a kol., 1994).

Pačes (1982) definuje odtok jako množství vody, která odtéká z území. Celkový odtok je tvořen jednak povrchovým odtokem v řekách a potocích a podpovrchovým odtokem, který bývá jen nepatrnou částí celkového odtoku. Pouze v krasových územích a v oblastech tvořených velmi propustnými pískovci bývá podpovrchový

odtok významnější než odtok povrchový. Melioris a kol. (1986) uvádí, že se odtok vyjadřuje jako objem vody, která odtekla za sledované časové období. Odtok se začíná vytvářet spadnutím srážek. Z nich se část vypaří, část se spotřebuje rostlinami, část se infiltruje a obnovuje zásoby podzemní vody a část vytváří podzemní odtok. Část vody, která vytváří povrchový odtok, a část infiltrovaná voda vytváří odtok říční sítě. Němec a Hladný (2006) konstatuje, že vodní toky odvádějí vodu z krajiny, přičemž jsou zásobovány povrchovým i podpovrchovým odtokem vody. Povrchový odtok se uplatňuje v případě, když se srážková voda nestačí vsakovat do půdy, většinou tedy po intenzivních deštích nebo rychlém tání sněhu. Podpovrchový odtok probíhá daleko rovnoměrněji, a to především jako odtok podzemní vody, která vystupuje v podobě pramenů nebo výronem přímo do koryt řek. Pačes (1982) a Kemel (1996) dodávají, že velikost odtoku závisí na intenzitě a druhu srážek, teplotě a délce jejich trvání, na ploše, kterou zasáhnou i na jejich časovém a plošném rozložení, na propustnosti půdy a hornin, na typu vegetace, sklonu svahů apod. Pačes (1982) uvádí, že odtok kolísá v čase i prostoru. V našich klimatických podmínkách je nejvyšší na jaře při tání a nejnižší buď v zimě, kdy voda zůstává na povrchu ve formě sněhu, nebo na podzim po suché letní sezóně.

Pro celkový odtok Q_c platí:

$$Q_c = Q_p + Q_h + Q_{pd} + Q_{podz.} \quad (\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1})$$

Q_p - je povrchový odtok,

Q_h - hypodermický odtok,

Q_{pd} - podzemní odtok do řek a pramenů,

$Q_{podz.}$ - podzemní odtok bez výstupu na povrch v povodí

Členy Q_p a Q_h v rovnici tvoří přímý odtok. Q_{pd} představuje základní odtok, který má při řešení hydrologických úloh rozhodující význam, protože pochází ze zásob podzemní vody (Melioris a kol., 1986).

4. Popis vzniku srážko-odtokových epizod

4.1 Intenzita a úhrn srážek

Srážky charakterizuje jejich množství, trvání, vydatnost a intenzita (Matoušek, 2010). Množství srážek se vyjadřuje zpravidla jako srážková výška (mm). Jeden mm srážek odpovídá 1 l vody spadlé na plochu 1 m² (1 000 m³.km⁻²). Úhrn srážek (srážkový úhrn) je celková výška srážek spadlých na danou plochu za uvažované období (Pitter, 1999; Melioris a kol., 1986). V ČR je průměrný roční úhrn srážek kolem 700 mm. Další důležitou hodnotou je trvání deště. Podíl úhrnu a trvání definuje intenzitu deště (průměrnou nebo okamžitou). Mimořádnou intenzitu mají tzv. přívalové deště (Pitter, 1999).

Z hlediska srážko-odtokových povodní je nejvýznamnější atmosférickou srážkou dešť. Dešť tvoří vodní kapky o průměru 0,5-8 mm, nejčastěji 1-3mm. Ty se vyskytují za přívalových dešťů, lijáků. Lijáky se vyznačují krátkou dobou trvání, velkou intenzitou a malým plošným rozsahem (Matoušek, 2010). Jednotná všeobecně platná definice přívalových dešťů neexistuje. Tyto deště jsou příčinou záplav, a tak vznikajících škod na majetku, poškození staveb, ale i narušení krajiny (Rožnovský, 1999). Deště o největších intenzitách (bouřkové lijáky) se u nás vyskytují převážně v letním období. Ty jsou schopny vyvolat katastrofální povodně hlavně na tocích malých povodí (Kemel, 1996). Největší vliv na velikost povodně kromě množství a intenzity srážek má i vlhkost půdy bezprostředně před srážkami (Davie, 2008). Naopak dlouhotrvající, tzv. regionální (krajinné) deště, jež se v našich zeměpisných šířkách vyskytují nejčastěji v létě a na podzim, mohou způsobit rozvodnění říční sítí i značně rozsáhlých oblastí (Kemel, 1996).

Intenzita srážek na povodí malých toků

Intenzita srážek a její plošné rozložení na povodí zásadně ovlivňuje velikost a průběh povodně a významně ovlivňují srážko-odtokové vlastnosti povodí (Matoušek, 2010).

Podrobná znalost charakteru povodí malých toků je velmi důležitá, neboť rozhoduje o vzniku a průběhu srážkového odtoku. Velikostně malá povodí vytvářejí rychle probíhající a velké specifické odtoky, neboť mohou být zasažena na celé

rozloze tzv. přívalovými dešti, které se vyznačují sice krátkým trváním (často je 15-30 minut, zřídka do 3 hodin a nejdéle 6 hodin), avšak o vysoké srážkové intenzitě (při hodinové srážce až 1,3mm za minutu, za kratších srážek 2-3 krát více). Proto neupravené malé toky nezřídka způsobují nebezpečné povodně, zejména jestliže tvar povodí, jeho sklonitost, půdní vlastnosti a vegetační kryt jsou pro vznik a průběh srážkového odtoku zvláště příznivé (Jůva a kol., 1994).

4.2 Průtok

Podle Klienera a kol. (1978) se jako nejdůležitější považuje sledování údajů o průtocích vody v povrchových tocích. Povodí povrchových toků je obecně odlišné od území oběhu podzemní vody. Průtok v určitém profilu toku je tvořen v jistém časovém okamžiku z hlediska původu vody těmito složkami:

- povrchovým odtokem – tzv. ronem (povrchovým stokem), který tvoří tu část srážkové vody, která se nevypařila ani nevsákla a odtéká po povrchu terénu,
- hypodermickým odtokem- (odtok z pásma aerace), který stéká do koryta toku ve vrstvě bezprostředně pod povrchem, aniž by dosáhl hladiny podzemní vody,
- základním odtokem (odtok z pásma nasycení), tvořeným přítokem z podzemních vod.

Atmosférické srážky, které se nezadrželi na rostlinách (intercepce), nevsákly do půdy (infiltrace), nevypařily se a nezadržely v prohlubních (povrchová kapacita), odtékají povrchově do koryta toku (Kemel, 1996). Množství vody, které protéká korytem řeky je ovlivněno celou řadou činitelů. Hlavní vliv má množství srážek, které spadnou na plochu povodí. Část vody odtékající po povrchu využívá nerovností terénu a soustřeďuje se do odtokových linií. Odtokové linie se hierarchicky spojují do systému hydrografické sítě. Kolik vody z území odtéká, lze zjistit až tehdy, když se odtok vody soustředí do stálého říčního koryta. Klíčovou charakteristiku odtoku v korytě představuje rychlost proudění vody. Rychlost proudění je přitom velmi proměnlivá nejen v čase a místě na toku, ale liší se i v jednotlivých bodech průtočného profilu koryta (Němec a Hladný, 2006). Se změnou průtoků se mění a kolísají hladiny vodních toků (Kemel, 1996). Ovlivňuje ji především spád toku,

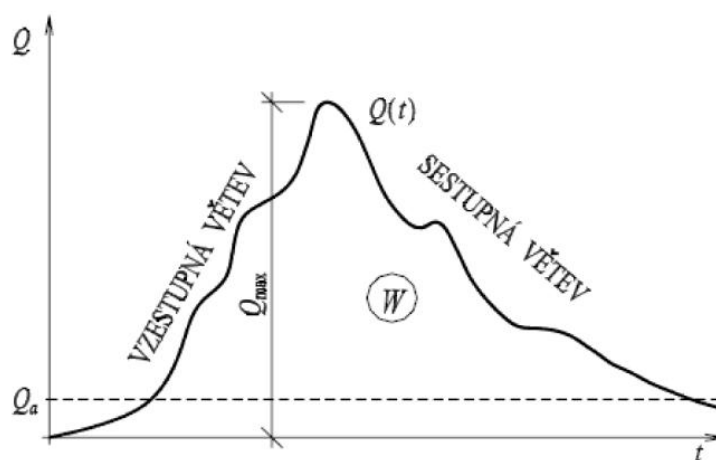
utváření povrchu dna a břehů. Rychlost proudění vody zpravidla roste s celkovým objemem průtoků. Nejmenší rychlost proudění má řeka při nejnižším stavu vody. Při povodni je naopak rychlost proudění výrazně větší než při normálním stavu, přičemž absolutně největší rychlost mají průtoky na čele povodňové vlny. Při poklesu povodně rychlost proudění vody prudce klesá (Němec a Hladný, 2006). Tok, hydraulicky spojený se zásobami podzemních vod nevysychá – vidíme tedy, že působením mnoha faktorů přerušovaný jev, jakým jsou srážky, se jako příčina odtoku, mění na neustálý, nepřerušovaný a časově posunutý jev odtoku vod z povodí (Kemel, 1996).

Pravidelným střídáním období dešťů a období sucha mají všechny řeky v jihoamerických Andách proměnlivý průtok. Období dešťů, kdy se řeky rozvodní, připadá na tamní léto, tj. listopad až duben. Tehdy se z horské čisté říčky stane veletok se zkalenou vodou, který se řítí úzkým korytem přes balvany o průměru až 10 m. V tomto období řeka unáší až 8 % splavenin, které jsou unášené rozvodněnou řekou (Broža, 1988). Splaveniny jsou různě velké částice hornin, které vznikají roztrušovací neboli erozní činností vody jednak v povodí smyvem půdy a horninových zvětralin, jednak vymíláním dna a strháváním břehů toků, a jsou v jejich korytě unášeny a přemisťovány vodou (Jůva a kol., 1994). Stává se, že podél koryta hrubé splaveniny vytvoří říční val, zabraňující nejen stékání povrchového odtoku nejkratším směrem do toku, ale je překážkou i přítokům (Kemel, 1996).

4.3 Hydrogramy

Hydrogram = závislost průtoku na čase. Hydrogram je možné považovat za integrální výraz hydrologických, fyzikálně-geografických, klimatických a hydrogeologických charakteristik, které určují vztahy mezi srážkami a odtokem z povodí. Ukazuje čas rozdělení odtoku v bodě měření, čím se definuje složitost charakteristik odtokového území jedinou empirickou křivkou (Melioris a kol., 1986). Hydrogram je grafickým vyjádřením naměřených hodnot hydrologického jevu v závislosti na čase. V tomto smyslu rozeznáváme hydrogramy vodních stavů, průtoků i dalších jevů (Šilar, 1996).

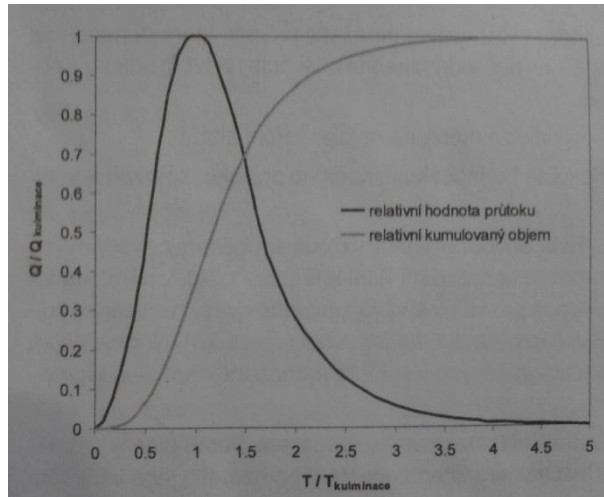
Průběh povodňi lze znázornit na hydrogramu obr. č. 2, který zaznamenává časový průběh extrémního průtoku. Jeho charakteristiky vystihují tři veličiny: kulminační průtok $Q(t)$, objem povodňové vlny W a tvar, jenž udává vzestupná a sestupná větev (Starý, 2005). Kulminační průtok je náhle zvětšený průtok a zvýšení vodního stavu, vyvolané obvykle deštěm nebo táním sněhu za oblevy a tímto vzniká následná povodeň (Šilar, 1996). Objem povodňové vlny určuje množství vody, které proteklo v průběhu začátku a konce povodňové události (Starý, 2005).



Obrázek 2 Hydrogram povodňové vlny (Starý, 2005)

Jednotkový hydrogram

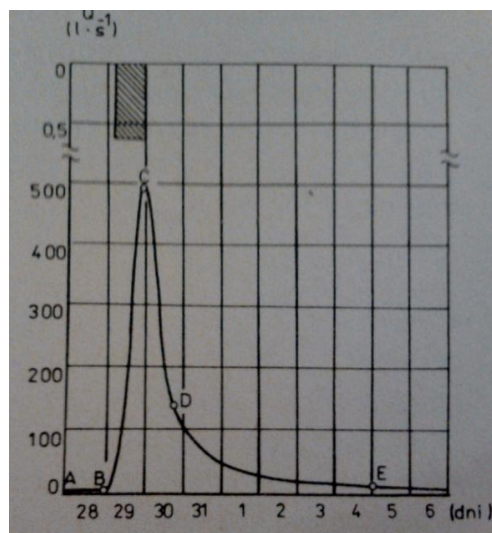
Jednotkový hydrogram je unikátní pro každé povodí a vyjadřuje v podstatě časové rozložení odtoku ($m^3 \cdot s^{-1}$) z jednotky příčné srážky (mm). Jeho stanovení je možné na základě historických srážkových a průtokových řad, v nichž jsou vyhledány situace, kdy srážka vyvolala odtok. Ve skutečnosti však jen vyjíměčně existují situace s výskytem srážky, která by odpovídala teorii jednotkového hydrogramu. U tzv. jednotkové srážky je předpokladem její homogenita v prostoru i její intenzita v čase. Proto byly odvozeny syntetické jednotkové hydrogramy. Příkladem může být bezrozměrný jednotkový hydrogram, který je proporcionálně vztažen k velikosti kulminačního průtoku a době mezi počátkem příčné srážky a kulminací odtoku z povodí obr. č. 3 (Daňhelka, 2007).



**Obrázek 3 Bezrozměrný jednotkový hydrogram podle SCS (Soil Conservation Service)
(Daňhelka, 2007)**

Jednoduchý jednovrcholový hydrogram

Typickým hydrogramem vytvořeným koncentrovaným přívalovým deštěm je jednovrcholová prostorová křivka, více vrcholů se může vyskytnout na hydrogramu, který vykazuje náhlé změny v intenzitě deště, sled přívalových dešťů, abnormálně rychlý výtok podzemní vody nebo jiné příčiny. V analýze hydrogramu je možné vícevrcholové komplexní hydrogramy rozdělit na určitý počet jednovrcholových hydrogramů. Jednoduchý jednovrcholový hydrogram vidíme na obr. č. 4. Skládá se z čáry přiblížení AB, ze stoupajícího úseku nebo z čáry koncentrace BC, z klesajícího úseku CE – výtoková čára CD a čára vyčerpávání DE. Vrchol hydrogramu reprezentuje nejvyšší koncentraci odtoku z odtokového území, která se vyskytuje obvykle v určitém časovém odstupu po skončení deště (Melioris a kol., 1986).



Obrázek 4 Jednoduchý jednovrcholový hydrogram (Melioris a kol., 1986)

5. Faktory ovlivňující odtok při srážkové epizodě

Fyzikálně - geografické faktory ovlivňují jednak samotné množství vody, které je k dispozici pro povrchový odtok, jednak jeho časové rozdělení. Působením těchto faktorů je určeno, jaký podíl srážek odeče po povrchu, kdy a v jakém sledu se jednotlivé části srážek dostanou do koryta, zda voda steče rychle po povrchu a způsobí povodeň, nebo vsákne do půdy a dále rozmnoží zásoby podzemních vod, které postupně zásobují větší toky a tak se podílejí na jejich nepoměrně vyrovnanějším průtokovém režimu (Kemel, 1996). Mezi nejdůležitější přírodní faktory ovlivňující vodní zdroje patří: klimatické poměry, teplota, srážky, výpar, morfologické a geologické poměry, vegetační pokryv zejména lesní, složení půdy a hydrogeologické vlastnosti území. Z těchto faktorů nemůžeme zatím obecně ovlivňovat klimatické poměry, množství srážek a výpar, geologické a hydrologické poměry a morfologii území (Plecháč, 1989). Uvedené faktory se odrážejí v hustotě říční sítě, tedy souhrnné délce stálých vodních toků na plošné jednotce, zpravidla (km.km^2) (Němec a Hladný, 2006). Voda se v korytě pohybuje účinkem gravitačních sil. O druhu pohybu rozhoduje velký počet faktorů. Především jsou to sklonitostní poměry, velikost a tvar průtočného průřezu, omočeného obvodu, drsnostní a směrové podmínky. Při stejné délce toku je dynamický účinek proudu a její výsledek eroze, v zásadě závislý, kromě velikosti průtoku, na spádu, tj. výškovém rozdílu mezi horním a dolním profilem uvažovaného úseku toku (Kemel,

1996). Hustota říční sítě závisí především na množství srážek a dále na velikosti srážkového odtoku, jehož tvorba je určována hlavně výškovou členitostí a sklonitostí povodí, vsakovací schopností a protierozní odolností jeho půd, vegetačním krytem i jinými činiteli, ovlivňujícími rychlost vývoje říční sítě (Jůva a kol., 1994).

Velikost a tvar povodí

Velikost a tvar povodí patří mezi charakteristiky, rozhodující o čase, potřebném k tomu, aby voda spadlá na různých dílčích plochách povodí, dotekla do uzávěrového profilu. Ovlivňování rychlosti stékání znamená rovněž ovlivnění ztrát výparem a vsakem. Fyzikální vlastnosti půdy ovlivňují zásadní měrou intenzitu vsaku vody do půdy. S množstvím nekapilárních pórů intenzita vsaku roste. Změna struktury půdy vyvolává změnu intenzity vsaku a pohybu vody v půdě. Geologické poměry rovněž mají značný vliv na popisované hydrologické děje na povodí (Kemel, 1996). Pokud jde o tvar povodí, vytvářejí větší a časově rychleji probíhající odtoky povodí plošně zaokrouhlená, neboť soustřeďují vodu k určitému profilu rychleji než stejně velká povodí protáhlá nebo prutovitá (Jůva a kol., 1994). Pokud jde o plochu povodí, tak s rostoucí velikostí povodí obvykle roste hodnota kulminačního průtoku, zároveň je však tvar povodňové vlny výrazně plošší (Daňhelka, 2007).

Reliéf

Vliv reliéfu je dán sklonitostními poměry na povodí. Čím je sklon území větší, tím jsou rychlosti stékání větší a možnost vsaku vod do terénu menší. Tam, kde je reliéf plošší, voda zůstává po určitou dobu v prohlubních a může se tak výrazněji uplatnit výpar i vsak. V oblastech s větší sklonitostí a vyššími srážkovými úhrny, (při jinak stejných podmínkách), vzniká erozní činností členitější terén s podélnými rýhami, kterými permanentně nebo jen občas teče srážková voda (Kemel, 1996). Tvar reliéfu působí především na intenzitu vsaku srážkové vody do půdy a propustných vrstev hornin. Největší význam mají přitom svahy, které představují nejrozšířenější a nejdynamičtější prvek reliéfu pevnin a zabírají značnou část (kole 90%) povrchu souše. Z vnějších vlastností svahů se nejvíce uplatňuje jejich sklon a délka. V závislosti na zvyšujícím se sklonu se zpravidla zhoršují podmínky pro

však srážkové vody na svazích, protože se zkracuje doba styku vody s povrchem půdy a rychlost povrchového odtoku vody narůstá. Délka svahu naopak může mít za následek větší intenzitu infiltrace vody z povrchu půdy a hornin. V území tvořeném rovinami akumulací rázu, pánvemi, kotlinami a plochými pahorkatinami, v nichž převládá rovný až mírně zvlněný povrch s menší výškovou členitostí, mohou být příznivější podmínky pro vsak srážkových vod než v členitých pahorkatinách, vrchovinách a zejména hornatinách, kde naopak bývá zpravidla vyšší povrchový odtok vody (Kříž, 1983). Rovněž větší sklonitost povodí s dlouhými svahy podporuje odtok srážkových vod jeho urychlením a soustředěním. Proto za jinak stejných podmínek vznikají větší a nebezpečnější odtoky v povodích pahorkatých a horských v porovnání s povodími méně sklonitými až převážně rovinnými (Jůva a kol., 1994). V horních částech toku, kde jsou sklony značné, dochází k vymílání a odnášení materiálu koryta. Ve střední části v podstatě pozorujeme transport, přemístování unášeného materiálu, v dolních částech podélného profilu toku, v důsledku menších sklonů (tím rychlostí) k jeho ukládání, sedimentaci (Kemel, 1996). Expozice vůči Slunci bude ovlivňovat především intenzitu evapotranspirace a tání sněhové pokrývky (Daňhelka, 2007).

Půdní vlastnosti povodí

Výrazně se uplatňují při tvorbě srážkového odtoku půdní vlastnosti povodí, především druhový charakter půdy, její struktura a propustnost (Jůva a kol., 1994). Nejvýznamnější vlastností půdní vrstvy je její propustnost, tj. schopnost propouštět vodu (Kříž, 1983). Půdy s dobře vyvinutou drobtovitou strukturou nebo půdy druhově lehčí (písčité, hlinitopísčité) vsakují značnou část srážkové vody a tím zmenšují její povrchový odtok. Opačné podmínky vytvářejí půdy ulehlé a nepropustné, zejména vyskytují-li se na polohách s větší sklonitostí, a půdy trvale zamokřené podzemní vodou. Na holých, devastovaných svazích a horských úbočích odtéká srážková voda téměř v plné hodnotě. Vysoké odtoky též vznikají při rychlém tání sněhu na jaře, kdy promrzlá půda nepřijímá srážkovou vodu vsakem (Jůva a kol., 1994). Tímto podle Daňhelky (2007) půdní charakteristiky ovlivňují zejména infiltrační a retenční schopnosti území.

Vegetační kryt

Vliv půdy na vytváření srážkového odtoku úzce souvisí s povahou jejího vegetačního krytu. Vsakování srážkové vody účinně zlepšuje a její povrchový odtok zmenšuje lesní půda s mocně vytvořenou vrstvou hrabanky, bohatá humusem a krytá dobře vyvinutým smíšeným porostem lesních dřevin (Jůva a kol., 1994). Největší význam má les v horských oblastech, kde vydatně napomáhá snížení působení eroze půdy na svazích a současně přispívá k zadržování vody v půdním profilu tím, že snižuje její odtok po povrchu (Kříž, 1983). Stromy poskytují záchytné vrstvy pro srážky a tím zpomalují rychlost, při které voda dosáhne povrchu (Davie, 2008). Stejným účinkem se rovněž projevuje luční půda s hustě vzrostlým travním porostem. Naproti tomu orná půda, zejména na svahových polohách, má nepoměrně menší záchytnou schopnost, zvláště po sklizni, kdy je zbavená porostního krytu. Spolurozhoduje tu však také obdělávání půdy, neboť vhodnými agrotechnickými zásahy, hlavně orbou po vrstevnicích, je možné srážkový odtok značně omezit a prospěšně upravit (Jůva a kol., 1994). Vegetační pokryv na povodí, zvláště les jsou velmi významným činitelem, jenž ovlivňuje hydrologický režim toků. Tlumící vliv vegetační pokrývky, zvláště lesa, na kulminační průtoky je jednoznačně uznáván. Povodí pokryté dokonalou vegetací, např. zdravým smíšeným lesem, se zpravidla vyznačuje nízkými kulminačními průtoky. Je to způsobeno především existencí intercepce – tj. zachycováním srážek na tělech rostlin, v korunách stromů. Množství vody, které se dostane na povrch půdy pod korunami stromů a je případně k dispozici pro povrchový odtok, je o toto množství intercepce menší. Rostliny potřebují ke svému životu odebírat živiny z půdy, odpařovat vodu z listů pro své ochlazování v obdobích vyšších teplot vzduchu. Potřebnou vodu odebírají z půdy svými kořenovými systémy. Na mnoha místech světa se pozoruje poškozování vegetace (např. lesů, zvláště jehličnatých). V takto postižených odlesněných oblastech se očekává zvýšení četnosti a velikosti kulminačních průtoků (Kemel, 1996).

Nadmořská výška

Dalším významným činitelem je nadmořská výška (Kříž, 1983). S růstem nadmořské výšky vzrůstá srážkový úhrn a klesá vlivem poklesu teplot vzduchu i velikosti výparu. To znamená, že se vzrůstem nadmořské výšky budeme za normálních okolností pozorovat zákonitý vzrůst odtoku. Hustota říční sítě rovněž vykazuje určitou provázanost s nadmořskou výškou (Kemel, 1996).

Klima

Klima je souhrn a postupné střídání všech stavů atmosféry možných v daném místě. Je důsledkem různých nepřetržitě probíhajících klimatotvorných procesů (Vysoudil, 1997). Rozhodujícím činitelem ovlivňujícím charakter říčního režimu toku je klima. Mnohdy však jsou to faktory fyzikálně-geografické, které mohou výrazným způsobem potlačit vliv faktorů klimatických. Mezi nejdůležitější klimatické faktory patří srážky a výpar (Kemel, 1996). Významná je i teplota a vlhkost vzduchu, neboť na ní závisí velikost výparu (Kříž, 1983). Ten obecně vzrůstá s teplotou vzduchu, proto se např. v letním období projevuje tak, že snižuje zavlaženost povodí k okamžiku příchodu příčinného deště a tak určuje procentuelní podíl té části deště, která bude v podobě povrchového odtoku stékat z povodí (Kemel, 1996). Na závěr Kulhavý a Soukup (2010) uvádějí, že předpokládané změny klimatu společně s vývojem zemědělství v našich zeměpisných podmínkách mění také aspekty využití zemědělského odvodnění v krajině.

Vliv lidské činnosti

Činnost člověka se na hydrologickém režimu projevuje v posledních desetiletích čím dál výrazněji. Především sem patří výstavba přehrad, úpravy toků, výstavba husté silniční sítě, urbanizace. Dále sem patří intenzivní zemědělská činnost, do které patří následné odvodňování a závlahy (Kemel, 1996). Stavby zemědělského odvodnění byly v minulosti budovány za účelem podpory a rozvoje zemědělství. Jejich tradice v ČR sahají do konce 19. století, nejintenzivnější však byly realizovány v období let 1935-1940 a 1965-1990. Tyto aktivity měly v ČR za následek poměrně

vysokou míru regulace drobných vodních toků a plošně významný rozsah staveb drenážního odvodnění, což obojí významně ovlivňuje odtokový proces v krajině (Kulhavý a kol., 2011).

5.1 Třídění a typologie vodních toků

Vodní tok je koryto s vodou, která odtéká z povodí a to trvale nebo po delší část roku. (Kemel, 1996). Vodní toky jsou různé povahy a je možné je třídít z několika hledisek, hlavně podle vzniku nebo podle určitých charakteristických znaků. Podle vzniku rozlišujeme vodní toky přirozené, jestliže jejich koryto je vytvářeno přirozenou činností vody (bystřiny, potoky, řeky), nebo umělé, tzv. kanály, které se zřizují pro různé účely využití vody (kanály meliorační, energetické, plavební, zásobovací aj.). Podle charakteristických znaků, kterými jsou velikost a vlastnosti povodí, délka toku, jeho podélný sklon a průtokové poměry rozlišují se tyto typy vodních toků: bystřiny, horské potoky, potoky, říčky, řeky a veletoky (Jůva a kol., 1994).

Bystřiny

Bystřiny jsou zpravidla krátké horské toky o malých povodích (nejvýše asi 50 km²), (Jůva a kol., 1994). Vyznačují se úzkými a hluboce zaříznutými koryty s velkým podélným sklonem a silně proměnnými, erozně nebezpečnými průtoky (Jůva a Krejčíř, 1974). Přívalové letní deště a náhlá tání sněhu vytvářejí v rozlohově omezených a značně sklonitých bystřinných povodí velké, rychle probíhající a erozně silně účinné odtoky, které vyvolávají náhlá rozvodnění a zanášení bystřin erozními produkty, kdežto za bezdeští průtoky klesají až na stav úplného vyschnutí bystřinných koryt (Jůva a kol., 1994; Kemel, 1996).

Horské potoky

Horské potoky, jež tvoří přechodové úseky mezi bystřinami a potoky o mírnějších sklonech dna, jsou toky podhorských oblastí. Povodí horských potoků bývá ostře ohraničeno, se sklonitými svahy, mnohdy i větší rozlohy (až i 100 km²),

takže za přívalových dešťů a při náhlých tání sněhu vznikají i velké povodně (Jůva a kol., 1994).

Potoky

Potok je obecné označení pro menší tok (Kemel, 1996). Potoky jsou vodní toky pahorkatin a nížin o menším povodí (asi do 100 km²). Při letních přívalových deštích s krátkým trváním, avšak vysoké intenzitě srážek, nebo při náhlém tání sněhu způsobují potoky nebezpečné povodně, zejména při nedostatečně prostorných korytech a je-li zasaženo přívalovou srážkou celé povodí potoka, jehož malá rozloha urychluje odtok srážkové vody (Jůva a kol., 1994).

Řeky a říčky

Pod řekou rozumíme tok s větší plochou povodí, délkou koryta a zpravidla i většími průtoky (Kemel, 1996). Jůva a kol. (1994) uvádí, že řeky jsou nížinné vodní toky o větších až velkých povodích (150 km² až 2000 km²). Naše řeky, napájené převážně jen vodou z dešťového odtoku a tání sněhu, se vyznačují značnou průtokovou rozkolísaností s největšími průtoky na jaře při tání sněhu a naopak s nejmenšími, mnohdy až extrémně malými průtoky v letních obdobích, zvláště náročných na využívání vody. Říčky jsou toky o středně velkých povodích (100 km² a více), které již tvoří vlastní hydrografické sítě, mnohdy i značněji rozvětvené a husté. Při menších povodích jsou obdobné povahy jako potoky, při větších povodích se vlastnostmi přibližují charakteru řek (Jůva a kol., 1994).

Veletoky

Jednou z mnoha forem pozemské vody jsou veletoky (Pačes, 1982). Veletoky jsou mohutné, dlouhé řeky, které ústí přímo do moře nebo do velkých jezer. Jsou zásobeny vodou z povodí velkých rozloh, takže vykazují mimořádně velké průtoky, kolísající v širokých mezích. Z našich vodních toků mají charakter veletoků řeky Labe, Dunaj, Odra, Visla, které jsou hlavními řekami naší říční sítě (Jůva a kol., 1994).

6. Živiny v povodí

Za nejdůležitější z hlediska života, resp. primární produkce ve vodách se považuje dusík, fosfor a vápník. Především tyto prvky rozhodují o tzv. trofii čili úživnosti vod (Heteša a Kočková, 1997). Zejména nám půjde o dusík a fosfor, neboť právě tyto prvky přicházejí do prostředí vlivem lidské činnosti v nadměrném množství (Hrázský a Šafarčíková, 2006).

6.1 Dusík a fosfor

Dusík spolu s fosforem patří mezi nejdůležitější biogenní prvky. Sloučeniny dusíku ve vodách mají mimořádný význam, protože se uplatňují při všech biologických procesech, probíhajících v povrchových, podzemních i odpadních vodách, a při biologických procesech čištění a samočištění odpadních vod a při úpravě povrchových vod. Jsou závažnými kritérii jakosti vod (Heteša a Kočková, 1997). Patří do skupiny tzv. nutrietů, které jsou nezbytné pro rozvoj mikroorganismů (Pitter, 1999). Fosfor a dusík jsou nejdůležitější živiny, jejichž koncentrace a dostupnost ve vodních ekosystémech podmiňuje primární produkci řas a sinic, tedy eutrofizaci. V posledních 50. letech našeho stol. se v Evropě významně změnilo chemické složení říční vody. Způsobil to přísun splachů odpadních vod a znečištěných srážek spojený s rozvojem měst, průmyslu a zemědělství. Ve sladkých vodách dusík limituje eutrofizaci jen výjimečně, poněvadž jeho koncentrace několikanásobně převyšují koncentrace fosforu. Růst koncentrací sloučenin dusíku tedy nevyvolává zvýšenou produkci organické hmoty, jako je tomu u fosforu (např. tvorba vodních květů v nádržích vltavské kaskády). Naproti tomu v moři jsou poměry dvou hlavních živin – dusíku a fosforu – opačné: limitující živinou je ve většině případů dusík. Přísun dusíku řekami vyvolává eutrofizaci a nárůst vodních květů v příbřežních zónách Severního a Baltického moře. Odtud tedy pramení i požadavek, aby náš stát snížil odnos dusíku řekou Labe (Straškrabová, 1995).

Diskutovanou otázkou v rostlinné výrobě je používání průmyslových hnojiv a chemických prostředků ochrany rostlin. Všechny vyspělé země procházejí etapou maximální chemizace, dávky anorganických hnojiv se však zvýšily několikanásobně,

zatímco výnosy zemědělských plodin rostly pomaleji. Půdní profil byl přesycován čistými živinami, hlavně dusíkem, fosforem a draslíkem, jejichž přebytek se z části dostal do povrchových a podzemních vod. Dá se předpokládat, že v blízké budoucnosti bude další chemizace zemědělské velkovýroby rozumně usměrněna a že ekonomické podmínky povedou i k racionálnímu používání těchto látek (Červený, 1984).

6.1.1 Dusík a jeho výskyt ve vodách

Největší současný problém podzemních vod ČR je plošné znečištění podzemních i povrchových vod vysokými koncentracemi dusičnanů (Němec a Hladný, 2006). Koncentrace dusičnanů v našich řekách postupně narůstají a za posledních 30 let se zvýšily na pětinasobek. Zdrojem sloučenin dusíku jsou zejména atmosférické depozice, dále zemědělství a obyvatelstvo (splaškové vody) (Pitter, 1999). Ztráty dusíku ze zemědělské půdy do značné míry určuje výše a intenzita dešťových srážek, půdní, fyzikální vlastnosti, přítomnost, nepřítomnost vegetačního pokryvu, které mají vliv na odtok vody (Udawatta a kol., 2006). Zvyšování jejich koncentrace je způsobeno vyšším hnojením zemědělské půdy v povodí, ale závisí také na meteorologických podmínkách – v suchých letech jsou koncentrace dusičnanů nižší než v letech s vyššími srážkami. Typ závislosti koncentrace dusičnanů na změnách průtoku odpovídá plošnému, rozptýlenému zdroji znečištění ze splachů. Ve většině našich řek se vázaný dusík vyskytuje právě v dusičnanech (až 70%). Celkový přísun sloučenin dusíku do řek však ze 40 až 50% způsobuje bodové zdroje – odpadní vody se sídlišť, průmyslových závodů a živočišné výroby, které obsahují dusík hlavně ve formě amoniaku a organicky vázaný (Heteša a Kočková, 1997). Například v povodí Labe pochází asi 50 % sloučenin dusíku z plošných a difúzních zdrojů znečištění (Pitter, 1999). Srovnají-li se vypočtené celkové přísuny dusíku do řek s jeho odnosem při jejich ústí je zřejmé, že značná část z celkového přísunu dusíku je z řeky během toku vyloučena (30 – 80%). Je to důsledek přírodních procesů denitrifikace, jejíž rychlost je závislá na dobrém styku vody se sedimentem, dostatečném množství lehce rozložitelných organických látek a vhodném prostředí (mokřady, meandry, periodicky zalévané plochy). Z uvedených podkladů vyplývá, že při snaze o snížení odnosu dusíku řekami je třeba nejenom snižovat přísun

z bodových zdrojů v čistírnách odpadních vod, ale podporovat přirozené procesy denitrifikace v řekách vhodnými úpravami koryta a povodí (Heteša a Kočková, 1997). Denitrifikací nejen snížíme koncentrace celkového dusíku na odtoku, ale získáme zpět zhruba 2/3 energie vložené ve formě vzdušného kyslíku do nitrifikace (Pečenka a kol., 2007).

6.1.2 Fosfor a jeho výskyt ve vodách

Anorganickým zdrojem P ve vodách mohou být některé minerály, např. apatit, fosforit a kaolinit. Organickým zdrojem mohou být spláchnutá statková hnojiva, odpadní vody z pivovarů, prádelen a textilního průmyslu, produkty rozkladu vodní flóry a fauny a chemické přípravky použité v zemědělství. Velkým zdrojem různých forem fosforu jsou odpadní vody z měst a sídlišť (Heteša a Kočková, 1997). Pokud se týká sloučenin fosforu, jsou jejich antropogenním zdrojem zejména splaškové odpadní vody a splachy ze zemědělsky obdělávané půdy. V povodí Labe pocházejí asi 2/3 fosforu z bodových a difúzních zdrojů a 1/3 z plošných zdrojů. Je nutné počítat i s přísunem z atmosférických depozic (Pitter, 1999).

V nádržích a vodních tocích se nachází fosfor v nejrůznějších formách, a to buď rozpuštěný, nebo nerozpuštěný (suspendovaný) (Heteša a Kočková, 1997). Řídící složku odtoku a srážkových událostí lze rozdělit na srážky s nízkou intenzitou a vysokou frekvencí, které mají tendenci vyplavovat fosfor do podpovrchového odtoku a srážkové události vysoké intenzity a nízké frekvence, které vyplavují fosfor do povrchového odtoku z tenké vrstvy ornice bohaté na fosfor. Při vysoké intenzitě bouří mají srážky více kinetické energie a tím i větší erozivní výkon. Z toho vyplývá, že více fosforu je ztraceno povrchovým odtokem, než pomocí podpovrchového proudění (Sharpley a kol., 2008). V zimním období je množství fosforu ve vodě nejvyšší, protože v této době probíhá v sedimentech dna mineralizace těl odumřelých organismů, odkud se fosfor uvolňuje do vody, aniž se jinými organismy spotřebovává. S jarním nástupem vegetace, zejména fytoplanktonu, se obsah fosforu začíná rychle snižovat a na konci léta dosahuje obvykle svého minima. Po skončení vegetačního období a odumření organismů se fosfor opět do vody uvolňuje. Ani jedna z obvyklých sloučenin fosforu nevykazuje žádnou registrovatelnou tendenci k vypařování a nemůže být tudíž přemísťována atmosférou. Proto fosfor sdílí

s vodou pouze část jejího koloběhu – z litosféry do hydrosféry. Jestliže by na zemi neexistoval život v biosféře, pak by se stal oceán posledním rezervoárem fosforu. Návrat fosforu z hydrosféry do litosféry probíhá pouze přes biosféru a za normálních okolností je velmi pomalý. Teprve člověk svou těžbou fosfátů, výrobou fosfátových hnojiv a intenzivním hnojením pozemků tento proces nesmírně urychlil (Heteša a Kočková, 1997).

6.2 Eutrofizace

Eutrofizace je pojem užívaný k popisu doplnění živin do vodního ekosystému, který vede ke zvýšení čisté primární produktivity (Davie, 2008). Eutrofizací se rozumí postupné obohacování vody a půdy živinami (zvláště dusičnany a fosfáty) (Němec a Hladný, 2006; Pitter, 1999). Fosfor je důležitým prvkem ve vodách z hlediska jejich eutrofizace (Heteša a Kočková, 1997). Ve výživově bohatých podkladech může pak významně růst tzv. primární produkce (zelené rostliny). Vzhledem k tomu, že živiny putují prostředím (např. splachy z polí do toků), může se zvláště ve vodě nadbytek organických živin stát pohromou. Významným zdrojem eutrofizace vod jsou také komunální odpadní vody. Rychlá, člověkem navozená eutrofizace, vyúsťuje ve vodním prostředí v bouřlivý rozvoj drobnohledných rostlin (často jednobuněčných) – řas a sinic. Jejich odumření vede k silnému snížení koncentrace rozpuštěného kyslíku a k ochuzení života ve vodě (Němec a Hladný, 2006). Termínem eutrofizace povrchových vod se obecně označuje nadprodukce biomasy řas a vodních rostlin v důsledku trvale vysokého přísunu živin z povodí. Od doby, kdy se problematice eutrofizace povrchových vod začala věnovat zvýšená pozornost jak z hlediska výzkumu, tak z hlediska dopadů pro vodní hospodářství, je tento jev závažným problémem prakticky v celé Evropě, s výjimkou severských zemí. Většinou se nedaří dosáhnout arbitrárně stanovených cílových koncentrací živin, o kterých se předpokládá, že povedou k výraznějšímu snížení projevu eutrofizace. Týká se to zejména fosforu, který je v povodí velkých evropských řek považován za hlavní příčinu antropogenní eutrofizace povrchových vod (Blažková, 2002). Rozlišuje se přirozená eutrofizace, kterou nelze ovlivnit a která je způsobena přítomností sloučenin P a N pocházejících z půdy a dnových sedimentů a z rozkladu odumřelých vodních organismů, a antropogenní eutrofizace, která je výsledkem

civilizačního procesu. Je způsobena splachem hnojiv ze zemědělsky obdělávané půdy, používáním polyfosforečnanů v pracích a čistících prostředcích a zvětšujícím se množstvím splaškových vod. Dalším zdrojem jsou atmosférické depozice s rostoucím antropogenním podílem N a P (Pitter, 1999).

Když hladina rozkvétá

Kalamitou při eutrofizaci je vytvoření vodního květu (Pečenka a kol., 2007). Stav, kdy se sinice nebo řasy nahromadí v masách těsně u hladiny, se označuje jako vodní květ (říká se, že voda kvete) (Pitter, 1999). Hlavní příčinou vzniku vodního květu sinic je nadměrné množství živin ve vodě. Většina našich přehrad je eutrofizovaná – to znamená, že obsahují velké množství živin. Na rozdíl od rybníků, kde hlavním zdrojem živin je hnojení organickými hnojivy (granule, obilí, hnůj apod.) s cílem zvýšit produkci ryb, se do přehrad dostávají živiny splachem z povodí a také z nedostatečně vyčištěných odpadních vod (Znachor, 2005). Dostatek živin, světla, tepla (teploty vody) a času vede v povrchových vodách k nárůstu autotrofních organismů: jde o fytoplankton (sinice a řasy), fotoautotrofní bakterie a makrofyta (vodní rostliny) (Němec a Hladný, 2006). Na vývoj vodního květu má vliv také počasí v pozdních jarních měsících. Zatímco vlhký a studený květen a červen rozvoji sinic příliš nepřeje, teplé a suché počasí vytváří příhodné podmínky pro nástup silných vodních květů během léta. Nezastupitelnou roli hraje v životě sinic také světlo. Sinice obsahují kromě základního zeleného barviva chlorofylu i další barviva (modré a červené), která zvyšují účinnost fotosyntézy při nízkých intenzitách světla. Některé druhy vytvářejí vodní květ ve větších hloubkách, kde jsou ukryty před naším zrakem. Většina sinic však vytváří vodní květ u hladiny. Prvním krokem v boji proti přemnožení sinic je snížení množství živin v nádrži a také v jejím povodí. Postupného snížení množství živin v nádrži lze dosáhnout také změnami v povodí nádrže, např. revitalizací toků, obnovou říční nivy. Lidé se často domnívají, že pokles množství živin v povodí se ihned odrazí na situaci v nádrži. Opak je však pravdou. I kdybychom okamžitě snížili přísun živin do nádrže, přesto by trvalo několik let, než by se nějaký efekt dostavil (Znachor, 2005).

6.3 Rozdělení zdrojů živin v povodí

Zdroje živin se podle odlišného charakteru odnosu rozdělují do dvou typů na zdroje plošné a bodové. Plošné zdroje jsou odnosy živin spojené s vyplavováním z ploch v povodí s různým využitím krajiny. Jsou obvykle v čase variabilní a silně závislí na hydrometeorologických faktorech, např. na srážkách a průtoku. Plošné zdroje na základě kategorizace využití krajiny: les (lesní plochy jsou zdrojem relativně malého množství a nízkých koncentrací P i N (Hejzlar, 2010)). Další plošné zdroje mají svůj původ v aplikaci komerčních hnojiv a organického odpadu používaného k hnojení na zemědělské půdě. Výrazně zamořují podzemní vody a jsou splavovány dešťovými srážkami do potoků, jezer a řek. Prostorová studie výskytu živin odhalila rozdílné množství dusíku a fosforu v organických a anorganických složkách příměsí podél některých řek (Němec a Hladný, 2006). Bodové zdroje jsou především vypusti odpadních vod, jejichž poloha je obvykle dobře známá. Export živin z bodových zdrojů v čase příliš nekolísá a hydrometeorologické faktory jej ovlivňují málo nebo vůbec (Hejzlar, 2010). Znečištění vod živinami (nutriety) znamená zamoření povrchových a podzemních vod jejich nadměrnými koncentracemi. Tento druh znečištění je typickým důsledkem vlivu lidské činnosti. Pochází většinou z bodových zdrojů, jako jsou obecní čistírny odpadních vod a průmyslové emise (Němec a Hladný, 2006).

Výpočet rozdělení zdrojů živin v povodí je založen na předpokladu, že látkový odnos živin v závěrovém profilu bilančního povodí se skládá z dílčích příspěvků jednotlivých zdrojů, jejichž suma však může být významně ovlivněna retenčními procesy v povrchových vodách. Souhrnně je možné bilanční výpočet vyjádřit rovnicí:

$$L = \sum L_{z,i} - \sum L_{ret,j}$$

L – látková odnos dané živiny v závěrovém profilu povodí

$L_{z,i}$ – látkový odnos dané živiny z i -tého zdroje povodí

$L_{ret,j}$ – látkové množství dané živiny zadržené v povrchových vodách mezi svými zdroji v povodí a závěrovým profilem (Hejzlar, 2010)

7. Odnosy živin ve vodách při srážko-odtokových událostech

Množství odtransportovaných živin v kg za rok vychází z velikosti průtoku a kvality vody (obsah sledovaných látek). Odnosy při velkých průtocích představují na malých povodích často 30-50% celkového úhrnu ročních odnosů (Kvítek a kol., 2005). Úroveň živin ve vodě je ovlivněna dobou, jakou voda stráví v kontaktu s půdou. Voda pohybující se rychle do řek má nižší úroveň živin, než voda pohybující se pomaleji (např. podzemní voda) (Davie, 2008). Němec a Hladný (2006) konstatuje, že chladná a rychle proudící voda je silně nasycena kyslíkem tak, že nedochází ke hromadění organického materiálu a živin. Arheimer a Lidén (2000) uvádí teplotu, jako další proměnnou, která významně souvisí s úrovní živin. Vysoká teplota zvyšuje rychlost mineralizace a tím i celkovou dostupnost živin v půdách.

O tom, jak se živiny dostávají do povodí a následně odnosem z povodí hovoří Heteša a Kočková (1997). Dešťové srážky splachují z pozemků do povodí nejrůznější látky, které pocházejí obvykle z hnojiv a postřikovaných látek aplikovaných na polích. Kromě toho splavují z polí i nejjemnější půdní částice, což se projeví v tocích zákalem vody. Zvláště silné jsou přínosy nejrůznějších forem dusíku, který je z půd deštěm lehce vyplavován, zatím co fosfor půda poměrně pevně váže. Danz a kol. (2013) dodává, že většina živin je dodávána povrchovými vodami při srážko-odtokových událostech.

Ztráty dusíku do značné míry ovlivňuje výše a intenzita dešťových srážek, půdní, fyzikální vlastnosti, přítomnost, nepřítomnost vegetačního pokryvu, které mají vliv na odtok vody (Udawatta a kol., 2006). Čím silnější a srážkově vydatnější byla přecházející srážko-odtoková událost, tím větší je odnos dusičnanového a amonného iontu z povodí (Moravcová, 2011). Dusičnany vykazují významnou sezónní variabilitu a obecně jsou vyšší v předjaří a na jaře (Kvítek a kol., 2005). Tím i vysoká míra odnosu dusičnanů se objevuje v předjaří a v obdobích s vysokým průtokem, který nastává při letních bouřkách (Moravcová, 2011; Doležal a kol., 2006; Poor a McDonnell, 2007). Odnos živin z povodí při bouřkových událostech je ovlivněn řadou faktorů a mezi nejdůležitější patří množství a intenzita srážek. Studie dokázala kontrastní vzory odnosů mezi dusíkem a fosforem při bouřkových

událostech (Kim a kol., 2006). Podle Delpla a kol. (2011) došlo k nejvyššímu odnosu živin z povodí a dalších látek při intenzivních dešťových srážkách, které nastaly zejména během podzimu. Odnos dusičnanů byl nejvyšší na jaře a pozdě na podzim, kdy přímý odtok přispěl více než 80% k celkovému odnosu dusičnanů. Jak se dalo očekávat, větší ztráty dusičnanů byly spojeny s větším množstvím srážkových událostí (Schilling a Zhang, 2004). Danz a kol. (2013) prokázal, že v průběhu monitorovacího období byla většina celkového fosforu v povodích transportována během několika významných srážko-odtokových událostí, kterým bylo jarní tání, přívalové srážky a letní bouřkové události. Pro každé povodí byl alespoň jeden rok, kdy více než polovina z celkového ročního zatížení živinami byla transportována během jediné události. Studie ukázala, že více než 50% celkového ročního odnosu proběhlo při významných srážko-odtokových událostech. Schilling a Zhang (2004) potvrzuje, že ztráty dusičnanů byly variabilní, a to jak v rámci jednotlivých měsíců, tak i mezi různým časovým obdobím. Největší ztráty dusičnanů byly typické od března do června, kdy měsíční ztráty dosahovaly více než 3,2 kg/ha. Průměrné ztráty dusičnanů mají tendenci klesat od dubna do září, a pak se opět zvýší pozdě na podzim. Z celkového ročního zatížení dusičnany, téměř 33 % ročního zatížení došlo v březnu a dubnu a 50% nastal ve 4 - měsíčním období od března do června. Odnos dusičnanů obvykle vyvrcholil na jaře až na 3,5 kg/ha v měsíci dubnu a více než 2,6 kg/ha v březnu a květnu.

Buck a kol. (2004) prováděl výzkum na strmých horských povodí na Novém Zélandu, kde povrchový odtok a eroze hrály důležitou roli na ztrátu N. Velká část N byla v letním období transportována ve formě rozpuštěného organického dusíku. Efektivní strategie hospodaření s půdou by se měly zaměřit na zmírnění transportu sedimentů, na zmírnění ztráty N a zejména P během léta v těchto strmých povodí. I McDowell (2012) se zabýval zkoumáním role odtokových procesů v generování ztráty fosforu z pastvin v povodích na Novém Zélandu, který zjistil, že v oblastech, jež jsou součástí zemědělské infrastruktury, byla ztráta fosforu způsobena jeho rozpuštěním v menších srážkách, které převládaly během léta a na podzim.

Ollesch a kol. (2008) studií ruských povodí prokázali, že celková ztráta fosforu z povodí Volhy je nízká a dosahuje 0,03-0,35 kg.ha⁻¹ během jarního tání. Odnos

živin z povodí Lubazhinka dominuje při jarním tání. Nicméně povodí vykazuje meziroční kolísání, které je způsobeno dynamikou, která je dána specifickou kombinací půdy, výskytem mrazu a táním sněhu.

Yang a kol. (2009) prováděli výzkum v povodí Xujiawan v Číně a cílem této studie bylo porozumění dynamiky odnosů dusíku N a fosforu P během typické bouřkové události a poskytnout tak základ pro odhad celkového odnosu živin z povodí. Výsledky ukázaly, že rychlý povrchový odtok a následný odnos živin z povodí nastal při extrémních srážko-odtokových událostech. Zhang a kol. (2011) definuje vegetaci a srážky jako dva důležité faktory ovlivňující erozi půdy, která vede ke ztrátě živin a jejímu následnému odnosu z povodí. Výsledky ukázaly, že vegetační kryt a intenzita srážek zejména v krátkém trvání formou přívalových dešťů, měly významný vliv na odnosy živin z povodí. Tento výzkum byl proveden na polních pozemcích v Číně.

Studie prováděné v USA ukazují, že sedimenty bohaté na P jsou zodpovědné za obsah 75 až 90 % P v odtoku. Vzhledem k tomu jsou ztráty N a P vyvolané v závislosti na erozi půdy (Yang a kol., 2009). Pionke a kol. (1999) stanovil účinky na sezónní odnosy živin na zemědělském povodí o rozloze 7,3 km² v Pensylvánii v letech 1984-1996. Asi 2/3 odnosu celkového P byly při bouřkové události, přičemž 2/3 z tohoto odnosu jsou v průběhu zimy a jara, kdy se vyskytuje pět ze sedmi největších bouřkových událostí v rámci jednoho roku. K vyššímu odnosu N došlo hlavně v zimě a na jaře. Schilling a Zhang (2004) dospěli k závěru, že odnosy dusičnanů z řeky Raccoon protékající státem Iowa v USA byl velmi variabilní, od 1,4 kg/ha v roce 1977 a 2000 na více než 65,9 kg/ha v roce 1983 a 1993. Největší měsíční odnosy mají tendenci výskytu od března do července, kdy průměrný průtok překročil 26,5 mm. Ke zvýšenému průtoku dochází při tání sněhu na jaře a při srážkových událostech v letním období.

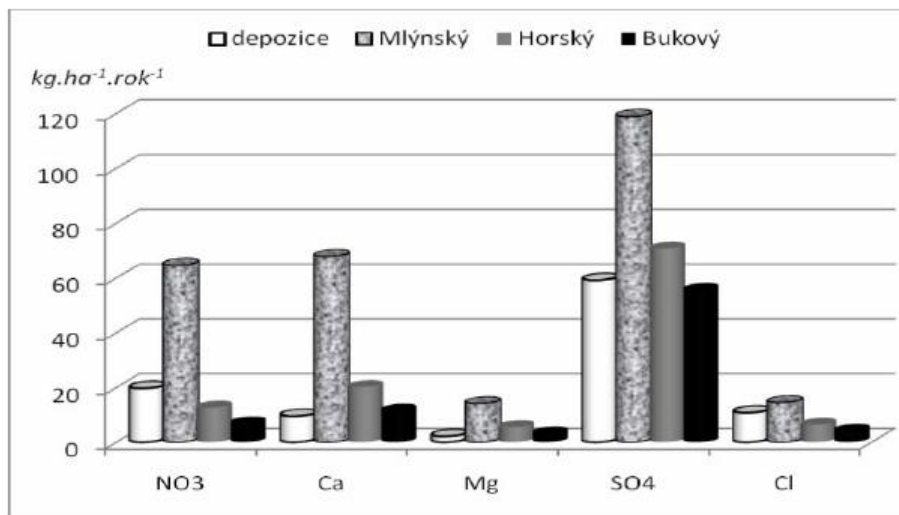
Zvyšující se požadavky na zavádění standardů kvality vody v USA zvýšil tlak na vypracování pokynů na výzkum založený na snížení ztráty N ze zemědělského povodí. K výrazným ztrátám N (57 %) z povodí došlo v období mezi podzimní sklizní a jarní výsadbu, kdy plodiny nebyly přítomny (ponecháno „ladem“). Výsledky této studie ukazují, že udržování vhodného vegetačního krytu v průběhu roku by mohla snížit odtok vody a snižovat ztrátu N ze zemědělského povodí

(Udawatta a kol, 2006). Z výsledků monitorování, které se na tocích již poměrně dlouhou dobu uskutečňuje lze např. poměrně dobře odlišit, jaká část znečištění živinami (dusík, fosfor) pochází v dílčím povodí příslušnému měrnému profilu ze zemědělských pozemků. Upřesní se tím tak všeobecně známé nebo prokázané skutečnosti, že dusík je v porovnání s fosforem podstatně více rozšířen ve všech složkách prostředí a jeho pohyblivost je též obecně podstatně vyšší. Dusičnanový dusík (N-NO₃) pochází ze značné části z drenážního odtoku odvodněných orných půd, znečištění povrchových vod fosforem dosud převážně způsobují bodové zdroje (komunální odpadní vody), z difúzních zdrojů je to eroze půdy (Pečenka a kol., 2007).

Fiala a kol. (2013) sledovali odnos fosforu převážně ze zemědělských mikropovodí (2 km²) a tyto výsledky po celé ČR lze shrnout do jednoznačného závěru: odnos fosforu z výhradně zemědělských/plošných zdrojů znečištění, nelze považovat za zásadní v drtivé většině plochy orné půdy v ČR a v periodách základního nebo vyrovnaného odtoku. Hrubé odhady specifických odnosů P z 20 povodí se v letech 2007–2009 pohybovaly v rozmezí 0,77–22,4 kg/km².rok (Fiala a kol., 2013).

Procházka a Brom (2008) prováděli výzkum na třech povodí Mlýnského, Horského a Bukového potoka na Šumavě, kde srovnávali roční odnosy látek z povodí. Povodí jsou srovnatelná svou rozlohou (cca 200 ha), expozicí (JV), nadmořskou výškou (800 – 1000 m n.m.) a klimatickými podmínkami, liší se jen ve způsobu využití území. Povodí Mlýnského potoka pokrývají z 90% plochy polointenzivní pastviny. Plochy v povodí Bukového potoka pokrývá v současné době z většiny les s převahou smrku. Povodí Horského potoka je více než z poloviny pokryto lesními porosty, zůstaly zde však z minulosti plochy bezlesí extenzivně obhospodařované a navíc zde vznikla plošně významná území přirozené sukcese (mokřady a mezofilní lada). Celková průměrná bilance látkových toků v povodích za sledované období 1999 – 2007, vyjádřená jako poměr mezi množstvím látek přicházejících do povodí prostřednictvím atmosférické depozice a množstvím rozpuštěných látek odtékajících z povodí prostřednictvím povrchového odtoku můžeme vidět na grafu č. 1. Z povodí Mlýnského potoka odtéká ve většině případů více látek, než přichází, lze tedy říci, že povodí látky neustále ztrácí. Z výsledku

vyplývá, že z každého hektaru povodí Mlýnského potoka odtéká ročně více než 60 kg dusičnanů a přibližně stejné množství vápníku. Povodí Horského a Bukového potoka mají bilanci více méně vyrovnanou.



Graf 1 Průměrná roční depozice a roční odnosy vybraných rozpuštěných látek z modelových povodí za sledované období (Procházka a Brom, 2008)

Z celkového shrnutí odnosů plyne, že oblasti jižní Evropy vystavené suššímu klimatu vykazují nepravidelný zdroj ztráty fosforu prostřednictvím odtoku než země západní Evropy a to v důsledku nepravidelného rozložení deště s častou lokalizací extrémních srážkových událostí.

8. Závěr

Cílem této práce bylo zjištění vlivu srážko-odtokových událostí na odnosy živin z povodí. Hlavní pozornost na odnosy živin z povodí by měla být zaměřena hlavně na významné srážko-odtokové události během roku a to zejména při jarním tání nebo při letních bouřkách. Na velikost odtoku má vliv řada faktorů. Jedním z nejdůležitějších je druh srážek, intenzita a její časové a plošné rozložení, dále složení půdy, vegetační pokryv, reliéf a další faktory ovlivňující odtok.

Značný vliv lidské činnosti výrazně ovlivnil v posledních letech chemické složení říčních vod, zejména přísunem splachů odpadních vod, průmyslové emise a s rozvojem měst, průmyslu a zemědělství, došlo i k následnému znečištění srážek. Jedná se o znečištění jak povrchových, tak i podzemních vod živinami, které pochází převážně z bodových zdrojů. Chceme-li tomu zabránit, musíme omezit vypouštění nevyčištěných splašků, spady z ovzduší a vymývání živin z intenzivně hnojených zemědělských půd. Dosáhnout snížení ztrát fosforu a jeho následným odnosům z povodí, by se dalo omezením rozsáhlé eroze orné půdy. Ta je způsobena zejména nedostačujícím vegetačním pokryvem. Ten v kombinaci se srážkami vytvoří rychlý povrchový odtok, který velice jednoduše odnese částice fosforu, který se pak usazuje na dnech vodních ploch, což vede k následné eutrofizaci.

9. Seznam použité literatury

1. ARHEIMER, B., LIDÉN, R., Nitrogen and phosphorus concentrations from agricultural catchments-influence of spatial and tempoval variables. *Journal of Hydrology* 31, 2000, 140-159 s.
2. BLAŽKOVÁ, Š., Výzkum v povodí Labe: Projekt Labe III, Praha, 2002, 32 s.
3. BROŽA, V., Vodní hospodářství a vodní stavby. 1 vyd., Praha, 1988, 195 s.
4. BUCK, O., NIYOGI, D. K., TOWNSEND, C. R., Scale-dependence of land use effects on water quality of streams in agricultural catchments. *Environmental Pollution* 130, 2004, 287-299 s.
5. ČERVENÝ, J., Podnebí a vodní režim ČSSR. 1 vyd., Praha, 1984, 414 s.
6. DANZ, M. E., CORSI, S. R., BROOKS, W. R., BANNERMAN, R. T., Characterizing response of total suspended solids and total phosphorus loading to weather and watershed characteristics for rainfall and snowmelt events in agricultural watersheds. *Journal of Hydrology* 507, 2013, 249-261 s.
7. DAŇHELKA, J., Operativní hydrologie: Hydrologické modely a nejistota předpovědí, Sborník prací ČHMÚ, Praha, 2007, 104 s.
8. DAVIE, T., Fundamentals of hydrology, Routledge, New York, 2008, 200 s.
9. DELPLA, I., BAURÉS, E., JUNG, A. V., THOMAS, O., Impacts of rainfall events on runoff water quality in an agricultural environment in temperate aeras. *Science of the Total Environment* 409, 2011, 1683-1688 s.
10. DOLEŽAL, F., KULHAVÝ, Z., KVÍTEK, T., SOUKUP, M., ČMELÍK, M., FUČÍK, P., NOVÁK, P., PETERKOVÁ, J., PILNÁ, E., PRAŽÁK, P., TIPPL, M., UHLÍŘOVÁ, J., ZAVADIL, J., Hydrologický výzkum malých zemědělských povodích. *Journal of Hydrology and Hydromechanics* 54, 2006, 217-229 s.
11. FIALA, D., FUČÍK, P., HRUŠKA, J., ROSENDORF, P., SIMON, O., Fosfor v centru pozornosti. *Vodní hospodářství* 8, Praha, 2013, 247-250 s.
12. HEJZLAR, J., Metodika bilanční analýzy zdrojů živin v povodí, České Budějovice, 2010, 11 s.
13. HETEŠA, J., KOČKOVÁ, E., Hydrochemie, Brno, 1997, 95 s.

14. HRÁZKÝ, Z., ŠAFARČÍKOVÁ, S., Živiny v krajině: dusík, fosfor, eutrofizace půdy a vody, indikace dusíku. DAPHE ČR- Institut aplikované ekologie, 2006, 16 s.
15. JŮVA, K., HRABAL, A., TLAPÁK, V., Malé vodní toky, Praha, 1984, 253 s.
16. JŮVA, K., KREJČÍŘ, J., Zúrodnování zemědělské půdy, Praha, 1974, 340 s.
17. KEMEL, Klimatologie, Hydrologie, Meteorologie, Praha, 1996, 289 s.
18. KIM, J. S., OH, S. Y., OH, K. Y., Nutrient runoff from a Korean rice paddy watershed during multiple storm events in the growing season. Journal of Hydrology 327, 2006, 128-139 s.
19. KLIENER, K., KNĚŽEK, M., OLMER, M., a kol., Využití a ochrana podzemních vod, Praha, 1978, 295 s.
20. KOPÁČEK, J., BEDNÁŘ, J., Jak vzniká počasí, Praha, 2005, 226 s.
21. KRÍŽ, H., Hydrologie podzemních vod, Praha, 1983, 289 s.
22. KULHAVÝ, Z., FUČÍK, P., TLAPÁKOVÁ, L., Pracovní postupy eliminace negativních funkcí odvodňovacích zařízení v krajině pro podporu žadatelů o PBO v prioritních osách 1 a 6. Metodická příručka pro žadatele OPŽP, VÚMOP Praha, 2011, 29 s.
23. KULHAVÝ, Z., SOUKUP, M., Zemědělské odvodnění a krajina, Lednice, 2010, 104 s.
24. KVÍTEK, T., GERGEL, J., KVÍTKOVÁ, G., Využití a ochrana vodních zdrojů, České Budějovice, 2005, 169 s.
25. MATOUŠEK, V., Poznávání odtokových vlastností malých povodí za regionálních dešťů, Praha, 2010, 103 s.
26. MCDOWEL, R. W., Minimising phosphorus losses from the soil matrix. Current Opinion in Biotechnology 23, 2012, 860-865 s.
27. MELIORIS, L., MUCHA, I., POSPÍŠIL, P., Podzemná voda – metody výskumu a prieskumu, Praha, 1986, 429 s.
28. MORAVCOVÁ, J., Vliv krajinných struktur na vybrané ukazatele jakosti vody při zvýšených průtocích jako podklad pro projekci KPÚ. Disertační práce, České Budějovice, 2011, 146 s.

29. NĚMEC, J., HLADNÝ, J., Voda v České republice, Praha: Consult 2006, 253 s.
30. OLLESCH, G., DEMIDOV, V., VOLOKITIN, M., VOSKAMP, M., ABBT-BRAUN, G., MEISSNER, R., Sediment and nutrient dynamics during snowmelt runoff generation in a southern Taiga catchment of Russia. *Ecosystems and Environment* 126, 2008, 229-242 s.
31. PAČES, T., Voda a Země, Praha, 1982, 174 s.
32. PEČENKA, M., HOLAS, J., WANNER, J., VOJTĚCHOVSKÝ, R., Zhodnocení zátěže povodí vodárenské nádrže Švihov nutriety, VŠCHT Praha, 2007, 53 s.
33. PIONKE, H. B., GBUREK, W. J., SCHNABEL, R. R., SCHARPLEY, A. N., ELWINGER, G. F., Seasonal flow, nutrient concentrations and loading patterns in stream flow draining an agricultural hill-land watershed. *Journal of Hydrology* 220, 1999, 62-73 s.
34. PITTER, P., Hydrochemie, Praha VŠCHT, 1999, 568 s.
35. PLECHÁČ, V., Voda problém současnosti a budoucnosti, Praha, 1989, 327 s.
36. POOR, C. J., MCDONNELL, J. J., The effects of land use on stream nitrate dynamics. *Journal of Hydrology* 332, 2007, 54-68 s.
37. PROCHÁZKA, J., BROM, J., Porovnání a dlouhodobý trend látkových toků tří malých povodí na Šumavě. *Hydrologie malého povodí, Ústav pro hydrodynamiku AVČR, v.v.i. Praha, 2008, 31-38 s.*
38. ROŽNOVSKÝ, J., Klimatologie, Brno, 1999, 146 s.
39. SHARPLEY, A. N., KLEINMAN, P. J. A., HEATHWAITE, A. L., GBUREK, W. J., FOLMAR, G. J., SCHMIDT, J. P., Phosphorus loss from an agricultural watershed as a function of storm size. *Journal of Environmental Quality* 37, 2008, 368 s.
40. SCHILLING, K., ZHANG, Y. K., Baseflow contribution to nitrate-nitrogen export from a large, agricultural watershed, USA. *Journal of Hydrology* 295, 2004, 305-316 s.
41. STARÝ, M., Hydrologie. Učební text, VUT Stavební fakulta, Brno, 2005, 213 s.

42. STRAŠKRABOVÁ, V., Dusíkový paradox: Sloučeniny dusíku v evropských řekách. Vesmír, roč. 74, č. 1, 1995, 11-12 s.
43. ŠILAR, J., Hydrologie v životním prostředí, Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, 1996, 136 s.
44. UDAWATTA, R. P., MOTAVALLI, P. P., GARRETT, H. E., KRSTANSKY, J. J., Nitrogen losses in runoff from free adjacent agricultural watersheds with claypan soils. Ecosystems and Environment 117, 2006, 39-48 s.
45. VYSOUDIL, M., Meteorologie a klimatologie pro geografu, Olomouc, 1997, 233 s.
46. YANG, J. L., ZHANG, G. L., SHI, X. Z., WANG, H. J., CAO, Z. H., RITSEMA, C. J., Dynamic changes of nitrogen and phosphorus losses in ephemeral runoff processes by typical storm events in Sichuan Basin, Southwest China, Soil & Tillage Research 105, 2009, 292-299 s.
47. ZHANG, G. H., LIU, G. B., WANG, G. L., WANG, Y. X., Effects of Vegetation Cover and Rainfall Intensity on Sediment-Bound Nutrient Loss, Size Composition and Volume Fractal Dimension of Sediment Particles. Pedosphere 21, 2011, 676-684 s.
48. ZNACHOR, P., Vodní květy řas a sinic. Scientific American České vydání, 2005, 51 s.

Seznam obrázků

Obrázek 1 Schéma oběhu vody podle US Geological Survey (Němec a Hladný, 2006)	9
Obrázek 2 Hydrogram povodňové vlny (Starý, 2005).....	25
Obrázek 3 Bezrozměrný jednotkový hydrogram podle SCS (Soil Conservation Service) (Daňhelka, 2007)	26
Obrázek 4 Jednoduchý jednovrcholový hydrogram (Melioris a kol., 1986)	27

Seznam grafů

Graf 1 Průměrná roční depozice a roční odnosy vybraných rozpuštěných látek z modelových povodí za sledované období (Procházka a Brom, 2008).....	44
--	----

Seznam tabulek

Tabulka 1 Základní hydrologická bilance hlavních povodí ČR (Němec a Hladný, 2006).	16
--	----