

JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH
ZEMĚDĚLSKÁ FAKULTA

Studijní program: B4106 Zemědělská specializace

Studijní obor: Pozemkové úpravy a převody nemovitostí

Katedra: Katedra krajinného managementu

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

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Analýza vlivu drenážních systémů na jakost povrchových vod

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

Autor diplomové práce: Bc. Jiří Kamarýt

Brzotice, listopad 2014

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

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

Jméno a příjmení: **Bc. Jiří KAMARÝT**
Osobní číslo: **Z12696**
Studijní program: **N4106 Zemědělská specializace**
Studijní obor: **Pozemkové úpravy a převody nemovitostí**
Název tématu: **Analýza vlivu drenážních systémů na jakost povrchových vod**
Zadávající katedra: **Katedra krajinného managementu**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :


Rešerše na dané téma.
Výběr vhodných povodí pro řešenou analýzu a jejich popis.
Analýza časových řad koncentrací látek v uzávěrových profilech vybraných povodí.
Porovnání vývoje koncentrací látek i statistických měř poloh a rozptylu.
Stanovení vlivu drenážních systémů na koncentrace látek v povrchových vodách.

Rozsah grafických prací: **dle potřeby**
Rozsah pracovní zprávy: **55 stran textu**
Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**
Seznam odborné literatury:

Fučík, P. (ed.) a kol. Posuzování vlivu odvodňovacích systémů a ochranných opatření na jakost vody v zemědělsky obhospodařovaných povodích drobných vodních toků. VÚMOP, v.v.i., Praha, 2010, 90 s.
Novotny, V., Chesters, G. Handbook of nonpoint pollution - sources and management. Litton educational publishing, 1981, 555 s
. Kulhavý, Z., Doležal, F., Soukup, M. a kol. Zemědělské odvodnění v kulturní krajině. Sborník panelové diskuze a workshopu konaných v Praze dne 3.11.2005, VÚMOP Praha, 2005, 102 s
. časopisy: Science of the total environment, Physics and chemistry of the earth, Journal of environmental management, Journal of environmental quality, Soil and water research, atd.

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

Datum zadání diplomové práce: **4. března 2013**
Termín odevzdání diplomové práce: **30. dubna 2014**


prof. Ing. Miloslav Šoch, CSc.
děkan

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


doc. Ing. Pavel Ondr, CSc.
vedoucí katedry

V Českých Budějovicích dne 20. března 2013

Prohlášení:

Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním své diplomové, a to v nezkrácené podobě 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 Brzoticích dne 28.11.2014

.....

Poděkování

V první řadě bych rád poděkoval vedoucímu své diplomové práce, Ing. Václavu Bystřickému, Ph.D, za trpělivost, ochotu a vedení mé práce. Dále bych rád poděkoval mým rodičům, za celkovou podporu jak při studiu, tak v životě. Nesmím ani zapomenout na své kolegy v práci, na Ing. Pavla Navrátila a Ing. Vladimíra Štorce, kteří mi poskytli potřebný čas na psaní této diplomové práce.

Abstrakt

V této diplomové práci je navázáno na bakalářskou práci, kde jsou řešeny drenážní systémy a analýza jejich vlivu na jakost povrchových vod. Literární rešerše je zaměřena na popis kvality vody, látek způsobujících eutrofizaci, drenážního odtoku a drenážních systémů. Dále na mechanismy způsobující změnu jakosti vod po vybudování drenážních systémů. V kapitole metody jsou popsány statistické metody vyhodnocení koncentrací, popis sestavení empirické čáry překročení koncentrací látek ve vodě a metody separace odtoku, za účelem stanovení průměrných koncentrací fosforu a dusíku v jednotlivých složkách odtoku. Všechna tato vyhodnocení a následné metody se vztahují k zájmovým lokalitám, které jsou detailně popsány v kapitole materiál. Nakonec je umístěna kapitola výsledky a diskuze, kde jsou popsány a vyhodnoceny všechny výsledky této práce.

Klíčová slova: drenážní systémy, drenážní odtok, koncentrace, dusík, fosfor

Abstract

This Diploma thesis is following the previous Bachelor thesis which mainly focuses on drain systems and the analysis their influence of the quality of surface water. The literature review contains the description of surface water quality, substances causing the eutrophication, drainages and drain systems. Also the mechanisms influencing the change of quality of surface water after the the drain systems construction are included. In the chapter „Methodology“, there are the statistical methods for concentration evaluation exposed, also the detiled description of setting up the crossing of empirical line for concentration substances in water and the drain separation methods with the aim to set the average phosporus and nitrogen concentration within the each drain component are covered. All of the evaluation which are followed by methodology in relation to sites of interest are described in detailed way in the chapter called „Material“. The chapter „Results and discussion“ focuses on overall description and evaluation of all the results.

Key words: dranaige systems, drain, concentration, nitrogen, phosphorus

OBSAH

1	ÚVOD	7
2	LITERÁRNÍ REŠERŠE	8
2.1	Jakost vod	8
2.2	Látky způsobující změnu jakosti, kvalitu a eutrofizaci vod	10
2.2.1	Eutrofizace.....	11
2.2.2	Fosfor a dusík	11
2.3	Odvodnění.....	17
2.3.1	Drenážní odtok	18
2.4	Mechanismy způsobující změnu jakosti vod po vybudování drenážního systému	19
3	MATERIÁL	22
3.1	Zájmová lokalita Kopanina.....	22
3.2	Zájmová lokalita Jenín (J3).....	26
4	METODY	31
4.1	Sběr dat	31
4.2	Popisná statistika (EDA).....	31
4.3	Empirická čára překročení	34
4.4	Korelační analýza	35
4.4.1	Pearsonův korelační koeficient.....	36
4.5	Metoda separace odtoku	36
5	VÝSLEDKY A DISKUZE	38
5.1	Vyhodnocení časových řad koncentrací dusíku.....	38
5.2	Vyhodnocení časových řad koncentrací fosforu.....	44
5.3	Vliv separovaných složek odtoku na koncentrace fosforu a dusíku	49
5.4	Stanovení vlivu drenážního systému na jakost povrchových vod	53
6	ZÁVĚR	55
7	LITERATURA	57

1 ÚVOD

Odvodnění, resp. drenážní systémy na zemědělských plochách tvoří nedílnou část zemědělské výroby. Podle KULHAVÉHO a kol. (2005) je čtvrtina celkové zemědělsky využívané půdy odvodněna.

Stále rostoucí populace v minulém století logicky navyšovala spotřebu komodit. V našem případě komodit potřebných k výrobě potravin. Tento faktor odstartoval odvodňování pozemků pro zemědělskou výrobu špatně přístupných míst za účelem zlepšení půdní úrodnosti. V 50. letech se stalo budování drenáží fenoménem. Rozvoj techniky a ekonomický přínos pro hospodařící subjekty dával drenážním systémům zelenou. Problém však byl, že se nikdo neohlížel na negativní dopady budování. Podle SKLENÍČKY (2003) šlo spíše o tzv. znásilňování krajiny.

Stále se zhoršující kvalita povrchových vod přiměla odborníky hledat zdroje znečištění a zabývat se těmito problémy a efektivně je řešit. Bylo zjištěno, že jeden ze zdrojů znečištění mohou být právě drenážní vody, které jsou složkou celkového odtoku z povodí, který dále pokračuje do vod povrchových, jelikož drenážní vody sebou nesou značné koncentrace analytů, které negativně působí na jakost povrchových vod.

Tato diplomová práce navazuje na mou bakalářskou práci, která má posloužit jako rámcový podklad pro psaní diplomové práce. Náplní práce je analyzovat drenážní systémy z pohledu koncentrací látek, které způsobují eutrofizaci vod. Práce se skládá z literární rešerše, materiálu, použitých metod, výsledků a diskuze k dané problematice.

2 LITERÁRNÍ REŠERŠE

2.1 Jakost vod

Voda v krajině poskytuje základní informace o veškerých dějích, které jsou aktuální, dlouhodobé a probíhají v daném území. Prostupuje půdním profilem horninovým prostředím, dostává se do kontaktu s každou částicí půdy. Ve formě dešťových kapek promývá vzdušný sloupec. V určitém okamžiku je ovlivňována prostředím, zároveň sama ovlivňuje prostředí. Proto právě kvalita vody představuje základní informace o dějích, které probíhají v daném území (KVÍTEK A KOL., 2005). Změny ve složení povrchových vod mohou být buď krátkodobé, nebo dlouhodobé. Krátkodobé změny jsou způsobeny převážně hydrologickými nebo klimatickými poměry. Dlouhodobé, trvalejší změny jsou způsobeny zejména antropogenní činností, spočívající v chemizaci zemědělství, urbanizaci a industrializaci (PITTER, 1990). Jakost vody v krajině je výsledkem jak rozsahu znečištění, tak i doby, po kterou mohou v půdě nerušeně probíhat procesy biochemické a chemické směřující k odbourávání kontaminace (KVÍTEK, 2006).

Charakteristika složení a vlastnosti vody pro určení její vhodnosti k určitému účelu; v obecném smyslu charakteristika vody zjišťovaná hodnocením souboru ukazatelů pro účely klasifikace a srovnání vod (ČSN 75 0101).

Tekoucí povrchové vody se podle jakosti vody zařazují do 5 tříd jakosti:

- I. **neznečištěná voda:** stav povrchové vody, který nebyl významně ovlivněn antropogenní činností, při kterém ukazatele jakosti vody nepřesahují limitní hodnoty
- II. **mírně znečištěná voda:** stav povrchové vody, který byl ovlivněn antropogenní činností tak, že ukazatele jakosti vody dosahují hodnot, které umožňují existenci bohatého, vyváženého a udržitelného ekosystému
- III. **znečištěná voda:** stav povrchové vody, který byl ovlivněn lidskou činností tak, že ukazatele jakosti vody dosahují hodnot, které nemusí tvořit podmínky pro existenci bohatého, vyváženého a udržitelného ekosystému
- IV. **silně znečištěná voda:** stav povrchové vody, který byl ovlivněn lidskou činností tak, že ukazatele jakosti vody dosahují hodnot, které vytvářejí podmínky umožňující existenci pouze nevyváženého ekosystému

- V. **velmi silně znečištěná voda:** stav povrchové vody, který byl ovlivněn lidskou činností tak, že ukazatele jakosti vody dosahují hodnot, které vytvářejí podmínky umožňující existenci pouze silně nevyváženého ekosystému (ČSN 75 7221, 1998).

Podle ŠTAMBEROVÉ et. al. (1998) se jakostí vod rozumí její charakteristické složení, vlastnosti vody, které jsou vyjádřeny fyzikálními, chemickými a biologickými ukazateli.

Tabulka 1: Třídy čistoty vody dle ČSN 75 7221 (ČSN 75 7221, 1998)

Třída vody	I. velmi čistá	II. čistá	III. znečištěná	IV. silně znečištěná	V. velmi silně znečištěná
a) Ukazatele kyslíkového režimu					
1. Rozpuštěný kyslík mg/l O ₂	>7	>6	>5	>3	<3
2. Biochemická spotřeba kyslíku mg/l O ₂	<2	<5	<10	<15	>15
3. Chemická spotřeba kyslíku manganistanem mg/l O ₂	<5	<10	<15	<25	>25
4. Chemická spotřeba kyslíku dichromanem mg/l O ₂	<15	<25	<35	<55	>55
b) Chemické ukazatele základní					
1. Reakce vody	6,0-8,5	6,0-8,5	6,0-8,5	5,5-9,0	<5,5, >9,0
2. Teplota vody	<22	<23	<24	<26	>26
3. Rozpuštěné látky mg/l	<300	<500	<800	<1200	>1200
5. Nerozpuštěné látky mg/l	<20	<40	<60	<100	>100
6. Veškeré železo mg/l	<0,5	<1,0	<2,0	<3,0	>3,0
7. Veškerý mangan mg/l	<0,05	<0,1	<0,3	<0,8	>0,8
8. Amoniakální dusík N-NH ₄ ⁺ mg/l	<0,3	<0,5	<1,5	<5,0	>5,0
10. Dusičnanový dusík N-NO ₃ ⁻ mg/l	<1,0	<3,4	<7,0	<11,0	>11,0
12. Veškerý fosfor mg/l	<0,03	<0,15	<0,4	<1,0	>1,0
c) Chemické ukazatele doplňující					
1. Chloridy mg/l	<50	<200	<300	<400	>400
2. Sírany mg/l	<80	<150	<250	<300	>300
3. Vápník mg/l	<75	<150	<200	<300	>300
4. Hořčík mg/l	<25	<50	<100	<200	>200
7. Fenoly těkající s vodní párou mg/l	<0,002	<0,01	<0,02	<0,5	>0,5
8. Tenzidy aniontové mg/l	+	<0,5	<1,0	<2,0	>2,0
10. Veškeré kyanidy mg/l	+	+	<0,2	<0,5	>0,5
e) Biologické a mikrobiologické ukazatele					
1. Saprobni index biosestonu (dle Pantleho a Bucka)	<1,2	<2,2	<3,2	<3,7	>3,7
3. Koliformní bakterie KTJ/ l ml	<1	<10	<100	<1000	>1000

KTJ = kolonie tvořící jednotku

+) pod mezí citlivosti stanovení

Svou pozornost zaměříme na hodnoty základních chemických ukazatelů přesněji na hodnoty dusičnanů v podobě N-NO₃⁻ (mg/l) a dále na hodnoty celkového fosforu P (mg/l). Právě tyto prvky jsou nejčastěji sledovány, jelikož způsobují eutrofizaci vod a mají negativní účinek na její kvalitu (FUČÍK A KOL., 2010).

2.2 Látky způsobující změnu jakosti, kvalitu a eutrofizaci vod

Voda zemědělských drenážních systémů může být kromě dusičnanového dusíku zatížena dalšími významnými polutanty, které se podílejí na zhoršování jakosti povrchových vod v povodích se zastoupenými odvodňovacími systémy. Jedná se zejména o látky skupiny fosforu, dále nerozpuštěné látky a potom také pesticidy a herbicidy (FUČÍK A KOL., 2010). Při vysokém obsahu živin dochází k narušení přirozené rovnováhy vodních systémů (WHO, 2002). Značnou pozornost je třeba věnovat standardně sledovaným prvkům, kterými jsou dusík a fosfor. Právě tyto prvky

při vyplavování drenážním odtokem, erozní činností a povrchovým odtokem jsou hlavními příčinami kontaminace povrchových vod a stávají se tzv. "spouštěčem" procesu eutrofizace, který negativně ovlivňuje jakost povrchových vod. Tento proces se za poslední století stává čím dál závažnějším problémem. Přísun živin do hydrosféry se rapidně navýšil a dále navyšuje.

2.2.1 Eutrofizace

Eutrofizace vod je proces obohacování stojatých a tekoucích vod živinami, zejména dusíkem a fosforem. Přírozená eutrofizace je způsobena zejména přísunem sloučenin dusíku a fosforu vyluhovaných z půdy a z rozkladu odumřelých vodních organismů. Antropogenní eutrofizace vod vzniká především smýváním dusíkatých látek a fosforečných hnojiv z polí, splaškovými vodami a fekáliemi. V eutrofizované vodě dochází k masovému rozvoji řas a sinic, jejichž hromaděním při hladině se označuje jako vodní květ (KVÍTEK A TIPPL, 2003). Obecně platí, že čím je voda bohatší na živiny, znamená to, že je v ní obsaženo více rozpuštěných minerálních látek, je s tím spojena i změna některých chemických a fyzikálních parametrů dané vody (ŠTĚPÁNEK A ČERVENKA; 1974). Eutrofizaci lze podle původu živin dělit na přírodní a umělou. Přírodní eutrofizace je zapříčiněna uvolňováním dusíku a fosforu, případně silikátů z půdy, sedimentů a odumřelých vodních organismů. Umělá eutrofizace vzniká intenzivní zemědělskou výrobou, některými druhy průmyslových odpadních vod, používáním polyfosforečnanů v pracích, a čistících prostředcích a zvýšenou produkcí komunálních odpadních vod a odpadů fekálního charakteru (KOČÍ A KOL., 2000). Eutrofizace negativně působí na vodní ekosystém, způsobuje masový rozvoj sinic a mění zbarvení vody. Tento jev je pozorován a dobře viditelný v letních měsících za dostatku tepla a světla. Sinice vytváří na hladině souvislou vrstvu, která zamezuje přísunu světla do nižších vrstev vodního sloupce. Následkem těchto faktorů se mění jakost vod a dochází k úhynu živočichů, kteří jsou na světle závislí.

2.2.2 Fosfor a dusík

Fosfor a fosforečnany

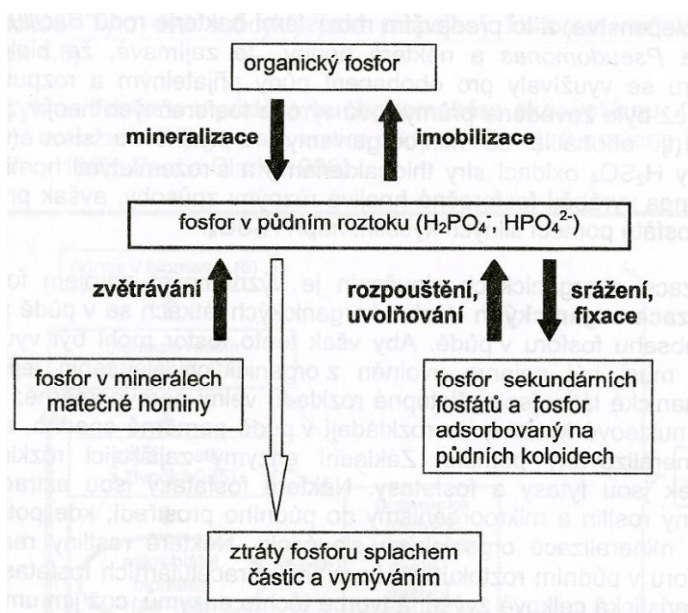
Koncentrace fosforečnanů v povrchových vodách bývá nízká, protože se tvoří velmi málo rozpustné fosforečnany Ca, Mg, Fe, Al aj. a kromě toho se ustavuje adsorpční rovnováha mezi sedimenty, suspendovanými látkami a fosforečnany

rozpuštěnými v kapalně fázi. Antropogenním zdrojem fosforečnanů jsou zejména splachy z polí hnojených fosforečnými hnojivy a splaškové vody, ve kterých koncentrace fosforečnanů vzrůstá díky polyfosforečnanům v pracích prostředcích. Koncentrace P (PO_4) se obvykle pohybuje v setinách až desetínách mg l^{-1} . Stejně jako u sloučenin dusíku lze i u sloučenin fosforu pozorovat sezónní změny v koncentraci, způsobené biologickými a chemickými pochody. Při fotosyntetické asimilaci dochází k inkorporaci fosforečnanů do biomasy. Naopak při biologickém rozkladu biomasy se sloučeniny fosforu uvolňují zpět do prostředí (PITTER, 1990). HEATHWAITE A KOL. (1996) tvrdí, že přeměny fosforu jsou závislé na koloběhu sedimentů, na které jsou vázány. Oproti dusíku jsou přeměny fosforu delší a mají méně fází. PITTER (2009) dále říká, že vliv na rozpustnost fosforečnanů a uvolňování fosforu do vody má především pH vody a množství rozpuštěného kyslíku ve vodě.

Pro omezení ztrát fosforu zavádí BERÁNKOVÁ (2010) tzv. P index (Index fosforu), který je cíleně zaměřený, tak aby se maximalizoval jeho efekt a současně, aby byl dopad na zemědělce co nejmenší. P index (Index fosforu) je aplikovatelný na úrovni jednotlivých půdních bloků a umožňuje identifikovat právě ty lokality v rámci povodí, které nejvíce přispívají ke ztrátám fosforu. Hlavní myšlenkou pro zavedení P indexu byl předpoklad, že největším zdrojem fosforu v zemědělských povodích jsou pouze malé, dobře definovatelné zóny, kde se kombinuje vysoký obsah fosforu v půdě, případně kde se intenzivně hnojí, s vhodnými podmínkami pro zvýšený odnos. Posuzují se jednak zdroje – obsah fosforu v půdě, vstup fosforu s hnojivy (organickými i anorganickými) a způsob a načasování jejich aplikace, a současně faktory ovlivňující transport, jako je erozní ohrožení, povrchový i podpovrchový odtok, vzdálenost od vodního toku. Každému faktoru je přiřazena váha podle jeho významnosti.

Koloběh fosforečnanů je naznačen na obrázku č.1. Můžeme z něj pozorovat že cyklus fosforu není uzavřený a jedná se spíše o jednosměrný tok uvolňování fosforu z hornin a jeho následného usazování v sedimentech.

Obrázek 1: Hlavní procesy přeměny fosforu v půdě (Zdroj: ŠIMEK, 2003)



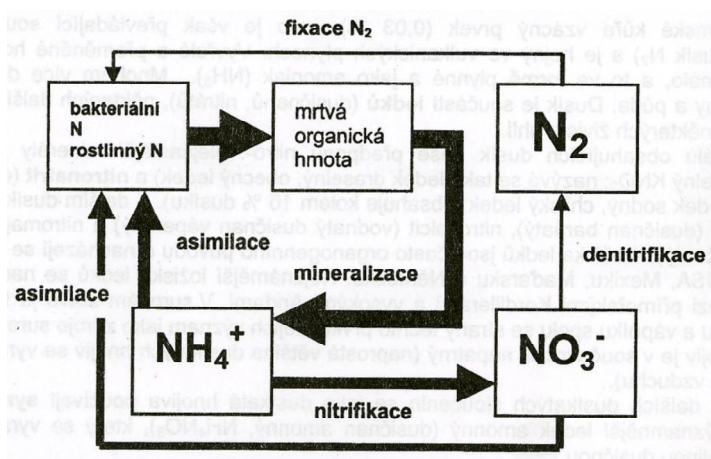
Dusík, dusičnany a jejich výskyt ve vodách

Dusík je jeden ze čtyř základních prvků, které tvoří základní strukturu bílkovin (NOVOTNÝ A CHESTERS, 1981). Dusičnany jsou součástí všech vod. Koncentrace těchto látek neustále roste a rostla především v dřívějších letech, kdy velké technické zásahy v podobě odvodnění a následné používání průmyslových dusičnanových hnojiv značně ovlivnili a ovlivňují nárůst těchto látek.

Celkový dusík je součtem všech forem anorganicky (NH_3 , NH_4^+ , NO_3^- , NO_2^- , CN^- , SCN^- , ...) a organicky (močovina, aminokyseliny, nukleové kyseliny, aminy, nitro- a nitrózsloučeniny, ...) vázaného dusíku (Obr.2). Mezi jednotlivými formami se vyskytuje rovnováha, ve které působí biologické procesy několika typů bakterií, příjem a uvolňování z organismů, výměna mezi sedimenty dna a vodním sloupcem. Dusík ve vodním prostředí nebývá limitujícím prvkem. Jeho snížená koncentrace koresponduje s vysokým nárůstem fytoplanktonu zejména ve vegetačním období. Maximální koncentrace dusíku jsou zaznamenána na nádržích s vytvořeným vodním květem způsobující již zmiňovanou eutrofizaci vod. ŠIMEK (2003) vysvětluje cyklus dusíku následujícím způsobem. Plynný dusík N_2 je fixován a následně redukován na amoniak NH_4^+ , který se během vegetace zabudovává do biomasy. Po odumření biomasy se

amoniak uvolňuje a je buď procesem nitrifikace převeden na nitrátový NO_3^- , nebo je postupně uvolněn do atmosféry. Nitrátová forma dusíku může být denitrifikována a uvolněna jako plynná forma do atmosféry, nebo může být využita jako živina a zpátky redukována na amoniak nebo vyplavena z půdy.

Na obrázku můžeme pozorovat hlavní procesy přeměn dusíku v suchozemském ekosystému, kde tloušťka čar by měla odpovídat velikosti přenosů dusíku. Koloběh dusíku je uzavřený neustále se opakující proces chemických reakcí a přeměn.



Obrázek 2: Hlavní procesy přeměn dusíku v suchozemském ekosystému (Zdroj: Šimek, 2003)

Koloběh dusíku je pro kvalitu vody velice důležitý. V zemědělsky obhospodařovaných půdách se však dusík nachází ve formě dusičnanů, které podléhají v zamokřených půdách denitrifikaci. V nitrifikačních procesech dochází k oxidaci amoniaku a dusitanů na dusičnany, kdy tento proces probíhá za spotřeby rozpuštěného kyslíku ve vodním sloupci. Proto, právě pozorování jakosti povrchových vod je směřováno na výskyt dusičnanů, protože nejvíce přímo ovlivňují kvalitu drenážní vody, která dále ovlivňuje vody povrchové.

Sloučeniny dusíku jsou zejména původu atmosférického a antropogenního (zemědělství, splaškové vody). Dusičnanový dusík pochází ze splachů z hnojených polí a z atmosférických srážek a vzniká též nitrifikací amoniakového dusíku. V čistých vodách se obvykle vyskytuje méně než $1 \text{ mg N}(\text{NO}_3^-)$ v 1 litru. Ve znečištěných vodách bývá jeho koncentrace v jednotkách mg l^{-1} a někdy přesahuje i 1 mg l^{-1} . Koncentrace dusičnanového dusíku v povrchových vodách má stoupající tendenci, což komplikuje

jejich úpravu na kvalitní pitnou vodu. Je to způsobeno zejména častým používáním dusíkatých hnojiv v zemědělství. Sloučeniny dusíku podléhají za oxických a anoxických podmínek biochemickým přeměnám (nitrifikaci a denitrifikaci). Uplatňují se při fotosyntetické asimilaci a disimilaci (PITTER, 1990). Za aerobních podmínek jsou dusičnany konečným produktem, jsou stabilní, a proto je jich nejvíce. Za anaerobních podmínek, však podléhají denitrifikaci za vzniku elementárního dusíku (GERGEL, 1994).

Nitrátová směrnice

Drenáž se jako hydrologicky účinný prvek uplatňuje také při transportu chemických látek z pozemku (živiny, znečištění atd.) a je proto postupně zakomponována do směrnic souvisejících s ochranou vodní komponenty krajiny (např. tzv. "nitrátová směrnice" podle novelizací Nařízení č. 103/2003 SB., případně GAEC – kontrola podmíněnosti atd.) (ŠTIBINGER A KULHAVÝ, 2010).

Nařízení vlády č. 103/2003 Sb., ze dne 3. března 2003 o stanovení zranitelných oblastí a o používání a skladování hnojiv a statkových hnojiv, střídání plodin a provádění protierozních opatření v těchto oblastech (nitrátová směrnice) je v souladu se směrnicí Rady 91/676/EHS. Přestože je používání hnojiv obsahujících dusík a hnojiv statkových pro zemědělství společenství nezbytné, představuje nadměrné hnojení nebezpečí pro životní prostředí.

Požadavky a cíle nitrátové směrnice Rady 91/676/EHS:

1. Stanovení znečištěných a ohrožených vod, provádět následný monitoring jakosti povrchových a podzemních vod.
2. Vymezení zranitelných oblastí, které představují území odvodňovaná do povrchových a podzemních vod znečištěných nebo ohrožených dusičnany ze zemědělských zdrojů. Kritérium koncentrace dusičnanů je 50mg/l a nebo koncentrace vyšší.
3. Vytvořit zásady správné zemědělské praxe, zaměřené na ochranu vod před znečištěním dusičnany ze zemědělských zdrojů, tak aby hospodaření předcházelo nadměrnému zatěžování. Jejich dodržování je doporučováno.
4. připravit v případě potřeby akční programy, školení a poskytovat informace s cílem podporovat uplatňování zásad správné zemědělské praxe.

5. snižovat znečišťování vod, které je způsobované nebo jehož příčinou jsou dusičnany ze zemědělských zdrojů,
6. předcházet dalšímu takovému znečišťování, a to zejména pro zajištění dostatku kvalitní pitné vody.

Zásady správné zemědělské praxe (dále jen Zásady) jako jeden z nástrojů směřujících ke snížení znečišťování vody dusičnany s přihlédnutím k podmínkám v různých oblastech Společenství by měly obsahovat určitá pravidla s následujícími ustanoveními uplatňovanými podle jejich reálné použitelnosti:

- období nevhodné pro půdní aplikaci hnojiv
- aplikace hnojiv na půdu na velmi strmých pozemcích, na půdu na podmáčených, zaplavených, zmrzlých nebo sněhem pokrytých pozemcích
- podmínky pro aplikaci hnojiv na půdu v blízkosti vodních toků,
- kapacita a konstrukce zásobníků pro skladování statkových hnojiv včetně opatření k zamezení znečišťování podzemních a povrchových vod odtoky a průsaky tekutin s obsahem statkových hnojiv a odtoky ze skladovaného rostlinného materiálu jako je siláž
- postupy pro aplikace umělých a statkových hnojiv na půdu, včetně dávky hnojiv a rovnoměrnosti jejich aplikace, které zajistí, že úniky živin do vod zůstanou na přijatelné úrovni
- postupy při obhospodařování půdy, včetně střídání plodin
- udržování minimálního rostlinného pokryvu, který je schopný odebírat z půdy dusík, který by jinak mohl způsobovat znečištění vod dusičnany
- vypracování plánů vedení záznamů o hnojení na zemědělských provozech
- předcházení znečišťování vod odtoky nebo vsakováním vod mimo dosah kořenů rostlin (91/676/EHS).

Plnění uvedených zásad je v souladu s požadavky nitrátové směrnice založeno na principu dobrovolnosti. Ve zranitelných oblastech jsou však příslušná opatření stanovená v Zásadách součástí Akčního programu, jehož plnění je pro podnikatele hospodařící v zemědělství povinné. První Akční program byl vyhlášen nařízením vlády č. 103/2003 Sb., o stanovení zranitelných oblastí a o používání a skladování hnojiv a

statkových hnojiv, střídání plodin a provádění protierozních opatření v těchto oblastech, s účinností od 1. ledna 2004, na základě zmocnění § 33 zákona č. 254/2001 Sb., o vodách (DOSTÁL A KOL., 2003).

Přezkoumání vymezení zranitelných oblastí provádí odborný subjekt pověřený Ministerstvem životního prostředí na základě identifikace znečištěných nebo ohrožených povrchových nebo podzemních vod dusičnany ze zemědělských zdrojů. Opatření ve zranitelných oblastech se vztahují na fyzické osoby a právnické osoby provozující zemědělskou činnost v těchto oblastech, a které jsou zapsány ve zvláštním právním předpisu.

2.3 Odvodnění

Odvodnění vyvolává v zamokřené půdě různé jevy a účinky, které jsou povahy fyzikální, biochemické a biologické. Hlavním fyzikálním účinkem je odstranění přebytku vody. Toho se dosáhne tím, že se odvodňovacím zařízením (kanály, příkopy, drény) umožní odtok povrchové i volné (gravitační) půdní vody a hladina podzemní vody se sníží a ustálí v požadované hloubce. Přitom povrchová voda přitéká k odvodňovacímu zařízení vlivem spádu území, kdežto v půdě prosakuje voda působením přetlaku (JÚVA, 1964). Odvodnění působí příznivě na biochemickou činnost pudy, neboť zvýšením provzdušnění, prokysličení a proteplení pudy způsobuje převahu oxidačních rozkladných pochodu a zintenzivňuje činnost aerobních půdních bakterií. V odvodněné půdě se díky tomu lépe uvolňují půdní živiny, které by v zamokřené půdě zůstaly v nevyužitelném stavu pro rostliny. Zlepšují se podmínky pro rozklad organických látek, humifikaci a nitrifikaci (KVÍTEK, 2006). BENETIN (1987) vysvětluje, že meliorační zásahy v podmínkách nadměrného zásobení vodou tj. odvodnění půdy jsou významným regulačním, stabilizačním a intenzifikačním prvkem zemědělské soustavy. Je to soubor opatření ke sbírání a odvádění vody ze zamokřených a zaplavených území a k jejich ochraně před záplavami.

Skutečností je, že drenážní systémy nadále více či méně plní odvodňovací funkci, což se projevuje při transformaci odtoku srážek z pozemku ve formě soustředěného drenážního odtoku (ŠTIBINGER A KULHAVÝ, 2010). Systémy odvodnění zemědělské půdy postrádají, až na výjimky, složku retardace odtoku, neboť byly navrhovány především pro zajištění odvodu přebytečné vody z půdního profilu.

Funkce odvodnění je u těchto systémů nejdůležitější a je třeba ji zachovat, pokud odpovídá požadavkům zemědělské výroby, respektive požadavkům hlavních zemědělských plodin (EICHLER A KOL., 2000).

2.3.1 Drenážní odtok

Po vybudování podpovrchové drenáže se začne povrchový a mělký podpovrchový odtok stahovat do podzemí a značným způsobem se podílí a vytváří drenážní odtok, který zároveň ovlivňuje odtok podzemních vod. Drenážní odtok disponuje mnoha vlastnostmi. Zvyšuje a urychluje podpovrchový odtok. Dále zvyšuje infiltraci vody do půdy a snižuje tím odtok povrchový, který se přeměňuje na podpovrchový odtok. Na drenážním odtoku se tedy vedle hypodermického odtoku podílí i odtok základní a přímý.

Voda vytékající ze systémů podpovrchového odvodnění zemědělských půd, je specifickou hydrologickou charakteristikou povodí mnoha drobných vodních toků. Jeho vhodnou interpretací lze kvantifikovat krajinně-vodohospodářský potenciál existujících nebo zamyšlených odvodňovacích staveb i skutečné nebo hrozící důsledky zanedbání péče o tato hydromeliorační zařízení, v českých zemích velmi rozšířená. Nabízí se celá řada metod podpisu a analýzy drenážního odtoku, k nimž patří i separace různých odtokových složek uvnitř drenážního odtoku samotného (DOLEŽAL A KOL., 2001) Drenážní odtok je typickým hydrologickým procesem odtoku. Kulminační vlna odtoku obvykle odezní během krátké doby, zatímco po většinu času je intenzita odtoku velmi nízká nebo nulová. Dalšími zvláštnostmi drenážního odtoku jsou jeho prostorová variabilita a nekonzervativnost režimu proudění v drénech (KULHAVÝ A KOL., 2007). Drenážní odtok se tedy vyskytuje u zemědělsky využívaných půd v povodí a tvoří specifickou složku hydrologické bilance. Aby drenážní odtok pozitivně přispíval k efektivnímu hospodaření a zlepšení jakosti vod, je potřeba tuto složku odtoku regulovat a retardovat stavebními opatřeními již při výstavbě odvodňovacích systémů, nebo při jejich rekonstrukci. KVÍTEK A KOL. (2005) dodává, že drenážní odtok je specifická a konkrétně měřitelná složka z celkového odtoku v zemědělském povodí. Skládá se z několika složek, které od sebe můžeme odlišit rychlostí reagování na srážkové úhrny, tání sněhu, dráhu odtoku a chemické složení. Průtok a jakost vody v drenážním odtoku je měřena na mnoha zájmových územích nejen v České Republice, ale i v dalších

státech Evropy, včetně našich pohraničních sousedů. Odtok a jeho jakost reagují za různých podmínek různě až protikladně. Nejedná se tedy o jednostranné dogma, a proto jsou za tímto účelem pro charakteristické podmínky vytvářeny matematické modely.

2.4 Mechanismy způsobující změnu jakosti vod po vybudování drenážního systému

Drenáží odvodněná plocha je trvale tímto vodohospodářským opatřením ovlivněna. Stávající drenážní systémy doplňují detail hydrografické kostry povodí a podílejí se na procesu transformace srážek v odtok (KULHAVÝ A KOL., 2007). Dále se mění hydraulická (infiltrační) schopnost půd, jelikož voda se rychleji vsakuje a váže na sebe látky vyskytující se v půdě a stává se jejich přenašečem. Odvodněná půda mění svou strukturu. Znalost těchto mechanismů transportu látek je klíčová pro návržení efektivních vstupů sloužících j jejich redukci.

Vedle odvodnění hraje zásadní roli i využití půdy v povodí. Půda bez vegetačního pokryvu je v našich podmínkách nepřírozený stav (MÍCHAL, 1994). TLAPÁK a kol. (1992) poukazuje kromě pozitivních účinků i na účinky **negativní**:

- neregulovatelné systémy (povrchová síť příkopů) v obdobích sucha odvádějí vodu z území dříve, než dojde infiltraci a vsaku
- na propustných půdách se díky vybudování drenážních systémů zintenzivnit proces vymývání živin
- v krajině se snižuje tzv. neproduktivní výpar,
- může docházet ke snížení infiltrace vody do nižších zvodní na základě propustnosti jednotlivých vrstev

Mechanismus č. 1

NOVÁK (1994) tvrdí, že první mechanismus je neustálený a působí jen během několika prvních let po odvodnění. Právě v této době je postupně mineralizován dusík z nahromaděné organické hmoty hydromorfnní půdy, která byla odvodněním provzdušněna. Po umělém snížení hladiny podzemní vody dochází tedy k rychlé

mineralizaci organických látek v půdě a jejich uvolňování do drenážní vody převážně ve formě dusičnanového iontu (s maximem ve druhém až čtvrtém roce po provedeném odvodnění).

Mechanismus č. 2

Druhý mechanismus, působení drenáží na vyplavování dusičnanů, je ustálený a působí trvale. Spočívá v tom, že drenáž modifikuje dráhy odtoku. Část vody, která by jinak odtekla po povrchu, se vsakuje a odtéká drenáží. Je tak nucena protékat půdním profilem a vyplavovat dusičnany. Vedle toho drenáž odvádí podzemní vodu z mělkých zvodní, kterými by jinak tato voda protekla pomalu a dospěla do recipientu o něco později, takže by bylo více příležitostí k denitrifikaci dusičnanů obsažených v této vodě (FUČÍK A KOL., 2010). Tento mechanismus je ovlivněn infiltrační intenzitou půdy a změnou infiltrační křivky. Rychlost vsaku se zvyšuje a tím se snižuje rychlost povrchového odtoku. Dusičnany v půdě jsou tedy mnohem více ovlivněny množstvím vody. KVÍTEK a DOLEŽAL (2003) jsou názoru, že vybudováním drenážního systému jak na rovině, tak ve svahu způsobuje snížení hladiny podzemní vody, krátí se období převlhčení půdy a stanoviště se stává méně příznivým pro odbourávání dusičnanů, jelikož se snižuje v aerobních podmínkách denitrifikace a následně se zvyšuje mineralizace organické půdní hmoty a tím se zvyšuje vyplavování dusičnanů a to nejen několik let po vybudování drenážních systémů, ale po delší dobu. BENETINA A KOL. (1987) uvádí, že pro zachování odvodňovací funkce je podmínkou zachování gravitační pórů v půdním profilu. Jelikož pokles infiltračních schopností půdního profilu vede k zamokření půd. Aby bylo předcházeno těmto problémům, je potřeba využívat vhodnou agrotechniku. ERIKSON (1979) provedl výzkum, kde zjistil, že využívání těžké zemědělské agrotechniky, vede k utužování (zhutnění) půdy až do hloubky 1 m.

Z toho vyplývá, že druhý mechanismus, který je způsoben odvodněním v podobě infiltračních schopností a změn ve struktuře půdy (zvětšení pórů, trhlin a preferenčních cest odtoku) může být ovlivňován využitím zemědělské techniky na daných pozemcích.

Mechanismus č. 3

Třetí mechanismus je založen následovně. Drenáž trvale činí stanoviště méně příznivým pro odbourávání dusičnanů. Jde zejména o alochtonní dusičnany, které do daného místa přitékají spolu s podzemní vodou. Ta by na zamokřeném stanovišti stagnovala nebo vyvěrala a vytvářela by anaerobní prostředí vhodné k denitrifikaci. Původní údolní louky byly s velkou pravděpodobností zamokřovány vodou s vysokými obsahy dusičnanů. Tím, že tyto zamokřené louky byly odvodněny pouze povrchovými svodnými příkopy, příp. zde existoval plošný rozliv, mohlo docházet k denitrifikaci a také k využití dusíku travním porostem. Odvodněním do té doby zamokřených nivních poloh, které byly využívány jako louky a pastviny, byly tyto plochy zpřístupněny pro zemědělskou mechanizaci a často zorány. S provedenou systematickou drenáží došlo ke změně oxidačně redukčních poměrů v půdě a k provzdušnění do té doby anaerobních míst. Vybudováním systematické drenáže v hloubce kolem 1 m byla poškozena ekologická stabilita území; jednak došlo k urychlení odtoku vody z území a dusičnanů z území a dusičnany z kontaminovaných vod vsáklých ve vrcholových zorněných partiích povodí nemají kde denitrifikovat a jsou odváděny dál do toků nižších hydrologických řádů (KVÍTEK, 2002). V důsledku okysličení půdy dochází k urychlení mineralizace půdní organické hmoty k omezení anaerobních a tudíž také denitrifikačních procesů, což má škodlivý důsledek v podobě vyplavování živin, zejména dusičnanů, do vodních toků, ale na druhé straně to vede ke snížení emise skleníkových plynů – N_2O , CH_4 , H_2S a pravděpodobně i dalších (KULHAVÝ A KOL., 2005).

3 MATERIÁL

Materiály (koncentrace, hodnoty průtoků), které využívám k vypracování diplomové práce byly naměřeny na zájmové lokalitě Jenínský potok a Kopaninský potok a zapsány do programu Excel, kde vytvořili časové řady. K vypracování přehledných map k daným lokalitám jsem použil program ArcGIS, kde jsem pracoval s podkladovými vrstvami z dostupných serverů WMS.



Obrázek 3: Lokalizace zájmových lokalit Jenín a Kopanina na mapě ČR.

3.1 Zájmová lokalita Kopanina

Zájmová lokalita Kopaninského potoka s uzávěrem T7U (zahrnující tři subpovodí P6, P52 a P53) zaujímá plochu $6,9 \text{ km}^2$. Uzávěr profilu T7U se nachází na 1,4 ř.km Kopaninského toku. Vybrané povodí se rozkládá na katastrálních územích obcí Tírov, Velký Rybník, Onšovice u Dehtářů, Kletečná u Humpolce a Chvojnov. Zájmová lokalita se nachází severovýchodně od města Pelhřimov v okrese Pelhřimov v kraji Vysočina. Podle DEMKA (1987) je Kopaninský potok s č.h.p 1-09-02-031 levostranný přítok Jankovského potoka, který je součástí menší řeky Hejlovky, která je dále přítokem řeky Želivky.

Lokalita Kopanina je pravidelně monitorována VÚMOP v.v.i. (Výzkumný ústav meliorační a ochrany půd) již od roku 1985. Nadmořská výška se pohybuje v rozmezí od 467 - 624 m. n. m., kde nejvyšší bod povodí Pavlíčkův vrch s výškou 624,0 m. n. m. leží v jihozápadní části sledovaného povodí. Podle DEMKA (1965) spadá dle geomorfologického členění zájmové území Kopanina do provincie Česká Vysočina, subprovincie Česko-moravská soustava, dále do oblasti Českomoravská vrchovina, celku Křemešnická vrchovina, podcelku Želivská pahorkatina, okrsku Hořepnická pahorkatina.

Na povodí Kopaninského toku jsou dle klasifikace půdy BPEJ zastoupeny tyto HPJ (hlavní půdní jednotky)

HPJ 29 – kambizemě modální a mezobazické z půdotvorných substrátů magmatických hornin kyselých a neutrálních poskytujících lehčí zvětraliny. Jedná se o nejčastější půdní typ na povodí Kopanina

HPJ 37 – rankery modální a kambické a kambizemě rankerové z bazálních a mělkých hlavních souvrství různých hornin poskytujících lehké zvětraliny

HPJ 50 – kambizemě oglejené a pseudogleje modální z magmatických a metamorfovaných hornin, v různém stupni skeletovitě

HPJ 67 – gleje modální z různých substrátů, v rovinných podmínkách jsou nejmenší zastoupenou půdní jednotkou

HPJ 73 – katény kambizemí oglejených, pseudoglejů a glejů – včetně hydroeluviovaných pod svahovými prameništi s povrchovými vrstvami s dobrou hydraulickou vodivostí

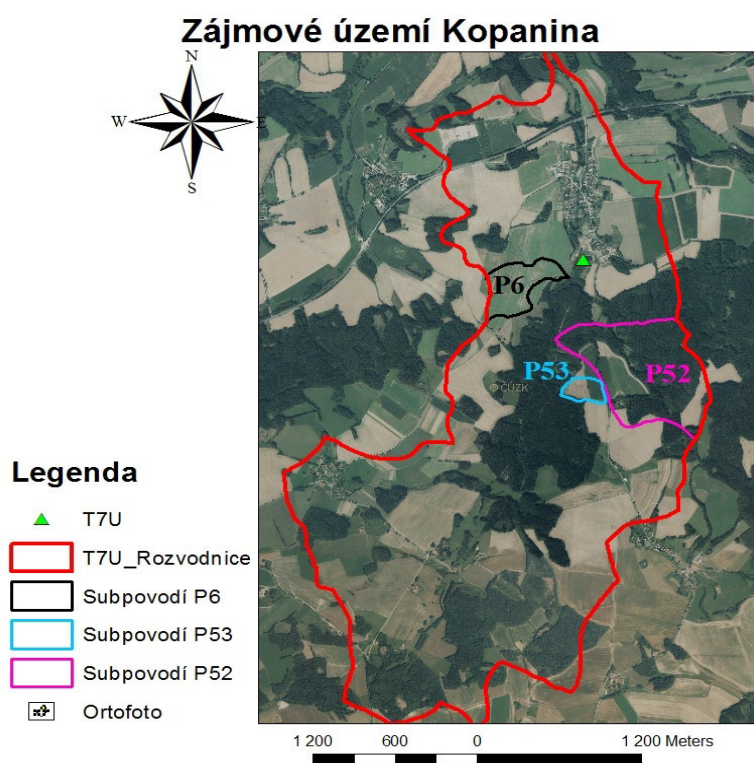
Rozloha povodí Kopaninského toku (dle ArcGIS) činí 6,9 km² s délkou toku 5,9 km. Nadmořská výška pramene je 578 m, v ústí toku 467 m, průměrná nadmořská výška je 523 m. Nejvyšší bod v povodí je Pavlíčkův kopec (624 m n. m.). Tento vrch se nachází v jihozápadní části povodí. Ve vegetačním období se srážkový úhrn pohybuje od 350 do 450 mm, v zimních měsících od 250 do 300 mm (KVÍTEK a kol., 2012). Podle QUITTA (1971) patří povodí Kopaninského potoka do klimatické oblasti mírně teplé MT5, pro kterou je typické normální až krátké léto, mírné až mírně chladné, suché

až mírně suché. Jaro a podzim jsou mírné, zima je normálně dlouhá, mírně chladná, suchá až mírně suchá s krátkou sněhovou pokrývkou) viz. tabulka níže.

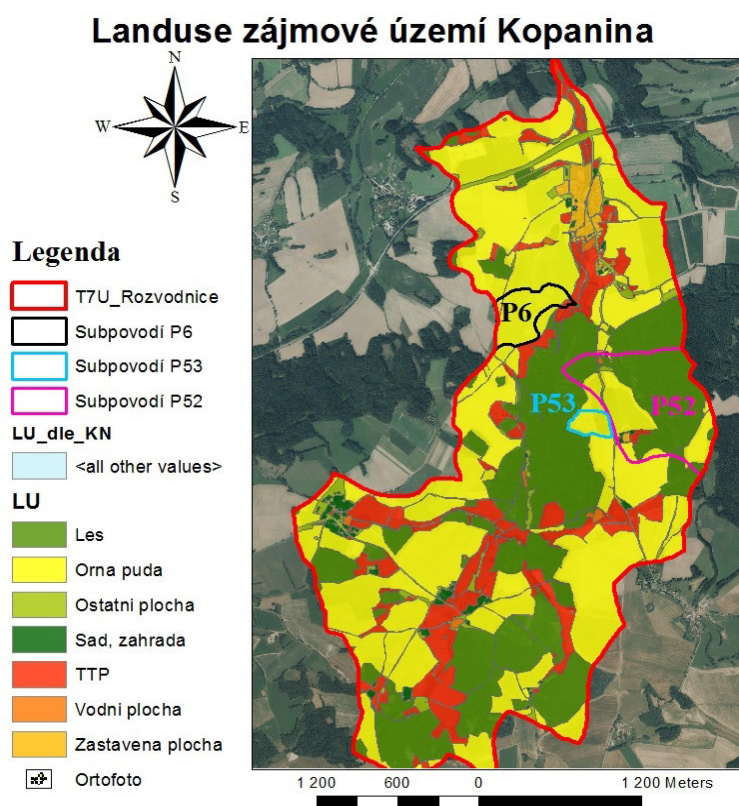
Tabulka 2: Klimatické charakteristiky na zájmové lokalitě Kopaninského potoka

Počet letních dnů	30-40
Počet dnů s průměrnou $t \geq 10^{\circ}\text{C}$	140-160
Počet mrazových dnů	130-140
Počet ledových dnů	40-50
Průměrná teplota v lednu ($^{\circ}\text{C}$)	- 4 až - 5
Průměrná teplota v červenci ($^{\circ}\text{C}$)	16-17
Průměrná teplota v dubnu ($^{\circ}\text{C}$)	6 až 7
Průměrná teplota v říjnu ($^{\circ}\text{C}$)	6 až 7
Průměrný počet dnů se srážkami ≥ 1 mm	100-120
Srážkový úhrn ve vegetačním období (mm)	350-450
Srážkový úhrn v zimním období (mm)	250-300
Počet dnů se sněhovou pokrývkou	60-100

Zájmové povodí Kopanina se řadí dle rajonizace zemědělsko-výrobních oblastí České republiky do bramborářského typu. V osevních sledech dominuje pěstování brambor, kde meziplodiny tvoří obilniny jako je pšenice v obou formách, jak ozimé, tak jarní, dále ječmeny ozimé i jarní a řepka olejka. Pícniny jsou zde zastoupeny pěstováním jetela a jetelotravních směsek.



Obrázek 4: Zájmová lokalita Kopaninského potoka na ortofotu



Obrázek 5: Využití zájmového území Kopaninského toku

Tabulka 3: Zastoupení jednotlivých kultur na povodí Kopaninského toku

	Orná půda	TTP	Les	Zastavěná plocha	Vodní plocha	Odvodnění
Profil (Povodí)	Podíl kultur v (%)					
T7U (6,90 km ²)	45	13	36	0,4	0,5	10
Subpovodí						
P6 (0,16 km ²)	96	2	0	0	0	62
P52 (0,65 km ²)	31	1	64	0,7	0,3	16
P53 (0,05 km ²)	99	0	1	0	0	92

Subpovodí P6, P53, P52

Všechna tři subpovodí Kopaninského toku se nacházejí před uzávěrovým profilem T7U. Liší se rozlohou a zastoupením jednotlivých kultur. Subpovodí P6 leží v severní části povodí T7U po levé straně Kopaninského potoka, kde 96 % plochy tvoří orná půda. Subpovodí P53 leží po pravé straně Kopaninského potoka o ploše 5 ha a je z 99 % tvořeno ornou půdou a je téměř celé odvodněné (92 %). Subpovodí P52 má rozlohu 65 ha, kde 64 % tvoří les a zbylá procenta orná půda.

3.2 Zájmová lokalita Jenín (J3)

Zájmová lokalita Jenínského potoka (J3) zahrnující dvě subpovodí J1 a J2 zaujímá plochu 4,64 km². Rozvodnice J3 se rozkládá na katastrálním území obce Jenín a Horní Kaliště spadající do správního území obce Dolní Dvořiště. Zájmová lokalita se nachází v jihovýchodní části okresu Český Krumlov nedaleko od hranice s Rakouskem. Jenínský potok je pravostranný přítok Rybnického potoka. Lokalita Jenín je již od 80. let 20.stol. pravidelně monitorována odborníky Jihočeské univerzity v Českých Budějovicích. Nadmořská výška se pohybuje v rozmezí od 635 - 870 m. n. m., kde nejvyšší bod Žibřidovský vrch s výškou 870,3 m. n. m. leží v severní části u hranic s Rakouskem.

Zvolené povodí Jenínského potoka 1-06-01-138 se hydrologicky řadí do povodí IV. řádu Rybnický potok, III. řádu Vltava po Malši, II. řádu Vltava a I. řádu Labe. Tok

není výrazně ovlivněn lidskou činností, koryto je přírodního charakteru a okolí toku je tvořeno stromovou a keřovou flórou.

Podle Demka (1965) se řešené území dle geomorfologického členění řadí do provincie Česká Vysočina, subprovincie Šumavská soustava, oblast Šumavská hornatina, celek Šumavské podhůří, podcelku Českokrumlovské vrchoviny a dále do okrsku Rožmberské vrchoviny. Z pedologického pohledu řadí ALBRECHT (2003) zájmové území do Českokrumlovského regionu, kde převládají půdy kambizemních a horských podzolů a dále silně kambizemní půdy. Nejčastěji se zde vyskytují půdy glejové, oglejené, hnědé kyselé půdy a hnědé kyselé půdy slabě oglejené.

Nejvíce zastoupenými hlavními půdními jednotkami (HPJ), dle klasifikace BPEJ jsou:

HPJ 34 - Kambizemě dystrické, kambizemě modální mezobazické i kryptopodzoly modální na žulách, rulách, svorech a fylitech, středně těžké lehčí až středně skeletovité, vláhově zásobené, vždy však v mírně chladném klimatickém regionu. 34

HPJ 37 – Kambizemě litické, kambizemě modální, kambizemě rankerové a rankery modální na pevných substrátech bez rozlišení, v podorničí od 30 cm silně skeletovité nebo s pevnou horninou, slabě až středně skeletovité, v ornici středně těžké lehčí až lehké, převážně výsušné, závislé na srážkách.

HPJ 40 – Půdy se sklonitostí vyšší než 12 stupňů, kambizemě, rendziny, pararendziny, rankery, regozemě, černozemě, hnědozemě a další, zrnitostně středně těžké lehčí až lehké, s různou skeletovitostí, vláhově závislé na klimatu a expozici.

HPJ 50 - Kambizemě oglejené a pseudogleje modální na žulách, rulách a jiných pevných horninách (které nejsou v HPJ 48,49), středně těžké lehčí až středně těžké, slabě až středně skeletovité, se sklonem k dočasnému zamokření.

HPJ 75 - Kambizemě oglejené, kambizemě glejové, pseudogleje i gleje, půdy dolních částí svahů, zamokření výraznější než u HPJ 74, obtížně vymežitelné přechody, na deluviích hornin a svahovinách, až středně skeletovité

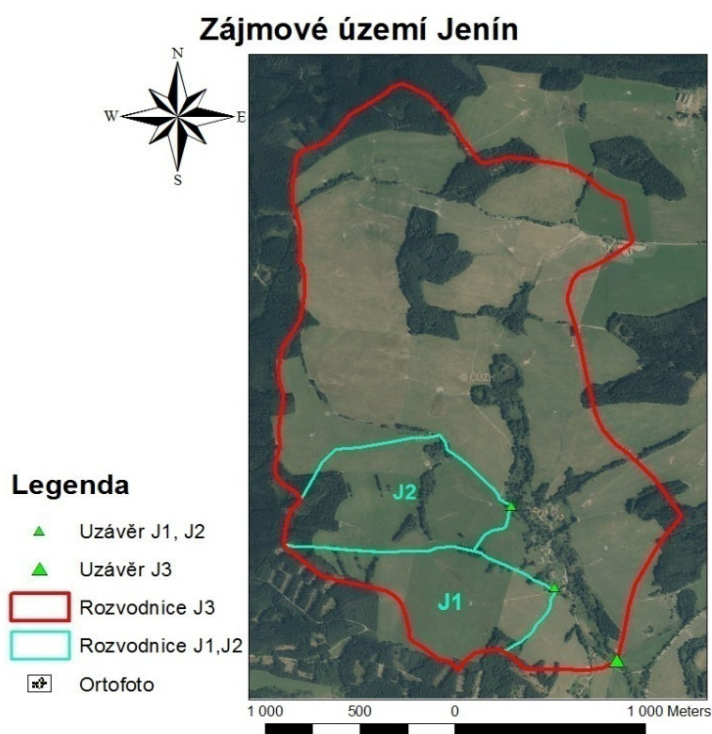
Zdroj: (www.cuzk.cz)

VESECKÝ A KOL. (1958) popisuje v Atlasu podnebí Československé republiky, že Jenínská oblast spadá do klimatické oblasti B10, která je mírně teplá, velmi vlhká, okresek velmi vlhký, mírně teplý, vrchnatý. Podle QUITTA (1971) patří území do klimatické oblasti MT3. Viz. tabulka níže.

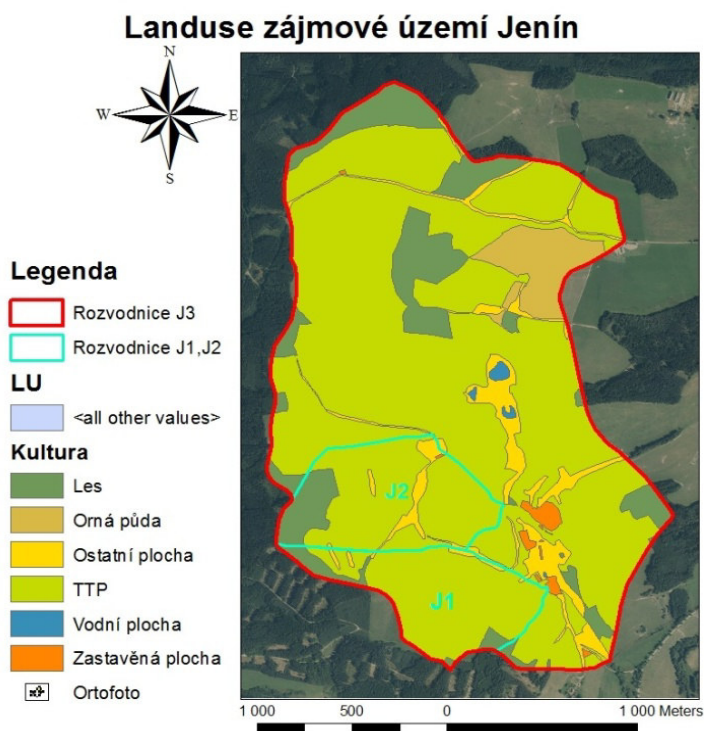
Tabulka 4: Klimatické charakteristiky zájmové lokality Jenínský potok

Počet letních dnů	20-30
Počet dnů s průměrnou $t \geq 10^{\circ}\text{C}$	120-140
Počet mrazových dnů	130-160
Počet ledových dnů	40-50
Průměrná teplota v lednu ($^{\circ}\text{C}$)	-3 až -4
Průměrná teplota v červenci ($^{\circ}\text{C}$)	16-17
Průměrná teplota v dubnu ($^{\circ}\text{C}$)	6 až 7
Průměrná teplota v říjnu ($^{\circ}\text{C}$)	6 až 7
Průměrný počet dnů se srážkami ≥ 1 mm	110-120
Srážkový úhrn ve vegetačním období (mm)	350-450
Srážkový úhrn v zimním období (mm)	250-300
Počet dnů se sněhovou pokrývkou	60-100

Povodí je extenzivně zemědělsky využíváno (90% pastvin) a podíl zalesnění je 10%.



Obrázek 6: Zájmová lokalita Jenínského potoku na ortofotu



Obrázek 7: Využití území na zájmové lokalitě Jenínský potok

Tabulka 5: Zastoupení jednotlivých kultur na povodí Jenínského toku

	Orná půda	TTP	Les	Zastavěná plocha	Vodní plocha	Ostatní plocha	Odvodnění
Profil (Povodí)	Podíl kultur v (%)						
J3 (4,64 km ²)	4,0	76	12,5	0,7	0,3	6,5	50
Subpovodí							
J1 (0,47 km ²)	0	87,5	12,5	0	0	0	53
J2 (0,0,55 km ²)	0	78	22,9	0,1	0	0	63

Subpovodí J1 a J2

Subpovodí Jenín J1 leží jihozápadně od obce Jenín, kde se nadmořská výška pohybuje v rozmezí 656 - 802 m. n. m. o rozloze 46,8 ha. Odvodněná plocha území je odvodněna systematickou drenáží o ploše 24,77 ha. Odběrné místo je totožné s závěrem tohoto mikropovodí J1.

Subpovodí Jenín J1 leží jihozápadně od obce Jenín a severně od mikropovodí J1, kde se nadmořská výška pohybuje v rozmezí 668 - 814 m. n. m. o rozloze 55,12 ha. Odvodněná plocha území je odvodněna systematickou drenáží o ploše 34,9 ha. Odběrné místo je totožné s uzávěrem tohoto mikropovodí J2.

Odvodnění zájmového území

Zájmová lokalita byla na přelomu 80. let vybrána jako oblast pro pozorování Výzkumným ústavem meliorací a ochrany půd v Praze dále jen (VÚMOP). Bylo zde provedeno odvodnění pozemků z důvodů vysoké hladiny podzemní vody, pramenných vývěřů, lokálního zamokřování půdy. Dalšími faktory byl vysoký srážkový úhrn a nestabilní a nevyvážený vodní režim. Odvodnění bylo provedeno rozdílně, když v povodí Jenín I (území o rozloze 46,8 ha, se zalesněností 13,2 %) byla provedena sporadická drenáž v rozsahu 39,6 ha a v povodí Jenín II (území o rozloze 55,2 ha, se zalesněností 12,1 %) drenáž systematická. Na těchto původních travnatých plochách byla v delším časovém horizontu sledována jakost vody a sledovány průtoky na přepadech Jenín 1 (J1) a Jenín 2 (J2). Tyto přepady zároveň byly uzávěry těchto subpovodí (mikropovodí). V roce 1990 byla činnost VÚMOP na Jeníně ukončena a obnovena byla až v roce 2004 Zemědělskou fakultou Jihočeské Univerzity.

4 METODY

4.1 Sběr dat

K vyhodnocení dat na Kopaninském potoce byly použity naměřené hodnoty na profilech P6, P52, P53 a T7U. Na subpovodích P6, P52 a P53 byly měřeny hodnoty dusičnanů a celkového fosforu v denním intervalu automatickým vzorkovačem přístrojem ISCO 6712 v období XI.2008 - X.2011. Na profilu T7U jsou k dispozici pouze hodnoty dusičnanů ve 14 - ti denním intervalu v období XI.2003 - X.2011. Tyto hodnoty byly stanoveny v akreditované laboratoři na základě již zmíněných pravidelných odběrů.

K vyhodnocení dat na Jenínském potoce byly použity naměřené hodnoty na profilech J1, J2 a J3. Na všech třech povodí byly měřeny hodnoty dusičnanů a fosforečnanů v měsíčním intervalu v období IV.2004 - XI.2007. Každý měsíc byl odebrán vzorek, který byl vyhodnocen v akreditované laboratoři, kde se nevyhodnocovaly pouze dusičnany a fosforečnany, ale i ostatní chemické ukazatele.

4.2 Popisná statistika (EDA)

Směrodatná odchylka je jednou z nejpoužívanějších měr kolísavosti. Vyjadřuje rozptyl hodnot kolem střední hodnoty, tj. vypovídá o tom, jak se hodnoty od této střední hodnoty (průměru) liší, resp. jak hustě jsou kolem tohoto průměru seskupeny.

Obecně se vypočítá dle vzorce:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}},$$

kde x_i je hodnota i -tého pozorování, n je počet pozorování a \bar{x} je průměrná hodnota všech pozorování.

Rozptyl (s^2) udává, jak moc jsou hodnoty v našem statistickém souboru rozptýleny. Rozptylu se někdy též říká variance. Podle HENDLA (2004) je rozptyl definován jako průměrná kvadratická odchylka měření od aritmetického průměru, přičemž při průměrování této odchylky dělíme číslem $(n-1)$

$$s^2 = \frac{\sum_i (x_i - \bar{x})^2}{n-1}$$

Variační koeficient (VK) je definován jako podíl směrodatné odchylky (aritmetického průměru) sledovaného znaku x , variační koeficient má význam pouze tehdy, když znak x nabývá jen nezáporných hodnot. Charakterizuje například přesnost měření. Ukazuje nám nesourodost statistického souboru a naopak. HENDL (2004) uvádí, že variační koeficient počítáme, když chceme porovnat rozptýlenost dat skupin měření stejné proměnné s různým průměrem, nebo v těch případech, kdy se mění velikost směrodatné odchylky tak, že je přímo závislá na úrovni měřené proměnné.

$$VK = \frac{s}{x} \text{ nebo můžeme variační koeficient vyjádřit v procentech: } VK = \frac{s}{x} \cdot 100\%$$

Variační koeficient je definovaný jako podíl směrodatné odchylky a absolutní

hodnoty ze střední hodnoty,
$$\frac{\sqrt{D(X)}}{|E(X)|}$$

kde $D(X)$ je rozptyl, tzn. $\sqrt{D(X)}$ je směrodatná odchylka, a $E(X)$ je střední hodnota.

Střední hodnota (aritmetický průměr) je definován jako součet všech hodnot náhodné proměnné x_i dělený počtem hodnot. Vypočtený průměr pak udává, jaká stejná část z úhrnu hodnot sledované číselné proměnné připadá na jednu jednotku souboru (jednoho jedince).

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

kde x_i je vypočtený výsledek a n je počet vypočtených výsledků (prvků). Pro malá n je však aritmetický průměr citlivý na okrajové hodnoty. Z tohoto důvodu pro $n \leq 20$ jako odhad střední hodnoty souboru výsledků použijeme medián (v této práci pracujeme s vyššími počty prvků).

Medián (Me) je prostřední hodnota z čísel uspořádaných podle velikosti. Medián je uprostřed v tom smyslu, že zbývající čísla je možné rozdělit na dvě skupiny o stejném

počtu prvků, z nichž čísla z první skupiny jsou menší nebo rovna mediánu a čísla z druhé skupiny jsou větší nebo rovna mediánu. Přesnou definici je třeba udělat zvlášť pro lichý a zvlášť pro sudý počet hodnot. Formálně vypadají definice takto: Je-li $N > 1$ liché, je mediánem hodnota $x_{((N+1)/2)}$. Je-li N sudé, je mediánem hodnota $(x_{(N/2)} + x_{(N/2+1)})/2$

Modus (M_o) nebo modální hodnota je hodnota, jež se v datech vyskytuje nejčastěji. Tato charakteristika nalézá uplatnění především u kategoriálních dat. Symbolicky se označuje \hat{x} nebo M_o (HENDL, 2004).

Minimum (x_{\min}) je nejmenší hodnota souboru. Jedná se o základní a nejjednodušší ukazatele.

Maximum (x_{\max}) je největší hodnota souboru. Jedná se o základní a nejjednodušší ukazatele.

Šikmost (δ) je rovna průměru třetích mocnin odchylek hodnot proměnné od jejich aritmetického průměru dělenému třetí mocninou směrodatné odchylky

$$\delta = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^3}{n \cdot s^3} .$$

Z nulové hodnoty šikmosti se usuzuje zpravidla na symetričnost rozdělení četností a zároveň na stejný stupeň koncentrace malých a velkých hodnot. Z kladné hodnoty šikmosti se usuzuje na pozitivně zešikmené rozdělení a ze záporné na rozdělení zešikmené negativně.

Druhý způsob popisu koncentrace je založen na porovnání četností hodnot znaku prostřední velikosti s četnostmi ostatních hodnot. Přibližně stejně velké četnosti prostředních a ostatních hodnot se projevují zpravidla plochostí tvaru rozdělení četností, kdežto větší četnosti prostředních hodnot ve srovnání s četnostmi hodnot ostatních se projeví špičatým tvarem rozdělení. Měření koncentrace v tomto smyslu souvisí úzce s měřením

Špičatost (τ) je rovna průměru čtvrtých mocnin odchylek hodnot proměnné od jejich aritmetického průměru dělenému čtvrtou mocninou směrodatné odchylky, to celé minus 3.

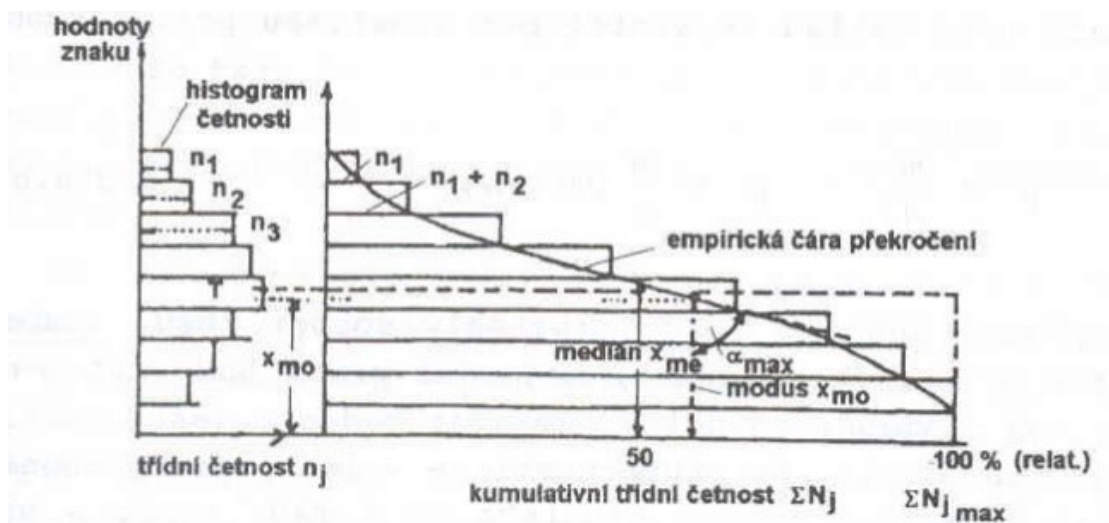
$$\tau = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^4}{n \cdot s^4} - 3.$$

Čím vyšší je hodnota špičatosti, tím je rozdělení špičatější a tím vyšší je stupeň koncentrace prostředních hodnot ve srovnání s ostatními hodnotami.

4.3 Empirická čára překročení

Čáry překročení jsou zcela zásadním pracovním nástrojem v hydrologii. Poskytuje informaci kolikrát, nebo po jakou dobu byla určitá, hodnota znaku v určitém období (např. pozorování) dosažena nebo překročena.

Pro rozsáhlé soubory se v minulosti používala metoda založená na rozdělení prvků statistického souboru do dílčích tříd - intervalů. Ty byly charakterizovány počtem výskytů – histogram četnosti. Čára překročení je potom součtovou čarou k histogramu četnosti (HAVLÍK, 2010).



Obrázek 8 Histogram četností a empirická čára překročení (Zdroj: HAVLÍK, 2010)

Empirická čára překročení podle GERGELA (1994) vychází z Čegodajevova vzorce:

$$p = \frac{m - 0,3}{n + 0,4} * 100 (\%)$$

m je pořadí prvku

n je počet prvků v množině (vzorku, souboru)

Získané hodnoty z měření uspořádáme sestupně (od největší hodnoty k nejmenší). Největší hodnotě přiřadíme číslo 1, druhé nejvyšší hodnotě číslo 2 a postupuje dále až k nejmenší hodnotě. Poté použijeme Čegodajevův vzorec a pro každou hodnotu vypočteme pravděpodobnost překročení.

4.4 Korelační analýza

Vzájemnými (většinou lineárními) závislostmi se zabývá korelační analýza. V korelační analýze se klade důraz více na intenzitu (sílu) vzájemného vztahu než na zkoumání veličin ve směru příčina-následek. Z výpočetních i interpretačních hledisek však dochází ke značnému prolínání obou přístupů (HINDL A KOL., 2007). HENDL (2004) korelaci označuje jako míru stupně asociace dvou proměnných. Říká, že dvě proměnné jsou korelované (resp. asociované), jestliže určité hodnoty jedné proměnné mají tendenci se vyskytovat společně s určitými hodnotami druhé proměnné. Pro měření korelace byla navržena řada koeficientů, které se liší podle typu využití proměnných. Při zkoumání korelačních vztahů má rozhodující význam kvalitativní rozbor příslušného materiálu.

4.4.1 Pearsonův korelační koeficient

HENDL (2004) uvádí, že Pearsonův korelační koeficient r i přes své nedostatky stále zůstává nejdůležitější mírou síly vztahu dvou náhodně spojitých proměnných X a Y . Počítáme jej z n párových hodnot (x_i, y_i) změřených na n jednotkách náhodně vybraných z populace. Korelační koeficient r nabývá hodnot z intervalu $(-1, 1)$ a vypočítáme ho pomocí tzv. kovariance s_{xy} a směrodatných odchylek s_x a s_y obou proměnných:

$$s_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{n-1}$$

$$r_{xy} = \frac{s_{xy}}{s_x s_y}$$

Vlastnosti Pearsonova korelačního koeficientu:

- Nabývá hodnot od -1 do $+1$, které značí perfektní lineární vztah (záporný nebo kladný).
- V případě kladné korelace hodnoty obou proměnných zároveň stoupají.
- V případě záporné korelace hodnota jedné proměnné stoupá a druhé klesá.
- V případě neexistence lineárního vztahu $r = 0$
- Při změně pořadí proměnných se výše korelačního koeficientu nemění
- Správná interpretace předpokládá, že obě proměnné jsou náhodné veličiny a mají společné dvourozměrné normální rozdělení.
- Nulový korelační koeficient znamená, že veličiny jsou nezávislé.

4.5 Metoda separace odtoku

Metoda GROUND

Metoda GROUND je vhodná spíše pro separaci rychlé složky (přímého) odtoku z odtoku celkového než pro separaci pomalé složky z odtoku celkového. Důvodem je princip této metody, který je založen na reakci obou separovaných složek odtoku (rychlé i pomalé) na příčinnou srážku, přičemž samotný základní odtok nemá (nemusí mít) okamžitou reakci na tuto srážku. Reakce pomalé složky odtoku je tedy zřejmě

způsobena přítomností hypodermického odtoku, což znamená, že se odseparovaná pomalá složka odtoku skládá ze základního odtoku i pomalejšího hypodermického odtoku (BYSTRICKÝ, 2012). Model GROUND zakládá na předpokladu, kde pomalá složka odtoku se projevuje se zpožděním (jeden den) vůči začátku změny nárůstu celkového odtoku. Tato reakce je podmíněna parametrem C (koeficient přírůstu základního odtoku), ten udává počáteční poměr mezi velikostí zvýšení celkového odtoku Q_{celk} a velikostí zvýšení pomalé složky odtoku. Dále je tento koeficient závislý na tvaru hydrogramu celkového odtoku a času). Algoritmus ve výpočtu je nastaven tak, že objem pomalé složky odtoku přestane růst, pokud dosáhne velikosti celkového odtoku Q_{celk} . Metodiku postupu modelu GROUND nalezneme v práci KULHAVÝ A KOL. (2001), ze které je zároveň převzat parametr C ($C = 0,075$), se kterým je počítáno u zájmových povodí.

Metoda digitálního filtru

Separace základního odtoku od celkového byla v této práci provedena na povodích P6, P52, P53 a T7U metodou digitálního filtru dle CHAPMANA (1999). Podle CHAPMANA (1999) tato metoda odděluje základní odtok od zbytku celkového. Tato metoda navazuje na metodu Lyna a Hollicka z roku 1979. ARNOLD A KOL. (1999), popisují metodu tak, že dlouhé vlny ve frekvenčním spektru hydrogramu jsou přisuzovány základnímu odtoku, kdežto vysoké frekvence variability jsou spojeny s přímým odtokem.

Vzorec pro výpočet základního odtoku dle CHAPMANA (1999)

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

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

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

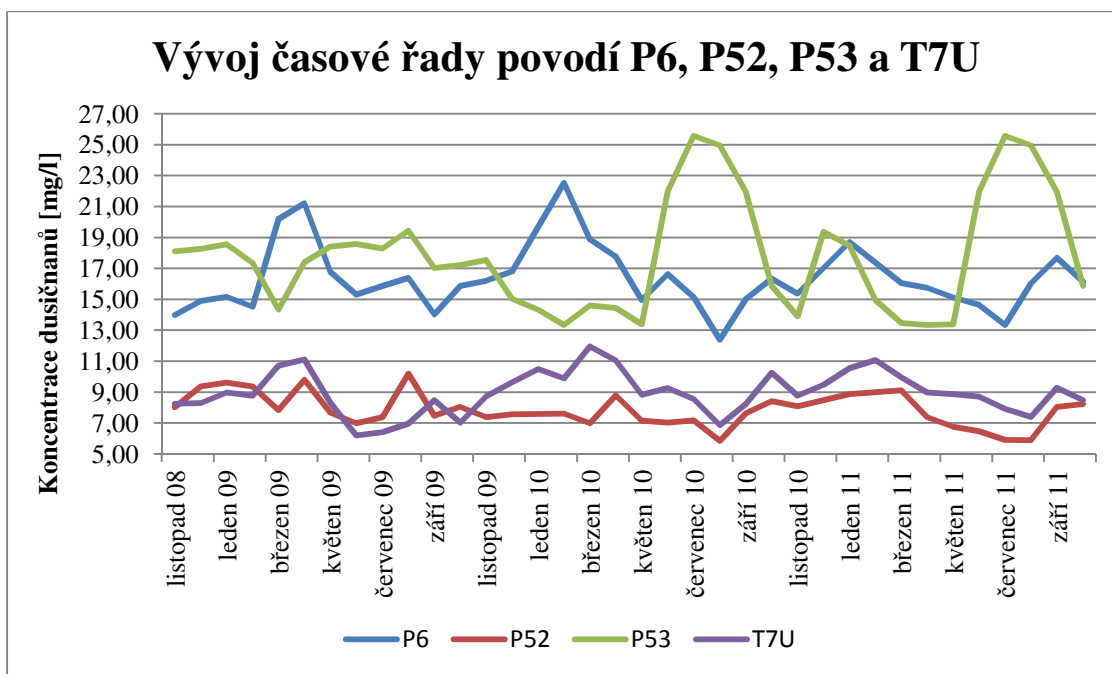
$Q_{(i)}$	průměrný denní průtok v i-tém dni
Q_{total}	celkový odtok
Q_{slow}	základní odtok
K	bezrozměrná konstanta (je nastavená empiricky)

5 VÝSLEDKY A DISKUZE

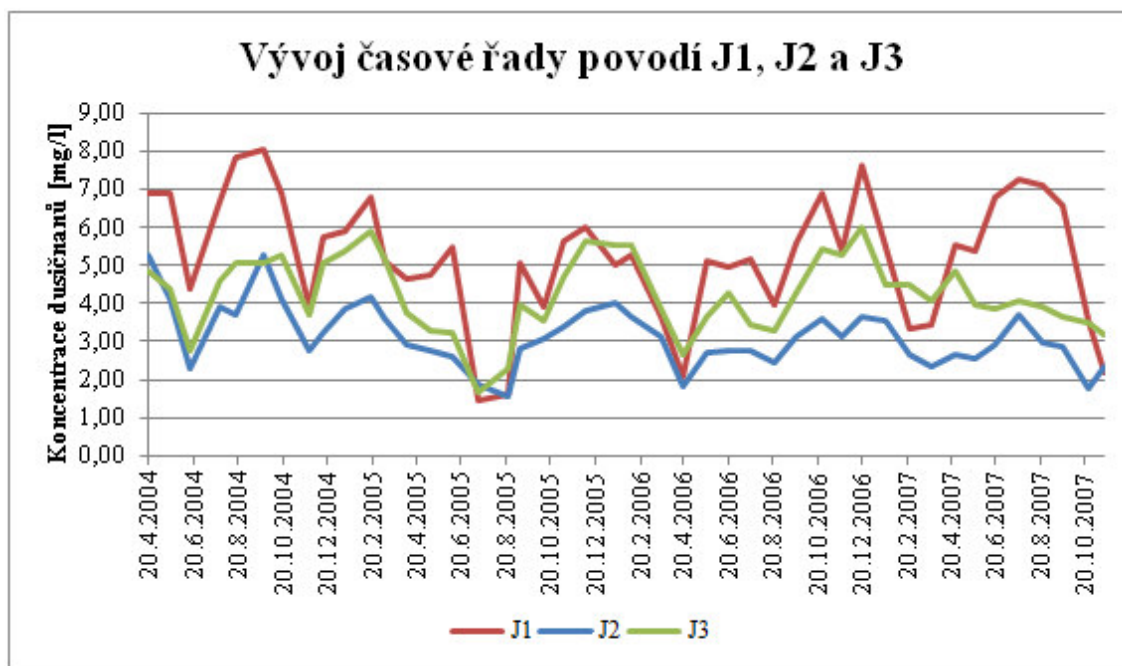
Fosfor a dusík mají značně odlišné chování, a proto nelze hodnotit závislosti koncentrací živin na průtoku, ale je nutno diskutovat o každé živině zvlášť (BYSTRICKÝ, 2012). ROYER A KOL. (2006) uvádějí, že mezi koncentracemi dusičnanů a fosforu je málo společných vztahů. Fosfor je špatně rozpustný ve vodě, váže se na sedimenty a vstupuje do povrchových vod zejména ve spojení s půdními částicemi splavovanými do vodotečí, jezer a rybníků, kdežto dusičnany jsou dobře rozpustné ve vodě, jsou součástí půdního roztoku a jejich vyplavování je stálé.

5.1 Vyhodnocení časových řad koncentrací dusíku

Pro správné pochopení výsledků, kterých bylo docíleno pomocí statistických metod a výpočtů, byly nejprve zpracovány data graficky následujícím způsobem. Byl vytvořen graf č.1 a 2 vývoje časové řady na Kopaninském potoce (kvůli nejednotnosti dat a ucelení periodicity je osa x přepočítána a navržena v měsíčních průměrech) a na Jenínském potoce (graf č. 2) a sestaven společný graf relativních četností tak, aby bylo vidět, jakých hodnot nejčastěji na jednotlivých povodích bylo dosahováno (graf č. 3).



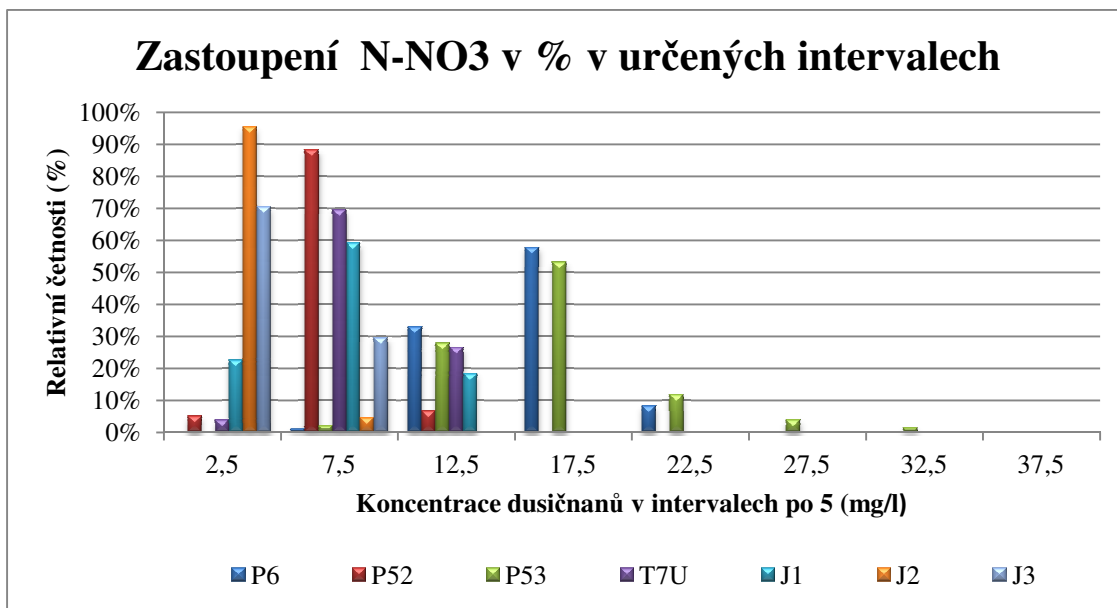
Graf 1: Vývoj koncentrací v měsíčních průměrech v zájmovém území Kopaninský potok



Graf 2: Vývoj koncentrací v zájmové lokalitě Jenínský potok

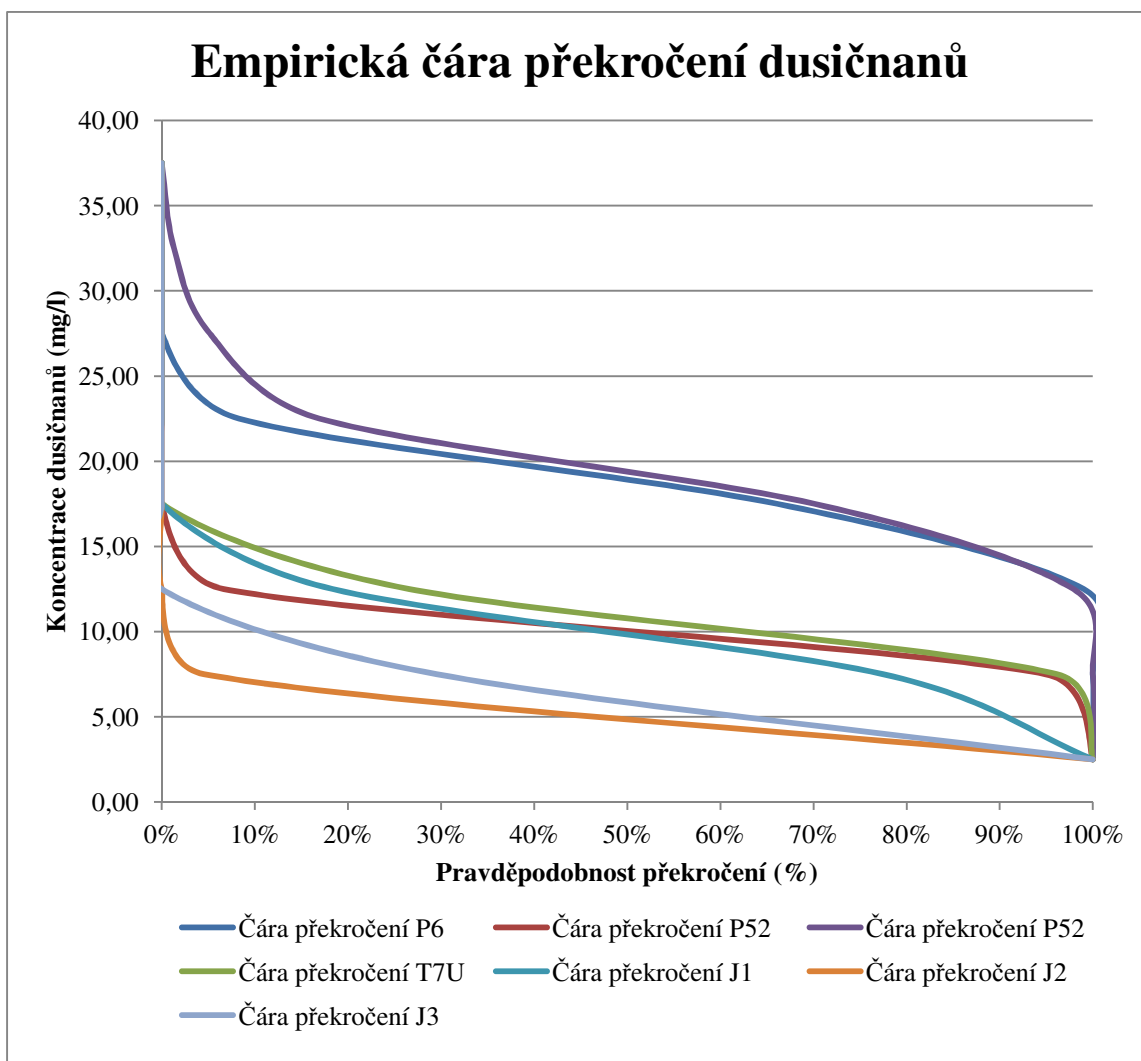
Z těchto grafů č.1 a 2 je patrné, že nejvyšší koncentrace dusičnanů v drenážním odtoku pozorujeme v jarním období (březen - duben) a po sklizni kulturních plodin (konec července, srpen).

Koncentrace veškerého anorganického dusíku a distribuce jeho forem závisí na ročním období (PITTER, 1990). HLAVÍNEK A ŘÍHA (2004) uvádí, že kvalita a jakost drenážních vod je ovlivňována hned několika faktory, kterými jsou složení podzemních vod, pěstované rostliny, použitá agrotechnika, složení půdy a podloží, množství a složení srážkových a závlahových vod. Kvalita drenážních vod kolísá v průběhu roku, podle toho, které faktory momentálně mají největší vliv a účinek. Při používání jednotlivých hnojiv a pesticidů se dostávají tyto látky do drenážních vod, a právě v těchto období jsou vody nejvíce znečištěny. GERGEL (1994) tvrdí, že dusičnany vykazují významnou sezónní variabilitu a obecně jsou vyšší v předjaří a na jaře, poněvadž nemají přes zimu jako produkty probíhající nitrifikace odpovídající možnost odběru biomasou rostlin. Jejich náhlé zvýšení ve vodě v období vegetace je většinou zaviněno nešetrnou (jednorázovou) aplikací ledkových hnojiv nebo mimořádně významným zásahem na půdě v povodí např. hloubkovým melioračním kypřením.



Graf 3: Histogram dusičnanů v intervalech po 5 mg/l

V tomto grafu č.3 vidíme jakých koncentrací je dosahováno na jednotlivých povodích. Na povodích J1, J2 a J3 nepřesahují hodnoty 10 mg/l a nejvyšší zastoupení dusičnanů dle relativních četností se pohybuje v intervalu 0-5 mg/l. Na povodí P52 a T7U se koncentrace pohybují do 15 mg/l, kdežto na povodích P6 dosahují hodnot kolem 25 mg/l a na P53 dosahují 30 a více (mg/l). Podíváme-li se na tabulku využití území (= land use) a odvodnění, je patrné, že nejvyšší hodnoty jsou naměřeny na povodích, kde orná půda tvoří téměř 100 % území a je zde vysoký podíl odvodnění P6 (62%) a P53 (92%).



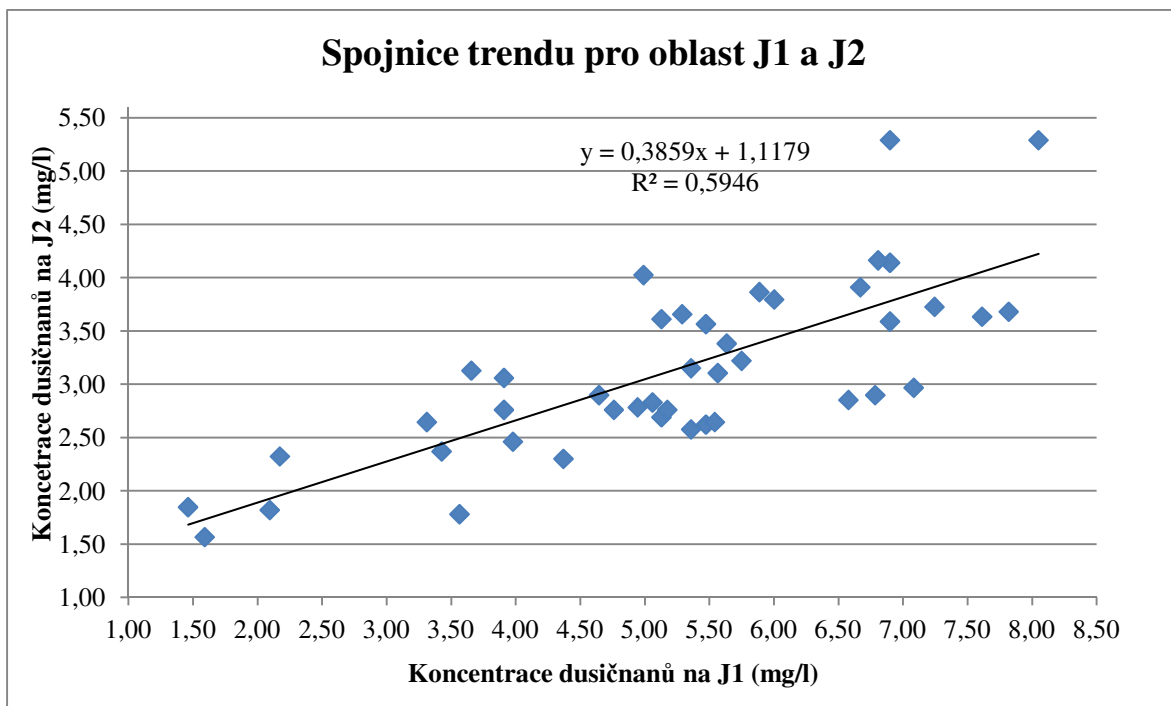
Graf 4: Empirická čára překročení dusičnanů pro jednotlivá povodí

Z grafu č.4 empirických čar překročení lze vyčíst: "kolika procenty je určitá hodnota dosažena a následně překročena". Z čar překročení je vidět, že nejvyšší hodnoty jsou dosahovány a následně překračovány opět na povodích P6 a P53, která jsou téměř plně drenážovaná s vysokým zastoupením orné půdy.

Tabulka 6: Výsledné hodnoty statistického souboru na jednotlivých povodí

<i>EDA</i>	<i>Výsledné hodnoty statistického souboru (N-NO₃ (mg/l))</i>						
	J1	J2	J3	P6	P52	P53	T7U
<i>Stř. hodnota</i>	5,25	3,14	4,24	15,95	7,80	17,33	8,91
<i>Chyba stř. hodnoty</i>	0,25	0,12	0,15	0,09	0,05	0,13	0,14
<i>Medián</i>	5,36	3,01	4,19	15,47	7,68	17,17	8,83
<i>Modus</i>	6,90	2,76	5,06	14,46	7,68	17,39	8,28
<i>Směr. odchylka</i>	1,63	0,82	1,00	2,57	1,64	4,01	2,02
<i>Rozptyl výběru</i>	2,67	0,67	1,00	6,62	2,70	16,12	4,08
<i>Špičatost</i>	-0,10	0,65	-0,25	1,64	0,78	1,95	1,08
<i>Šikmost</i>	-0,53	0,52	-0,30	0,71	0,08	0,99	-0,12
<i>Minimum</i>	1,46	1,57	1,66	6,96	1,83	5,76	2,53
<i>Maximum</i>	8,05	5,29	5,98	24,67	14,68	32,39	14,95
<i>Variační koeficient</i>	0,31	0,26	0,24	0,16	0,21	0,23	0,23

Výsledky popisné statistiky dat nám jasně ukazují hodnoty koncentrací, které jsou pro jednotlivá povodí charakteristické. Červeně označené hodnoty by měly nejvíce vypovídat o zájmových povodích. Nejjednodušší ukazatele minimum a maximum nám zde potvrzují, že nejvyšších hodnot a nejvyšší variability je dosahováno na povodích intenzivně obhospodařovaných (orná půda) a z větší části odvodněných. Pozorujeme to na povodích P6 a P53 naopak nejnižší hodnoty byly zaznamenány na povodích J1, J2 a J3, kde plochy jsou odvodněny více jak 50 %, ale rozhodujícím faktorem se zde jeví využití území, jelikož se jedná o louky a pastviny. Pokud se podíváme na další ukazatele jako je střední hodnota, modus a medián potvrzuje se, že s dlouhodobého hlediska na povodích P6 a P53 je nejvyšších hodnot dosahováno. Tyto ukazatele se zde pohybují průměrně cca okolo 17 mg/l na P53 a cca okolo 16 mg/l na P6, což jsou hodnoty výrazně vyšší oproti ostatním povodím. Hodnota variačního koeficientu (relativní míra variability) ukazuje na povodí P6 vysokou jednotnost (naměřené hodnoty souboru jsou v těsné blízkosti střední hodnoty) a stabilitu naměřených koncentrací (souboru) i přes to, že jsou zde vysoké rozdíly hodnot (maximum, minimum). Z tabulky vyčteme, že se variační koeficient na všech povodí pohybuje do 30 % až na výjimku u povodí J1, kde má hodnotu 31 %. Z těchto hodnot variačního koeficientu lze říci, že aritmetický průměr je vypovídající hodnotou.



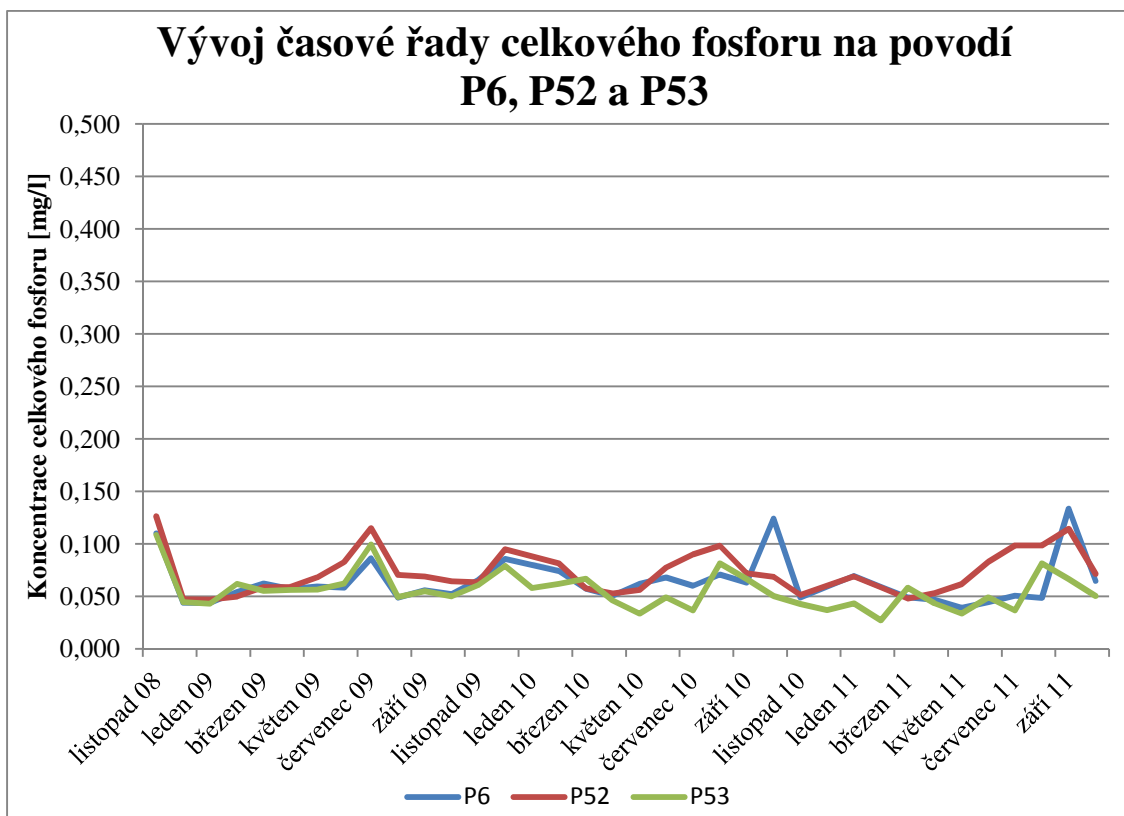
Graf 5: Korelace mezi povodími J1 a J2

Na grafu č.5. je vidět mezi povodími J1 a J2 lineární závislost, kterou nám potvrzuje i vypočtený Pearsonův korelační koeficient ($r = 0,771$). Je patrné, že chování J1 a J2 je velmi podobné. Povodí si jsou blízka nejen geograficky, ale také morfologií terénu, pedologickými a geologickými podmínkami, využitím území a způsobem hospodaření. Jiná povodí tyto závislosti nevykazovala.

5.2 Vyhodnocení časových řad koncentrací fosforu

Pro správné pochopení výsledků, kterých jsme docílili pomocí statistických metod a výpočtů, jsem si nejprve zpracoval data graficky, stejným způsobem jako u dusičnanů. Byl vytvořen graf č.6 vývoje časové řady na Kopaninském potoce (kvůli nejednotnosti dat a ucelení periodicity je osa x přepočítána a navržena v měsíčních průměrech) i na Jenínském potoce, a dále sestaven společný graf relativních četností tak, aby bylo dobře vidět, jakých hodnot bylo nejčastěji na jednotlivých povodích dosahováno.

Důležité je, že na povodích Kopaninského potoka (P6, P52, P53) byly měřeny hodnoty celkového fosforu ($P_{\text{celk.}}$) a na povodích Jenínského potoka byl fosfor měřen v podobě fosforečnanů (PO_4), což je jedna složek $P_{\text{celk.}}$.

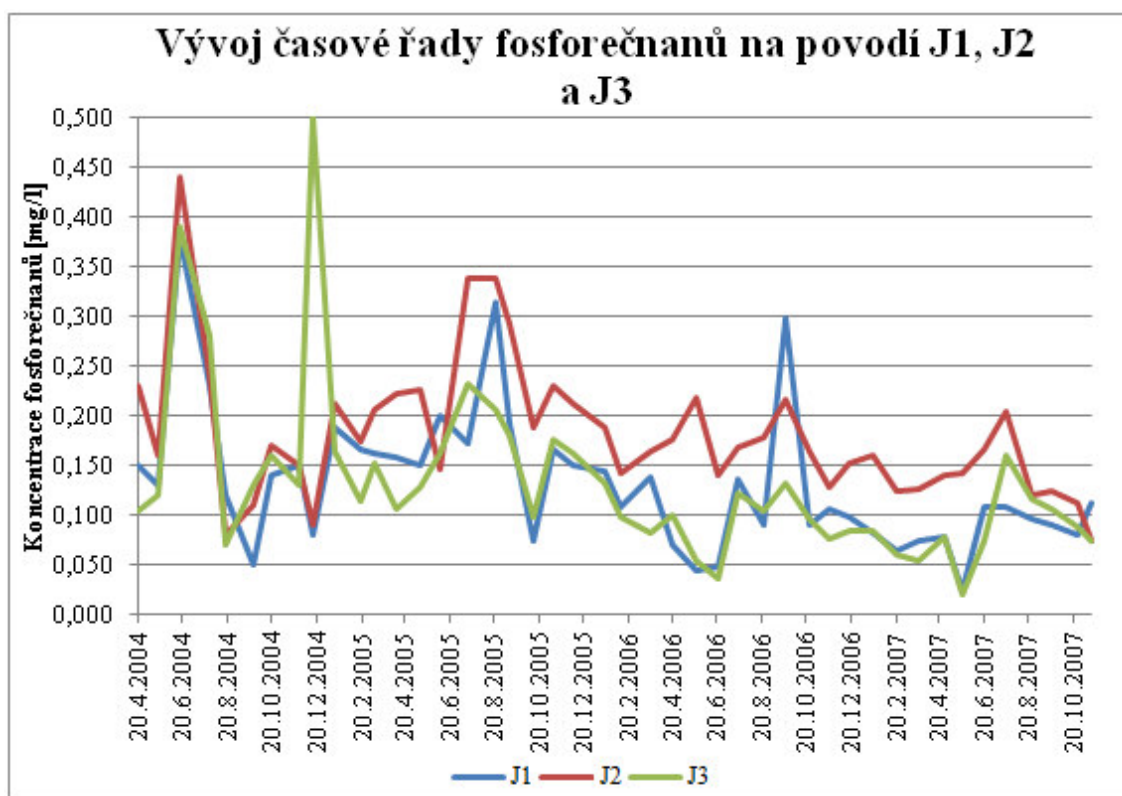


Graf 6: Vývoj koncentrací v měsíčních průměrech v zájmovém území Kopaninský potok

Na grafu č.6 není tak patrná pravidelnost opakování hodnot v závislosti na ročních obdobích jako u dusičnanů. Všechny tři povodí mají společný nárůst koncentrací v letních měsících, ale nejvyšších hodnot dosahují jinak. Na povodí P6 je nejvyšších

hodnot dosahováno na podzim (říjen až listopad), kdežto na P52 a P53 jsou nejvyšší hodnoty zaznamenány v druhé polovině léta (srpen a září). HODGINSON A KOL. (2002) uvádí, že aplikace hnojiv v podzimních měsících bohatých na fosfor (prasečí kejda, drůbeží podestýlka) má za následek vysoké koncentrace fosforu v drenážních vodách. GRANT A KOL. (1996) na základě pokusů tvrdí, že ztráty fosforu jsou epizodickou záležitostí. K největším ztrátám dochází za velkých srážkových úhrnů, a proto dodává, že je potřebné strategické vzorkování za velkých srážkových úhrnů.

Nejnižších hodnot a k poklesu koncentrací u všech povodí dochází v druhé půlce zimy a během celého jarního období (únor až červen).

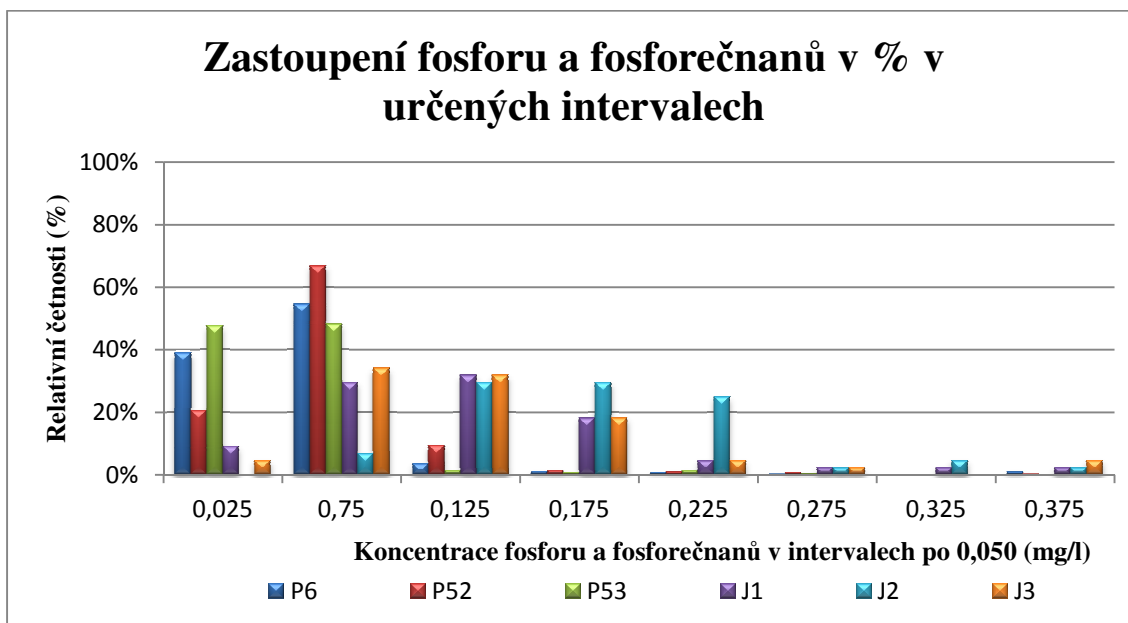


Graf 7: Vývoj koncentrací v zájmové lokalitě Jenínský potok

Všechna sledovaná povodí na Jenínském potoce mají podobnou křivku vývoje, kdy hodnoty začínají narůstat na konci jarního období (od konce května, června), kdy dosahují minima. U nejvyšších hodnot je jasně vidět, že se nejedná o pravidelné opakování. Pokud je však vysoká hodnota koncentrace na jednom z povodí, pozorujeme vysokou hodnotu na ostatních povodí (červen 2004, srpen 2005, září 2006, červenec

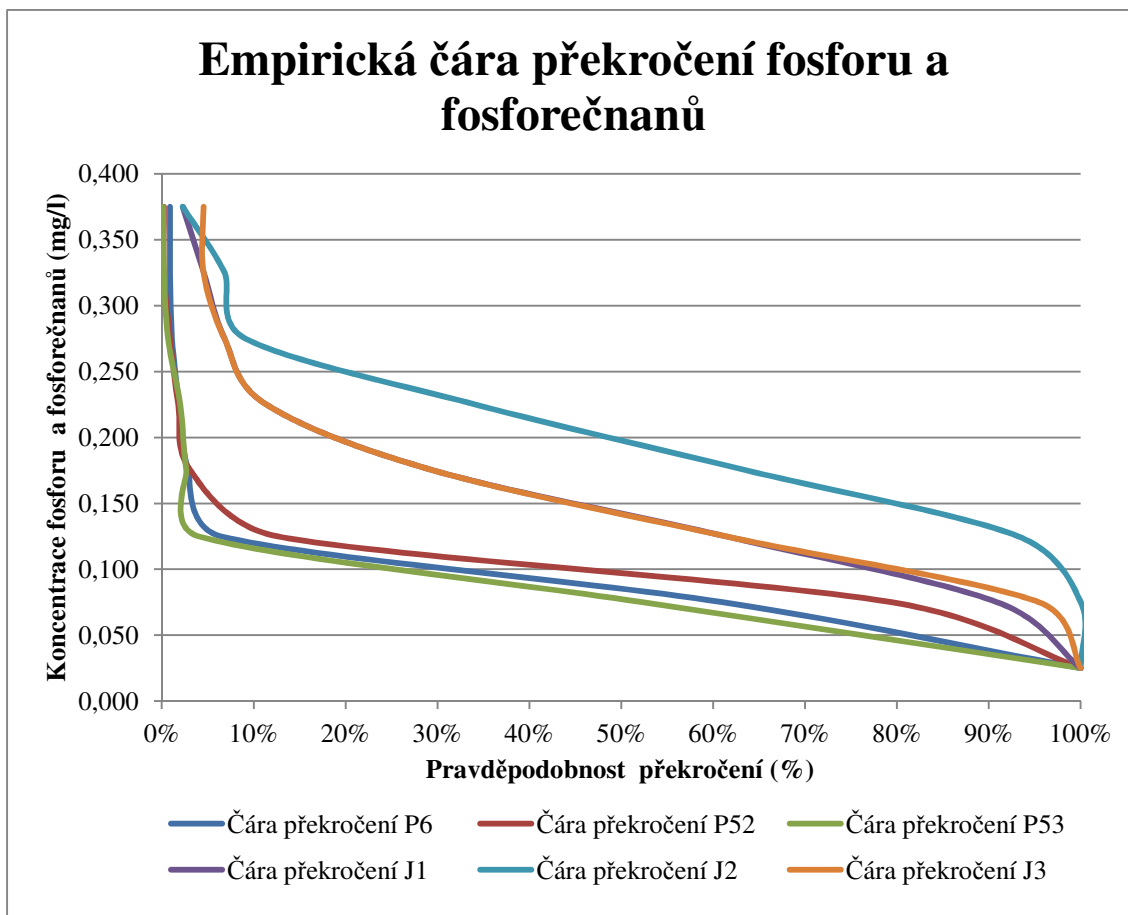
2007). Nejvyšší hodnota byla naměřena přes 0,500 mg/l na povodí J3 v prosinci 2004, zatímco na povodí J1 a J2 v tuto dobu byly hodnoty velice nízké pod 0,100 mg/l.

K poklesu hodnot koncentrací u všech třech povodí dochází v předjarním období až téměř do konce jarního období (únor až konec května, polovina června), kdy hodnoty často dosáhnou minima. Nejnižší hodnoty můžeme pozorovat právě v tomto období zvratu.



Graf 8: Histogram celkového fosforu (P6, P52, P53) a fosforečnanů (J1, J2, J3) v intervalech po 0,050 mg/l

Tento graf č.8 ukazuje rozdíly v zastoupení koncentrací celkového fosforu a fosforečnanů v intervalech po 0,050 (mg/l) mezi jednotlivými povodími. Koncentrace na P6, P52 a P53 nepřesahují hodnotu 0,150 (mg/l) a nejčastěji se pohybují v intervalu 0,050 - 0,100 (mg/l) více jak 50 % všech koncentrací. Na povodích J1, J2 a J3 jsou koncentrace výrazně vyšší, více jak 70 % hodnot se pohybuje nad hranicí 0,100 (mg/l). U J2 jde dokonce o 95 % naměřených hodnot. Důležité je, že fosforečnany (J1, J2, J3) jsou jednou ze složek celkového fosforu a značně zde převyšují hodnoty celkového fosforu na povodích (P6, P52, P53).



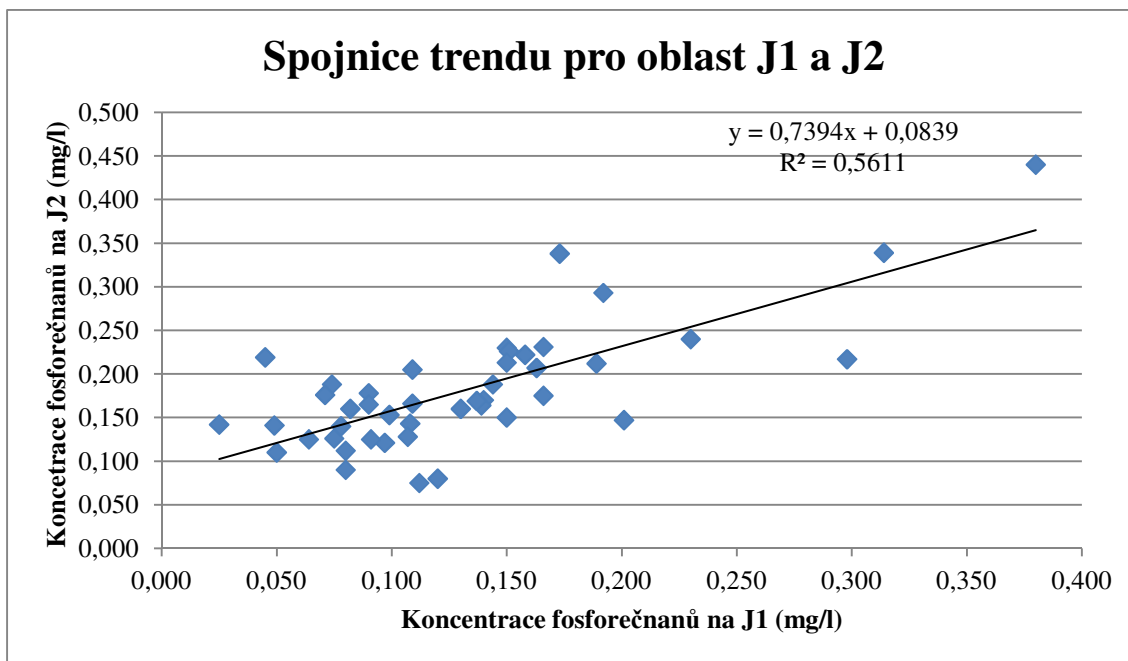
Graf 9: Empirické čáry překročení celkového fosforu (P6, P52, P53) a fosforečnanů (J1, J2, J3) pro jednotlivá povodí

Zde na grafu č. 10 vidíme, že nejvyšších hodnot je dosahováno a následně překračováno na povodích J1, J2 a J3, tyto povodí jsou odvodněna z více jak 50 % a podle tab.5 jde o území tvořené především TTP a lesem.

Tabulka 7: Výsledné hodnoty statistického souboru pro celkový fosfor a fosforečnany na jednotlivých povodích

<i>EDA</i>	<i>Výsledné hodnoty statistického souboru (P celk. a PO₄ (mg/l))</i>					
	J1	J2	J3	P6	P52	P53
<i>Stř. hodnota</i>	0,132	0,182	0,132	0,063	0,073	0,056
<i>Chyba stř. hodnoty</i>	0,011	0,011	0,013	0,002	0,001	0,001
<i>Medián</i>	0,116	0,168	0,111	0,055	0,065	0,052
<i>Modus</i>	0,150	0,160	0,105	0,055	0,059	0,052
<i>Směr. odchylka</i>	0,071	0,071	0,086	0,052	0,040	0,035
<i>Rozptyl výběru</i>	0,005	0,005	0,007	0,003	0,002	0,001
<i>Špičatost</i>	3,075	3,559	8,216	103,301	48,697	26,639
<i>Šikmost</i>	1,513	1,527	2,526	8,566	5,299	4,373
<i>Minimum</i>	0,025	0,075	0,020	0,020	0,026	0,016
<i>Maximum</i>	0,380	0,440	0,500	0,818	0,603	0,394
<i>Počet</i>	44,000	44,000	44,000	905,000	903,000	909,000
<i>Variační koeficient</i>	0,539	0,388	0,654	0,828	0,540	0,619

Tabulka 7 ukazuje hodnoty základní popisné statistiky na jednotlivých povodích. Červeně označené ukazatele by měly nejvíce vypovídat o zájmových povodích. Z ukazatele maxima a minima můžeme vyčíst, že nejvyšších hodnot bylo dosaženo na povodí P6, které je drenážované 62 %, kde 96 % plochy je tvořeno ornou půdou. Dále na povodí P52, které je drenážované 16 %, kde 31 % plochy tvoří orná půda a 64 % lesní porost. Vysoká hodnota byla naměřena i na povodí J3, které je drenážované z 52 %, kde 76 % plochy jsou pastviny a 12,5 % tvoří lesní porost. O všech povodí můžeme říct, že rozdíly mezi maximem a minimem jsou vysoké. Nejnížší hodnoty na jednotlivých povodích jsou si velice podobné. Na povodí P53 byla naměřena nejnižší hodnota 0,016 mg/l, toto povodí je odvodněno z 92 % a je z 99 % tvořeno ornou půdou. Na všech povodích se minimální hodnoty pohybovaly v rozmezí 0,016 až 0,026 mg/l, pouze na povodí J2 byla minimální hodnota vyšší a to 0,075 mg/l. Střední hodnota, modus a medián ukazují rozdíl mezi povodími na Jenínském potoce (J1, J2 a J3) a Kopaninském potoce (P6, P52 a P53), kdy na povodích Jenínského potoka jsou všechny hodnoty minimálně dvakrát vyšší než na povodích Kopaninského potoka. Hodnoty variačního koeficientu jsou zde vyšší než u dusičnanů, ale stále jsou pro nás přijatelné. Zároveň nám však vyšší variační koeficient ukazuje značnou rozkolísanost mezi koncentracemi.



Graf 10: Korelace fosforu mezi povodími J1 a J2

Po provedení korelace mezi povodími J1 a J2 vidíme v grafu č.10 lineární závislost, kterou nám potvrzuje Pearsonův korelační koeficient $r = 0,749$. Dokazuje nám to stejné chování těchto dvou subpovodí. Povodí si jsou blízka nejen geograficky, ale také morfologií terénu, pedologickými a geologickými podmínkami, využitím území a způsobem hospodaření. Jiná povodí tyto závislosti nevykazovala.

5.3 Vliv separovaných složek odtoku na koncentrace fosforu a dusíku

V tabulce 8 najdeme separované odtoky (Q_z = základní odtok, Q_p = přímý odtok, $Q_{\text{celk.}}$ = celkový odtok) na povodích P6, P52, P53 a T7U. Separace odtoku byla prováděna za HR (hydrologický rok) 2009, 2010, 2011. Stejný časový interval je důležitý pro správnost výsledků, jelikož zastoupení separovaných složek odtoku je závislé na srážkovém úhrnu tj. velikosti průtoku. Pro separování přímého odtoku na jednotlivých povodích byla využita metoda GROUND, která byla vytvořena pro malá odvodněná zemědělská povodí České Republiky. Pro separaci základního odtoku byla použita metoda Chapmanova digitálního filtru. ŽLÁBEK (2009) pro své výpočty provedl kalibraci Chapmanova filtru, proto je z této práce zároveň převzata hodnota koeficientu „k“ ($k = 0,99483$).

Tabulka 8 Přehled separace odtoku na povodích Kopaninského potoka

Povodí	Rozloha	Orná půda	Les	Odvodněné plochy	$Q_z / Q_{\text{celk.}}$	$Q_p / Q_{\text{celk.}}$	
	(km ²)	(%)					
T7U	6,9	45	36	10	35	28	
P6	0,16	96	0	62	42	22	
P52	0,65	31	64	16	37	30	
P53	0,05	99	1	92	20	42	

Tabulka 8 ukazuje jakých podílů odtoku na povodích T7U (Kopaninský potok) a subpovodích P6, P52 a P53 je dosahováno. V následujících tabulkách 9 a 10 najdeme průměrné hodnoty koncentrací, jak dusičnanů, tak celkového fosforu v jednotlivých složkách odtoku. Z tabulky 8 je dále vidět že větších rozdílů mezi zastoupením jednotlivých složek odtoku je dosahováno na povodích menších rozloh, což potvrzuje i BYSTRICKÝ (2012) a dodává, že odseparovaný základní odtok nelze chápat jako odtok podzemní vody, ale jako pomalou složku odtoku, přičemž není jasně specifikován původ této vody. K profilu P53 ještě dodává, že nízký podíl základního odtoku je zapříčiněn zaklesáváním hladiny podzemní vody, což podkládá faktem, že v posledním půlroce HR (hydrologický rok) 2011 často docházelo k nulovým průtokům na tomto profilu. Dle ŽLÁBKA (2009), čím je vyšší roční srážkový úhrn, tím je nižší podíl základního odtoku. KULHAVÝ A KOL. (2007) říká, že pokud je podíl odvodnění vysoký (dosahuje běžně téměř 40%), znamená to za určitých odtokových podmínek také zvýšení podílu složky drenážního odtoku na odtoku celkovém. Obecně platí, že podíl drenážních vod je nízký u významné srážko – odtokové epizody (tj. odvodnění nezhoršuje výrazně povodňové stavy), ale je vyšší v období sušším a někdy může v delším období beze srážek odtékat z povodní drobného vodního toku po určitý čas pouze voda drenážní. KULHAVÝ A KOL. (2001) zjistil, že na několika malých zemědělsko – lesních povodí v oblasti krystalinika České republiky vyplynulo, že přímý odtok činil v průměru ze všech sledovaných povodí cca 30%, hypodermický 40% a základní cca 30 %.. Podle DOLEŽALA A KOL. (2003) právě výrazný podíl hypodermického a základního odtoku zapříčiňuje a nejvíce přispívá k znečišťování povrchových vod, jelikož velká část celkového odtoku je tvořena z ustálených cest a z drenážních systémů.

Separace odtoku byla provedena za účelem stanovení průměrných koncentrací fosforu a dusičnanů v jednotlivých složkách odtoku jak ukazuje níže tabulka 9 a 10. Provedením separace odtoku a následného výpočtu jsme získali dvě poměrové veličiny ($Q_z/Q_{\text{celk.}}$, $Q_p/Q_{\text{celk.}}$), které nám udávají výsledné hodnoty podílu jednotlivých složek. Jako vstupní data byly použity hodnoty průměrných denních průtoků. Z časových řad denních průtoků a k nim příslušných poměrových veličin byly přiřazeny skupiny dnů na základě velikosti příspěvku jednotlivých složek odtoku ke $Q_{\text{celk.}}$. Skupina Q_z je zastoupena dny, ve kterých podíl základního odtoku v odtoku celkovém byl ve výši 85 – 100%. Následně byly k těmto dnům přiřazeny zaznamenané hodnoty koncentrací obou sledovaných živin. Vzorkování probíhalo ve dnech, kdy podíl Q_z/Q_{celk} byl 85 - 100%. Následně byly tyto hodnoty zprůměrovány a jsou charakteristickou hodnotou pro sledovanou složku odtoku u jednotlivých povodí. Analogicky byla vytvořena i skupina pro Q_p , s tím rozdílem, že zastoupení tohoto odtoku bylo rozšířeno na 70 - 100 %.

Tabulka 9: Přehled průměrných koncentrací N-NO₃ v jednotlivých složkách odtoku

Povodí	Živina	Typ odtoku	Průměrné koncentrace [mg/l]
T7U	N-NO ₃ -	Q _z	9,00
		Q _p	6,90
P6	N-NO ₃ -	Q _z	16,10
		Q _p	15,75
P52	N-NO ₃ -	Q _z	8,50
		Q _p	6,45
P53	N-NO ₃ -	Q _z	16,80
		Q _p	16,20

Z tabulky 9 je patrné, že u všech povodí jsou koncentrace dusičnanového dusíku vyšší u základního odtoku, nežli u odtoku přímého. Mezi povodími P6 a P53 je rozdíl koncentrací ve složkách odtoku nepatrný, kdežto u povodí T7U a P52 je to jinak. Na drenážovaných povodí P6 (62 %) a P53 (92%) jsou rozdíly koncentrací v základní i přímém odtoku statisticky neprůkazné (dosažená hladina významnosti v t-testu $p > 0,05$). Na povodích P6 a P53 také dochází k ředění aniontů, jedná se však o více drenážovaná území, na kterých dominuje orná půda. Na těchto povodích je intenzivně hospodařeno a hnojeno minerálními hnojivy, kdy mineralizovaný dusík je hromaděn v celém půdním

profilu a při vysokých srážkách je rychleji vyplavován, díky dobré propustnosti (infiltraci) půdního profilu.

Kdežto na méně drenážovaných povodích T7U (10 %) a P52 (16 %) jsou koncentrace v základním odtoku statisticky průkazně vyšší (t-test, $p < 0,05$) než v odtoku přímém. U méně drenážovaných povodí P52 a T7U dochází k ředění dusičnanového dusíku, protože srážková voda obsahuje nízké koncentrace $N-NO_3^-$, kdežto u drenážních systémů P6 a P53 se to tak nejeví. MORAVCOVÁ (2011) ve své práci potvrzuje, že za srážko-odtokových událostí na povodích Jenínského potoka (J1 a J2) dochází k ředění dusičnanových aniontů a k poklesu jejich koncentrací v odtoku. Zároveň dodává, že v první fázi srážko-odtokové události dochází k prudkému poklesu koncentrací. BYSTRICKÝ (2012) je také názoru, že za vysokých srážkových úhrnů dochází k ředění dusičnanů a následnému poklesu koncentrací v přímém odtoku.

Tabulka 10: Přehled průměrných koncentrací $P_{celk.}$ v jednotlivých složkách odtoku

Povodí	Živina	Typ odtoku	Průměrné koncentrace [mg/l]
P6	$P_{celk.}$	Q_z	0,051
		Q_p	0,085
P52	$P_{celk.}$	Q_z	0,070
		Q_p	0,108
P53	$P_{celk.}$	Q_z	0,050
		Q_p	0,072

V tabulce 10 vidíme, že koncentrace fosforu na všech povodích, ať už méně či více drenážovaných jsou statisticky průkazně vyšší (T-test) v přímém odtoku, nežli v odtoku základním. Fosfor je vázán na půdní částice a je tedy vyplavován současně s erozí půdy (ta se vyskytuje při vyšších srážkových událostech, kdy je právě vyšší zastoupení přímého odtoku). A protože to tak je i v drenážních vodách, tak se erozní činnost neomezuje pouze na povrch půdy, ale dochází i k vnitropůdní erozi (drenážní voda při srážce není průhledná, ale obsahuje erodované části). MORAVCOVÁ (2011) při sledování vývoje koncentrací fosforečnanových aniontů zjistila na povodích J1 a J2, že během srážko-odtokových epizod je zvýšené vyplavování aniontů zaznamenáno v 71 % případů.

5.4 Stanovení vlivu drenážních systému na jakost povrchových vod

Při porovnání výsledků nelze mluvit o drenážovaných a nedrenážovaných povodích, jelikož na každém sledovaném povodí je vybudována drenáž v určité míře. Můžeme tedy mluvit o povodích více či méně drenážovaných a porovnat je. Jak je popsáno v literární rešerši a potvrzeno další literaturou, je důležité hodnotit koncentrace dusíku a fosforu zvlášť, jelikož chování těchto prvků v různých formách půdním profilu je odlišné což potvrzuje ve své práci BYSTRICKÝ (2012).

Vyhodnocením časových řad dusičnanů jsme zjistili, že nejvyšších hodnot bylo dlouhodobě a výrazně dosahováno na povodích P6 a P53, které jsou drenážovaná z 62 a 92 %. Na povodích P6 a P53 jsme po provedení separace odtoku dále zjistili, že v základním odtoku jsou průměrné koncentrace vyšší než v odtoku přímém. Je také nutno podotknout, že na obou zmiňovaných povodích je intenzivně hospodařeno. Na povodích Jenínského potoka J1, J2 a J3 je podíl drenáží také poměrně vysoký více než 50 % a hodnoty dusičnanů jsou zde značně nižší. tyto plochy jsou však využívány jako louky a pastviny. Využití území zde hraje rozhodující roli, což potvrzuje KVÍTEK A KOL. (2009) který uvádí, že mezi dvěma různými oblastmi České republiky (okres Pelhřimov a okres Český Krumlov) došel k rozdílným závěrům. V okrese Český Krumlov, kde se po r. 1989 změnilo land use (zatravňování) a snížila se intenzita minerálního hnojení, došlo k významnému zlepšení (poklesu) koncentrací dusičnanů v povrchových vodách, kdežto v okrese Pelhřimov (pokles minerálního hnojení bez změny land use) nebyla zaznamenána žádná změna. NJOS (1994) také tvrdí, že vyplavování dusičnanů je pod trvalým travním porostem průkazně nižší než pod ornoů půdou. FUČÍK A KOL. (2010) provedl měření na 22 zemědělských drenážních systémech, kdy všechny systémy byly bez závad a fungovaly. Sledované lokality se většinou nacházely na svahu a pro většinu typickým půdním představitelem byla kambizem, v nižších polohách pak kambizem oglejená a pseudoglej. Monitoring probíhal od léta 2004 do podzimu 2006 a pak v roce 2009. Na odvodňovaných plochách byla provedena analýza zastoupení jednotlivých kultur a podle vlastností BPEJ byly tyto oblasti rozděleny do 5. kategorií infiltrační zranitelnosti podle metodiky JANGLOVÁ A KOL. (2003). FUČÍK (2010) shrnuje výsledky svého výzkumu následovně. Parametry, které nejvíce ovlivňují hodnoty koncentrací $N-NO_3^-$ je plošné zastoupení orné půdy a plošné zastoupení trvalých travních porostů. Tyto parametry však působí opačně, protože zastoupení orných půd

kladně koreluje s koncentracemi N-NO_3^- (tzn. čím více orné půdy, tím vyšší koncentrace N-NO_3^-), kdežto zastoupení TTP koreluje negativně (tzn. čím více TTP, tím nižší koncentrace N-NO_3^-). HEJZLAR A KOL. (2001) ve svém výzkumu došel k závěru, že orná půda v subpovodích způsobovala velký nárůst koncentrací dusičnanového a celkového dusíku. DODDS a OAKES (2006) podotýkají, že koncentrace dusíku korelují s land use lépe než koncentrace fosforu.

Vyhodnocením časových řad fosforu na sledovaných povodích, jsme zjistili, že dlouhodobě je nejvyšších hodnot dosahováno na povodích Jenínského potoka J1, J2 a J3, kde podíl drenáží je více než 50 %. Nejnižší hodnoty byly dlouhodobě naměřeny na povodích s nejvyšším zastoupením drenáží a to na P6 (62 %) a P53 (92 %). Důležité je, že na povodích Jenínského potoka (J1, J2 a J3) se jednalo o hodnoty fosforečnanů, což je jedna ze složek celkového fosforu. Celkový fosfor byl měřen na povodích Kopaninského potoka (P6, P52, P53). Po separaci odtoku a vyhodnocení průměrných koncentrací fosforu v jednotlivých složkách na P6 a P53 se ukázalo, že průkazně vyšší jsou hodnoty koncentrací v přímém odtoku než v odtoku základním, což potvrzuje i BYSTRICKÝ (2012). SIMARD A KOL. (2000) říká, že na vyplavování fosforu má vliv využití území, jelikož u trvalých travních porostů je fosfor akumulován v povrchové vrstvě půdy a na povrchu, kdežto u intenzivního hospodaření je promíchán do nižších vrstev. KOPÁČEK A HEJZLAR (1998) na základě procesů v půdě uvádějí, že více fosforu je vyplavováno ze zamokřených půd a půd s trvalým travním porostem, než z minerálních dobře arovaných půd. GRANT A KOL. (1996) tvrdí, že poměr rozpuštěných fosforečnanů a nerozpuštěného fosforu v drenážních vodách je ovlivněn závislostí na ročních obdobích, hydrologickou situací v lokalitě, způsobem využití půdy (zornění, trvalé kultury, použitá agrotechnika), druhem a množstvím aplikovaného hnojiva a s jeho použitím a načasováním. HEJZLAR A KOL. (2001) na základě výzkumu došli k závěru, že přítomnost luk a pastvin v subpovodích zvyšovala statisticky průkazně, i když ve srovnání s komunálními zdroji velmi mírně, koncentrace fosforu ve vodní nádrži.

6 ZÁVĚR

Ve své diplomové práci jsem se zabýval drenážními systémy, drenážním odtokem a koncentracemi fosforu, ve formě celkového fosforu a fosforečnanů. Dále koncentracemi dusíku ve formě dusičnanů, jelikož právě tyto prvky mají negativní dopad na jakost povrchových vod, proto je potřebné jejich stálé sledování a regulování. Cílem práce bylo analyzovat a stanovit vliv drenážních systémů resp. koncentrací těchto výše zmíněných polutantů na jakost povrchových vod.

Všechna zájmová povodí, byla buď méně, nebo více drenážovaná. Nikdy se nejednalo o plně drenážované povodí, nebo o povodí bez výskytu drenáže. Každé povodí se lišilo procentem zastoupení drenáže, využitím území, rozlohou a dalšími faktory.

U koncentrací dusičnanů je zřejmé, že nejvyšších hodnot je dlouhodobě dosahováno na více drenážovaných povodí. Na těchto povodích je ovšem intenzivně hospodařeno a orná půda s vegetačním pokryvem je pravidelně hnojena. Na povodích, kde je odvodnění vybudováno více jak na 50 % plochy a vegetační pokryv tvoří trvalý travní porost, jsou koncentrace výrazně nižší. To potvrzuje i studie FUČÍKA (2010), který uvádí, že čím vyšší zastoupení orné půdy v povodí, tím vyšší koncentrace dusičnanů.

Na povodích s malým % zastoupení drenážních systémů po separaci odtoku vykazuje základní odtok vyšší koncentrace, nežli odtok přímý. To však může být zapříčiněno ředěním přímého odtoku srážkovou vodou.

Koncentrace fosforu mají zcela odlišné chování než dusičnany. Jak jsme zjistili na základě časových řad, je u nich špatně viditelná pravidelnost v poklesu nebo nárůstu během sledovaného období. Fosfor je vázán na půdní částice a nejvyšších koncentrací dosahuje za vysokých srážkových úhrnů. Což nám potvrzuje fakt, že podstatně vyšších hodnot je zaznamenáno v odtoku přímém, než v odtoku základním. Dále značně vyšších hodnot bylo dosahováno na povodích s trvalým travním porostem než na povodích se zastoupením orné půdy.

Koncentrace dusičnanů, celkového fosforu a fosforečnanů jsou ovlivněny drenážními systémy za určitých podmínek. Přítomnost, či nepřítomnost drenážních systémů je jen jedním z faktorů, který ať už kladně nebo záporně ovlivňuje koncentrace těchto sledovaných prvků. Dalšími faktory jsou využití území, srážkový úhrn (srážko-odtoková událost), geologické a pedologické vlastnosti, geografie území a morfologické vlastnosti. Na základě dosažených výsledků pozorujeme, že nejvlivnějším faktorem je land use (využití území).

7 LITERATURA

1. ALBRECHT, J.: Okres Český Krumlov, Agentura ochrany přírody a krajiny České republiky, Praha, s. 162.216, 2003
2. ARNOLD, J.G., ALLEN, P.M.: Automated methods for estimating baseflow and ground water recharge from streamflow records. *Journal of the American Water Resources Association*, 35, s. 411-424., 1999
3. BENETIN, J.; DVOŘÁK, J.; FÍDLER, J.; KABINA, P. *Odvodňovania*. Bratislava: nakladatelství Příroda, 1987.
4. BERÁNKOVÁ, T. Přístup k hodnocení náchylnosti zemědělských povodí ke ztrátám fosforu z půdy do vody. *Vodní hospodářství*, 2010, 7, 182-184 s.
5. BYSTRICKÝ, V.: Analýza časových řad nutrientů v celkovém i základním odtoku ve vybraném povodí, Dizertační práce. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích), 2012
6. DEMEK, J.: *Geomorfologie českých zemí*. Praha: Nakladatelství Československé akademie věd. 335 s., 1965
7. DEMEK, J.: *Zeměpisný lexikon ČSR, Hory a nížiny*. Academia, 584 s., Praha, 1987
8. DODDS, W.K., OAKES, R.M. Controls on nutrients across a prairie stream watershed: land use and riparian cover effects. *Environmental Management*, 37, 2006, s. 634-646. In BYSTRICKÝ, V.: *Analýza časových řad nutrientů v celkovém i základním odtoku ve vybraném povodí*, Dizertační práce. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích), 2012
9. DOLEŽAL, F.; KULHAVÝ, Z.; KVÍTEK, T.; SOUKUP, M.; TIPPL, M. Methods of runoff separation applied to small stream and tile drainage runoff. In HOLKO, L.; MILÁNEK, P. *Interdisciplinary approaches in small catchment hydrology: Monitoring and research*. IHP-VI Technical Documents in Hydrology No. 67. Paris: UNESCO, 2003.

10. DOLEŽAL, F.; KULHAVÝ, Z.; SOUKUP, M.; KODEŠOVÁ, R., Hydrology of the drainage runoff, European Geophysical Society, XXV General Assembly, Physics and Chemistry of the Earth, 2001.
11. DOSTÁL, J.; HABERLE, J.; KLÍR, J.; KOZLOVSKÁ, L.; KVÍTEK, T.; RŮŽEK, P.; KOUŘA, J. Zásady správné zemědělské praxe zaměřené na ochranu vod před znečištěním dusičnany ze zemědělských zdrojů. Praha : MZE ČR Ústav zemědělských a potravinářských informací, 2003.
12. EICHLER, J.; SOUKUP, M.; PILNÁ, E. Využití DMT při návrhu retardace podzemního drenážního odtoku. Sborník GIS Seč 2000, Seč, 2000
13. ERIKSSON, J. Soil Function and Drainage. Proceedings of the international Workshop. Wageningen, 1979.
14. FUČÍK, P., et al. Posuzování vlivu odvodňovacích systémů a ochranných opatření na jakost vody v zemědělsky obhospodařovaných povodích drobných vodních toků. Praha : VÚMOP, v.v.i., 2010.
15. GERGEL, J., et al. Metodika 12/1994 : Hlavní zásady pro odběr a vyhodnocování kvality povrchových vod odtékajících ze zemědělsky využívaných povodí. Praha : VÚMOP, v.v.i., 1994.
16. GRANT, R.; LAUBEN, A.; KRONVANG, B.; ANDERSEN, H.E.; SVENSEN, L.M. Loss of dissolved and particulate phosphorus from arable catchments by subsurface drainage. Water research, 1996.
17. HAVLÍK, Aleš. Základy hydrologie [online]. 2010 [cit. 2014-11-25]
18. HEATHWAITE, A.L., JOHNES, P.J., PETERS, N.E. Trends in nutrients. Hydrological processes, 10, 1996, s. 263-293.
19. HEJZLAR, J., ŽALOUDEK J., ROHLÍK V. Koncentrace živin (N, P) v tocích v povodí nádrže Lipno a jejich závislost na struktuře krajinného krytu [http://www.npsumava.cz/storage/82_86.pdf]. 2001 [cit. 2014-11-28]
20. HENDL, Jan. Přehled statistických metod zpracování dat: Analýza a metaanalýza dat. 1. vyd. Praha: Portál, 2004, 583 s. ISBN 80-717-8820-1

21. HINDLS, R., HRONOVÁ St., SEGER J. a FISCHER J. Statistika pro ekonomy. 7. vyd. Praha: Professional Publishing, 2006, 415 s. ISBN 80-869-4616-9.
22. HLAVÍNEK, P.; ŘÍHA, J. Jakost vody v povodí. Nakladatelství Cerm, Brno, 2004.
23. HODGKINSON, R.A., B.J. CHAMBERS, P.J.A. WITHERS AND R. CROSS. Phosphorus losses to surface waters following organic manure applications to a drained clay soil. *Agric. Water Manage.* 57, 2002, 155–173 s. Dostupné z: <http://www.deepdyve.com/lp/elsevier/phosphorus-losses-to-surface-waters-following-organic-manure-8TF0YgxtAa>
24. CHAPMAN, T.G.: A comparison of algorithms for stream flow recession and baseflow separation. *Hydrological Processes* 13, , s. 701–714. 1999
25. JANGLOVÁ, R., KVÍTEK, T., NOVÁK, P. Soil infiltration capacity categorisation based on a geo – informatic synthesis of the Comprehensive Soil Survey and Valuated Soil – Ecological Units data. *Soil and Water* 2: 61 – 82. Research Institute for Soil and Water Conservation. Praha, 2003.
26. JŮVA, K. Vodohospodářské meliorace. Odvodnění - závlaha. Praha: SNTL, 1964
27. KOČÍ, V.; BUKHARD, J.; MARŠALEK, B. Eutrofizace na přelomu tisíciletí. In *Eutrofizace 2000*. Praha : Fakulta technologie ochrany prostředí, 2000.
28. KOPÁČEK, J. A HEJZLAR, J., 1998: Water chemistry of surface tributaries to the acidified mountain lakes in the Bohemian Forest. *Silva Gabreta*, 2: 175–197. In HEJZLAR, J., ŽALOUDÍK J., ROHLÍK V. Koncentrace živin (N, P) v tocích v povodí nádrže Lipno a jejich závislost na struktuře krajinného krytu [http://www.npsumava.cz/storage/82_86.pdf]. 2001 [cit. 2014-11-28]

29. KULHAVÝ, Z.; DOLEŽAL, F.; SOUKUP, M. Separace složek drenážního odtoku a její využití při klasifikaci existujících drenážních systémů. Praha : Vědecké práce VÚMOP, v.v.i., 2001
30. KULHAVÝ, Z.; SOUKUP, M.; ČMELÍK, M.; DOLEŽAL F. Zemědělské odvodnění v kulturní krajině – sborník z panelové diskuze a workhopu. Praha : VÚMOP, v.v.i., 2005.
31. KULHAVÝ, Z.; SOUKUP, M.; DOLEŽAL, F.; ČMELÍK, M. Zemědělské odvodnění drenáží - Racionalizace využívání, údržby a oprav. Praha : VÚMOP, v.v.i., 2007.
32. KVÍTEK, T. Meliorace v lesním hospodářství a krajinném inženýrství: sborník referátů. Praha: Lesnická práce s.r.o. 2006. 276 s. ISBN 80-213-1446
33. KVÍTEK, T., DOLEŽAL, F. Vodní a živinný režim povodí Kopaninského toku na Českomoravské vrchovině. Acta Hydrologica Slovaca, 4, 2003, s. 255-264.
34. KVÍTEK, T.; BYSTRICKÝ, V.; PETERKOVÁ, J.; ŽLÁBEK, P.; Moravcová, J.: Dynamika koncentrací a interakce obsahu dusičnanů a fosforu na malých zemědělsko-lesních subpovodích v povodí VN Švihov na Želivce. Vodní hospodářství, 2012
35. KVÍTEK, T., GERGEL, J., KVÍTKOVÁ, G. Využití a ochrana vodních zdrojů. České Budejovice : Jihočeská univerzita, Zemědělská fakulta, 2005, 169 stran, ISBN 80-7040-773-5.
36. KVÍTEK, T.; GERGEL, J.; ONDR, P.; ZÁMIŠOVÁ, K. Zemědělské meliorace. České Budějovice : Jihočeská univerzita, Zemědělská fakulta, 2006. ISBN 80-704-0858-8.
37. KVÍTEK, T; TIPPL, M. Zemědělské informace : Ochrana povrchových vod před dusičnany z vodní eroze a hlavní zásady protierozní ochrany v krajině. Praha : ÚZPI, 2003.
38. MÍČHAL, I. Ekologická stabilita. Brno : Veronica, ekologické středisko ČSOP Brno, 1994.

39. MORAVCOVÁ, J. Vliv krajinných struktur na vybrané ukazatele jakosti vody při zvýšených průtocích jako podklad pro projekci KPÚ. Dizertační práce, Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, 2011, 146 s.
40. NJOS, A. Future land utilisation and management for sustainable crop production. *Soil and Tillage Research*, 30, 1994, s. 345-357. In BYSTRICKÝ, V.: Analýza časových řad nutrientů v celkovém i základním odtoku ve vybraném povodí, Dizertační práce. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích), 2012
41. NOVÁK, P. Půda a voda po provedeném odvodnění. In Sborník semináře Problematika vodního hospodářství v zemědělství a lesnictví. Praha : VÚMOP, v.v.i., 1994.
42. NOVOTNÝ, V.; CHESTERS, G. Handbook of nonpoint pollution – sources and management. Litton educational publishing, 1981.
43. PITTER, P. Hydrochemie. Praha :Vydalo SNTL - Nakladatelství technické literatury, n.p., 1990.
44. QUITT, E.: Klimatické oblasti Československa. *Studia Geographica*, Geografickýústav ČSAV, 73 s., Brno, 1971
45. ROYER, T.V., DAVID, M.B., GENTRY, L.E. Timing of riverine export of nitrate and phosphorus from agricultural watersheds in Illinois: implications for reducing nutrient loading to the Mississippi River. *Environmental Science and Technology*, 40, 2006, s. 4126-4131. In BYSTRICKÝ, V.: Analýza časových řad nutrientů v celkovém i základním odtoku ve vybraném povodí, Dizertační práce. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích), 2012
46. SIMARD, R.R., BEAUCHEMIN, S., HAYGARTH, P.M. Potential for preferential pathways for phosphorus transport. *Journal of Environmental Quality*, 29, 2000, s. 97-105.
47. SKLENIČKA, Petr. Základy krajinného plánování. Vyd. 2. Praha: Naděžda Skleničková, 2003, 321 s. ISBN 80-903-2061-9.
48. ŠIMEK, M. Základy nauky o půdě (3. Biologické procesy a cykly prvků). Biologická fakulta JU, České Budějovice, 2003, 151 s.

49. ŠTAMBEROVÁ, M., MICHALOVÁ, M., MIKŠOVSKÝ, J., PRCHALOVÁ, H. Vodní zdroje v České republice. Publikace SVP č. 47. Brno: MŽP, 1998, 89 s. ISBN neuvedeno.
50. ŠTĚPÁNEK, M., ČERVENKA R. Problémy eutrofizace v praxi. Praha : Avicenum, 1974.
51. ŠTIBINGER, J.; KULHAVÝ, Z. Úpravy vodního režimu půd odvodněním. Praha : Česká zemědělská univerzita, VÚMOP, v.v.i.. 2010. ISBN 978-80-213-2132-8.
52. TLAPÁK, V., ŠÁLEK, J., LEGÁT, V. Voda v zemědělské krajině. Zemědělské nakladatelství Brázda, 1992, 318 stran, ISBN 80-209-0232-5.
53. TUNNEY, H.; CARTON, O.T.; BROOKES, P.C.; JOHNSTON, A.E. Phosphorus Loss from Soil to Water. CAB International, Wallingford, UK, 1997.
54. VESECKÝ, A., PETROVIC, S., BRIEDON, V., KARSKÝ, V. Atlas podnebí Československé republiky. Ústřední správa geodézie a kartografie, Praha, 1958
55. WHO. Eutrofizace a zdraví. Praha : Státní zdravotní ústav, 2002.
56. ŽLÁBEK, P.: Vliv uspořádání krajinné matrice na složky odtoku. České Budějovice, 70 s. Dizertační práce. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, 2009

Právní normy

1. ČSN 75 0101 Vodní hospodářství – Základní terminologie. Praha : Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2003. 28 s.
2. ČSN 75 7221 Jakost vod – Klasifikace jakosti povrchových vod. Praha : Český normalizační institut, 1998.
3. SMĚRNICE RADY 91/676/EHS o ochraně vod před znečištěním dusičnany ze zemědělských zdrojů (tzv. nitrátová směrnice), ve znění pozdějších předpisů.

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1: Třídy čistoty vody dle ČSN 75 7221 (ČSN 75 7221, 1998)	10
Tabulka 2: Klimatické charakteristiky na zájmové lokalitě Kopaninského potoka	24
Tabulka 3: Zastoupení jednotlivých kultur na povodí Kopaninského toku.....	26
Tabulka 4: Klimatické charakteristiky zájmové lokality Jenínský potok.....	28
Tabulka 5: Zastoupení jednotlivých kultur na povodí Jenínského toku.....	30
Tabulka 6: Výsledné hodnoty statistického souboru na jednotlivých povodí.....	42
Tabulka 7: Výsledné hodnoty statistického souboru pro celkový fosfor a fosforečnany na jednotlivých povodích	48
Tabulka 8 Přehled separace odtoku na povodích Kopaninského potoka	50
Tabulka 9: Přehled průměrných koncentrací N-NO ₃ v jednotlivých složkách odtoku ..	51
Tabulka 10: Přehled průměrných koncentrací P _{celk.} v jednotlivých složkách odtoku	52

SEZNAM GRAFŮ

Graf 1: Vývoj koncentrací v měsíčních průměrech v zájmovém území Kopaninský potok.....	38
Graf 2: Vývoj koncentrací v zájmové lokalitě Jenínský potok	39
Graf 3: Histogram dusičnanů v intervalech po 5 mg/l.....	40
Graf 4: Empirická čára překročení dusičnanů pro jednotlivá povodí.....	41
Graf 5: Korelace mezi povodími J1 a J2	43
Graf 6: Vývoj koncentrací v měsíčních průměrech v zájmovém území Kopaninský potok.....	44
Graf 7: Vývoj koncentrací v zájmové lokalitě Jenínský potok	45
Graf 8: Histogram fosforu a fosforečnanů v intervalech po 0,050 mg/l.....	46
Graf 9: Empirické čáry překročení celkového fosforu (P6, P52, P53) a fosforečnanů (J1, J2, J3) pro jednotlivá povodí	47
Graf 10: Korelace fosforu mezi povodími J1 a J2	49

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1: Hlavní procesy přeměn fosforu v půdě.....	13
Obrázek 2: Hlavní procesy přeměn dusíku v suchozemském ekosystému	14
Obrázek 3: Lokalizace zájmových lokalit Jenín a Kopanina na mapě ČR.....	22

Obrázek 4: Zájmová lokalita Kopaninského potoka na ortofotu.....	25
Obrázek 5: Využití zájmového území Kopaninského toku	25
Obrázek 6: Zájmová lokalita Jenínského potoku na ortofotu.....	29
Obrázek 7: Využití území na zájmové lokalitě Jenínský potok	29
Obrázek 8 Histogram četností a empirická čára překročení.....	34