

JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH
ZEMĚDĚLSKÁ FAKULTA

Studijní program: N4106 Zemědělská specializace
Studijní obor: Pozemkové úpravy a převody nemovitostí
Zadávací katedra: Katedra krajinného managementu
Vedoucí katedry: doc. Ing. Pavel Ondr, CSc.

DIPLOMOVÁ PRÁCE

**Kvantifikace vlivu srážko-odtokových událostí na celkové
odnosy živin z povodí**

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

Autor diplomové práce: Bc. Eva Streitová

České Budějovice, 2016

JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH
Fakulta zemědělská
Akademický rok: 2014/2015

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Eva STREITOVÁ**
Osobní číslo: **Z14432**
Studijní program: **N4106 Zemědělská specializace**
Studijní obor: **Pozemkové úpravy a převody nemovitostí**
Název tématu: **Kvantifikace vlivu srážko-odtokových událostí na celkové od-
nosy živin z povodí**
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 :

Odnosy živin z povodí jsou významným způsobem ovlivňovány výskytem srážko-odtokových událostí během hodnoceného časového intervalu. V rámci této diplomové práce bude vliv těchto epizod kvantifikován na vybraném povodí.

Rámcový obsah DP:
Rešerše na dané téma.
Výběr vhodného povodí a jeho popis.
Zpracování (očistění) naměřených dat.
Výpočet látkového odnosu různými metodami.
Vyhodnocení, diskuze a závěr.

Rozsah grafických prací: dle potřeby
Rozsah pracovní zprávy: 40 - 50 stran textu
Forma zpracování diplomové práce: tištěná/elektronická
Seznam odborné literatury:

Novotny, V. Water quality (Diffuse pollution and watershed management). John Wiley and sons, New York, 2003, 864 s.
Novotny, V., Chesters, G. Handbook of nonpoint pollution - sources and management. Litton educational publishing, 1981, 555 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.
Brutsaert, W. Hydrology: An introduction. Cambridge University Press, 2005, 605 s.
časopisy: Hydrological processes, Journal of hydrology, Physics and chemistry of the earth, Hydrological studies, atd.

Vedoucí diplomové práce: Ing. Václav BYSTRICKÝ, Ph.D.
Katedra krajinného managementu

Datum zadání diplomové práce: 16. března 2015

Termín odevzdání diplomové práce: 30. dubna 2016

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

JIHOČESKÁ UNIVERZITA
V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH
ZEMĚDĚLSKÁ FAKULTA
studijní oddělení
Studentův nádraží 15
370 02 České Budějovice

L.S.

doc. Ing. Pavel Ondr, CSc.
vedoucí katedry

V Českých Budějovicích dne 23. března 2015

Prohlášení

Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění, souhlasím se zveřejněním své diplomové 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, a to se zachováním mého autorského práva k odevzdanému textu této kvalifikační práce.

Souhlasím dále s tím, aby toutéž elektronickou cestou byly v souladu s uvedeným ustanovením zákona č. 111/1998 Sb. zveřejněny posudky školitele a oponentů práce i záznam o průběhu a výsledku obhajoby kvalifikační práce. Rovněž souhlasím s porovnáním textu mé kvalifikační práce s databází kvalifikačních prací Theses.cz provozovanou Národním registrem vysokoškolských kvalifikačních prací a systémem na odhalování plagiátů.

V Českých Budějovicích dne

.....
Bc. Eva Streitová

Poděkování

Touto cestou bych ráda poděkovala vedoucímu diplomové práce Ing. Václavu Bystřickému, Ph.D. za odborné vedení, ochotu a poskytnutí cenných rad při tvorbě této diplomové práce.

Abstrakt

Tato diplomová práce se zabývá objasněním vlivu srážko-odtokových událostí na odnos živin z povodí, a jaké srážko-odtokové události jsou hlavní příčinou odnosů. V rámci tohoto bude kvantifikován vliv těchto epizod na povodí Jenínského potoka, konkrétně na subpovodí J2. V práci je popsán nejen koloběh vody v přírodě, popis vzniku srážko-odtokových událostí, ale i samotné faktory, které ovlivňují odtok vody a tím i způsobený odnos živin. Dále jsou zde popsány základní živiny vyskytující se nejčastěji a v největším množství v našich vodách, mezi které patří dusík a fosfor a v neposlední řadě jsou zde popsány i celkové odnosy živin ve vodách při srážko-odtokových událostech. Následuje samotný popis povodí a odběrného profilu J2 ze kterého byly zpracovány výsledky. Výsledky byly zpracovány v několika výpočetních metodách, které se mezi sebou na závěr porovnaly. Došlo také k výpočtu odnosů při 5 extrémních srážkových událostech a jejich procentuálnímu vyjádření z celkových ročních odnosů a následnému vyhodnocení výsledků.

Klíčová slova: živiny, dusičnany, fosforečnany, Jenínský potok, odnos, srážky, odtok

Abstract

This diploma thesis deals with clarification of an influence of rain discharge events on nutrients loss from drainage area and which rain discharge events are the main cause of the loss. Within the scope of this the influence of these episodes on drainage area of the Jenínský brook will be quantified, more specifically sub-drainage area J2. The thesis describes not only the circle of water in the nature, specification of rain drainage events origin, but also the very factors which influence the water drainage and the loss of nutrients caused by the drainage. Furthermore, the basic nutrients which appear the most often and in the biggest quantities in our waters are described, these being nitrogen and phosphor and last but not least what is described here is the total loss of nutrients in water during rain drainage events. The description of a drainage area itself and a water intake profile J2 follows. The water intake profile J2 was the source for processing the results. The results were processed by several computational methods, which were compared to each other in the end. The loss during 5 extreme rain events was calculated and so was their percentage representation in the total annual losses and the consecutive evaluation of the results.

Key words: nutrients, nitrates, phosphates, the Jenínský brook, loss, rainfall, drainage

OBSAH

1. ÚVOD	10
2. CÍL PRÁCE	10
3. LITERÁRNÍ REŠERŠE	11
3.1 Oběh vody v přírodě.....	11
3.1.1 Povrchová, podpovrchová a podzemní voda	13
3.1.2 Hydrologická bilance	14
3.2 Srážky a odtok z povodí	16
3.2.1 Vznik srážek.....	16
3.2.2 Rozdělení srážek	16
3.2.3 Odtok.....	17
3.3 Popis vzniku srážko-odtokových epizod.....	18
3.3.1 Intenzita a úhrn srážek	18
3.3.2 Průtok	19
3.3.3 Hydrogram	20
3.4 Faktory ovlivňující odtok při srážkové epizodě	21
3.5 Živiny v povodí	26
3.5.1 Dusík a fosfor.....	26
3.5.2 Eutrofizace	29
3.5.3 Rozdělení zdrojů živin v povodí	30
3.6 Celkové odnosy živin ve vodách při srážko-odtokových událostech.....	31
4. MATERIÁL	37
4.1 Jenínský potok.....	37
4.1.1 Popis odběrného profilu J2	39
5. METODY	41
5.1 Kvantitativní vyjádření ztrát živin z povodí.....	42
6. VÝSLEDKY A DISKUZE	43
6.1 Kvantitativní vyjádření ztrát živin z povodí.....	44
6.1.1 Výpočet odnosů metodou 1)	44
6.1.2 Výpočet odnosů metodou 2a)	48
6.1.3 Výpočet odnosů metodou 2b)	50
6.1.4 Grafické porovnání metod.....	52
6.2 Procentuální vyjádření odnosů ze srážko-odtokových událostí	56

7. ZÁVĚR	63
8. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY A ZDROJŮ	64
9. Seznam tabulek	69
10. Seznam obrázků.....	69
11. Seznam grafů.....	70

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).

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).

Postupné obohacování vody a půdy živinami zvláště dusičnany a fosfáty se označuje termínem eutrofizace. Eutrofizace povrchových vod se obecně označuje jako nadprodukce biomasy řas a vodních rostlin v důsledku trvale vysokého přísunu živin z povodí (Pitter, 1999).

2. CÍL PRÁCE

Cílem této diplomové práce je kvantifikovat vliv srážko-odtokových událostí na celkové odnosy živin z povodí během hodnoceného časového intervalu. Vliv těchto epizod byl kvantifikován na povodí Jenínského potoka.

3. LITERÁRNÍ REŠERŠE

3.1 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 střeoevropské 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 $2\,200\text{ km}^3$ 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).

3.1.1 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 vláhá, 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).

3.1.2 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 profilech 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 odtoklé 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 měřítko), 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

3.2 Srážky a odtok z povodí

3.2.1 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 nasatí 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.

3.2.2 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, ledovka 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.

3.2.3 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 infiltuje a obnovuje zásoby podzemní vody a část vytváří podzemní odtok. Část vody, která vytváří povrchový odtok, a část infiltrovaný vody vytváří odtok říční sítí. 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).

3.3 Popis vzniku srážko-odtokových epizod

3.3.1 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. přivalové deště (Pitter, 1999).

Z hlediska srážko-odtokových povodní je nejvýznamnější atmosférickou srážkou dešť. Dešť tvoří vodní kapky o průměru 0,5-8 mm, nejčastěji 1-3 mm. Ty se vyskytují za přivalových dešťů, lijáků. Lijáky se vyznačují krátkou dobou trvání, velkou intenzitou a malým plošným rozsahem (Matoušek, 2010). Jednotná všeobecně platná definice přivalových 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).

3.3.2 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.

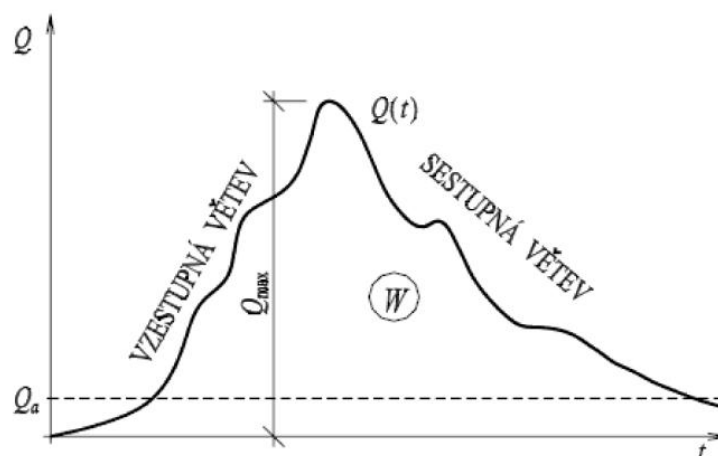
Atmosférické srážky, které se nezadrželi na rostlinách (intercepce), nevsákly do půdy (infiltrace), nevypařily se a nezadržely v prohlubních (povrchová kapacita), odtékají povrchově do koryta toku (Kemel, 1996). Množství vody, které protéká korytem řeky je ovlivněno celou řadou činitelů. Hlavní vliv 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).

3.3.3 Hydrogram

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 povodní 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)

3.4 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

Hustota říční sítě udává, celkovou délku vodních toků na jednotku plochy zvoleného území. Pro ČR obecně platí, že hustota říční sítě je největší v oblastech s vyššími nadmořskými výškami, kde se mohou vodní toky přirozeně vyvíjet, na rozdíl od obydlených a hospodářsky intenzivně využívaných oblastí, kde byla říční sít značně upravena (napříměna) a řada drobných vodních toků byla zatrubněna (Chmelová a Frajer, 2013). 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). Kemel (1996) uvádí, že menší hustota říční sítě indikuje větší propustnost půdního pokryvu.

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 (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 vsak 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 akumulárního 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, přemísťování 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 zavláženost 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

Kemel v roce 1996 uvádí, že činnost člověka se na hydrologickém režimu projevuje 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. Kulhavý a kol. (2011) konstatují, že 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. Vopravil a kol. (2010) tvrdí, že o způsobu odvodnění rozhodují příčiny, způsob a stupeň neboli intenzita zamokření, reliéf území, povaha půdy a její využití po odvodňovacím zásahu. Rozlišují se dvě skupiny odvodňovacích způsobů. První z nich jsou způsoby biologické, které odvodňují méně zamokřené nebo k zamokření jen náchylné půdy úpravou půdní struktury nebo výsadbou porostů s velkou transpirací. Druhé jsou způsoby technické, které odvodňují výrazněji zamokřené půdy pomocí různých technických úprav a staveb, jako jsou úpravy vodních toků, odvodňovací kanály nebo příkopy a drenáže.

Mnohá antropogenní aktivita (zásahy do vegetačního pokryvu a reliéfu, výstavba různých objektů, těžba nerostných surovin apod.) znamená zhoršování přírodních podmínek a ohrožení vodních zdrojů (Starý, 2005).

3.5 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 půjde o dusík a fosfor, neboť právě tyto prvky přicházejí do prostředí vlivem lidské činnosti v nadměrném množství (Hrázký a Šafarčíková, 2006).

3.5.1 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).

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 (spláskové 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).

Fosfor a jeho výskyt ve vodách

Celkový fosfor ($P_{\text{celk.}}$) ve vodách se dělí na rozpuštěný ($P_{\text{rozp.}}$) a nerozpuštěný ($P_{\text{nerozp.}}$). Rozpuštěný a nerozpuštěný fosfor se dále dělí na anorganický ($P_{\text{anorg.}}$) a organický ($P_{\text{org.}}$) vázaný. Rozpuštěný anorganicky vázaný fosfor se dále dělí na orthofosforečnanový ($P_{\text{ortho.}}$) a polyfosforečnanový ($P_{\text{poly.}}$). Fosfor ve formě fosforečnanů (PO_4^{3-} - (ortho)fosforečnanový aniont) podléhá především chemickým přeměnám. Většina fosforečnanů je ve vodě málo rozpustná. Rozpustnost fosforečnanů a uvolňování fosforu do vodního prostředí ovlivňuje hodnota pH vody a množství rozpuštěného kyslíku ve vodě. Zvláště významně se fosforečnany uplatňují při růstu zelených organismů ve vodě (řas a sinic). Proto bývá jejich koncentrace v letním období ve vodě nádrží a jezer, probíhá-li intenzivní fotosyntetická asimilace, nejmenší (Pitter, 2009).

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 (Sharples 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).

3.5.2 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). 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 čisticích prostředcích a zvětšujícím se množstvím splaškových vod. Dalším zdrojem jsou atmosférické depozice s rostoucím antropogenním podílem N a P (Pitter, 1999).

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).

3.5.3 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 závisejí na hydrometeorologických faktorech, např. na srážkách a průtoku (Hejzlar,

2010). 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 výpusti 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).

3.6 Celkové 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. Schilling a Zhang (2004) konstatuje, že 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. 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 ukazují, že celková ztráta fosforu z povodí Volhy dosahuje 0,03-0,35 kg.ha⁻¹ během jarního tání. Odnoš živin z povodí dominuje během jarního 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 odnošů dusíku N a fosforu P během typické bouřkové události a poskytnout tak základ pro odhad celkového odnošů živin z povodí. Výsledky ukázaly, že rychlý povrchový odtok a následný odnoš 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 odnoš z povodí. Výsledky ukázaly, že vegetační kryt a intenzita srážek zejména v krátkém trvání formou přívalových dešťů, měly významný vliv na odnošy 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 odnošy živin na zemědělském povodí o rozloze 7,3 km² v Pensylvánii v letech 1984-1996. Asi 2/3 odnoš celkového P byly při bouřkové události, přičemž 2/3 z tohoto odnoš jsou v průběhu zimy a jara, kdy se vyskytuje pět ze sedmi největších bouřkových událostí v rámci jednoho roku. K vyššímu odnoš N došlo hlavně v zimě a na jaře. Schilling a Zhang (2004) dospěli k závěru, že odnoš 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

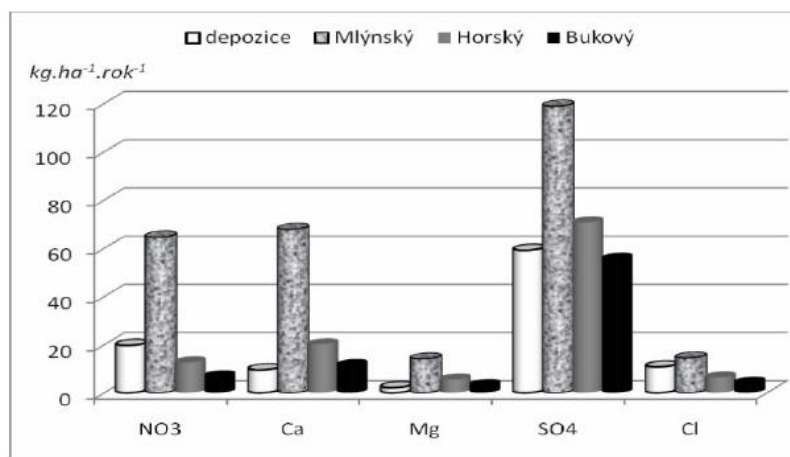
měsíční odnosy mají tendenci výskytu od března do července, kdy průměrný průtok překročil 26,5 l/s. Ke zvýšenému průtoku dochází při tání sněhu na jaře a při srážkových událostech v letním období.

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 obrázku č. 3. 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.



Obrázek 3 Průměrná roční depozice a roční odnosy vybraných rozpuštěných látek z modelových povodí za sledované období (Procházka a Brom, 2008)

Fučík a kol. (2008) uvádí zpracování výsledků z 3leté podrobné monitorovací kampaně drenážních a povrchových vod v malém zemědělsko-lesním povodí v krystaliniku Českomoravské vrchoviny v povodí VN Švihov na Želivce. Na základě vyhodnocení pravidelného i epizodního monitoringu jsou porovnány hodnoty měsíčních látkových odnosů NH₄-N, NO₃-N, PO₄-P a Pcelk. z deseti podpovodí s různým způsobem využití území a různou intenzitou zemědělského odvodnění. Měřené nebodové zdroje znečištění vod zde tvoří průměrně 23 % pro NH₄-N, 45 % pro NO₃-N, kolem 24 % pro PO₄-P a přibližně 26 % pro Pcelk. měsíčního látkového odnosu. Několikanásobně zvýšený průtok během epizod znamenal i při nižší koncentraci NO₃-N pochopitelně mnohem vyšší látkový odnos

ve srovnání s obdobími základního odtoku, kdy byla ve všech ročních obdobích (a zejména na jaře) koncentrace $\text{NO}_3\text{-N}$ vyšší. Z hlediska podílu na celkových měsíčních látkových odnosech ze sledovaných podpovodí tvořily tyto zdroje sumárně během období březen – říjen let 2009–2011 přibližně 7–33 %, průměrně 23 % pro $\text{NH}_4\text{-N}$, 36–54 %, průměrně 45 % pro $\text{NO}_3\text{-N}$, 11–47 %, průměrně 24 % pro $\text{PO}_4\text{-P}$ a 17–45 %, průměrně 26 % pro P celk. Měsíční specifické látkové odnosy pro dusičnanový dusík byly tyto hodnoty v průměru nejvyšší v zorněných a odvodněných povodích, pro fosfor potom v povodích, která obsahují sídlo a několik rybníků.

Maršálek a kol. (2009) zkoumal v projektu problematiky živin a sinic, bilancování odnosu živin pro oblast bavorského povodí. Bodové vnosy P do vodstva čistírnami a dešťovou vodou z osídlených oblastí dosahují v průměrném roce 7 t (Ohře) a 11 t (Reslava). Tato skutečnost odpovídá podílu 27% (Ohře) a 46% (Reslava) na celkovém odnosu P. Obecní čistíčky vod se podílí na těchto odnosech ze tří čtvrtin. Pokud se zohlední počet napojených obyvatel, dosahuje roční odnos P v dílčím povodí řeky Ohře 0,35 kg na obyvatele, v dílčím povodí řeky Reslavy 0,27 kg na obyvatele, což je podobná úroveň. Difúzní (plošné) vnosy P do vodstva, ke kterým dochází především zemědělskou činností, dosahují v průměrném roce 19 t (Ohře) a 13 t (Reslava). Tato skutečnost odpovídá podílu 73% (Ohře) a podílu 54% (Reslava) na celkovém odnosu. Bodové vnosy N do vodstva čistírnami a dešťovou vodou z osídlených oblastí dosahují v průměrném roce 55 t (Ohře) a 126 t (Reslava). Tato skutečnost odpovídá podílu 13% (Ohře) a 21% (Reslava) na celkovém odnosu N. Obecní čistíčky vod se podílí na těchto odnosech ze čtyř pětín. Pokud se zohlední počet napojených obyvatel, dosahuje roční odnos N v dílčím povodí řeky Ohře 1,9 kg na obyvatele, v dílčím povodí řeky Reslavy 1,7 kg na obyvatele, což je podobná úroveň. Difúzní (plošné) vnosy N do vodstva, ke kterým dochází především zemědělskou činností, dosahují v průměrném roce 382t (Ohře) a 466 t (Reslava). Tato skutečnost odpovídá podílu 87% (Ohře) a podílu 79% (Reslava) na celkovém odnosu N. V obou dílčích povodích se dostávají tři čtvrtiny tohoto odnosu do koryt spodní vodou. Ke zbylému odnosu dochází především odplavením a drenážemi, eroze a depozice mají zanedbatelnou roli. Roční celkové množství z bodových a z plošných vnosů kolísá ve sledovaných oblastech mezi 0,6 až 0,9 kg P/ha popř. mezi 15 až 19 kg N/ha, vycházejíc z jejich celkové plochy. Celoplošné celkové

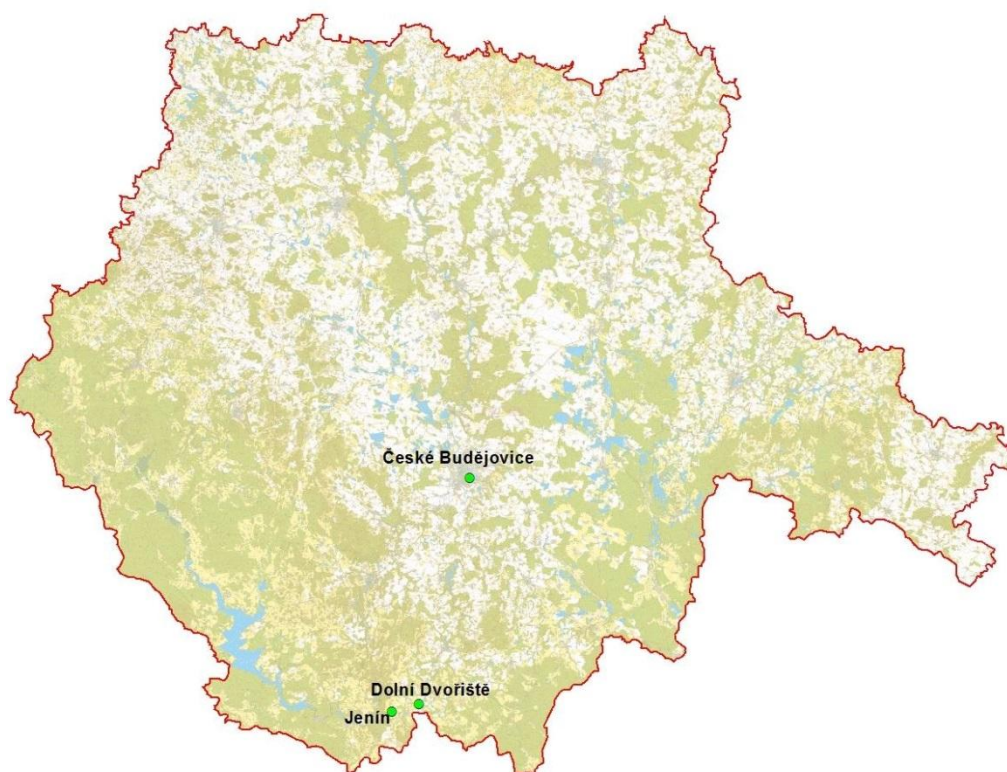
vnosy z bodových a plošných zdrojů do toků řek ve výzkumné oblasti se nacházejí u P 12% pod bavorským průměrem a u N 18% pod bavorským průměrem.

Z celkového shrnutí odnosů plyne, že oblasti vystavené suššímu klimatu vykazují nepravidelný zdroj ztráty fosforu prostřednictvím odtoku, než země s nepravidelným rozložením deště s častou lokalizací extrémních srážkových událostí. Vysoká míra odnosu dusičnanů se objevuje v předjaří a v obdobích s vysokým průtokem.

4. MATERIÁL

4.1 Jenínský potok

Pro objasnění vlivu srážko-odtokových událostí na odnos živin z povodí bude vliv těchto epizod zkoumán na povodí Jenínského potoka. Lokalizace povodí v rámci Jihočeského kraje se nachází na obrázku č. 4.



Obrázek 4 Lokalizace povodí Jenínského potoka v rámci Jihočeského kraje

Povodí Jenínského potoka leží v katastrálním území obce Jenín a Horní Kaliště. Nachází se v Jihočeském kraji a náleží do správního území obce Dolní

Dvořiště, které se nachází v jihovýchodní části okresu Český Krumlov v blízkosti rakouských hranic. Povodí o výměře 4,6 km² s číslem hydrologického pořadí 1-06-01-138 spadá pod povodí Rybnického potoka a je jeho pravostranným přítokem.

Řešené území leží v nadmořské výšce 637- 870 m. n. m. s nejvyšším vrcholem povodí Žibřidovský vrch s nadmořskou výškou 870 m. n. m., který se nachází v nejsevernější části povodí (Moravcová, 2011).

Geomorfologické členění zájmového území podle Demka (1965):

Provincie - Česká Vysočina

Subprovincie - Šumavská soustava

Oblast - Šumavská hornatina

Celek – Šumavské podhůří

Podcelek – Českokrumlovská vrchovina

Okrsek – Rožmberská vrchovina

Geologie

Podle České geologické služby patří území do soustavy Českého masivu oblasti moldanubika, v regionu metamorfických jednotek v moldanubiku a část regionu magmatitů v moldanubiku v oblasti, kde je přítokem Rybnického potoka. Horninový pokryv tvoří pararula, v jižní části potoka granit a v blízkosti vodního toku písčitohlinitý až hlinitopísčité pokryv. Podle Svobody (1964) je to čtvrtohorní pokryv v bezprostředním okolí vodních toků delubiofluviální, převážně písčitohlinité až hlinitopísčité sedimenty, v jejich širším okolí pak nacházíme deluviální a soliflukční sedimenty.

Pedologie

Na území se vyskytují převážně kambizemě dystrikové a kambizemě oglejené, dále také rankery modální a kambické, kambizemě, rendziny, pararendziny, rankery, pseudogleje modální a další (Moravcová, 2011).

Klimatologie

Podle Quitta (1971) patří území do klimatického regionu MT3 – mírně teplý, vlhký. Na obrázku č. 5 je vidět povodí Jenínského potoka v oblasti MT3 v těsné blízkosti chladné klimatické oblasti CH7.

Charakteristika oblasti MT3:

Počet letních dnů: 20-30

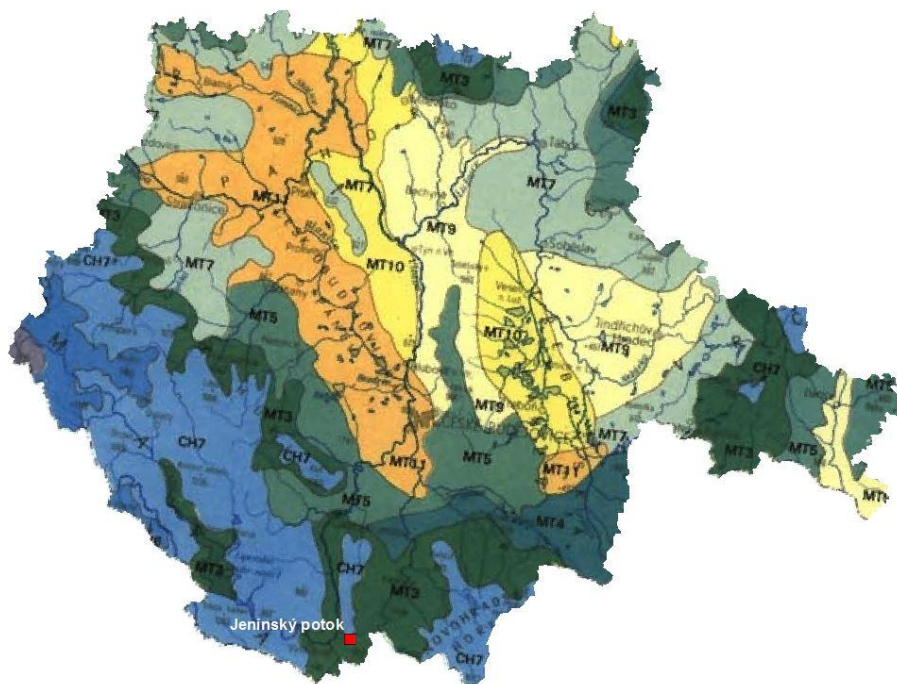
Počet ledových dnů: 40-50

Průměrná červencová teplota: 16 až 17 °C

Průměrná lednová teplota: -3 až -4 °C

Roční úhrn srážek: 600 – 700 mm

Počet dnů se sněhovou pokrývkou: 60 - 100

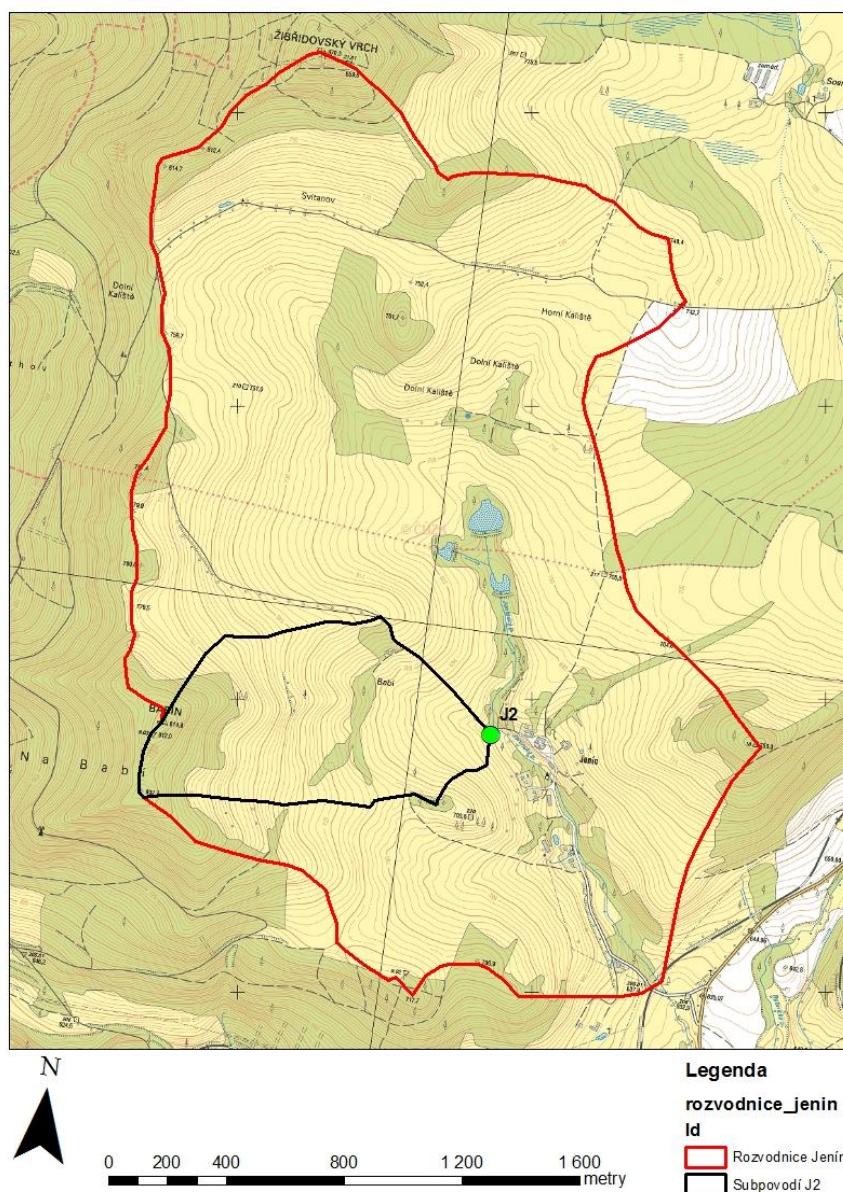


Obrázek 5 Povodí Jenínského potoka v klimatickém regionu MT3 (Quitt, 1971)

4.1.1 Popis odběrného profilu J2

Vliv srážko-odtokových událostí na celkový odnos živin z povodí Jenínského potoka bude vyhodnocen na subpovodí J2 jehož poloha je znázorněna na obrázku č. 6. spolu s podrobným zákresem povodí Jenínského potoka v mapě 1:10 000. Tato část odběrného profilu je tvořena z převážné části TTP.

Odběrný profil značený J2 je trubicí výúst systematické drenážní skupiny odvodňující pastviny do Jenínského toku. Velikost subpovodí pro tento drenážní systém má rozlohu 55,21 ha. Uzávěrový profil tohoto subpovodí je osazen Thomsonovým přepadem s pravoúhlým výřezem a je vybaven ultrazvukovou sondou pro kontinuální měření a záznam průtoků a výšek hladin. Tato sestava je doplněna kontinuálním vzorkovačem ISCO 6712 pro automatický odběr vzorků vody v průběhu srážko-odtokových událostí a také automatickou meteorologickou stanicí (Moravcová, 2011).



Obrázek 6 Zákres povodí Jenínského potoka se subpovodím J2 v ZM 1: 10 000

5. METODY

Metodika této diplomové práce je rozdělena do dvou částí. První část je zaměřena na výpočet odnosů z povodí Jenínského potoka třemi metodami, které byly mezi sebou navzájem porovnány. Druhá část je zaměřena na procentuální vyjádření odnosů ze srážko-odtokových událostí v porovnání s nejpřesnější metodou pro výpočet odnosů. Pro veškeré výpočty se čerpalo z naměřených dat průtoků, koncentrací látek a srážkových událostí na povodí. Pro toto vyhodnocení byl zvolen rok 2012.

V první části této práce je proveden výpočet odnosů živin z povodí. Výpočet první metodou se uskutečnil z naměřených aktuálních průtoků Q ve dni odběru vzorku a měsíčních koncentrací dusičnanového aniontu NO_3^- , amonného kationtu NH_4^+ , fosforečnanového aniontu PO_4^{3-} a celkového P. V druhé metodě proběhl výpočet odnosů z průměrných denních průtoků Q a měsíčních koncentrací. Třetí metoda výpočtu odnosů spočívala v interpolaci hodnot koncentrací odebíraných vzorků v měsíčním kroku na denní koncentrace. Úkolem bylo rozdělit mezi jednotlivé koncentrace jejich rozdíl, který byl vydělen intervalem mezi jednotlivými měřeními a po těchto částech se odečítal (přičítal) od počátečních koncentrací. Závěrem těchto metod bylo jejich porovnání a následné grafické znázornění.

V druhé části bylo stanoveno procentuální vyjádření odnosů z 5 srážko-odtokových událostí s porovnáním s jednou zvolenou metodou, kterou byly vypočteny odnosy živin. Vstupními daty pro výpočet odnosů při srážkových epizodách byly naměřené koncentrace a aktuální průtoky Q . Pro získání těchto dat bylo použito kontinuálního monitoringu jakosti vod, kdy byl odebírán vzorek realizovaný pomocí automatických vzorkovačů ISCO 6712.

Všechna použitá data byla vyhodnocena pomocí softwaru Microsoft Office Excel 2007.

5.1 Kvantitativní vyjádření ztrát živin z povodí

Vedle kvalitativního vyjádření jakosti vody, které je porovnatelné s vodohospodářskými normami se jeví jako nezbytné alespoň na části hospodářského katastru, odhadnout celkové množství ztrát živin. Proto při odběru vody chemické analýzy stanovujeme také velikost průtoku (Gergel a kol., 1994).

Pro výpočet odnosu živin se využívá metodiky VÚMOP (Gergel a kol., 1994), kde množství odtransportovaných živin v kg za rok vychází z dílčích hodnot velikosti průtoku a kvality vody (obsah sledovaných látek) a zjistí se podle vztahu:

$$L_{t1} = 0,0864 \sum \Delta t_i \cdot p_i \cdot Q_i$$

Kde: L_{t1} = látkový odnos ($\text{kg} \cdot \text{R}^{-1}$)

t_i = doba trvání i – tého intervalu sledování (d)

i = i – tý interval sledování

n = počet intervalů sledování za rok

p_i = koncentrace přínosu sledované látky i – nebo sledování ($\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$)

Q_i = objem průtoku vody i – tého sledování ($\text{l} \cdot \text{s}^{-1}$)

Vyjádření odnosu na 1 ha plochy povodí se provede podle vztahu:

$$L_{t2} = L_{t1} / P$$

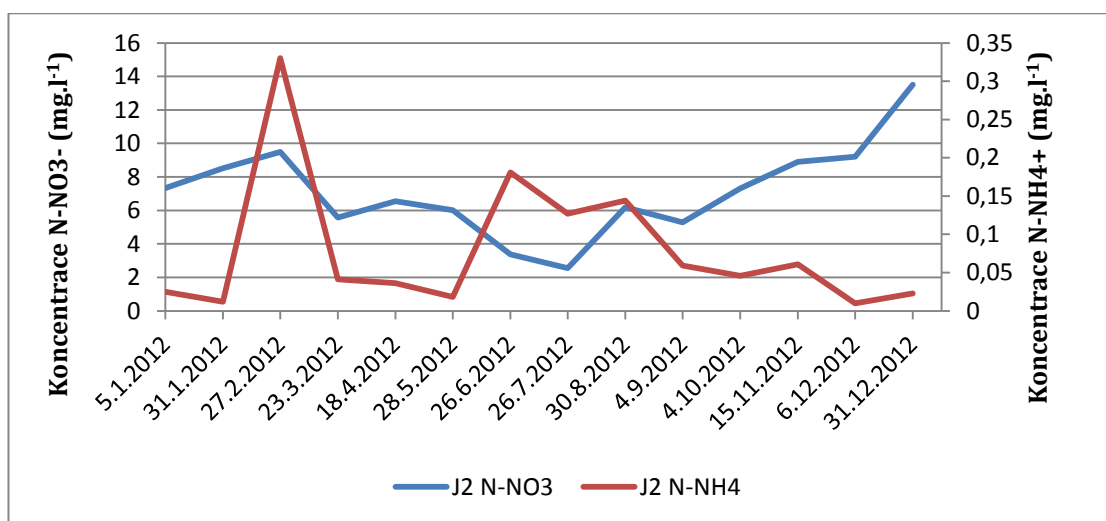
Kde: P je plocha povodí (ha)

Ztráta čistých živin odtokem se u dusíku vyjadřuje jako součet dusíku amonného, nitrátového a nitritového, přičemž platí následující přepočítávací koeficienty a v tomto případě bude přepočet probíhat konkrétně u: $\text{NO}_3^- \cdot 0,23$

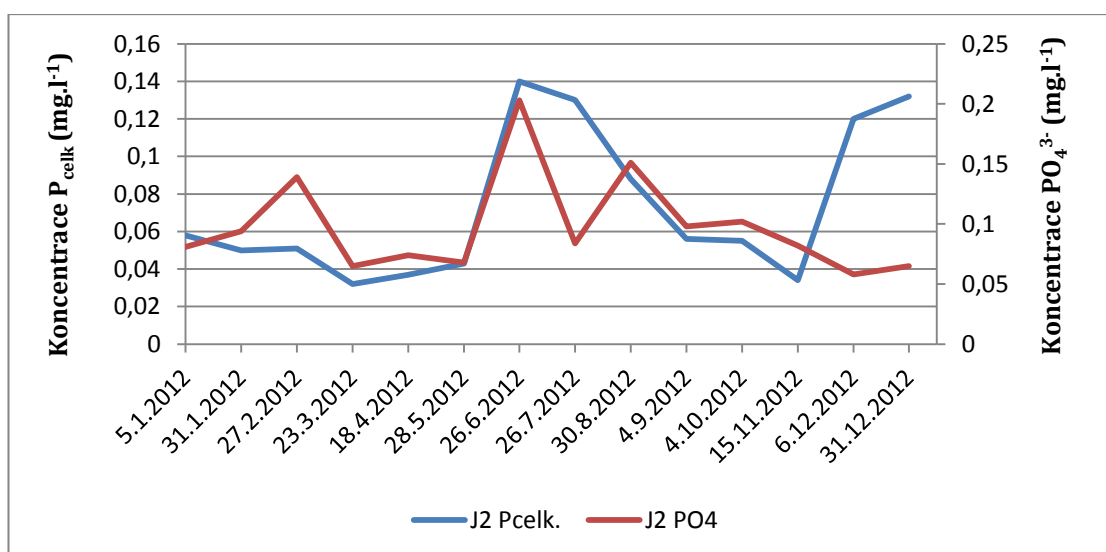
$\text{NH}_4^+ \cdot 0,78$

6. VÝSLEDKY A DISKUZE

Pro stanovení odnosů živin byl nejprve pro představu znázorněn průběh měsíčních koncentrací dusičnanového aniontu NO_3^- , amonného kationtu NH_4^+ v průběhu roku 2012 na subpovodí J2 v grafu č. 1. Měření probíhalo od 5. 1. 2012 do 31. 12. 2012. Koncentrace dusičnanového aniontu NO_3^- byly nejvyšší v prosinci 31. 12. 2012. U amonného kationtu NH_4^+ byly nejvyšší v únoru. Nejnižší koncentrace u dusičnanového aniontu NO_3^- byla naměřena pro měsíc červenec a v prosinci 6. 12. 2012 byla naměřena nejnižší koncentrace pro NH_4^+ .



Graf 1 - Průběh koncentrací dusičnanového aniontu NO_3^- , amonného kationtu NH_4^+ na povodí Jenínského potoka – J2 v roce 2012.



Graf 2 - Průběh koncentrací fosforečnanového aniontu PO_4^{3-} a celkového P na povodí Jenínského potoka – J2 v roce 2012.

Také pro fosforečnanový aniont PO_4^{3-} a celkový P byl sestrojen graf č. 2 s průběhem měsíčních koncentrací. Nejvyšší koncentrace celkového P nastaly v měsíci červnu. Tento samý měsíc došlo i k nejvyšším koncentracím fosforečnanového aniontu PO_4^{3-} . Nejnižší koncentrace u celkového P byly naměřeny v březnu a v prosinci 6.12.2012 u PO_4^{3-} .

6.1 Kvantitativní vyjádření ztrát živin z povodí

6.1.1 Výpočet odnosů metodou 1)

V první variantě proběhlo vyhodnocení odnosů z jednotlivých měsíčních koncentrací prvků a aktuálních průtoků Q ve dni odběru vzorku během roku 2012.

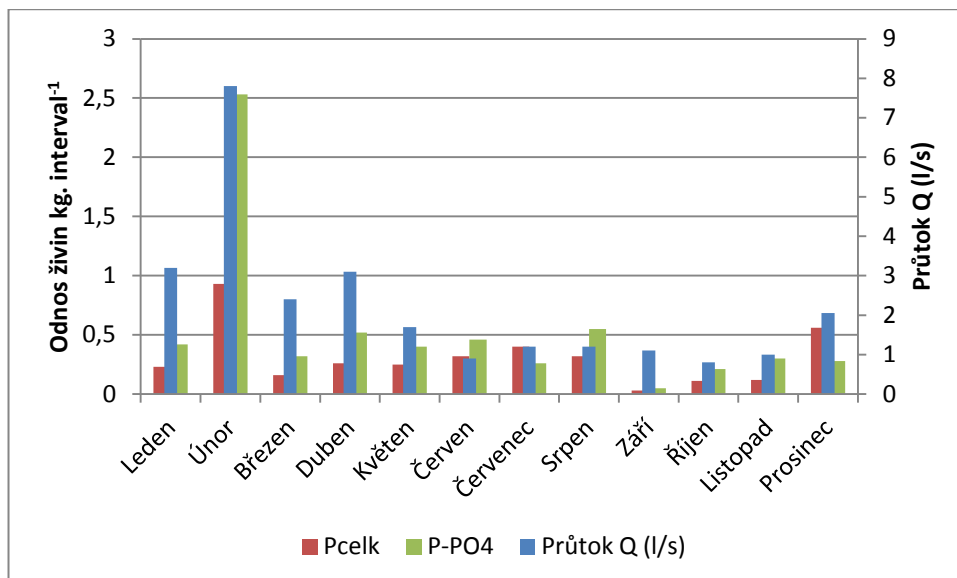
Vstupem do vzorce pro výpočet látkového odnosu byly naměřené měsíční koncentrace v průběhu roku 2012. Dále se přiřadil aktuální Q ke každému datu měření. Výsledkem byly průměrné odnosy a celkový součet odnosů živin v kg.interval^{-1} , které jsou vidět v tabulce č. 2.

Tabulka 2 - Celkový odnos živin ze subpovodí J2

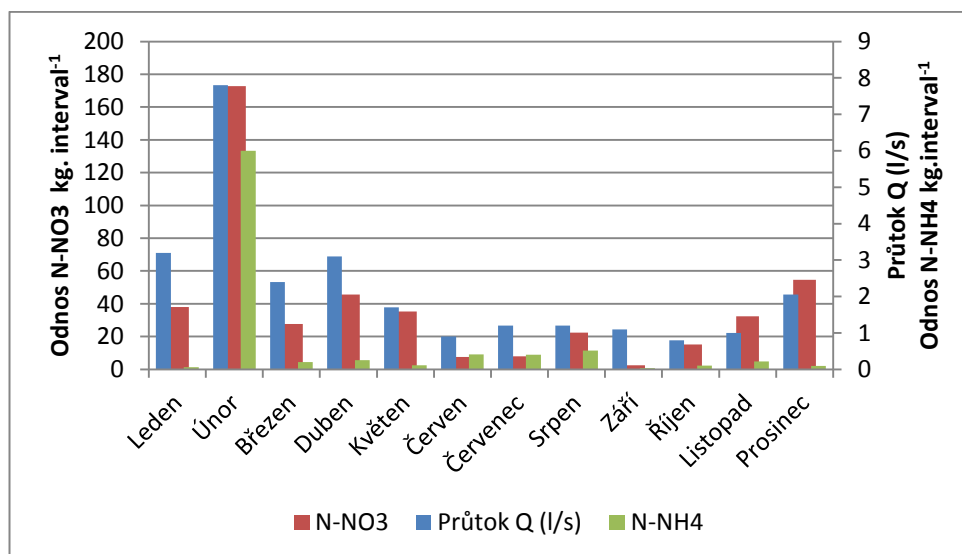
Celkové odnosy						
Měsíc odběru	Interval mezi odběry	Průtok Q (l/s)	Pcelk (kg.interval ⁻¹)	PO_4^{3-} (kg.interval ⁻¹)	NO_3^- (kg.interval ⁻¹)	NH_4^+ (kg.interval ⁻¹)
5. 1. 2012	5	2,9	0,07	0,10	9,20	0,03
31. 1. 2012	26	3,5	0,39	0,74	66,91	0,09
27. 2. 2012	27	7,8	0,93	2,53	172,68	6
23. 3. 2012	24	2,4	0,16	0,32	27,72	0,2
18. 4. 2012	26	3,1	0,26	0,52	45,54	0,25
28. 5. 2012	40	1,7	0,25	0,4	35,37	0,11
26. 6. 2012	29	0,9	0,32	0,46	7,62	0,41
26. 7. 2012	30	1,2	0,4	0,26	7,93	0,4
30. 8. 2012	35	1,2	0,32	0,55	22,46	0,52
4. 9. 2012	5	1,1	0,03	0,05	2,51	0,03
4. 10. 2012	30	0,8	0,11	0,21	15,18	0,1
15. 11. 2012	42	1	0,12	0,3	32,3	0,22
6. 12. 2012	22	0,9	0,21	0,1	15,74	0,02
31. 12. 2012	25	3,2	0,91	0,45	93,31	0,16
$\Sigma=$			4,48	6,99	554,47	8,54

Průběh odnosů jednotlivých živin znázorňuje graf č. 3 a 4. V grafu č. 3 je názorně vidět, že v měsíci únoru došlo k nejvyšším ztrátám Pcelk a PO_4^{3-} , kdy dosahoval průtok Q nejvyšších hodnot 7,8 l/s. Naopak k nejnižším odnosům došlo v měsíci září při průtoku o velikosti 1,1 l/s.

Graf 3 - Průběh celkových odnosů



Graf 4 - Průběh celkových odnosů



V grafu č. 4 došlo k nejvyšším odnosům obou měřených látek v únoru, kdy byl zároveň naměřen nejvyšší průtok 7,8 l/s. K nejnižším odnosům u NO_3^- a NH_4^+ došlo v měsíci září.

Na závěr této části se provedly výpočty odnosů na 1 ha plochy povodí. Výsledky se vyjádřily podle výše uvedeného vzorce v kapitole 5.1 v $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{rok}^{-1}$, kde dosazená plocha povodí profilu J2 činila 55,21 ha. Za každý látkový odnos jednotlivých živin se dosadila Σ naměřených odnosů v $\text{kg}\cdot\text{interval}^{-1}$.

Tabulka 3 - Odnos živin na 1 ha plochy povodí

Specifické odnosy				
Pcelk. ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{rok}^{-1}$)	PO_4^{3-} ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{rok}^{-1}$)	NO_3^- ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{rok}^{-1}$)	NH_4^+ ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{rok}^{-1}$)	celkový N ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{rok}^{-1}$)
0,08	0,13	10,04	0,15	2,43

Na základě výpočtů specifických odnosů živin z povodí bylo provedeno vyhodnocení podle Gergela (1994), který uvádí názornou tabulku č. 4 s rámcovými dávkami pro posouzení odnosu látek.

Tabulka 4 - Dusík ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{rok}^{-1}$)

0-10	ztráty zanedbatelné
10-20	ztráty přiměřené
20-30	ztráty zvýšené, vyžadující zpřesnění kontroly systému hospodaření
nad 40	ztráty nepřiměřené, vyžadující bezodkladný zásah

Podle výše uvedené tabulky jsou ztráty dusíku ze subpovodí J2 zanedbatelné a nepřesahují $10 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{rok}^{-1}$. Ztráta dusičnanového aniontu NO_3^- dosahovala nejvyšších hodnot $10,04 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{rok}^{-1}$. U amonného kationtu NH_4^+ ztráta činila $0,15 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{rok}^{-1}$. Ztráta čistého dusíku po přepočtu s koeficienty a následným součtem činila $2,43 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{rok}^{-1}$. Takto malé ztráty, označené jako zanedbatelné, jsou zapříčiněny způsobem využití subpovodí J2, které tvoří z převážné části trvalé travní porosty.

Přestože při analýzách přírodních vod je běžné pouze stanovení fosforečnanů, doporučuje se i využití stanovení tzv. veškerého fosforu, které je mnohem objektivnější. Stanovení samotných fosforečnanů neposkytuje v některých případech ani základní informaci o pohybu fosforu v povodí (Kvítek a kol., 2005). Proto zde byl stanoven odnos celkového P, pro objektivnější představu odnosů, který činil $0,07 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{rok}^{-1}$. Odnos PO_4^{3-} dosahoval $0,13 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{rok}^{-1}$.

Závislost změn koncentrací jednotlivých živin závisí na způsobu využití území. Tato závislost je potvrzena celou řadou autorů. Kvítek a kol. (2012) popisuje tuto závislost na malých zemědělsko-lesních subpovodích v povodí vodárenské nádrže Švihov na Želivce. Studie byla prováděna na subpovodích Kopaninského potoka, který je součástí povodí vodárenské nádrže. Subpovodí P6 a P53 bylo z převážné části tvořeno ornou půdou, kde nastával rychlý průnik vody půdním profilem a tím došlo k rychlým změnám koncentrací sledovaných živin a tím i vyšším koncentracím a následně odnosům, než je tomu u TTP V J2. Také Johnes a kol. (1996) shodně poukazuje, že hodnoty odnosu živin z pozemků spojených s intenzivním zemědělstvím na orné půdě mají tendenci být vyšší než u jiných typů využití území.

6.1.2 Výpočet odnosů metodou 2a)

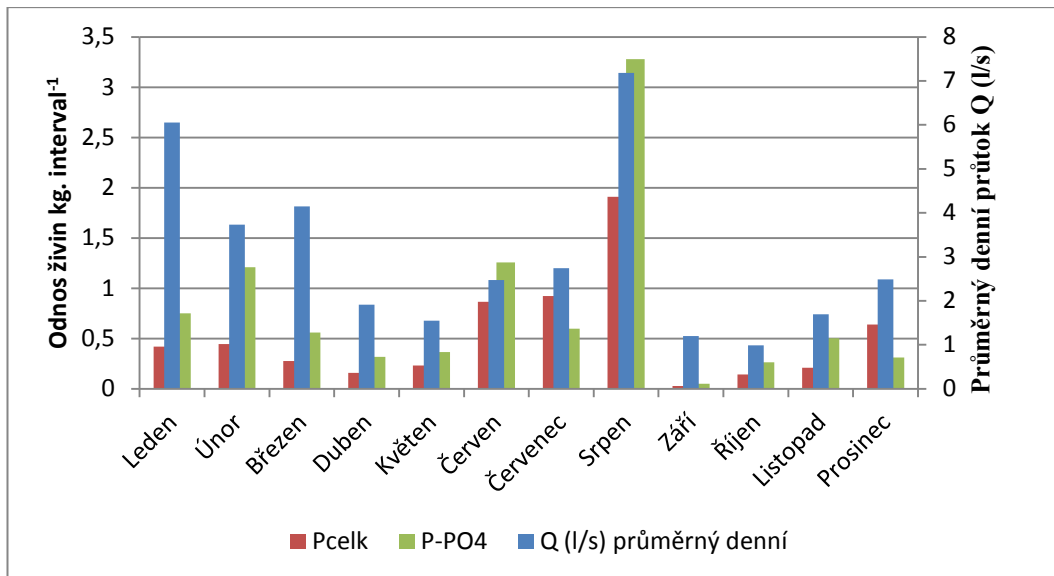
V druhé variantě proběhlo vyhodnocení odnosů z jednotlivých měsíčních koncentrací prvků a průměrných denních průtoků Q během roku 2012.

Nejprve byly vypočteny průměrné denní průtoky Q, které byly naměřeny v průběhu roku 2012. K nim byly přiřazeny naměřené měsíční koncentrace živin a tato data byla vstupem do vzorce pro výpočet látkového odnosu živin z povodí. Výsledkem byly průměrné odnosy a celkový součet odnosů živin v kg.interval^{-1} , které jsou vidět v tabulce č. 5. Průběh odnosů jednotlivých živin znázorňuje graf č. 5 a 6.

Tabulka 5 - Celkový odnos živin ze subpovodí J2

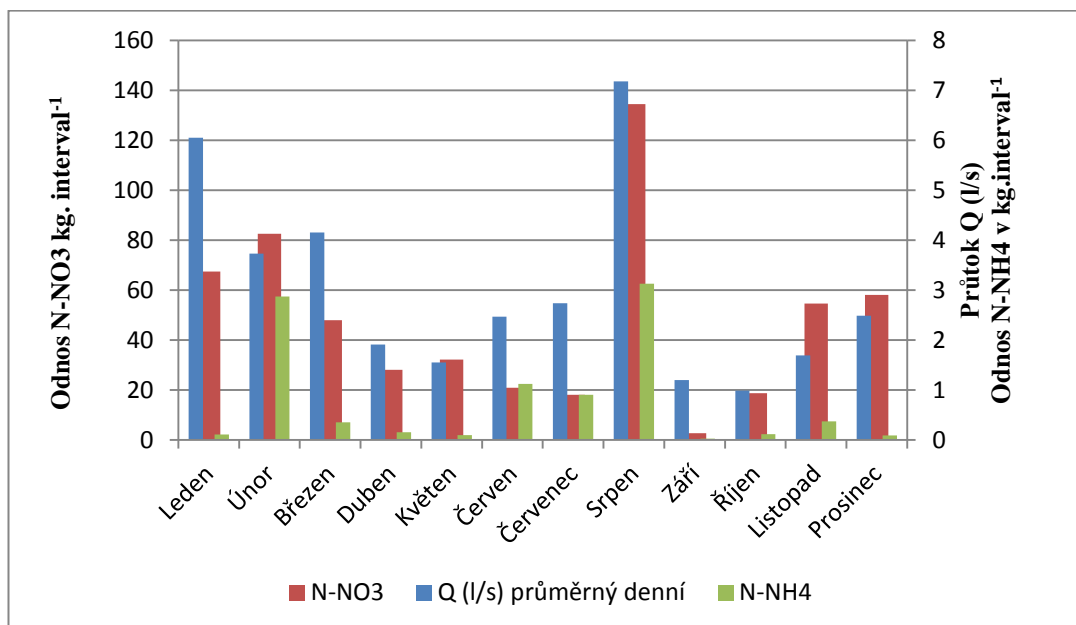
Celkové odnosy						
Měsíc odběru	Interval mezi odběry	Průtok Q (l/s)	Pcelk (kg.interval^{-1})	PO_4^{3-} (kg.interval^{-1})	NO_3^- (kg.interval^{-1})	NH_4^+ (kg.interval^{-1})
5. 1. 2012	5	6,05	0,15	0,21	19,18	0,07
31. 1. 2012	26	6,05	0,68	1,28	115,66	0,16
27. 2. 2012	27	3,73	0,44	1,21	82,58	2,87
23. 3. 2012	24	4,15	0,28	0,56	47,93	0,35
18. 4. 2012	26	1,91	0,16	0,32	28,06	0,15
28. 5. 2012	40	1,55	0,23	0,36	32,25	0,10
26. 6. 2012	29	2,47	0,87	1,26	20,92	1,12
26. 7. 2012	30	2,74	0,92	0,60	18,11	0,90
30. 8. 2012	35	7,18	1,91	3,28	134,40	3,13
4. 9. 2012	5	1,2	0,03	0,05	2,74	0,03
4. 10. 2012	30	0,99	0,14	0,26	18,78	0,12
15. 11. 2012	42	1,69	0,21	0,50	54,58	0,37
6. 12. 2012	22	2,49	0,57	0,27	43,54	0,05
31. 12. 2012	25	2,49	0,71	0,35	72,61	0,12
$\Sigma=$			7,30	10,51	691,34	9,55

Graf 5- Průběh celkových odnosů



V grafu č. 5 došlo k nejvyšším odnosům Pcelk. a PO_4^{3-} v měsíci srpnu, kdy byl i po celý měsíc naměřen nejvyšší průměrný denní průtok 7,18 l/s. Nejnižší odnosy probíhaly shodně v měsíci září s průtokem 1,2 l/s.

Graf 6 - Průběh celkových odnosů



V grafu č. 6 je vidět, že docházelo k nejvyšším odnosům u dusičnanového aniontu NO_3^- a amonného kationtu NH_4^+ v měsíci srpnu, kdy byl naměřen i nejvyšší průtok Q o velikosti 7,18 l/s. Nejnižšími odnosy u obou prvků disponoval měsíc září s průtokem 1,2 l/s.

Na závěr této části se provedly výpočty odnosů na 1 ha plochy povodí. Výsledky se vyjádřily podle výše uvedeného vzorce v $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{rok}^{-1}$, kde dosazená plocha povodí profilu J2 činila 55,21 ha. A za každý látkový odnos jednotlivých živin se dosadila Σ naměřených odnosů v $\text{kg}\cdot\text{interval}^{-1}$.

Tabulka 6- Odnos živin na 1 ha plochy povodí

Specifické odnosy				
Pcelk. ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{rok}^{-1}$)	PO_4^{3-} ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{rok}^{-1}$)	NO_3^- ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{rok}^{-1}$)	NH_4^+ ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{rok}^{-1}$)	celkový N ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{rok}^{-1}$)
0,13	0,19	12,52	0,17	3,01

Na základě výpočtů specifických odnosů živin z povodí bylo provedeno vyhodnocení odnosů podle tabulky č. 4.

Odnos dusičnanového aniontu NO_3^- dosahoval $12,52 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{rok}^{-1}$ a odnos amonného kationtu NH_4^+ $0,17 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{rok}^{-1}$. Ztráta čistého dusíku po přepočtu činila $3,01 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{rok}^{-1}$.

Byly zde pro objektivnější představu odnosů určeny i ztráty celkového P, které činily $0,13 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{rok}^{-1}$, odnosy PO_4^{3-} dosahovaly $0,19 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{rok}^{-1}$.

Tyto výsledky, mezi dusíkem a fosforem potvrzuje Pečenka a kol. (2007), který tvrdí, že dusík v porovnání s fosforem, je podstatně více rozšířen ve všech složkách prostředí a jeho pohyblivost je též obecně podstatně vyšší. Schilling (2002) ve svém výzkumu uvádí, že vysoká míra odnosu dusičnanů se objevuje v předjaří a v obdobích s vysokým průtokem a naopak, vysoká míra odnosu fosforečnanů se objevuje v průběhu sušších period na konci léta.

6.1.3 Výpočet odnosů metodou 2b)

Poslední metodou pro vyhodnocení odnosů byla metoda, kdy byly interpolovány hodnoty koncentrací odebíraných vzorků v měsíčním kroku na denní koncentrace. Úkolem bylo rozdělit mezi jednotlivé koncentrace jejich rozdíl, který byl vydělen intervalem mezi jednotlivými měřeními a po těchto částech se odečítal (přičítal) od počáteční koncentrace. Po výpočtu jednotlivých koncentrací se dopočetly odnosy pro každý den od 1. 1. 2012 do 31. 12. 2012. Vstupem do tohoto

výpočtu byl průměrný denní průtok Q v l/s, denní interpolované koncentrace živin. Výstupem byly celkové odnosy živin v kg.rok⁻¹ a specifické odnosy živin v kg.ha⁻¹.rok⁻¹, které jsou vidět v následujících tabulkách č. 7 a 8.

Tabulka 7 - Celkový odnos živin ze subpovodí J2

Celkové odnosy				
Pcelk. (kg.rok ⁻¹)	PO ₄ ³⁻ (kg.rok ⁻¹)	NO ₃ ⁻ (kg.rok ⁻¹)	NH ₄ ⁺ (kg.rok ⁻¹)	Celkový N (kg.rok ⁻¹)
7,48	10,57	681,95	9,17	164,00

Tabulka 8 - Odnos živin na 1 ha plochy povodí

Specifické odnosy				
Pcelk. (kg.ha ⁻¹ .rok ⁻¹)	PO ₄ ³⁻ (kg.ha ⁻¹ .rok ⁻¹)	NO ₃ ⁻ (kg.ha ⁻¹ .rok ⁻¹)	NH ₄ ⁺ (kg.ha ⁻¹ .rok ⁻¹)	Celkový N (kg.ha ⁻¹ .rok ⁻¹)
0,14	0,19	12,35	0,17	2,97

Toto vyhodnocení celkových a specifických odnosů se pohybuje v relativně stejném rozmezí, jako je tomu u předchozích metod pro výpočet odnosů. Pro úplné a přesné vyhodnocení odnosů, byly sestrojeny níže uvedené tabulky č. 9, pro porovnání výsledků v jednotlivých metodách. Největší variabilitu vykazuje metoda 1), která se výrazněji liší od výsledků metod 2a) a 2b). Největší variabilitu mezi metodami z celkových a specifických odnosů vykazuje dusičnanový aniont NO₃⁻ a celkový N. Také fosforečnanový aniont PO₄³⁻ vykazuje větší proměnlivost celkových a specifických odnosů.

Tabulka 9 - Porovnání výsledků odnosů

(kg. rok⁻¹) NO₃⁻ (kg.ha⁻¹.rok⁻¹)				(kg. rok⁻¹) NH₄⁺ (kg.ha⁻¹.rok⁻¹)			
Celkový odnos		Specifický odnos		Celkový odnos		Specifický odnos	
1)	554,47	1)	10,04	1)	8,54	1)	0,15
2a)	691,34	2a)	12,52	2a)	9,55	2a)	0,17
2b)	691,95	2b)	12,35	2b)	9,17	2b)	0,17

(kg. rok⁻¹) Celkový N (kg.ha⁻¹.rok⁻¹)			
Celkový odnos		Specifický odnos	
1)	134,19	1)	2,43
2a)	166,46	2a)	3,01
2b)	164,00	2b)	2,97

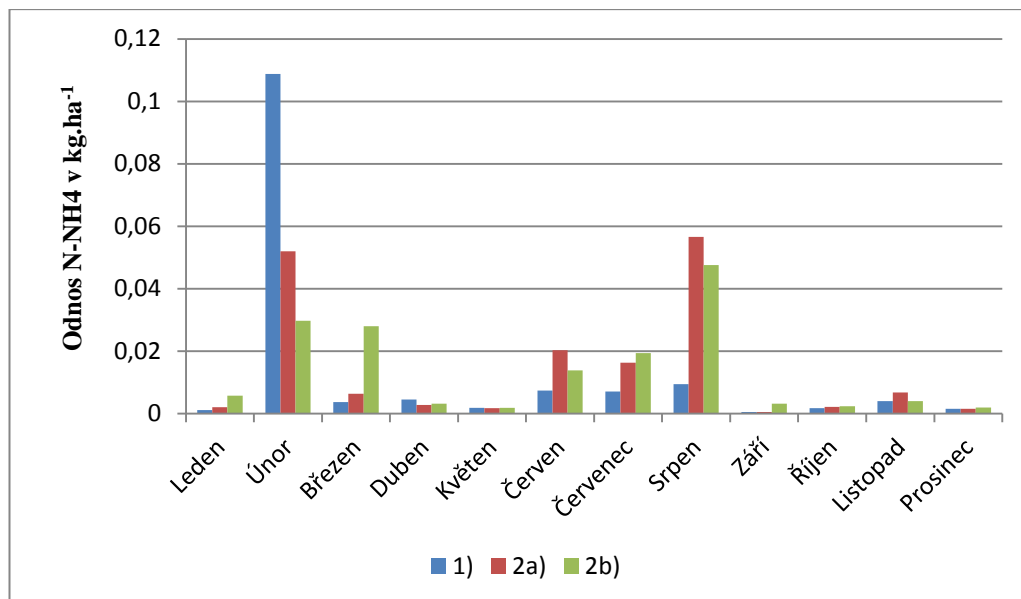
(kg. rok⁻¹) Pcelk. (kg.ha⁻¹.rok⁻¹)				(kg. rok⁻¹) PO₄³⁻ (kg.ha⁻¹.rok⁻¹)			
Celkový odnos		Specifický odnos		Celkový odnos		Specifický odnos	
1)	4,48	1)	0,08	1)	6,99	1)	0,13
2a)	7,30	2a)	0,13	2a)	10,51	2a)	0,19
2b)	7,48	2b)	0,14	2b)	10,57	2b)	0,19

6.1.4 Grafické porovnání metod

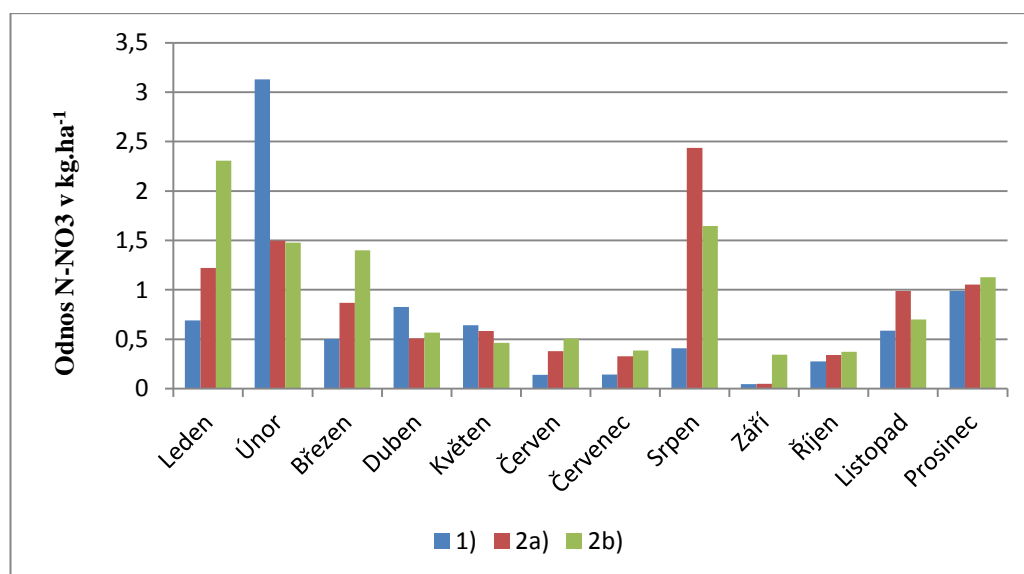
Na závěr se provedlo grafické porovnání všech metod, podle kterých byly spočítány jednotlivé odnosy. V grafech uvedených níže, byl znázorněn průběh a proměnlivost jednotlivých odnosů během celého roku 2012. Pro přesnější vyjádření průběhů odnosů byly hodnoty uváděny na 5 desetinných míst.

Nejvyšší odnosy amonného kationtu NH₄⁺ dosahovaly hodnot 0,10876 kg.ha⁻¹.měsíc⁻¹. Bylo tomu v metodě 1) v měsíci únor což znázorňuje graf č. 7. K nejnižším odnosům došlo v měsíci září u metody 1) 0,00051 kg.ha⁻¹.měsíc⁻¹ a skoro ty samé výsledky byly u metody 2a), kde odnosy činily 0,00055 kg.ha⁻¹.měsíc⁻¹.

Graf 7- Porovnání odnosů NH₄⁺



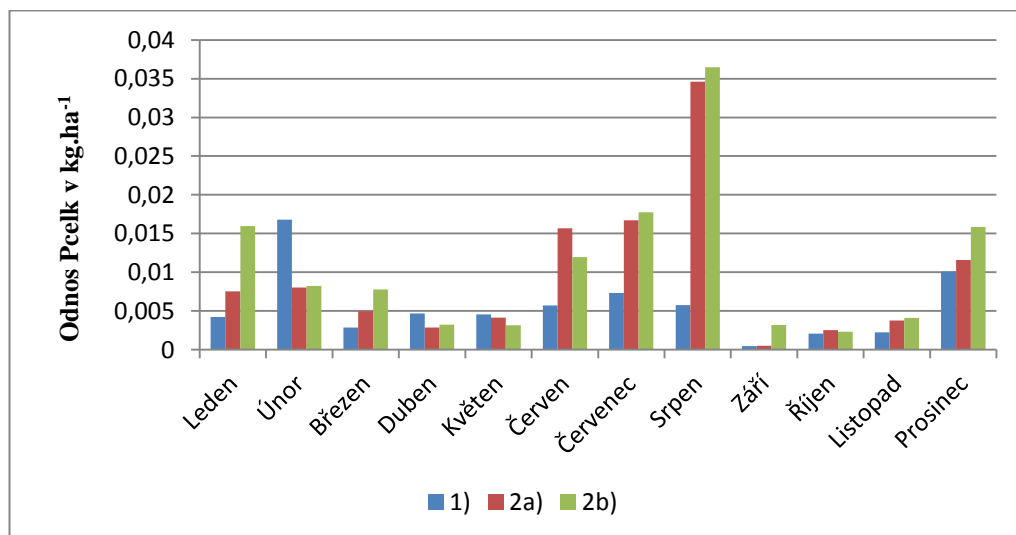
Graf 8 - Porovnání odnosů NO₃⁻



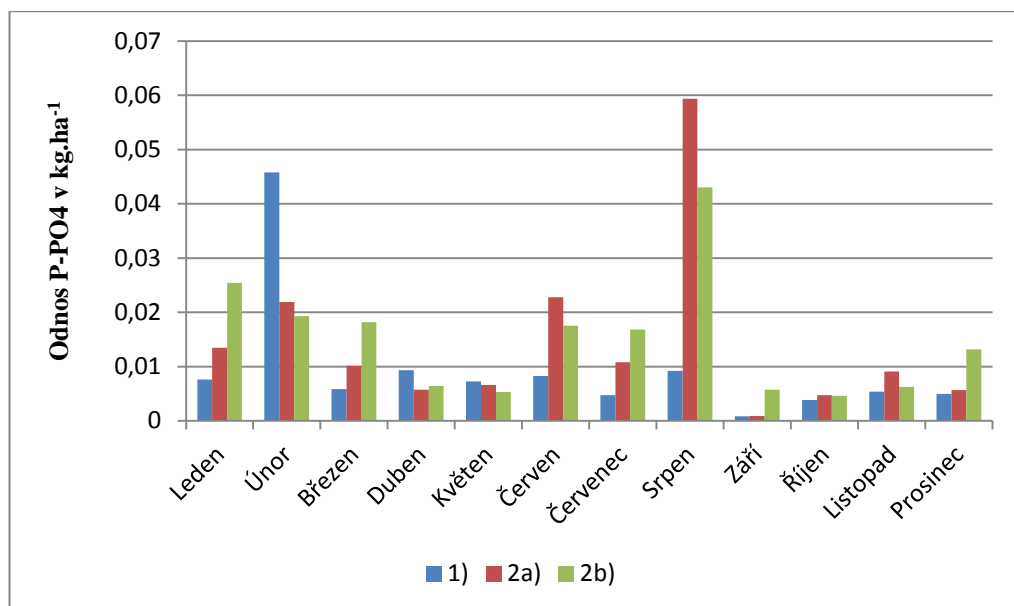
Také pro dusičnanový aniontu NO₃⁻, jehož průběh znázorňuje graf č. 8, byly jako u předchozího grafu nejvyšší odnosy vypočteny pro měsíc únor v metodě 1), kde odnosy dosahovaly hodnot 3,12767 kg.ha⁻¹.měsíc⁻¹. K nejnižším odnosům došlo stejně jako u NH₄⁺ v měsíci září. Došlo tomu v metodě 1) s hodnotou odnosů 0,04553 kg.ha⁻¹.měsíc⁻¹ a v metodě 2a) s odnosy 0,04967 kg.ha⁻¹.měsíc⁻¹.

Graf č. 9 znázorňuje, že u celkového P byly nejvyšší hodnoty odnosů vypočteny v metodě 2b), kde odnosy v měsíci srpnu dosahovaly hodnot $0,03645 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{měsíc}^{-1}$. K nejnižším odnosům došlo shodně jako u předchozích grafů v měsíci září, kde odnosy v metodě 1) dosahovaly pouhých $0,00048 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{měsíc}^{-1}$ a v metodě 2a) $0,00053 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{měsíc}^{-1}$.

Graf 9 - Porovnání odnosů Pcelk



Graf 10 - Porovnání odnosů PO43-



U fosforečnanového aniontu PO_4^{3-} byly nejvyšší hodnoty odnosů vypočtené v měsíci srpnu což názorně ukazuje graf č. 10. Bylo tomu v metodě 2a) s hodnotou odnosů $0,05938 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{měsíc}^{-1}$. Nejnižší hodnoty stejně jako u všech předchozích

grafů byly vypočtené v měsíci září. Bylo tomu u metody 1) s hodnotou odnosů 0,00084 kg.ha⁻¹.měsíc⁻¹ a u metody 2a), kde odnosy činily 0,00092 kg.ha⁻¹.měsíc⁻¹.

Fučík a kol. (2010) porovnával čtyři varianty stanovení látkového odnosu pro celkový N, N-NH₄, N-NO₃, P-PO₄ a Pcelk v povodí s dominantním zastoupením orné půdy. Hodnoty odnosů stanovené těmito čtyřmi přístupy byly vzájemně porovnány. Látkové odnosy vykazovaly velké rozdíly podle metody výpočtu a období stanovení (měsíc). Největší odchylky byly zaznamenány u celkových *N* a *P*, dále u *N-NH₄* a nejmenší rozdíly byly zjištěny pro odnosy N-NO₃. Pro stanovení reálných hodnot odnosů látek (zejména živin) z povodí je zapotřebí monitoringu, který bude zahrnovat intenzivní vzorkování vysokých vodních stavů i kontinuální měření průtoku.

Pro porovnání odnosů z různých povodí ČR zde byly podle ČHMÚ (2014) v tabulce č. 10 uvedeny výsledky výpočtu látkového odnosu zvolených látek pro vybrané profily: Děčín (Labe), Zelčín (Vltava), Lanžhot (Morava), Pohansko (Dyje) a Bohumín (Odra).

Tabulka 10- Výsledky výpočtů látkového odnosu pro vybraný profil (podle ČHMÚ, 2004)

PROFIL	TOK	KM	UKAZATEL	ODNOS kg.rok⁻¹
Děčín	Labe	88,02	dusík veškerý	37790343,5
Děčín	Labe	88,02	dusík amoniakální	2124349,3
Děčín	Labe	88,02	dusík dusičnanový	31000255,3
Děčín	Labe	88,02	fosfor veškerý	1189755,3
Zelčín	Vltava	4,5	dusík veškerý	20831620,9
Zelčín	Vltava	4,5	dusík amoniakální	850508,8
Zelčín	Vltava	4,5	dusík dusičnanový	16712024,9
Zelčín	Vltava	4,5	fosfor veškerý	770956,5
Lanžhot	Morava	79,1	dusík veškerý	6553463,1
Lanžhot	Morava	79,1	dusík amoniakální	427243,9
Lanžhot	Morava	79,1	dusík dusičnanový	5036557,6
Lanžhot	Morava	79,1	fosfor veškerý	262453,3
Pohansko	Dyje	17	dusík veškerý	5152333,6
Pohansko	Dyje	17	dusík amoniakální	225995,5
Pohansko	Dyje	17	dusík dusičnanový	3971236,1
Pohansko	Dyje	17	fosfor veškerý	272894,9
Bohumín	Odra	3,3	dusík veškerý	7156726,5
Bohumín	Odra	3,3	dusík amoniakální	548621,6
Bohumín	Odra	3,3	dusík dusičnanový	6086969,4
Bohumín	Odra	3,3	fosfor veškerý	357079,8

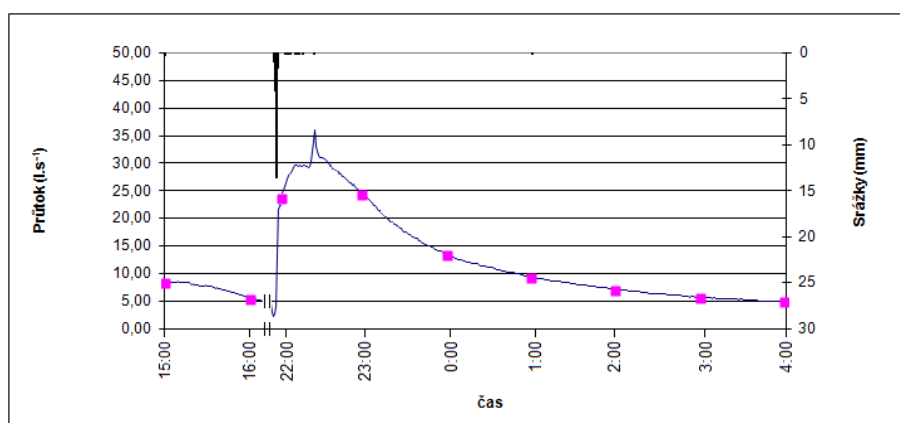
6.2 Procentuální vyjádření odnosů ze srážko-odtokových událostí

Poslední a závěrečnou částí bylo procentuální vyjádření odnosů z 5 srážko-odtokových událostí, které byly zaznamenané během roku 2012. Každá tato srážko-odtoková událost byla pro představu vyjádřena základní tabulkou a grafem. Jelikož kontinuita měření neprobíhala vždy v pravidelných intervalech, je tato situace znázorněna přerušením konkrétního intervalu v grafu. Pro procentuální vyjádření odnosů bylo třeba zvolit jednu metodu, kterou byly vypočtené odnosy živin v kg .rok. Byla zvolena metoda 2a), kde byly spočteny odnosy z jednotlivých měsíčních koncentrací prvků, a průměrných denních průtoků Q. Hodnoty odnosů vypočtených touto metodou budou brány jako 100% odnosů za rok 2012. Dále se vypočtené odnosy ze srážko-odtokových událostí v kg.interval procentuálně vyjádřily z daného celku. Výsledky procentuálního vyjádření odnosů jsou uvedené v závěrečných tabulkách pro každou srážkovou událost.

Tabulka 11 - Základní data

20. 6. 2012 (13 hodin) J2	ČAS	PRŮTOK l.s ⁻¹	ROZBOR VZORKŮ		
			NH ₄ ⁺ mg.l ⁻¹	NO ₃ ⁻ mg.l ⁻¹	PO ₄ ³⁻ mg.l ⁻¹
1	15:00	8,3	2,3	1	0,35
2	16:00	5,5	0,84	2,01	0,258
3	22:00	23	0,599	1,29	0,664
4	23:00	24,5	0,467	1,87	0,577
5	0:00	13,4	0,395	2,48	0,432
6	1:00	9,4	0,324	2,84	0,288
7	2:00	7,1	0,272	3,03	0,244
8	3:00	5,7	0,277	3,21	0,209
9	4:00	4,9	0,203	3,35	0,186

Graf 11 - Srážko-odtoková událost



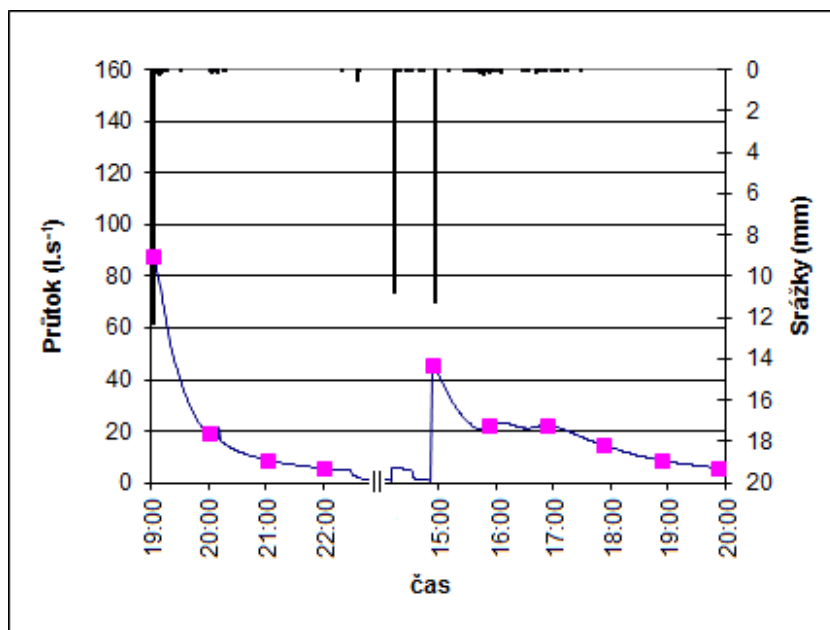
Tabulka 12 - Procentuální vyjádření odnosů

Procentuální vyjádření odnosů			
	NH ₄ ⁺	NO ₃ ⁻	PO ₄ ³⁻
3) (x %)	0,13 kg.13h ⁻¹	0,76 kg.13h ⁻¹	0,12 kg.13h ⁻¹
2a) (100%)	9,82 kg.rok ⁻¹	737,67 kg.rok ⁻¹	11,47 kg.rok ⁻¹
%	1,32 %	0,1 %	1,05 %

Tabulka 13 - Základní data

3. -6. 7. 2012 (25 hodin) J2	ČAS	PRŮTOK l.s ⁻¹	ROZBOR VZORKŮ		
			NH ₄ ⁺ mg.l ⁻¹	NO ₃ ⁻ mg.l ⁻¹	PO ₄ ³⁻ mg.l ⁻¹
1	19:00	88,1	3,27	9,84	0,414
2	20:00	19,5	0,042	7,55	0,662
3	21:00	8,8	0,166	8,43	0,506
4	22:00	5,6	0,05	7,02	0,371
5	15:00	45,4	2,35	1	0,47
6	16:00	22,7	1,08	3,61	1,29
7	17:00	22,2	0,042	6,96	1,36
8	18:00	14,6	0,041	6,73	1,03
9	19:00	8,8	0,391	5,86	0,685
10	20:00	5,9	0,306	5,66	0,468

Graf 12 - Srážko-odtoková událost



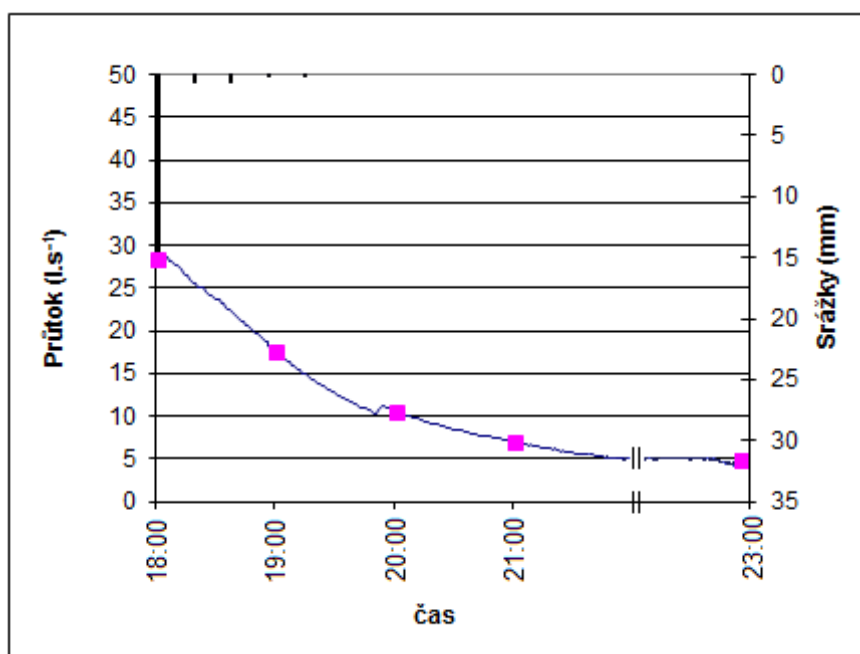
Tabulka 14 - Procentuální vyjádření odnosů

% vyjádření odnosů			
	NH ₄ ⁺	NO ₃ ⁻	PO ₄ ³⁻
3) (x%)	0,64 kg.25h ⁻¹	3,66 kg.25h ⁻¹	0,46 kg.25h ⁻¹
2a) (100%)	9,82 kg.rok ⁻¹	737,67 kg.rok ⁻¹	11,47 kg.rok ⁻¹
%	6,52%	0,5%	4,01%

Tabulka 15 - Základní data

28. 7. 2012 (5 hodin) J2	ČAS	PRŮTOK l.s ⁻¹	ROZBOR VZORKŮ		
			NH ₄ ⁺ mg.l ⁻¹	NO ₃ ⁻ mg.l ⁻¹	PO ₄ ³⁻ mg.l ⁻¹
1	18:00	28,3	0,418	1,87	0,193
2	19:00	17,6	0,296	2,72	0,176
3	20:00	10,6	0,24	3,29	0,119
4	21:00	7	0,202	3,54	0,104
5	23:00	4,8	0,192	3,7	0,089

Graf 13 - Srážko-odtoková událost



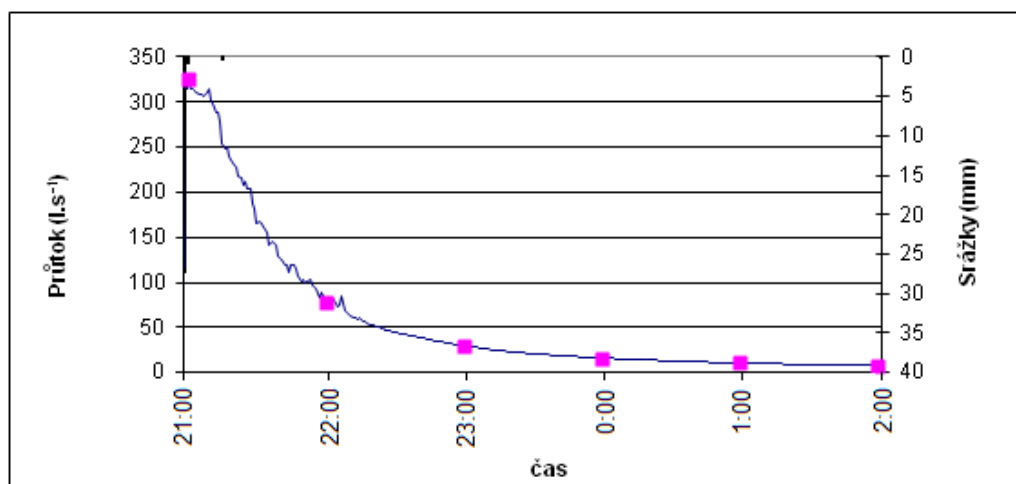
Tabulka 16 - Procentuální vyjádření odnosů

% vyjádření odnosů			
	NH ₄ ⁺	NO ₃ ⁻	PO ₄ ³⁻
3) (x%)	0,05 kg.5h ⁻¹	0,52 kg.5h ⁻¹	0,03 kg.5h ⁻¹
2a) (100%)	9,82 kg.rok ⁻¹	737,67 kg.rok ⁻¹	11,47 kg.rok ⁻¹
%	0,51 %	0,07%	0,26%

Tabulka 17- Základní data

5. 8. 2012 (5 hodin) J2	ČAS	PRŮTOK l.s ⁻¹	ROZBOR VZORKŮ		
			NH ₄ ⁺ mg.l ⁻¹	NO ₃ ⁻ mg.l ⁻¹	PO ₄ ³⁻ mg.l ⁻¹
1	21:00	326,4	0,318	1	0,26
2	22:00	78	0,284	1,58	0,895
3	23:00	29,9	0,255	2,46	0,495
4	0:00	16,1	0,234	2,79	355
5	1:00	10,5	0,206	3,18	0,281
6	2:00	7,8	0,192	3,39	0,184

Graf 14 - Srážko-odtoková událost



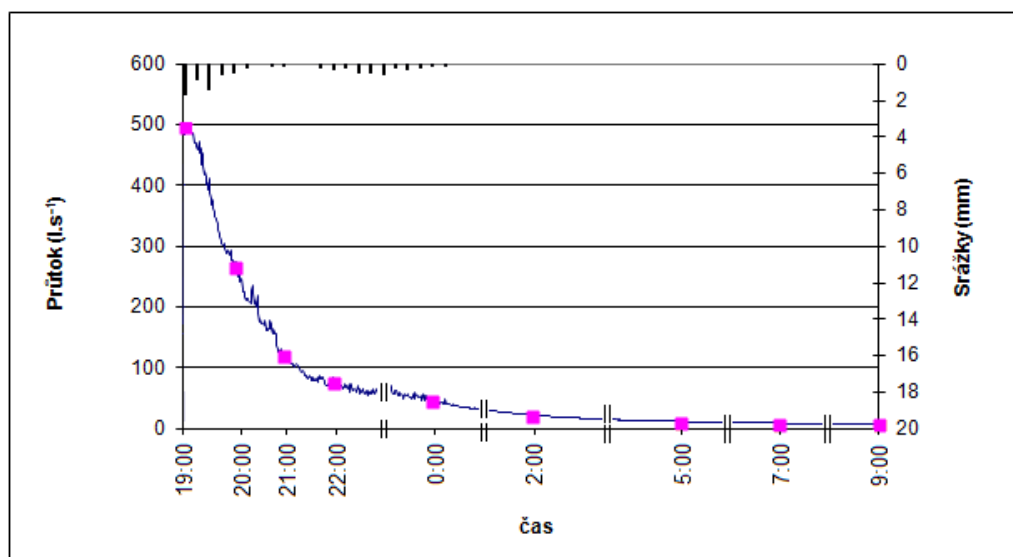
Tabulka 18 - Procentuální vyjádření odnosů

% vyjádření odnosů			
	NH ₄ ⁺	NO ₃ ⁻	PO ₄ ³⁻
3) (x%)	4,98 kg.5h ⁻¹	0,59 kg.5h ⁻¹	1,32 kg.5h ⁻¹
2a) (100%)	9,82 kg.rok ⁻¹	737,67 kg.rok ⁻¹	11,47 kg.rok ⁻¹
%	50,71 %	0,08%	11,51%

Tabulka 19 - Základní data

6. 8. 2012 (14 hodin) J2	ČAS	PRŮTOK l.s ⁻¹	ROZBOR VZORKŮ		
			NH ₄ ⁺ mg.l ⁻¹	NO ₃ ⁻ mg.l ⁻¹	PO ₄ ³⁻ mg.l ⁻¹
1	19:00	497	0,336	1	0,182
2	20:00	265,7	0,2	1	0,826
3	21:00	120,3	0,162	1	0,7
4	22:00	77,1	0,165	1	0,662
5	0:00	46,6	0,15	1,23	0,571
6	2:00	22,6	0,13	1,36	0,517
7	5:00	11,5	0,119	2,06	0,36
8	7:00	8,7	0,109	2,8	0,376
9	9:00	7,5	0,113	3,68	0,234

Graf 15 - Srážko-odtoková událost



Tabulka 20 - Procentuální vyjádření odnosů

% vyjádření odnosů			
	NH ₄ ⁺	NO ₃ ⁻	PO ₄ ³⁻
3) (x%)	0,71 kg.14h ⁻¹	3,88 kg.14h ⁻¹	1,94 kg.14h ⁻¹
2a) (100%)	9,82 kg.rok ⁻¹	737,67 kg.rok ⁻¹	11,47 kg.rok ⁻¹
%	7,23%	0,53%	16,91%

Na závěr této metody lze konstatovat, že při výrazných srážko-odtokových epizodách se vyplavuje veliké množství živin a je nutné monitorovat průtoky a živiny i v těchto srážko-odtokových epizodách. Toto je potvrzeno celou řadou autorů.

Gergel a kol. (1994) konstatuje, že odnosy při velkých průtocích představují na malých povodích často 30-50% celkového úhrnu ročních odnosů. Fučík a kol. (2012) ve svém výzkumu uvádí, že několikanásobně zvýšený průtok během epizod znamenal i při nižší koncentraci $\text{NO}_3\text{-N}$ pochopitelně mnohem vyšší látkový odnos ve srovnání s obdobími základního odtoku, kdy byla ve všech ročních obdobích (a zejména na jaře) koncentrace $\text{NO}_3\text{-N}$ vyšší. Fučík a kol. (2010) uvádí, že pro celkový fosfor a fosforečnany se ukázalo z hlediska realistického zachycení látkových odnosů klíčové vzorkování srážko-odtokových epizod v co možná nejkratším intervalu vzhledem k délce trvání epizody.

Duffková a kol. (2014) potvrzuje ve svém výzkumu, že odnos N-NO_3 byl podstatně vyšší z orné půdy než z TTP. Větší podíl vyplaveného N-NO_3 byl na všech sledovaných profilech v mimovegetačním období. Podíl srážko-odtokových událostí na celkovém odnosu N-NO_3 dosáhl na Dehtářích (TTP+OP) 3,6 % (S-O událost/12 dní) a 5,6 % při (S-O událost/10 dnů). Na celkovém odnosu N-NO_3 se v Košeticích (OP) podílely S-O události z 18 % na (profilu 1), resp. z 32 % na (profilu 2). Srážko-odtokové události měly významný podíl na ročním odnosu P-PO_4 v Košeticích (OP) na (profilu 1) 47 % a na (profilu 2) 36 %. Největší podíl na celkovém odnosu P-PO_4 měla mimořádná třídní srážko-odtoková událost na začátku června (profil 1) 22 %. Podíl P-PO_4 na celkovém odnosu P se na Dehtářích pohyboval mezi 27 – 37 %. Velký podíl na roční ztrátě celkového P v Košeticích (OP) měly srážko-odtokové události (profil 1) 26 %, (profil 2) 38 %. Značnou část odnosu z (profilu 2) představoval odnos v průběhu pouhých dvou srážko-odtokových událostí v lednu 2013 a v červnu 2013. Na ročním odnosu se srážko-odtokové události na Dehtářích podílely nižším podílem, než v Košeticích což bylo zapříčiněno způsobem využití území.

7. ZÁVĚR

Cílem této diplomové práce bylo kvantifikovat vliv srážko-odtokových událostí na celkové odnosy dusičnanového aniontu NO_3^- , amonného kationtu NH_4^+ , fosforečnanového aniontu PO_4^{3-} a celkového P z povodí, během hodnoceného časového intervalu. Vliv těchto epizod byl kvantifikován na povodí Jenínského potoka, za jehož krajinnou matici je považován trvale travní porost. Tato práce přispívá k poznání rozdílného vlivu koncentrací, průtoků a srážko-odtokových událostí pro výpočet odnosů, prostřednictvím kombinace použitých metod ke zpracování a vyhodnocení dat. Při řešení bylo důležité zejména hledisko času, naměřené průtoky a koncentrace. V poslední části do výpočtů vstupovalo i 5 srážko-odtokových událostí, které byly zaznamenány v průběhu roku 2012.

Při stanovení odnosů metodou 1), 2a) a 2b) nedosáhla hodnota specifického odnosu dusíku více než $10 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$ u žádné z metod. Výsledky prokázaly, že významným faktorem ovlivňujícím odnos dusíku a fosforu je odtok a současně s tím by měl být kladen důraz na zvyšování retence vody v půdě a v krajině jako celku. Dalším významným faktorem, který výrazně ovlivňuje hodnoty odnosů je způsob využití území. Výsledky potvrzují, že hodnoty odnosu živin z trvale travních porostů jsou nižší, než je tomu u pozemků spojených s intenzivním zemědělstvím na orné půdě.

Poslední částí bylo vyhodnocení a procentuální vyjádření odnosů z 5 srážko-odtokových událostí, které byly zaznamenány během roku 2012. Výsledky poukazují, že z 5 srážko-odtokových událostí došlo k výrazným odnosům u 25h a 14h srážko-odtokových událostí. U 5h srážko-odtokové události z 5. 8. 2012 došlo k extrémním odnosům, kde procentuální hodnoty u amonného kationtu NH_4^+ dosahovaly až 50% podílu z celkového ročního odnosu spočteného „klasickou“ metodou (tzn. bez započtení hodnot ze srážko-odtokových událostí). Z výsledků vyplývá, že hlavní pozornost na odnosy živin z povodí, by se měla zaměřit na významné srážko-odtokové události během roku a to zejména při jarním tání nebo při letních bouřkách.

8. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY A ZDROJŮ

1. ARHEIMER, B., LIDÉN, R., Nitrogen and phosphorus concentrations from agricultural catchments-influence of spatial and temporal 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., NIYOZI, D. K., TOWNSEND, C. R., Scale-dependence of land use effects on waterquality of streams in agriculturalcatchments. *EnvironmentalPollution* 130, 2004, 287-299 s.
5. ČERVENÝ, J., Podnebí a vodní režim ČSSR. 1 vyd., Praha, 1984, 414 s.
6. ČESKÝ HYDROMETEOROLOGICKÝ ÚSTAV, Hydrologická bilance množství a jakosti vody České republiky. Úsek Hydrologie, Praha, 2005, 54 s.
7. DANZ, M. E., CORSI, S. R., BROOKS, W. R., BANNERMAN, R. T., Characterizing response of totalsuspendedsolids and totalphosphorusloading to weather and watershedcharacteristicsforrainfall and snowmeltevents in agriculturalwatersheds. *Journal of Hydrology* 507, 2013, 249-261 s.
8. DAŇHELKA, J., Operativní hydrologie: Hydrologické modely a nejistota předpovědí, Sborník prací ČHMÚ, Praha, 2007, 104 s.
9. DAVIE, T., *Fundamentals of hydrology*, Routledge, New York, 2008, 200 s.
10. DELPLA, I., BAURÉS, E., JUNG, A. V., THOMAS, O., Impacts of rainfall events on runoffwaterquality in anagriculturalenvironment in temperateareas. *Science of theTotalEnvironment* 409, 2011, 1683-1688 s.
11. DEMEK, J., *Geomorfologie českých zemí*. Nakladatelství Československé akademie věd, Praha, 1956, 335 s.
12. 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.
13. DUFFKOVÁ, R., ZAJÍČEK, A., FUČÍK, P., Vyplavení dusíku a fosforu z malých zemědělských odvodněných povodí s aplikací různých hnojiv. *Vodní hospodářství* 12, Praha, 2014, 1-46 s.

14. FIALA, D., FUČÍK, P., HRUŠKA, J., ROSENDORF, P., SIMON, O., Fosfor v centru pozornosti. Vodní hospodářství 8, Praha, 2013, 247-250 s.
15. FUČÍK, P., KAPLICKÁ, M., ZAJÍČEK, A., KVÍTEK, T., Vyhodnocení monitoringu jakosti vod v malém zemědělsko-lesním povodí: diskrétní a kontinuální přístup. Vodní hospodářství 8, Praha, 2010, 208-236 s.
16. FUČÍK, P., KVÍTEK, T., HEJDUK, T., PETERKOVÁ, J., Příspěvek k vyčíslení podílů zdrojů znečištění vod ze sledovaných profilů v malém odvodněném zemědělsko-lesním povodí. Vodní hospodářství 8, Praha, 2012, 236-279 s.
17. GERGEL, J., JINDRA, J., SOUKUP, M., STARA, J., Hlavní zásady pro odběr a vyhodnocování kvality povrchových vod odtékajících ze zemědělsky využívaných povodí. Metodická pomůcka, Praha, 1994, 25s.
18. HEJZLAR, J., Metodika bilanční analýzy zdrojů živin v povodí, České Budějovice, 2010, 11 s.
19. HETEŠA, J., KOČKOVÁ, E., Hydrochemie, Brno, 1997, 95 s.
20. HRÁZKÝ, Z., ŠAFARČIKOVÁ, S., Živiny v krajině: dusík, fosfor, eutrofizace půdy a vody, indikace dusíku. DAPHE ČR- Institut aplikované ekologie, 2006, 16 s.
21. JOHNES, P. J., MOSS, B., PHILLIPS, B., The determination of total nitrogen and total phosphorus concentrations in freshwaters from land-use, stocking headage and population data: testing of a model for use in conservation and water quality management. Freshwater Biology 36, 1996, 451-473 s.
22. JŮVA, K., HRABAL, A., TLAPÁK, V., Malé vodní toky, Praha, 1984, 253 s.
23. KEMEL, Klimatologie, Hydrologie, Meteorologie, Praha, 1996, 289 s.
24. 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.
25. KLIENER, K., KNĚŽEK, M., OLMER, M., a kol., Využití a ochrana podzemních vod, Praha, 1978, 295 s.
26. KOPÁČEK, J., BEDNÁŘ, J., Jak vzniká počasí, Praha, 2005, 226 s.
27. KRÍŽ, H., Hydrologie podzemních vod, Praha, 1983, 289 s.
28. 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.
29. KULHAVÝ, Z., SOUKUP, M., Zemědělské odvodnění a krajina, Lednice, 2010, 104 s.
 30. KVÍTEK, T., BYSTRICKÝ, V., PETERKOVÁ, J., ŽLÁBEK, P., MORAVCOVÁ, J., Dynamika koncentrací a interakce odnosu dusičnanů a fosforu na malých zemědělsko-lesních subpovodích v povodí VN Švihov na Želivce. Vodní hospodářství 6, 2012, Praha, 198-203 s.
 31. KVÍTEK, T., GERGEL, J., KVÍTKOVÁ, G., Využití a ochrana vodních zdrojů, České Budějovice, 2005, 169 s.
 32. MARŠÁLEK, B., MARŠÁLKOVÁ, E., MIKULA, P., ŠEJNOHOVÁ, L., JANČULA, D., Problematika živin a sinic v nádrži Skalka. Číslo projektu 002, Brno, 2009, 19 s.
 33. MATOUŠEK, V., Poznávání odtokových vlastností malých povodí za regionálních dešťů, Praha, 2010, 103 s.
 34. MCDOWEL, R. W., Minimising phosphorus losses from the soil matrix. Current Opinion in Biotechnology 23, 2012, 860-865 s.
 35. MELIORIS, L., MUCHA, I., POSPÍŠIL, P., Podzemná voda – metody výskumu a prieskumu, Praha, 1986, 429 s.
 36. 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.
 37. NĚMEC, J., HLADNÝ, J., Voda v České republice, Praha: Consult 2006, 253 s.
 38. 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.
 39. PAČES, T., Voda a Země, Praha, 1982, 174 s.
 40. PAVELKOVÁ, R. P., FRAJER, J., Základy hydrologie. Univerzita Palackého v Olomouci, 2013, 141 s.

41. PEČENKA, M., HOLAS, J., WANNER, J., VOJTĚCHOVSKÝ, R., Zhodnocení zátěže povodí vodárenské nádrže Švihov nutriety, VŠCHT Praha, 2007, 53 s.
42. PIONKE, H. B., GBUREK, W. J., SCHNABEL, R. R., SCHARPLEY, A. N., ELWINGER, G. F., Seasonal flow, nutrient concentrations and loading patterns in streamflow draining an agricultural hill-land watershed. *Journal of Hydrology* 220, 1999, 62-73 s.
43. PITTER, P., *Hydrochemie*, Praha VŠCHT, 1999, 568 s.
44. PLECHÁČ, V., *Voda problém současnosti a budoucnosti*, Praha, 1989, 327 s.
45. POOR, C. J., MCDONNELL, J. J., The effects of land use on stream nitrate dynamics. *Journal of Hydrology* 332, 2007, 54-68 s.
46. 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.
47. QUITT, E., *Klimatické oblasti ČSSR*. Geografický ústav ČSAV, Brno, 1971, 73 s.
48. ROŽNOVSKÝ, J., *Klimatologie*, Brno, 1999, 146 s.
49. 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.
50. SCHILLING, K., Chemical transport from paired agricultural and restored prairie watersheds. *Journal of Environmental Quality* 31, 2002, 1043-1067 s.
51. 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.
52. STARÝ, M., *Hydrologie. Učební text*, VUT Stavební fakulta, Brno, 2005, 213 s.
53. STRAŠKRABOVÁ, V., Dusíkový paradox: Sloučeniny dusíku v evropských řekách. *Vesmír*, roč. 74, č. 1, 1995, 11-12 s.
54. SVOBODA, J., *Regionální geologie ČSSR*. Nakladatelství Československé akademie věd, Praha, 1964, 380 s.

55. ŠILAR, J., Hydrologie v životním prostředí, Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, 1996, 136 s.
56. 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.
57. VOPRAVIL, J., KHEL, T., VRABCOVÁ, T., HAVELKOVÁ, L., PROCHÁZKOVÁ, E., NOVOTNÝ, I., NOVÁK, P., FUČÍK, P., DUFFKOVÁ, R., JACKO, K., TYLOVÁ, J., HODEK, T., Vliv činnosti člověka na krajinu českého venkova s důrazem na vodní režim a zadržování vody v krajině. VÚMOP Praha, 2011, 75 s.
58. VYSOUDIL, M., Meteorologie a klimatologie pro geografu, Olomouc, 1997, 233 s.
59. 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.
60. 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.

Internetové zdroje

1. Česká geologická služba. [online] [cit. 2016-04-19]. Dostupné z: <http://geology.cz/>
2. Geoportál SOWAC – GIS [online]. [cit. 2016-04-19]. Dostupné z: <http://geoportal.vupom.cz/>
3. Mapový portál www.mapy.cz [online]. [ci. 2016-04-19]. Dostupné z www.mapy.cz

9. Seznam tabulek

Tabulka 1 Základní hydrologická bilance hlavních povodí ČR (Němec a Hladný, 2006)	15
Tabulka 2 - Celkový odnos živin ze subpovodí J2	44
Tabulka 3 - Odnos živin na 1 ha plochy povodí	46
Tabulka 4 - Dusík (kg.ha-1.rok-1)	46
Tabulka 5 - Celkový odnos živin ze subpovodí J2	48
Tabulka 6- Odnos živin na 1 ha plochy povodí	50
Tabulka 7 - Celkový odnos živin ze subpovodí J2	51
Tabulka 8 - Odnos živin na 1 ha plochy povodí	51
Tabulka 9 - Porovnání výsledků odnosů.....	52
Tabulka 10- Výsledky výpočtů látkového odnosu pro vybraný profil (podle ČHMÚ, 2004)	55
Tabulka 11 - Základní data	57
Tabulka 12 - Procentuální vyjádření odnosů	57
Tabulka 13 - Základní data	58
Tabulka 14 - Procentuální vyjádření odnosů	58
Tabulka 15 - Základní data	59
Tabulka 16 - Procentuální vyjádření odnosů	59
Tabulka 17- Základní data	60
Tabulka 18 - Procentuální vyjádření odnosů	60
Tabulka 19 - Základní data	61
Tabulka 20 - Procentuální vyjádření odnosů	61

10. Seznam obrázků

Obrázek 1 Schéma oběhu vody podle US GeologicalSurvey (Němec a Hladný, 2006)	11
Obrázek 2 Hydrogram povodňové vlny (Starý, 2005).....	21
Obrázek 3 Průměrná roční depozice a roční odnosy vybraných rozpuštěných látek z modelových povodí za sledované období (Procházka a Brom, 2008).....	35
Obrázek 4 Lokalizace povodí Jenínského potoka v rámci Jihočeského kraje	37
Obrázek 5 Povodí Jenínského potoka v klimatickém regionu MT3 (Quitt, 1971)	39

Obrázek 6 Zákres povodí Jenínského potoka se subpovodím J2 v ZM 1: 10 000..... 40

11. Seznam grafů

Graf 1 - Průběh koncentrací dusičnanového aniontu NO ₃ ⁻ , amonného kationtu NH ₄ ⁺ na povodí Jenínského potoka – J2 v roce 2012.....	43
Graf 2 - Průběh koncentrací fosforečnanového aniontu PO ₄ ³⁻ a celkového P na povodí Jenínského potoka – J2 v roce 2012.....	43
Graf 3 - Průběh celkových odnosů.....	45
Graf 4 - Průběh celkových odnosů.....	45
Graf 5- Průběh celkových odnosů.....	49
Graf 6 - Průběh celkových odnosů.....	49
Graf 7- Porovnání odnosů NH ₄ ⁺	53
Graf 8 - Porovnání odnosů NO ₃ ⁻	53
Graf 9 - Porovnání odnosů Pcelk	54
Graf 10 - Porovnání odnosů PO ₄ ³⁻	54
Graf 11 - Srážko-odtoková událost	57
Graf 12 - Srážko-odtoková událost	58
Graf 13 - Srážko-odtoková událost	59
Graf 14 - Srážko-odtoková událost	60
Graf 15 - Srážko-odtoková událost	61