

JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH  
ZEMĚDĚLSKÁ FAKULTA

Studijní program: N4106 Zemědělská specializace

Studijní obor: Pozemkové úpravy a převody nemovitostí

Katedra: Katedra krajinného managementu

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

Diplomová práce

Analýza výskytu vysokých koncentrací celkového  
fosforu v malých zemědělských subpovodích

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

Autor diplomové práce: Bc. Jiří Dušek

České Budějovice, 2017

JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH

Fakulta zemědělská

Akademický rok: 2016/2017

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Jiří DUŠEK**

Osobní číslo: **Z15319**

Studijní program: **N4106 Zemědělská specializace**

Studijní obor: **Pozemkové úpravy a převody nemovitosti**

Název tématu: **Analýza výskytu vysokých koncentrací celkového fosforu v malých zemědělských subpovodích**

Zadávací katedra: **Katedra krajinného managementu**

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

Přísun živin (zejména fosforu a dusíku) do vodního prostředí je příčinou eutrofizace vod, která je závažným ekologickým i vodohospodářským problémem. Limitujícím faktorem eutrofizace vod v ČR je převážně právě fosfor, proto je důležité pozorovat a analyzovat výskyt jeho vysokých koncentrací. Tato práce se bude zabývat analýzami časových řad naměřených koncentrací celkového fosforu v malých zemědělských povodích v ČR.

Rámcový obsah DP:

Rešerše na dané téma.

Výběr vhodných povodí a jejich popis.

Zpracování (očistění) naměřených dat.

Analýzy časových řad koncentrací celkového fosforu.

Vyhodnocení, diskuze a závěr.

Rozsah grafických prací: **dle potřeby**  
Rozsah pracovní zprávy: **50-55 stran textu**  
Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**  
Seznam odborné literatury:

Novotny, V. Water quality (Diffuse pollution and watershed management). John Wiley and sons, New York, 2003, 864 s.

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

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

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

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

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

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

Datum zadání diplomové práce: **14. března 2017**

Termín odevzdání diplomové práce: **30. dubna 2017**



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

JIHOČESKÁ UNIVERZITA  
V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH  
ZEMĚDĚLSKÁ FAKULTA  
studijní oddělení  
Studentská 1868, 370 05 České Budějovice



doc. Ing. Pavel Ondr, CSc.  
vedoucí katedry

V Českých Budějovicích dne 14. března 2017

## Prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracoval samostatně s využitím uvedených pramenů a literatury uvedených v seznamu citované literatury. Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním své diplomové práce, a to v nezkrácené podobě (v úpravě vzniklé vypuštěním vyznačených částí archivovaných Zemědělskou fakultou JU) elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejích internetových stránkách, a to se zachováním mého autorského práva k odevzdanému textu této kvalifikační práce. Souhlasím dále s tím, aby toutéž elektronickou cestou byly v souladu s uvedeným ustanovením zákona č. 111/1998 Sb. zveřejněny posudky školitele a oponentů práce i záznam o průběhu a výsledku obhajoby kvalifikační práce. Rovněž souhlasím s porovnáním textu mé kvalifikační práce s databází kvalifikačních prací Theses.cz provozovanou Národním registrem vysokoškolských kvalifikačních prací a systémem na odhalování plagiátů.

V Českých Budějovicích dne:

.....

Bc. Jirí Dušek

.....

podpis

## **Poděkování:**

Rád bych tímto poděkoval vedoucímu mé diplomové práce Ing. Václavu Bystřickému, Ph.D. za odborné vedení, profesionální přístup, cenné rady, připomínky a trpělivost při zpracovávání práce a dále bych chtěl poděkovat svojí rodinně za pomoc a podporu po celou dobu studia.

## **Abstrakt**

Tato diplomová práce je zaměřena na analýzu výskytů vysokých koncentrací celkového fosforu ve sledovaných malých zemědělských subpovodích. V práci je rozebírán koloběh fosforu v přírodě, ve vodním prostředí a problematika eutrofizace vod. Součástí práce byl dále popis zájmového území - pro dosažení cílů diplomové práce byla zvolena tři malá zemědělská subpovodí, na nichž byly analyzovány výskyty vysokých koncentrací celkového fosforu a vliv srážko-odtokových událostí na tyto výskyty. Dále v práci byly popsány použité statistické metody a vyhodnoceny výsledky. Ve finální části práce byl z dosažených výsledků stanoven vliv srážko-odtokových událostí na výskyt vysokých koncentrací celkového fosforu v zájmovém území a byly stanoveny další pravděpodobné faktory, které ovlivnily výskyt vysokých koncentrací celkového fosforu v průběhu sledovaného období.

### **Klíčová slova**

Fosfor, živiny, eutrofizace, eroze, odtok, srážky

## **Abstract**

This thesis focuses on analysis of the peak values of phosphorus concentration in small agriculturally used subcatchments. The cycle of phosphorus in nature, in water and issue of the eutrophication is described in this thesis as well as basic characteristics of three monitored subcatchments. The concentration of phosphorus, flow rate and precipitation was measured in these three monitored subcatchments. Peak values of phosphorus concentration and possible impact of rainfall-runoff occurrences on these peak values are as well analyzed in this thesis. This research uses statistical methods. The final part of this thesis assesses the impact of rainfall-runoff occurrences on the peak values of phosphorus concentration. Other possible factors which could cause these peak values are also discussed.

## **Key words**

Phosphorus, nutrients, eutrophication, erosion, runoff, precipitation

## Obsah

1.	ÚVOD .....	11
2.	CÍLE PRÁCE .....	12
3.	LITERÁRNÍ REŠERŠE .....	13
3.1	Zdroje fosforu .....	13
3.2	Formy fosforu .....	14
3.3	Koloběh fosforu v krajině .....	16
3.4	Fosfor ve vodním prostředí .....	18
3.4.1	Jak se měnila koncentrace fosforu ve vodním prostředí v posledních 60 letech .....	19
3.4.2	Odnos fosforu při srážko-odtokových událostech .....	23
3.4.3	Změna koncentrace fosforu ve vodním prostředí v závislosti na srážko-odtokových událostech .....	24
3.5	Eutrofizace .....	25
4.	MATERIÁL .....	30
4.1	Povodí Kopaninského toku .....	30
4.1.1	Geomorfologie a geologie .....	32
4.1.2	Pedologie .....	32
4.1.3	Klima .....	34
4.1.4	Zkoumaná subpovodí .....	35
5.	METODY .....	38
5.1	Sběr dat .....	38
5.2	Popisná statistika (EDA) .....	38
5.3	Empirická čára překročení .....	41
5.4	Index předchozích srážek (API) .....	42
5.5	Stanovení průměrných denních odnosů celkového fosforu .....	43



6.	VÝSLEDKY .....	44
6.1	Vyhodnocení statistických souborů dat koncentrace fosforu a srážkových úhrnů na jednotlivých zájmových subpovodích .....	44
6.1.1	Vyhodnocení statistických souborů dat koncentrace fosforu .....	44
6.1.2	Vyhodnocení statistických souborů dat srážkových úhrnů .....	46
6.2	Vyhodnocení časových řad koncentrace celkového fosforu v zájmových subpovodích a srážkových úhrnů .....	48
6.2.1	Subpovodí P6 .....	48
6.2.2	Subpovodí P52 .....	49
6.2.3	Subpovodí P53 .....	49
6.2.4	Srážkoměrné stanice T7U a U Turků .....	50
6.2.5	Empirická čára překročení .....	51
6.2.6	Stanovení výskytu extrémních koncentrací celkového fosforu... ..	52
6.3	Stanovení Indexu předchozích srážek (API) .....	54
6.4	Odnosy celkového fosforu.....	55
6.5	Analýza vlivu srážko-odtokových událostí na výskyt extrémních koncentrací fosforu v zájmových subpovodích .....	57
7.	DISKUZE.....	58
7.1	Vliv srážko-odtokových událostí na výskyt extrémních koncentrací celkového fosforu v zájmových subpovodích .....	58
7.2	Vliv bodových zdrojů na výskyt extrémních koncentrací celkového fosforu v zájmových subpovodích.....	59
7.3	Vliv dalších faktorů na výskyt extrémních koncentrací celkového fosforu v zájmových subpovodích.....	60
8.	ZÁVĚR .....	63
9.	SOUHRNY .....	64
9.1	Seznam použité literatury a zdrojů .....	64
9.2	Seznam obrázků .....	70

9.3	Seznam tabulek.....	71
9.4	Seznam grafů.....	71
10.	PŘÍLOHY .....	72

# 1. ÚVOD

Přísun živin, především fosforu a dusíku, je nezbytný pro život všech organismů a ztráta těchto minerálních látek může mít negativní vliv na fungování všech ekosystémů na Zemi (Schröder, 2004). Nadměrný přísun živin do vodního prostředí je ovšem příčinou eutrofizace vod, která je závažným ekologickým i vodohospodářským problémem. Limitujícím faktorem eutrofizace vod v ČR je převážně právě fosfor, proto je důležité pozorovat a analyzovat výskyt jeho vysokých koncentrací.

Za největší zdroje výskytů vysokých koncentrací celkového fosforu a fosforečnanů v povrchových vodách jsou považovány erozní smyvy z hnojených zemědělských pozemků a tzv. bodové zdroje (nárůst splašků a odpadních vod) (Novotný, 2003). Určující vliv na erozní smyv půdy, obohacený o minerální látky, mají přívalové srážky, při kterých se voda nestačí vsáknout do půdy a tvoří se silný povrchový odtok (Tlapák, 1992). V důsledku velké kinetické energie dopadajících dešťových kapek je půda rozrušována a spolu s minerálními látkami odnášena vodou v povrchovém odtoku (Buzek, 1983).

Z pohledu vlivu srážko-odtokových událostí na výskyt vysokých koncentrací celkového fosforu v povrchových vodách dochází během těchto událostí nejprve k vyplavování nerozpuštěných látek z externích zdrojů mimo koryto vodoteče, tedy hlavně z blízkých zemědělsky využívaných pozemků (Harmel, 2005). Nerozpuštěné látky jsou na těchto pozemcích snadno uvolnitelné a rychle transportovatelné a v malých zemědělských subpovodích může i malý nárůst průtoku vést k náhlému a prudkému zvýšení koncentrace celkového fosforu v povrchovém odtoku (Bronsdon, 2000).

Sledování koncentrace minerálních látek (zejména fosforu a dusíku) v povrchových vodách je jednou z klíčových činností v hydrologii. Monitoring plavenin je totiž důležitý pro zjištění kvality povrchových vod, předcházení zanášení vodních toků a nádrží i pro ochranu zemědělské půdy a zjištění její případné erozní ohroženosti (Alexandrov, 2007).

## **2. CÍLE PRÁCE**

Hlavními cíli této práce byla analýza časových řad naměřených koncentrací celkového fosforu a srážkových úhrnů ve sledovaném období na vybraných malých zemědělských subpovodích v ČR a vyhodnocení vlivu srážko-odtokových událostí na výskyty vysokých koncentrací celkového fosforu, jako důležitého faktoru.

Dílčími cíli diplomové práce bylo stanovení dalších pravděpodobných faktorů, které ovlivnily výskyt vysokých koncentrací celkového fosforu v průběhu sledovaného období.

### 3. LITERÁRNÍ REŠERŠE

Fosfor je chemickým prvkem a v půdním prostředí je velmi často limitující živinou pro produktivitu i růst rostlin, které jsou přímo závislé na dostupnosti a množství fosforu v půdě (Šimek, 2003). Fosfor a jeho sloučeniny se nezastupitelně podílejí na koloběhu látek v přírodě. Nezbytně je totiž potřebují nižší i vyšší organismy, které je následně přeměňují na organicky vázaný fosfor. Když organismy uhynou a rozloží se, fosforečnany jsou uvolňovány zpět do prostředí. Fosforečnany se rovněž významně podílejí na růstu sinic a řas ve vodě (Pitter, 1999). Fosfor se vyskytuje poměrně hojně v zemské kůře a je celkově 11. prvkem v pořadí výskytu. Množství fosforu je rozhodujícím faktorem, který se odráží na kvalitě atmosféry, půdy, povrchových vod a podzemních vod a jeho ztráta může mít negativní vliv na fungování všech ekosystémů a to i planety Země jako celku (Schröder, 2004).

#### 3.1 Zdroje fosforu

Za přírodní zdroj fosforu je považováno vyluhování a rozpouštění zvětralých hornin a minerálů, které fosfor obsahují. Po tom, co je fosfor uvolněn ze zvětralých hornin, dále vstupuje do vlastního geochemického cyklu (Pitter 1999). Pro vodní ekosystémy je zdrojem fosforu zejména pevnina a v menší míře pak přímá atmosférická depozice. Jezera jsou totiž otevřenými systémy, které mají hned několik vstupů i výstupů, ovšem největším zdrojem živin je celá okolní oblast povodí. Chemické prostředí jezera tak vytváří obraz stavu a vlastností půd v okolním povodí (Kalff, 2002).

Asi 0,1 % fosforu je obsaženo v zemské kůře ve formě nerozpustných fosforečnanů železa, hořčíku, vápníku a hliníku. Nahromaděním těchto sloučenin vznikají ložiska fosfátových nerostů (Lellák, 1991).

Existuje spousta druhů fosforečnanů, ať už organického nebo anorganického původu. Nesou název podle chemických složení, ale celkově se dají označit za fosfáty. Větší ložiska fosfátů lze nejčastěji nalézt v sedimentech, méně často pak ve vyvřelých horninách. Více jak 80 % celkově vytěžených fosfátů je zpracováno pro účely zemědělství na superfosfáty a další hnojiva (Svoboda, 1983).

Zdrojem anorganického fosforu antropogenního původu je zejména odpadní voda z prádelen, která obsahuje fosforečnany z pracích prostředků (fosfor v nich dosahuje kolem 5 % obsahu, mnohdy i více) a aplikace fosforečných hnojiv. Antropogenním zdrojem jsou také polyfosforečnany obsažené v odmašťovacích prostředcích nebo v protikorozních přísadách. Každý člověk vyloučí denně v průměru 1,5 g fosforu, čímž je neustále zvyšován podíl obsahu fosforu ve splaškových vodách. Odpadní vody ovšem obsahují také fosforečnany z pracích prostředků, čímž je specifická produkce fosforu za den zvýšena přibližně na 2 až 3 g na osobu (Pitter, 1999).

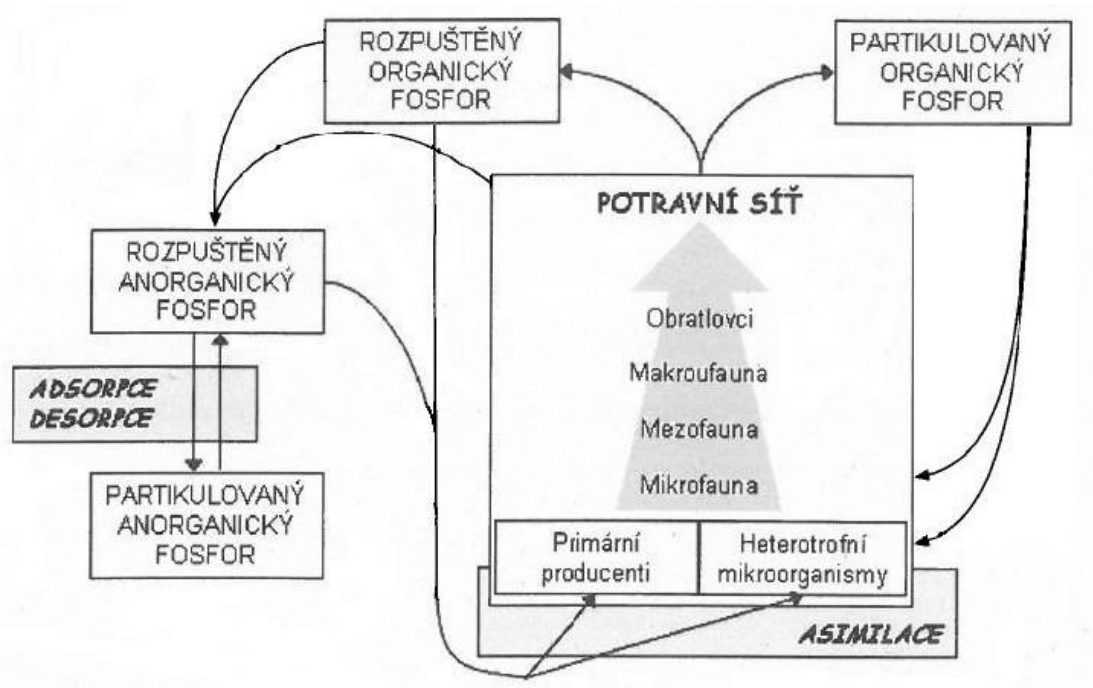
Dále za zdroj fosforu organického původu lze považovat rozkládající se biomasu zooplanktonu a fytoplanktonu, která se usazuje na dně nádrží a vodních toků. Fosfor se také dostává do povrchových vod z atmosférických depozic (Pitter, 1999). To se ovšem neprojevuje v až tak závažné míře, protože na rozdíl od dusíku, síry a dalších prvků je obsah fosforu v atmosféře velmi malý. Vyskytuje se totiž jen v prachových částicích. V důsledku toho do půdy ve spadech vstupuje poměrně malé množství fosforu (Šimek, 2003).

### **3.2 Formy fosforu**

Fosfor se v přírodě vyskytuje ve formě chemických sloučenin. V půdě je přítomen hned v několika rozdílných formách. Ne všechny z forem fosforu jsou však dostupné pro organismy. Celkové množství fosforu je určeno množstvím anorganicky vázaného fosforu ve formě orthofosforečnanů, polyfosforečnanů a organicky vázaného fosforu (Lellák, 1991). Obrázek č. 1 znázorňuje schéma cyklu jednotlivých forem fosforu ve vodních tocích a je z něho patrné, že se fosfor ve vodním prostředí vyskytuje ve 2 základních formách. Jedná se o fosfor rozpuštěný a nerozpuštěný (partikulovaný) (Newbold, 1992).

Fosfor rozpuštěný se ve vodě nachází ve dvou formách. První formou rozpuštěného fosforu ve vodě je tzv. rozpuštěný reaktivní fosfor (RRP), který se častěji nazývá orthofosforečnany. Druhou formou rozpuštěného fosforu ve vodě je pak rozpuštěný nereaktivní fosfor (RNP). Rozpuštěný nereaktivní fosfor je tvořen především rozpuštěným organicky vázaným fosforem a polyfosforečnany (Pitter, 1999).

Do fosforu nerozpuštěného pak spadá fosfor obsažený v organické hmotě, adsorbovaný na povrchu a obsažený v minerálních strukturách, z nichž hlavními minerály jsou variscit, vivianit, apatit a strengit. Většina fosforu, který se ve vodotečích vyskytuje, je v pevném stavu a jen zanedbatelné množství se vyskytuje ve formě roztoku (Korbel, 2004).

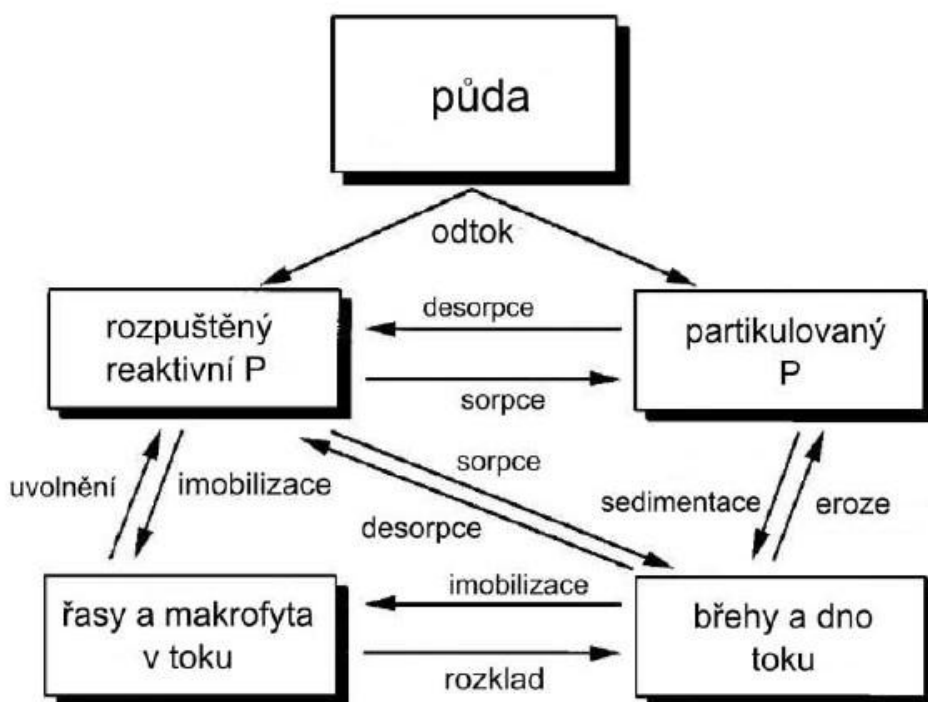


**Obr. č. 1:** Schéma cyklu jednotlivých forem fosforu ve vodních tocích (Newbold, 1992)

### 3.3 Koloběh fosforu v krajině

Fosfor je ze všech základních biogenních prvků nejméně hojný. Jako prvek je fosfor ovšem zcela nezbytnou živinou pro každý živý organismus. Je totiž klíčovou složkou biochemické reakce, týkající se přenosu energie a genetického materiálu, podílí se na tvorbě zásobních látek a na celkové struktuře buněčných membrán. Fosfor má klíčový vliv na růst rostlin a v přírodě se nevyskytuje v plynné formě (Šafarčíková, 2006).

Geochemický cyklus fosforu se od cyklů jiných hlavních biogenních prvků liší takřka absencí atmosférické části. Veškerý atmosférický transport fosforu je svým množstvím poměrně zanedbatelný. Malé množství fosforu se v atmosféře vyskytuje v organické i anorganické formě. Může být například součástí mokrých depozic (deště, sněhu nebo mlhy) i suchých depozic (vázaný na prachové částice) (Newman, 1995). Do atmosféry se fosfor dostává zejména rozprášením vody z jezer, řek a oceánů, vulkanickou činností, větrem nebo spalováním fosilních paliv. Lokální transport fosforu, který stojí za zmínku je pak prostřednictvím mořských ptáků. Ti shromažďují tzv. guáno, což je jejich nahromaděný trus s vysokým obsahem fosforu (Moldan, 1979).

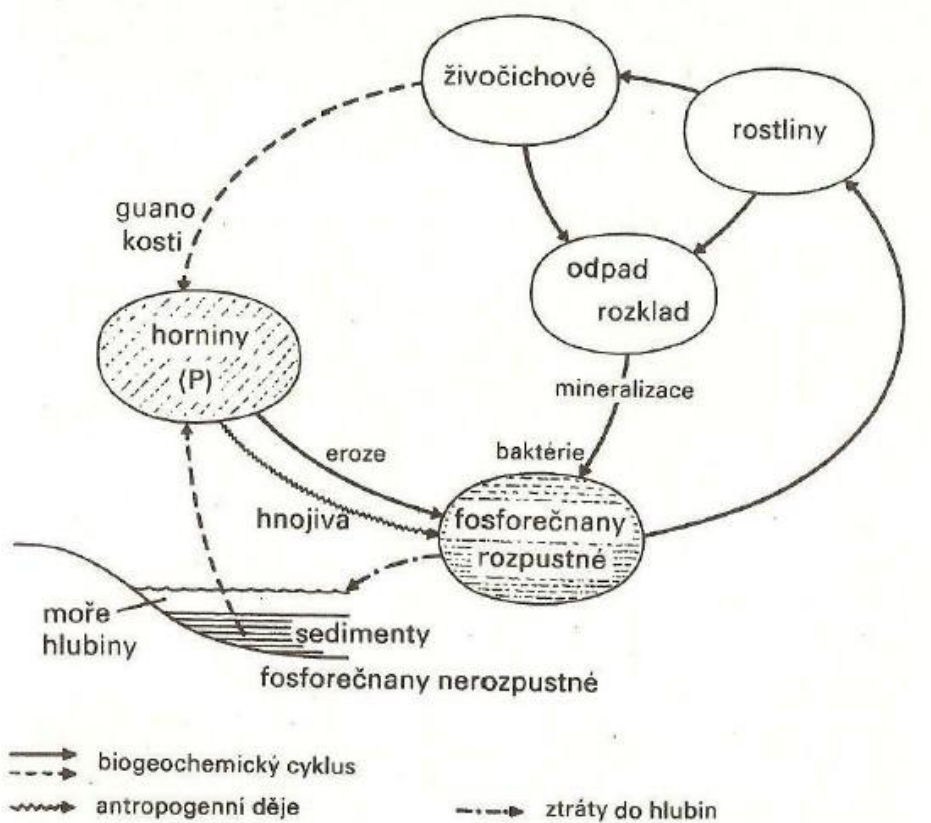


**Obr. č. 2:** Přeměny fosforu během jeho přesunu z krajinného do vodního ekosystému (Sharpley, 1995)



Protože ani jedna z obvyklých sloučenin fosforu téměř nemá možnost být transportována atmosférou, je fosfor přemísťován ve spojitosti s vodním režimem pouze jednosměrně, a to z litosféry do hydrosféry. To detailně znázorňuje obrázek číslo 2. Kdyby z biosféry vymizel život, stal by se oceán posledním místem, kde by se fosfor vyskytoval. Transport fosforu z vodního prostředí do litosféry je obvykle velmi zdlouhavý a je uskutečňován pouze přes biosféru (Heteša, 1997).

Fosfor do krajiny vstupuje především zvětráváním minerálů. Touto cestou se do ekosystému dostává ročně až 100 kg/ha fosforu a toto množství závisí především na tom, jaká část povrchu je v kontaktu s vodou, jaké ionty jsou rozpuštěné v půdním roztoku, na teplotě a také na typu podloží (Newman, 1995). Dále se pak fosfor dostává do ekosystémů prostřednictvím organických zbytků a během posledních staletí stále ve větší míře vlivem antropogenní činnosti. Antropogenní činnost celkově zrychluje globální koloběh fosforu (Šimek, 2003).



Obr. č. 3: Koloběh fosforu (Císař, 1987)

Obrázek číslo 3 znázorňuje cyklus transportu fosforu s jednotlivými způsoby transportu mezi biosférou, půdním prostředím a vodním prostředím. Menší množství fosforu se může do půdy dostat také depozicí. V půdě je pak tento fosfor přijímán vegetací ve formě fosfátů. Dále je rozložen, vyloučen zpět do půdy nebo se stane součástí rostlin. To ovšem platí pouze za předpokladu, že fosfáty, které nejsou absorbovány nebo vázány, nemají možnost z ekosystémů vyluhovat do podzemní vody. Takový postup rovněž neplatí v situaci, kdy fosfáty držené v půdních částicích mohou být transportovány erozí. Oba tyto případy končí zpravidla tím, že fosfát opustí ekosystém a dostane se do oceánu (Gliessman, 2007).

### **3.4 Fosfor ve vodním prostředí**

Vstupy fosforu do vodních ekosystémů se dají obecně rozdělit na bodové a nebodové (Carpenter, 1998). Bodové zdroje fosforu jsou hlavně odpadní vody z lidských sídel, staveb, průmyslu a živočišné výroby. Tyto zdroje se dají poměrně snadno rozpoznat a regulovat. Nebodové zdroje fosforu se týkají zejména povrchového odtoku a eroze půdy při odtoku srážek ze zemědělských pozemků (Sharpley, 1995). Jde o zdroje živin, rozprostřené v čase a prostoru. Jejich kontrola je poměrně složitá (Carpenter, 1998). Nebodové zdroje fosforu jsou v současné době hlavním původcem eutrofizace v mnoha světových oblastech (Brady, 2002). Pro jejich redukci a současné zachování produkce potravin je nutno vyrovnat vstupy a výstupy fosforu do zemědělských půd a omezit nežádoucí přesun fosforu do vod. Toho je možné docílit správným zemědělským obhospodařováním, které by zahrnovalo opatření proti těmto negativním jevům (Sharpley, 2001).

Na problematiku uvolňování fosforu ze zemědělsky obdělávaných půd je kladen zvláštní důraz. To samé platí i pro vodní sedimenty (Hirsch, 2012). Pro účinné snížení vstupování fosforu do vod (a podpory eutrofizace) je proto nutné sledovat migraci fosforu mezi jednotlivými částmi prostředí a identifikovat nejdůležitější vlivy, působící na tento přesun (Haygarth, 1998).

V přírodních vodách se fosfor vyskytuje jak ve formě rozpuštěných sloučenin, tak i ve fázi pevné. Fyzikálně-chemické procesy fosforu ve vodách fungují obdobně jako procesy v půdním prostředí. Liší se však ve vstupech a výstupech fosforu do vodního toku, specifické roli sedimentů a pohybu toku. Fosforečnany jsou

v různých vodách obvykle koncentrovány v rozmezí od jednotek až do stovek mikrogramů. U vod v České republice se rozmezí koncentrace fosforečnanů pohybuje mezi 1 – 300  $\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ . Hodnoty koncentrace fosforu ve vodě, které jsou označovány jako kritické a začíná být pravděpodobná eutrofizace, jsou kolem 0,1  $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$  rozpuštěného fosforu nebo 0,3  $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$  celkového fosforu. Zastoupení jednotlivých forem fosforu a jeho množství je určováno charakterem povodí (Brady, 2002).

Kvalita vody bývá často určována podle stupně jejího znečištění. Je proto nezbytné, aby prioritou orgánů správy vody byl pravidelný monitoring jejího znečištění. Znečištěním lze označit změny chemických, biologických nebo fyzikálních vlastností ovzduší, vody a půdy, které mají nepříznivý vliv na život organismů, podílí se na zhoršování přírodních zdrojů a v určitých případech je i vyčerpávají. Fosforečnany, obsažené v podzemních vodách, slouží jako indikátor znečištění. Pokud totiž narazíme na jejich zvýšenou koncentraci v těchto vodách, značí to možnost fekálního znečištění, tedy alespoň za předpokladu, že lze vyloučit znečištění fosforečnanovými hnojivy. Běžně je ve vodním prostředí analyticky odlišován orthofosforečnanový fosfor, fosfor vázaný v hydrolyzovatelných fosforečnanech a celkový fosfor (Pitter, 1999).

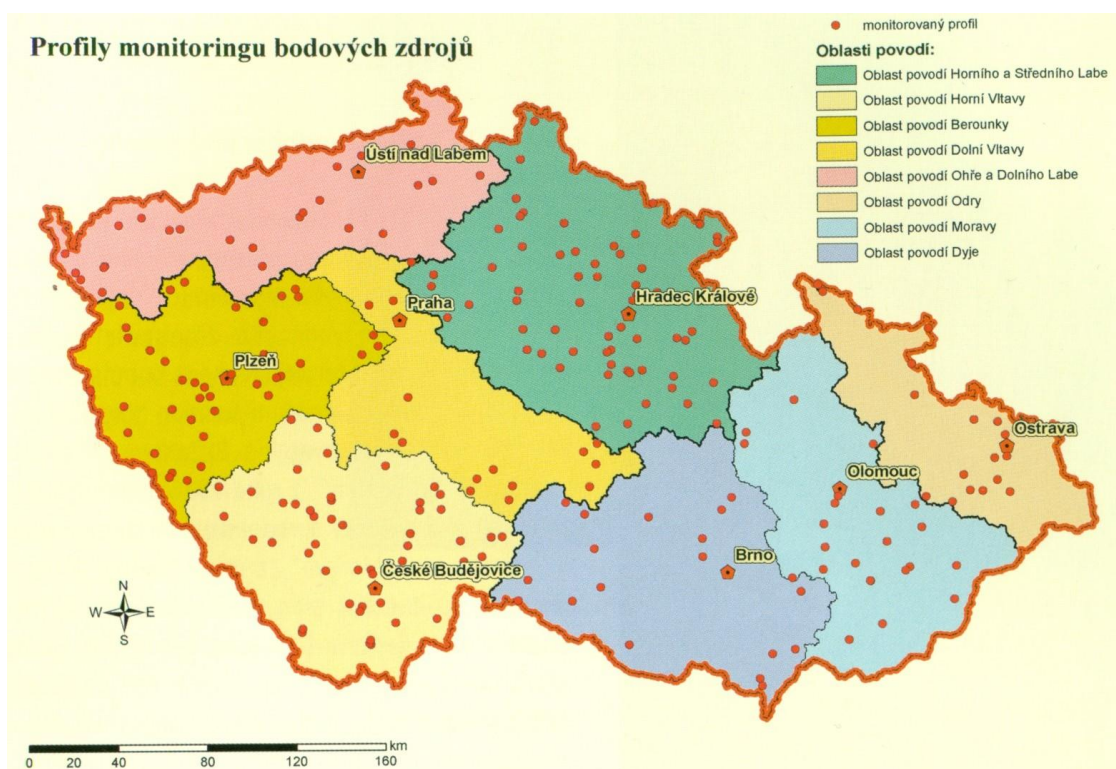
### **3.4.1 Jak se měnila koncentrace fosforu ve vodním prostředí v posledních 60 letech**

Do konce 1. poloviny dvacátého století v rámci zemědělství na celém území České republiky převažovala rozptýlená živočišná výroba a zemědělská malovýroba. Pitná voda byla získávána často ze studní a dalších lokálních zdrojů vody. Živočišná výroba, respektive odpady z ní, byly využívány jako přirozené zdroje hnojiva jejich následným vpravováním do zemědělské půdy (Němec, 2006).

K citelným změnám v přístupu k hospodaření s vodou docházelo od počátku 50. let 20. století. Na to měl největší vliv nástup velkokapacitních chovů dobytka, lepší dostupnost velkovýrobních technologií, rozorávání mezí, scelování do velkých lánů a rozsáhlé hospodářsko-technické úpravy (Kodeš, 2008).

V období šedesátých let 20. století se ve světě rozšířila tzv. „zelená revoluce“. Tu podnítil jednak prudký celosvětový nárůst obyvatelstva a dále pak pokrok

v genetice rostlin, mechanizaci prací v zemědělství a agrochemii. V České republice také přišel poměrně častý trend zvyšování dávek herbicidů, hnojiv, insekticidů a dalších pesticidů oproti dřívějším dávkám pro podpoření produktivity v rostlinné výrobě. Tím začalo být ovšem do značné míry poškozováno prostředí zemědělské půdy a spolu s ním i jeho vodní složka. Rázem se zemědělství stalo jedním z největších znečišťovatelů vody zejména v územích s převládajícím zemědělským využíváním pozemků (Němec, 2006).



**Obr. č. 4:** Znáznornění profilů monitoringu bodových zdrojů (Němec, 2006)

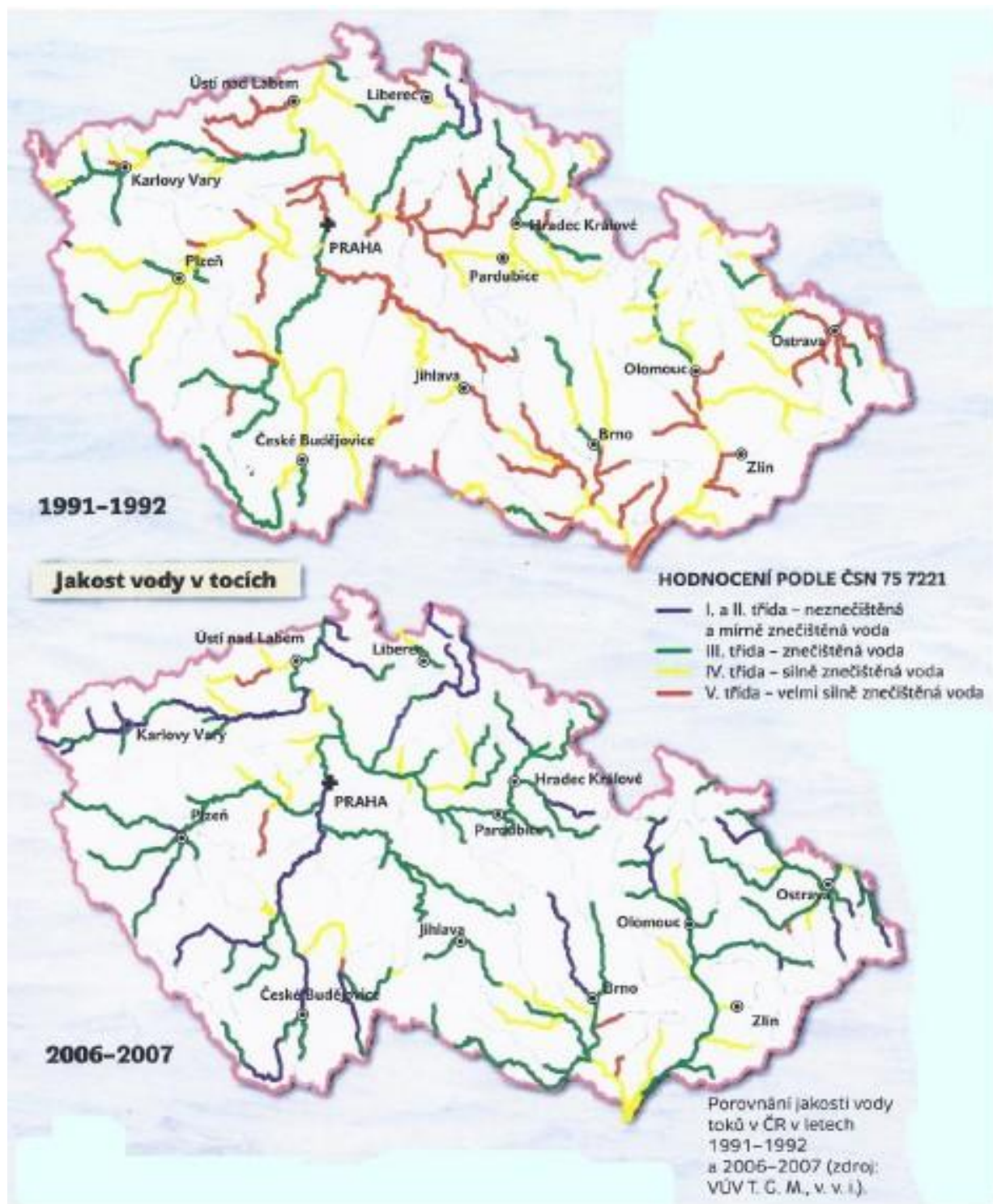
Od začátku 90. let 20. století se stalo znečištění, především povrchových vod, jedním z nejzásadnějších problémů životního prostředí ČR. Mnoho významných vodních toků se zařadilo do kategorií silně, případně velmi silně znečištěných a místy se vyskytla i vážná kontaminace podzemních vod (Volaufová, 2008). Znečištění z bodových zdrojů je jediným znečištěním, které se dá efektivně řešit. Bodové zdroje jsou totiž poměrně dobře identifikovatelnými zdroji (Pitter, 1999).

Na obrázku číslo 4 je mapa s vyznačením profilů monitoringu bodových zdrojů. Monitoring zahrnoval kvalitativní sledování vodní složky životního prostředí,

zejména z pohledu jakosti vody v tocích a nádržích, včetně jejího hydrobiologického potenciálu a sedimentů. Zájmovými subjekty, kterých se monitoring bodových zdrojů celkového fosforu týkal, bylo 252 profilů na území ČR, vybraných z méně důležitých vodních toků. Monitoring prováděla organizační složka ZVHS (Zemědělská vodohospodářská správa) již od roku 1993. Na základě rozborů v laboratoři bylo stanoveno 18 ukazatelů, určujících jakost vody a frekvence odběru byla 12 odběrů ročně (tedy 1x za měsíc). Součástí monitoringu byl i monitoring dusičnanů a fosforečnanů, jehož cílem bylo zjistit znečištění vodního prostředí ze zemědělských zdrojů. V rámci tohoto programu bylo sledováno celkem 639 profilů. Za nejdůležitější ukazatel hodnocení jakosti vody v našich podmínkách byl stanoven index saprobity, jehož hodnota se prostřednictvím normy ČSN 75 7221 zařazuje do I. – V. třídy čistoty. Nejzajímavější výsledky ukázala data, naměřená na malých vodních tocích v ČR v roce 2004. V tomto roce bylo po vyhodnocení naměřených hodnot téměř 10 % všech hodnocených lokalit zařazeno do nejhorší kategorie jakosti vody, třídy V. – velmi silně znečištěná voda. Takovéto výsledky poukázaly na kritický stav nemalého počtu monitorovaných vodních toků, po nichž následovala nutná opatření – výstavba čistíren odpadních vod pro zlepšení stavu jakosti zejména těchto nejproblémovějších území (Němec, 2006).

Problém plošného a difuzního znečišťování neustále přetrvává. Týká se zejména obtížně měřitelného, tudíž téměř nekontrolovatelného množství odpadních vod z rozptýlené zástavby, vymývání hnojiv a preparátů na ochranu plodin z intenzivně zemědělsky využívané půdy (Volaufová, 2008).

Obrázek číslo 5 znázorňuje dlouhodobé zlepšení situace, týkající se jakosti vody ve vodních tocích. Toho je dosahováno zejména vybudováním čistíren odpadních vod, snižováním intenzity používání umělých zemědělských hnojiv, přechodem na efektivnější a zároveň šetrnější technologie i omezením, případně rušením provozu spousty průmyslových podniků. Čistírny odpadních vod jsou schopny zajistit odstranění 85 % celkového objemu fosforu ve vodě, zatímco dusíkatých látek jen 71 % (Volaufová, 2008).



**Obr. č. 5:** Porovnání jakosti vody v českých tocích v letech 1991 – 1992 a 2006 – 2007 (Vaněk, 2008)

### 3.4.2 Odnos fosforu při srážko-odtokových událostech

Při srážko-odtokových událostech je největší transport živin uskutečňován prostřednictvím povrchových vod (Danz, 2013). Díky tomu je podle množství splaveného fosforu možné analyzovat míru vlivu zemědělských činností na výskyt vysokých koncentrací fosforu v krajině. Podle Heteši (1997) dochází během těchto událostí k následujícím jevům:

- Dešťové srážky smývají do vodních toků různé látky, pocházející především z postřikových látek a hnojiv použitých na zemědělských pozemcích.
- Ze zemědělských pozemků jsou smývány i nejjemnější částice z půdy, což ve vodním toku vytváří charakteristický zákal vody.
- V mnoha formách je nejintenzivněji z půdního prostředí odnášen dusík, který dešťové srážky vyplavují poměrně snadno. Fosfor je v půdě vázán o něco silněji.

Při bouřkách má na odnos živin z povodí vliv mnoho faktorů, z nichž nejvýznamnějšími jsou množství a intenzita dešťových srážek. Nadměrné množství odnosu dusíku se vyskytuje v předjaří a v období letních bouřek, kdy dochází ke zvýšenému průtoku. Výzkum však ukázal odlišné vzory odnosu dusíku a fosforu během bouřkových událostí (Kim, 2006). Ve sledovaném období došlo ve sledovaných povodích amerického státu Wisconsin k nejvyššímu odnosu celkového fosforu zejména při srážko-odtokových událostech během jarního tání, přívalových srážek a letních bouřkových událostech. Ukázalo se, že pro každé z monitorovaných povodí se našla alespoň jedna srážko-odtoková událost, při které bylo vyplaveno více než 50% z celkového ročního odnosu fosforu. Výzkum rovněž dokládá, že více než polovina celkového odnosu fosforu byla transportována během největších srážko-odtokových událostí (Danz, 2013).

Monitoringem povodí v Rusku byla zjištěna celková ztráta fosforu z povodí řeky Volhy, která se pohybuje mezi 0,03 – 0,35 kg/ha v období jarního tání. V tomto období se rovněž vyskytuje největší odnos živin v povodí Lubazhinka. V povodí ovšem dochází k náhodnému kolísání odnosu fosforu v různých letech, způsobenému kombinací půd, táním sněhu a výskytem mrazu (Ollesch, 2008).

### 3.4.3 Změna koncentrace fosforu ve vodním prostředí v závislosti na srážko-odtokových událostech

Podle Kvítka (2005) je při analýzách přírodních vod běžné pouze stanovení fosforečnanů, přesto je doporučováno i sledování tzv. celkového fosforu podle normy k analýzám odpadních vod, které je mnohem objektivnější. Stanovení samotných fosforečnanů neposkytuje v některých případech ani základní informaci o pohybu fosforu v povodí.

Obsah fosforu ve vodě, která ho odnáší ze zemědělské půdy, závisí na době jejího kontaktu s ní. V případě, že se do vodního toku pohybuje rychle, obsahuje poměrně malé množství fosforu, zatímco ve vodě, která se do vodního toku pohybuje pomaleji, je poměrově obsaženo mnohem větší množství fosforu. Za pomalu se pohybující vodu lze označit podzemní vodu (Davie, 2008). Množství přenesených živin je dáno kvalitou vody (koncentrací látek v ní) a velikostí průtoků. Při velkých průtocích mohou odnosy živin vodou v rámci malých povodí dosahovat až 50% celkového úhrnu ročních odnosů (Kvítek, 2005).

Yang (2009) provedl výzkum ve Spojených státech amerických, kde zkoumal koncentraci fosforu v odtoku. Dospěl k závěru, že usazeniny s obsahem fosforu, uvolňující se během srážko-odtokových událostí mají vliv na obsah 75 – 90 % fosforu v odtoku. To dokazuje přímou spojitost mezi zvýšením koncentrace fosforu v odtoku a srážko-odtokovými událostmi. Pionke (1999) se ve svém výzkumu zabýval účinky bouřkových událostí na odnos fosforu ze zemědělské půdy v povodí o velikosti 7,3 km<sup>2</sup> v Pensylvánii v letech 1984 – 1996. Přes 60 % celkového fosforu bylo transportováno během bouřkových událostí. Více než polovina z tohoto množství odnosu byla transportována v jarním a zimním období, tedy v období průměrného výskytu 5 ze 7 největších bouřkových událostí za rok. K vyššímu odnosu dusíku docházelo rovněž v zimě a na jaře.

Ve sledovaném období na Středozápadě USA značně vzrostla koncentrace celkového fosforu i reaktivních fosforečnanů v odtoku během bouřkových událostí v důsledku vymývání z drah preferenčního proudění v půdách, které jsou kvůli využívání hnojiv silně obohaceny látkami obsahujícími fosfor (Vidon, 2011). Obdobných výsledků dosáhl i Gächter (1998), který monitoroval srážko-odtokové události na zemědělsky využívaných povodích ve Švýcarsku.



Z uvedených informací vyplývá, že v oblastech se sušším klimatem je ztráta fosforu vlivem srážko-odtokových událostí spíše nepravidelná. Naopak u povodí s nepravidelným rozložením srážek a s častými extrémními srážko-odtokovými událostmi lze sledovat pravidelný vliv těchto událostí na jeho odnos a zvýšenou koncentraci ve vodních tocích.

Butturini (2008) uvádí, že jedinou možností jak pochopit všechny biogeochemické interakce v povodí a ve vodních tocích je právě analýza srážko-odtokových událostí. Ty se významně podílejí na průběhu biogeochemických cyklů jednotlivých prvků v přírodě, čímž poskytují jedinečnou příležitost pro zjištění hydro-biogeochemických vlastností povodí.

### **3.5 Eutrofizace**

Pojem eutrofizace vyjadřuje proces, při kterém je prostředí přesycováno minerálními živinami, a to zejména dusíkem a fosforem (Šafarčíková, 2006). Tzv. přírodní eutrofizace je proces uvolňování fosforu a dusíku z uhynulých vodních organismů a z půdních sedimentů (Smith, 1999). Co se týče uměle vyvolaných procesů eutrofizace, jedná se o tzv. kulturní eutrofizaci. Způsobuje ji vstup fosforu antropogenního původu do ekosystémů (Brady, 2002). Eutrofizace neboli obohacování daného prostředí živinami, je přirozeným procesem, který ovšem může být zrychlen zvýšením přísunu živin z průmyslu, ze zemědělské činnosti a lidských obydlí. V dnešním globálním měřítku jde asi o 18,5 mil. tun fosforu za rok. Většina z tohoto fosforu pochází z hnojiv a shromažďuje se tak v zemědělsky obdělávaných půdách (Bennett, 2001).

K dlouhodobě efektivnímu hospodaření je nezbytné udržovat dobrou kvalitu půdy, tedy její úrodnost. Ta je optimálně zajišťována zejména vyrovnaným poměrem obsahu rostlinných živin v půdě (Klír, 1999). Z důvodu poměrně nízké koncentrace fosforu v půdách, z něhož se většina nachází v nerozpustných nebo málo rozpustných formách a organických sloučeninách, není ve většině zemědělských půd dostatek přijatého fosforu. To, jak je půda schopna přijmout fosfor je do značné míry dáno půdními reakcemi. Největším zdrojem fosforu pro zemědělsky obhospodařované půdy jsou fosforečná hnojiva. Fosfor je totiž spolu s dusíkem a draslíkem nejdůležitějším prvkem, který je hnojením přidáván do zemědělských

půd (Šimek, 2003). V rámci ekologického zemědělství lze správného cyklu rostlinných živin v půdě dosáhnout pouze využitím organických hnojiv, přírodních prostředků či různými druhy povolených minerálních hnojiv (Kalinová, 2007).

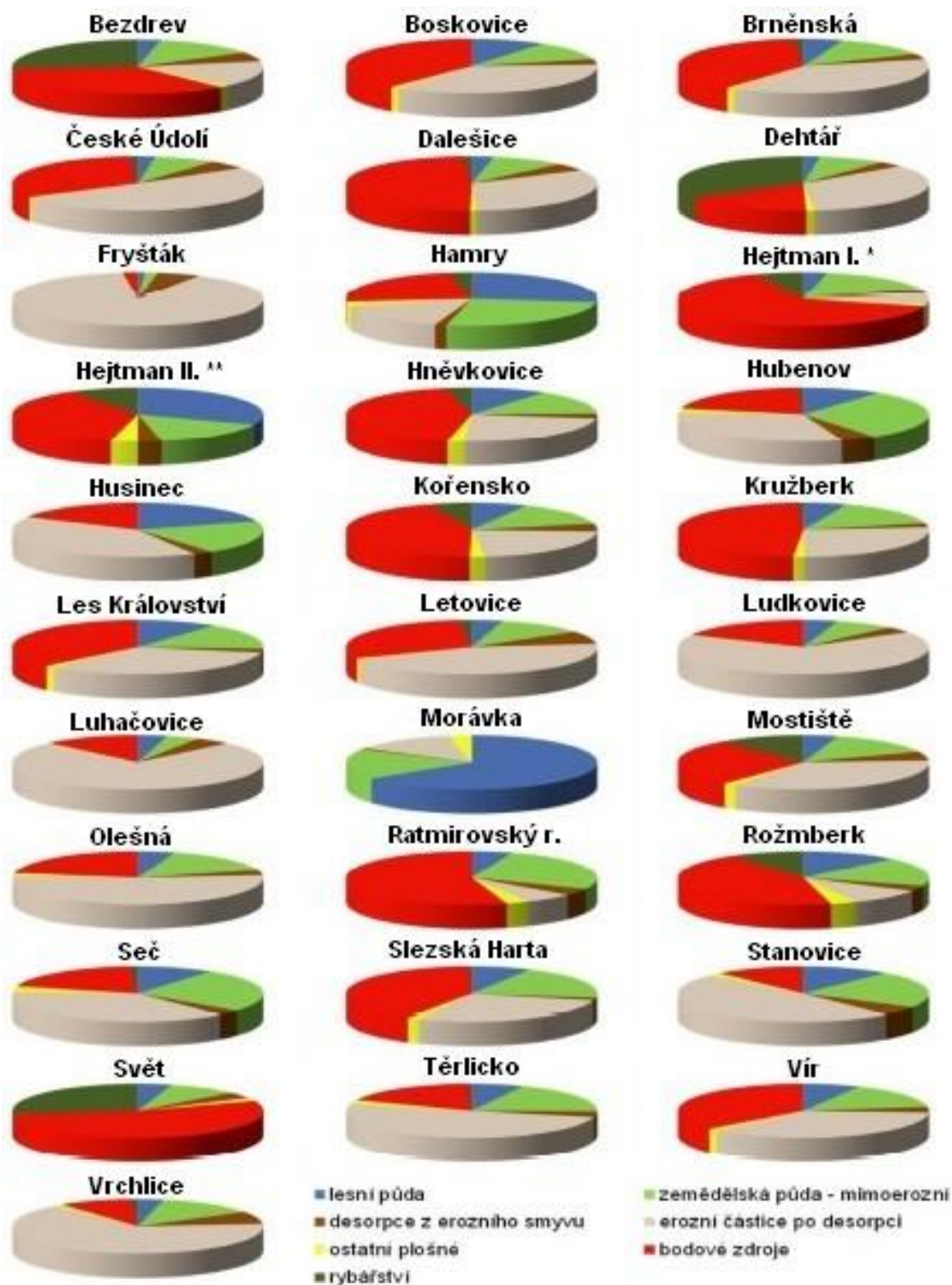
Fosfor je významným prvkem v problematice eutrofizace povrchových vod (Pitter, 1999). U zemědělských pozemků, u kterých se znatelně vyskytuje eroze, dochází k odnosu půdy spolu se všemi minerály a dalšími složkami, které obsahuje a to se týká rovněž odnosu fosforu. O ten je půda ochuzována vyplavováním a ukládáním v biomase rostlin, které jsou následně sklizeny (Pierrou, 1976). Největší vliv na transport fosforu z půdního prostředí do vodních toků má eroze vodní. Množství transportované půdy se odvíjí především od hustoty vegetačního pokryvu půdy a od toho, v jakém stavu půda je (případně do jaké míry je degradována). Na vyplavování fosforu z půdního prostředí má velký podíl déšť, kterým je fosfor rovnou transportován po povrchu a dále splavován do podzemních vod a do spodních půdních vrstev (Parfitt, 2008). To, že je fosfor splavován do nižších vrstev půdy, může závratně podpořit jeho zvýšenou mobilitu a vyústit až v jeho odtok z povodí, protože hluboké půdní vrstvy mohou být s konečnou vodotečí hydrologicky spojené. Stanovení reálné ohroženosti půd pro odnos fosforu a množství transportovaného fosforu je velmi složité a je třeba brát v úvahu vliv celé řady faktorů. Odnos fosforu z intenzivně zatěžovaných půd může totiž být při určité kombinaci různých faktorů zanedbatelný, ale i naopak. Na koncentraci a množství fosforu v půdním prostředí má vliv i hloubka, ve které se fosfor nachází. S přibývajícím hloubkou totiž jeho koncentrace úměrně klesá (Haygarth, 1998).

Za primární zdroje fosforu v povodích vodních toků v České republice lze považovat zdroje bodové, tedy vypouštění komunálních odpadních vod. Tento fakt dokazuje tabulka číslo 1, vytvořená na základě bilančních studií zdrojů fosforu v povodí Orlické nádrže (Hejzlar, 2010).

Zdroj / proces	Povodí vodní nádrže Orlík	
	t/rok	Procento zdrojů znečištění
Odpadní vody	143,0	55
Rybářství	58,3	22
Zemědělství	31,4	12
Neidentifikované zdroje	26,0	10
Sídla	0,6	0,2
Atmosférická depozice na vodní plochy	1,1	0,4
Přírodní pozadí	94,7	-
Znečištění v povodí celkem	260,4	-
Zdroje v povodí celkem	355,1	-
Retence fosforu v říční síti	66,9	-
Vstup fosforu do nádrže Orlík	288,2	-

Tab. č. 1: Zdroje fosforu v povodí vodní nádrže Orlík (2007 – 2009) (Hejzlar, 2010)

Významný vliv bodových zdrojů na eutrofizaci dokázal i projekt „Zdroje splavenin v povodích a jejich eutrofizační potenciál“, který zahrnoval rozsáhlou analýzu podpořenou bilančním monitoringem zdrojů fosforu pro celkem 51 povodí a 31 vodních nádrží. Obrázek číslo 6 znázorňuje grafy podílů jednotlivých zdrojů vstupů fosforu do povodí všech 31 zkoumaných vodních nádrží. Součástí projektu bylo i sledování retence fosforu v povodích a z výsledků projektu vyplynulo několik skutečností. Byl potvrzen často uváděný fakt, že rozhodujícím faktorem, který se podílí na vstupu celkového fosforu do povodí, je v největší míře eroze zemědělské půdy. V 8 povodích totiž dosáhl podíl vstupu fosforu erozí dokonce více než 50 %. To však neplatilo pro povodí, v nichž jsou do značné míry zastoupeny plochy lesního porostu. V takovém případě byl vstup fosforu erozí do povrchových vod minimální. Především v povodích o větší rozloze byla promítnuta přítomnost středních a větších zdrojů znečištění. Ty mají v důsledku procesu odstraňování fosforu v čistírnách odpadních vod rozhodující vliv na celkové zatížení vodních nádrží (Ansorge, 2012).



**Obr. č. 6:** Podíly jednotlivých zdrojů vstupu fosforu do povodí analyzovaných nádrží v letech 2006 – 2010 (Ansorge, 2012)

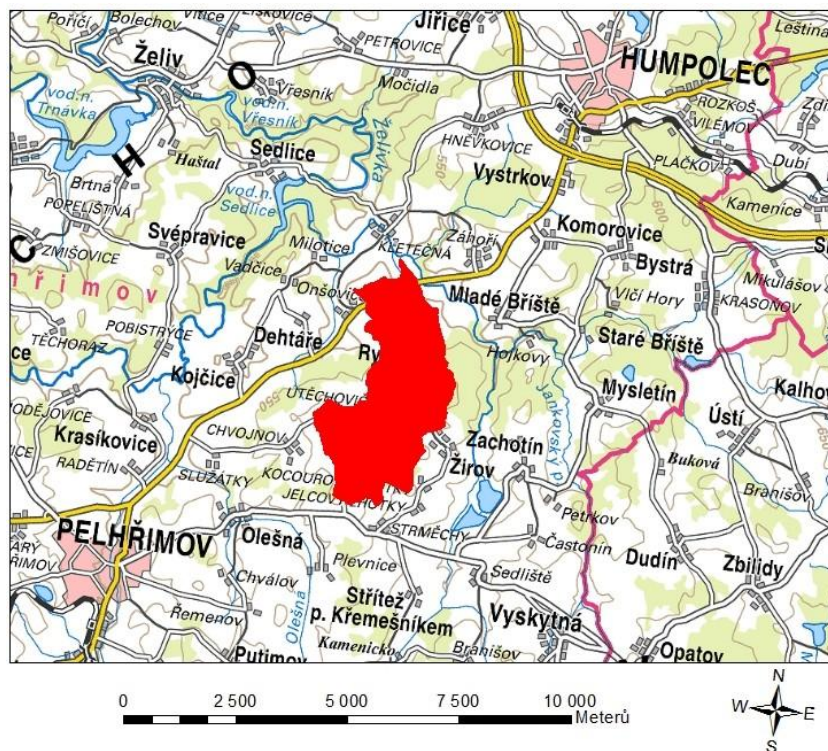
Spolehlivým indikátorem eutrofizace ve vodních nádržích je tzv. „vodní květ“, který je patrný pouhým okem. Jedná se o přemnožení sinic při nadbytku živin. Přemnožené sinice se hromadí u hladiny v podobě modrozelené kašovité vrstvy. Ta může být stejnorodá nebo v ní mohou být patrné drobné vločky nebo jehličky o velikosti několika milimetrů. Sinice produkují toxiny, které způsobují jednak značné vodohospodářské problémy a mohou i ohrozit vodní živočichy nebo člověka při koupání. Projevy se v závislosti na druhu toxinu a citlivosti jedince stupňují od lehké otravy projevující se střevními potížemi až po vážnější jaterní problémy nebo kožní alergie. V souvislosti s eutrofizací a následným rozvojem vodního květu se vyskytly nejen případy úhynu zvířat, ale dokonce i úmrtí lidí po pravidelném pití vody pocházející ze zdroje s masovým rozvojem sinic (Šafarčíková, 2006).

## 4. MATERIÁL

Pro dosažení cílů této diplomové práce byla vybrána 3 subpovodí v povodí Kopaninského toku. Ve výzkumu bylo konkrétně využito dat koncentrací celkového fosforu v průtocích a srážkových úhrnů na malých zemědělských subpovodích s označením P6, P52 a P53, naměřených v hydrologických letech 2009 – 2011.

### 4.1 Povodí Kopaninského toku

Povodí Kopaninského toku se nachází v kraji Vysočina, v okrese Pelhřimov. Konkrétně je toto povodí situováno jihozápadně od města Humpolec a severovýchodně od města Pelhřimov (viz. obr. č. 7). Povodí Kopaninského toku zaujímá území o rozloze 8,73 km<sup>2</sup> a nachází se na katastrálních územích Chvojnov, Kletečná u Humpolce, Onšovice u Dehtářů, Velký rybník u Humpolce a Žirov. Hlavní vodní tok v tomto povodí má název Kopaninský tok. Nadmořská výška jeho pramene činí 578 m n. m., v bodě ústí toku 467 m n. m. a průměrná nadmořská výška Kopaninského toku je 523 m n. m. Průměrný sklon toku je 2,6 %, jeho délka činí 5,8 km a je levostranným přítokem Jankovského potoka.



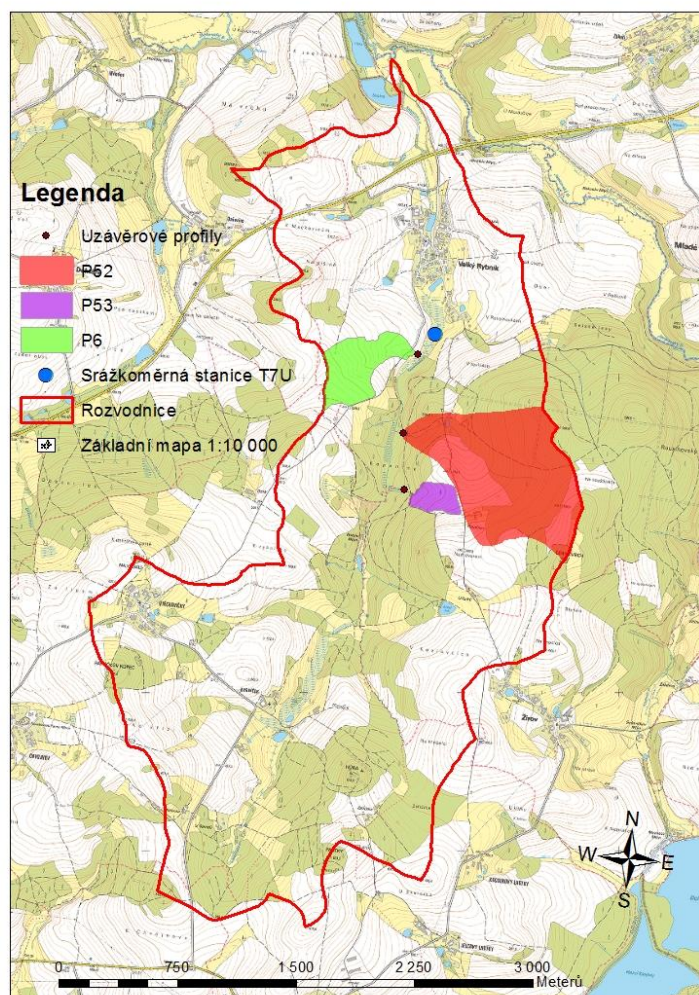
Obr. č. 7: Poloha Kopaninského toku na mapě ZM200 (autor, 2017)

Další základní informace o povodí Kopaninského toku jsou uvedeny v tabulce č. 2.

Název povodí	Kopaninský tok
Číslo hydrologického pořadí	1-09-02-031
Nadřazené vodní toky	Jankovský potok, Želivka, Sázava, Vltava, Labe
Průměrný roční srážkový úhrn (mm)	665
Průměrná roční teplota (°C)	7,0
Hlavní matečná hornina	pararula
Převládající půdní typ	kambizem

**Tab. č. 2:** Hlavní charakteristiky povodí Kopaninského toku (Doležal, 2002)

Obrázek č. 8 znázorňuje polohu jednotlivých subpovodí, na nichž byla získávána potřebná data.



**Obr. č. 8:** Rozvodnice Kopaninského toku se zobrazením polohy subpovodí P6, P52 a P53 a srážkoměrné stanice T7U (autor, 2017)

#### 4.1.1 Geomorfologie a geologie

Povodí Kopaninského potoka náleží v rámci geomorfologického členění do provincie Česká vysočina, subprovincie Česko-moravská soustava, oblasti Českomoravská vrchovina, celku Křemešnická vrchovina a podcelku Želivská pahorkatina (Demek, 1965). Tento celek je tvořen z největší části metamorfovanými horninami a je charakterizován jako plochá vrchovina zejména pro svůj poměrně monotónní reliéf, který je rozdělen pouze hlubokými údolími vodních toků.

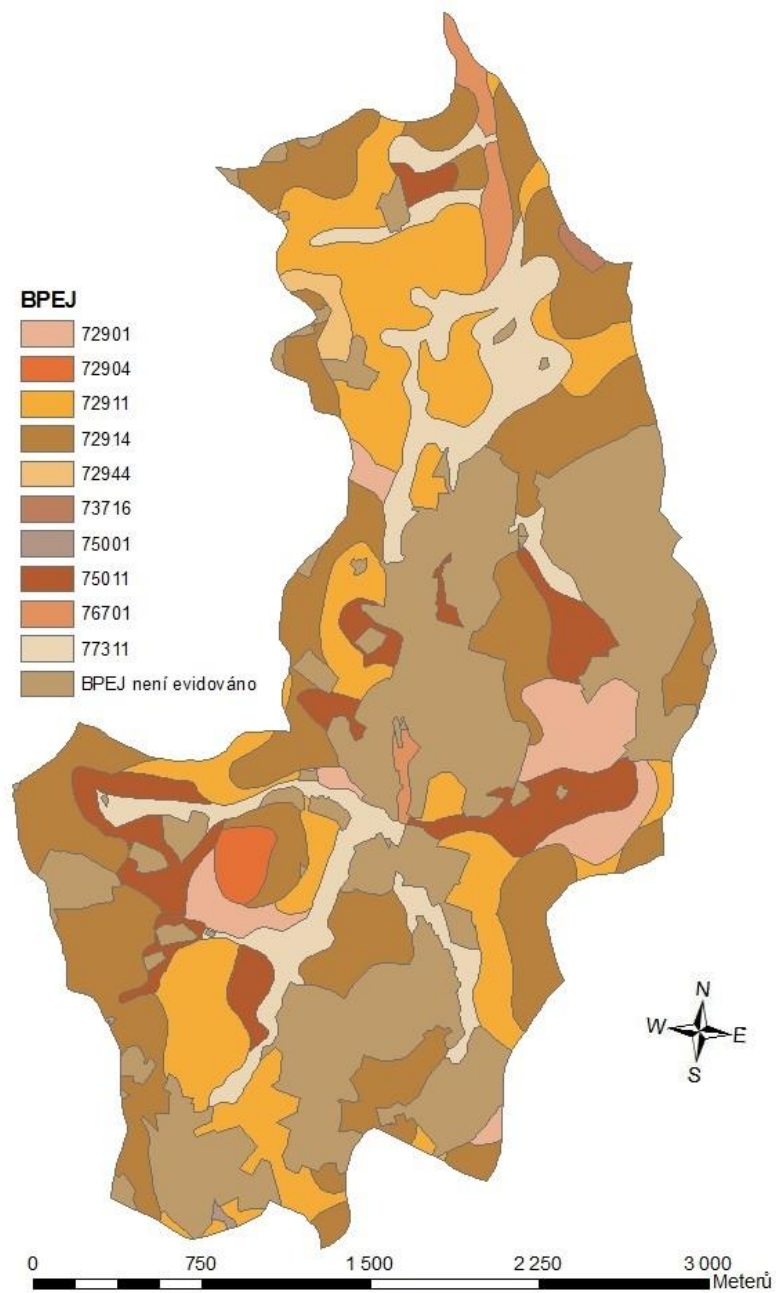
Hlavní mateční horninou je pararula a pro území je typický erozně denudační typ reliéfu. Toto povodí je situováno do hydrologického rajónu 652 – Krystalinikum v povodí Sázavy. Horniny krystalinika mají puklinovou propustnost, která v dosahu zvětrávacích procesů je závislá hlavně na charakteru zvětralin. V jižní části povodí se vyskytují granitoidy, které mají relativně lepší puklinovou propustnost. Oběh vody v povodí má lokální charakter a infiltrace probíhá v jeho celé ploše podle propustnosti zvětralinového pláště jednotlivých částí území. K odvodňování dochází v úrovni místní erozní báze nebo nad její úrovní (Žlábek, 2009).

#### 4.1.2 Pedologie

V povodí Kopaninského toku se nachází především středně těžké kambizemě modální na rulách. Do velké míry se zde dále vyskytují kambizemě oglejené a pseudogleje modální na rulách. V zamokřených oblastech jsou dominantně zastoupeny pseudogleje modální a místy se v území vyskytují i gleje modální (Žlábek, 2009).

Povodí Kopaninského toku se řadí mezi zemědělské oblasti bramborářsko-žitného subtypu. Sklony svahů pozemků odpovídají nejčastěji rozmezí 2°-5°, ovšem místy dosahují až 20°. Odvodněno je 10% celkové plochy povodí, což odpovídá 16 % celkové plochy zemědělsky využívané půdy. Téměř 50 % celkové plochy povodí zaujímá zemědělsky využívaná půda a více než třetina celkové plochy povodí je zalesněna (Žlábek, 2009).





**Obr. č. 9:** Zastoupení jednotlivých BPEJ v povodí Kopaninského toku (autor, 2017)

Charakteristiky hlavních půdních jednotek vyskytujících se v povodí Kopaninského toku podle mapy, označené jako obrázek číslo 9:

- **29** – kambizemě modální eubazické až mezobazické včetně slabě oglejených variant, na rulách, svorech, fylitech, popřípadě žulách, s převažujícími dobrými vláhovými poměry, tato HPJ je v povodí Kopaninského toku nejvíce zastoupená,
- **37** – kambizemě litické, rankerové, modální, rankery modální na pevných substrátech, převážně vysušené, závislé na srážkách,
- **50** – kambizemě oglejené, pseudoglej modální, na žulách, rulách nebo jiných pevných horninách, mají sklon k dočasnému zamokření,
- **67** – gleje modální na různých substrátech často vrstevnatě uložených, v polohách rovinných celků, při vodních tocích závislé na výšce hladiny toku, zaplavované, těžko odvodnitelné,
- **73** – kambizemě oglejené, pseudogleje glejové i hydroeluviální, gleje hydroeluviální a povrchové, nacházejí se ve svahových polohách zpravidla zamokřené s výskytem svahových pramenišť, středně těžké až velmi těžké, případně středně skeletovité (Vyhláška č. 327/1998 Sb., 1998).

#### **4.1.3 Klima**

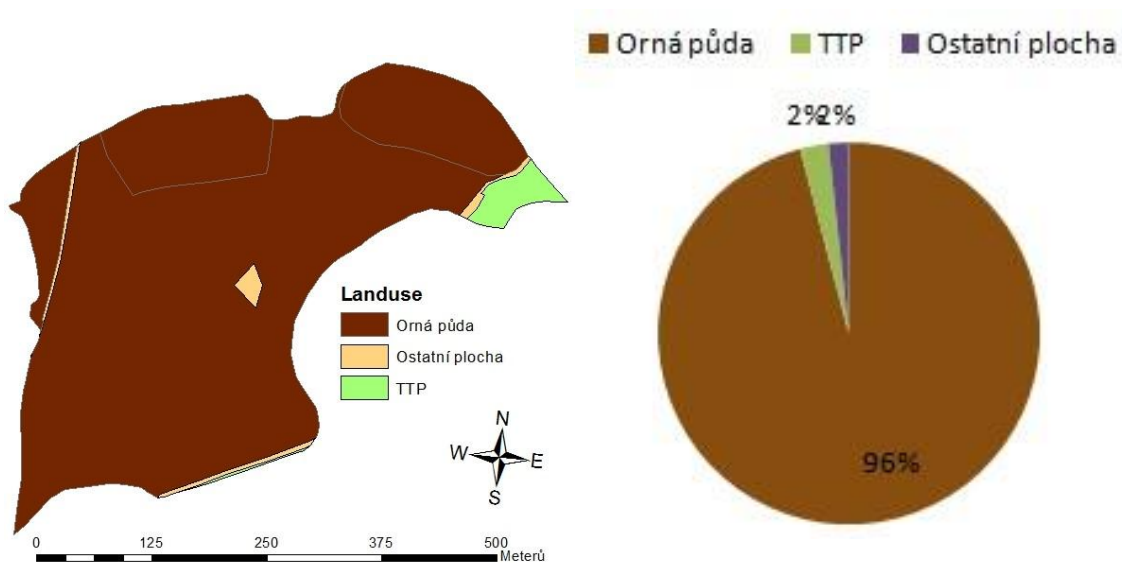
Povodí Kopaninského toku náleží podle Quitta (1971) do klimatické oblasti s označením MT5. Pro tuto oblast je charakteristické krátké až normální léto, mírné až mírně chladné, mírně suché až suché, normální až dlouhé přechodné období. Podzim i jaro jsou mírné a zima je normálně dlouhá, mírně chladná, suchá až mírně suchá s normální až krátkou sněhovou pokrývkou. Počet letních dnů za rok se zde pohybuje mezi 30 - 40, průměrné teploty vyšší než 10 °C je zde pak dosaženo 130 – 140 dní v roce a stejného rozsahu počtu dnů v roce dosahují i mrazové dny. Ledových dnů je pak průměrně 40 – 50 za rok. Průměrná teplota v lednu se pohybuje mezi (-2) – (-3) °C, v dubnu 6 – 7 °C, v červenci 16 – 17 °C a v říjnu 6 – 7 °C. Srážkový úhrn ve vegetačním období se pohybuje mezi 350 – 450 mm a v zimním období mezi 250 – 300 mm. Dnů se sněhovou pokrývkou je v průměru 60 – 100.

#### 4.1.4 Zkoumaná subpovodí

Pro účely této diplomové práce byla využita data, naměřená v povodí Kopaninského toku na celkem 3 subpovodích. Tato subpovodí mají označení P6, P52 a P53.

##### 4.1.4.1 Subpovodí P6

Subpovodí P6 se nachází jihozápadně od obce Velký Rybník a zaujímá plochu o celkové rozloze 15,73 hektarů. Obrázek č. 10 zobrazuje mapu landuse subpovodí P6 a graf poměru jednotlivých ploch landuse k celkové ploše subpovodí P6.

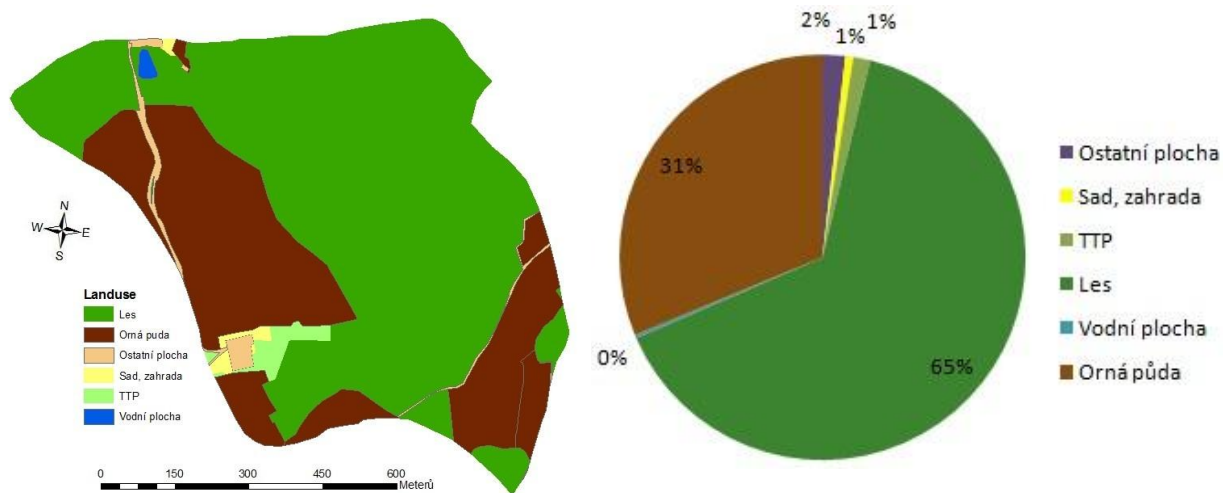


**Obr. č. 10:** Mapa landuse s grafem poměru jednotlivých ploch landuse k celkové ploše subpovodí P6 (autor, 2017)

#### 4.1.4.2 Subpovodí P52

Subpovodí P52 se nachází jihovýchodně od obce Velký Rybník a jeho plocha činí 64,93 hektarů. Jedná se o největší ze sledovaných subpovodí.

Obrázek č. 11 znázorňuje mapu landuse subpovodí P52 a graf podílu jednotlivých ploch landuse k celkové ploše subpovodí P52.

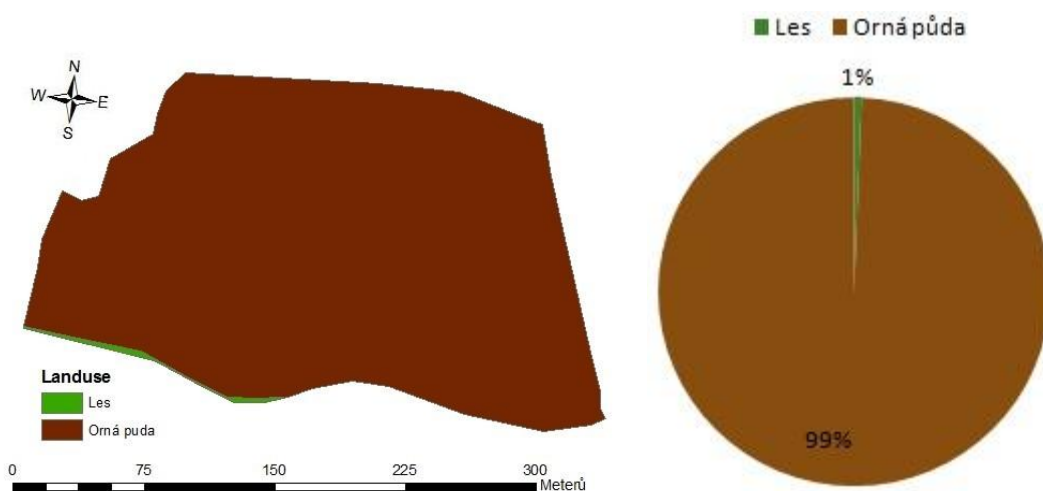


**Obr. č. 11:** Mapa landuse s grafem poměru jednotlivých ploch landuse k celkové ploše subpovodí P52 (autor, 2017)

#### 4.1.4.3 Subpovodí P53

Subpovodí P53 je situováno jižně od obce Velký Rybník a jeho plocha činí 4,90 ha.

Na obrázku č. 12 je zobrazena mapa landuse subpovodí P53 a graf poměru jednotlivých ploch landuse k celkové ploše subpovodí P53.



**Obr. č. 12:** Mapa landuse s grafem poměru jednotlivých ploch landuse k celkové ploše subpovodí P53 (autor, 2017)

## 5. METODY

Veškeré zpracování mapových podkladů bylo prováděno v softwaru ArcMap 10.

Byly vytvořeny mapy využití území a polohy jednotlivých subpovodí v povodí Kopaninského toku. Dále byla vytvořena mapa BPEJ Kopaninského toku. Všechny grafy a tabulky byly vytvořeny v softwaru Microsoft Excel 2007.

### 5.1 Sběr dat

K vyhodnocení dat byly použity hodnoty naměřené na profilech subpovodí P6, P52 a P53. Na subpovodích P6 a P52 byly měřeny hodnoty koncentrace celkového fosforu a průtoky v denním intervalu automatickým vzorkovačem - přístrojem ISCO 6712 v období XI. 2008 - X. 2011. Na subpovodí P53 byly rovněž měřeny hodnoty koncentrace celkového fosforu a průtoky v denním intervalu automatickým vzorkovačem - přístrojem ISCO 6712 v období XI. 2008 - IV. 2011. Tyto hodnoty byly stanoveny v akreditované laboratoři na základě již zmíněných pravidelných odběrů. Na srážkoměrných stanicích T7U a U Turků byly měřeny srážkové úhrny za 24 hodin v denním intervalu v období XI. 2008 - X. 2011.

### 5.2 Popisná statistika (EDA)

**Medián** (Me) je prostřední hodnota z čísel seřazených 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 sudý a zvlášť pro lichý počet hodnot. Formálně vypadají definice takto: Je-li  $N$  sudé, je mediánem hodnota  $(x_{(N/2)} + x_{(N/2+1)})/2$ . Je-li  $N > 1$  liché, je mediánem hodnota  $x_{((N+1)/2)}$ .

**Střední hodnota** (aritmetický průměr) je definován jako součet všech hodnot náhodné proměnné  $x_i$  dělený celkovým počtem hodnot. Vypočtený průměr

pak udává, jaká stejná část z úhrnu hodnot sledované číselné proměnné připadá na 1 jednotku souboru.

Obecný vzorec pro výpočet střední hodnoty:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} (x_1 + x_2 + \dots + x_n) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

přičemž  $x_i$  je vypočtený výsledek a  $n$  je počet vypočtených výsledků. Pro malá  $n$  je však aritmetický průměr citlivý na okrajové hodnoty. Proto se v případě, že je  $n \leq 20$  pro odhad střední hodnoty souboru prvků používá medián.

**Modus** ( $M_o$ ) či modální hodnota je v souboru dat nejčetnější hodnotou. Tato statistická charakteristika je nejčastěji využívána pro stanovení kategoriálních dat. Jejím obecným označením je  $\hat{x}$  nebo  $M_o$ .

**Rozptyl** ( $s^2$ ) nebo variance udává, jak moc jsou hodnoty ve statistickém souboru rozptýleny. Je definován jako průměrná kvadratická odchylka měření od aritmetického průměru, přičemž při průměrování této odchylky dělíme číslem  $(n - 1)$ .

Obecně se rozptyl vypočítá dle vzorce:

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

**Směrodatná odchylka** je jednou z nejpoužívanějších měř kolísavosti. Určuje rozptyl hodnot kolem střední hodnoty. Vypovídá o tom, jak se hodnoty od aritmetického průměru liší a jak hustě jsou kolem tohoto průměru seskupeny.

Obecně se směrodatná odchylka vypočítá dle vzorce:

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

**Variační koeficient** (VK) je definován jako podíl směrodatné odchylky a absolutní hodnoty z aritmetického průměru sledovaného znaku  $x$ . Má význam pouze v případě, kdy znak  $x$  nenabývá záporných hodnot. Využívá se například pro charakteristiku přesnosti měření. Určuje sourodost, případně nesourodost statistického souboru. Variačního koeficientu se rovněž využívá pro porovnání rozptýlenosti dat skupin měření stejné proměnné s různým průměrem nebo v případě, kdy se mění velikost směrodatné odchylky v závislosti na úrovni měřené proměnné.

Obecný vzorec pro výpočet variačního koeficientu je:

$$k = \frac{s}{\bar{x}}$$

kde  $k$  je rozptyl,  $s$  je směrodatná odchylka a  $\bar{x}$  je aritmetický průměr (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** ( $\delta$ ) je rozdílem třetích mocnin odchylek hodnot proměnné od jejich aritmetického průměru děleného třetí mocninou směrodatné odchylky.

Obecně se šikmost vypočítá dle vzorce:

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

Z nulové hodnoty šikmosti vyplývá zpravidla symetričnost rozdělení četností a současně stejný stupeň koncentrace malých a velkých hodnot. Kladná hodnota šikmosti určuje pozitivně zešikmené rozdělení a záporná šikmost určuje rozdělení zešikmené negativně.

Druhý způsob jakým lze popsat koncentraci je porovnání četností hodnot znaku prostřední velikosti s četnostmi ostatních hodnot. Podobné velikosti četností prostředních hodnot se projevují zpravidla plochostí tvaru rozdělení četností, zatímco větší četnosti prostředních hodnot ve srovnání s četnostmi hodnot ostatních se projevují špičatým tvarem rozdělení.

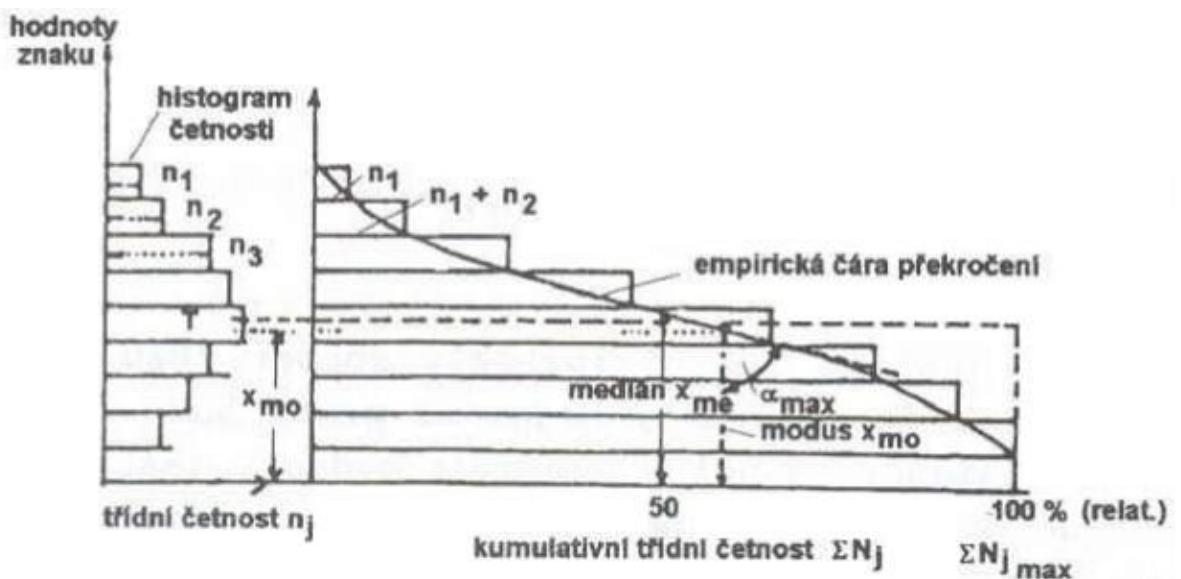


**Špičatost** ( $\tau$ ) je podílem rozdílu čtvrtých mocnin rozdílu odchylek hodnot proměnné a jejich aritmetického průměru a čtvrté mocniny směrodatné odchylky, to celé mínus 3.

Čím je hodnota špičatosti vyšší, tím je rozdělení špičatější a tím vyšší je i stupeň koncentrace prostředních hodnot ve srovnání s ostatními hodnotami (Hendl, 2004).

### 5.3 Empirická čára překročení

Empirická čára překročení je v hydrologii velmi důležitým pracovním nástrojem. Lze díky ní snadno zjistit kolikrát nebo po jakou dobu byla určitá stanovená hodnota v určitém pozorovaném období dosažena nebo případně překročena.



**Obr. č. 13:** Histogram četností a empirická čára překročení (Havlík, 2014)

V minulosti byla pro rozsáhlé soubory využívána metoda založená na rozdělení prvků statistického souboru do dílčích tříd - intervalů. Intervaly byly charakterizovány počtem výskytů – histogram četnosti. Empirická čára překročení tedy vyjadřuje součtovou čáru k histogramu četnosti, což je patrné z obrázku č. 13 (Havlík, 2014).

Empirická čára překročení může vycházet z Čegodajevova vzorce:

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

příčemž  $m$  je pořadí prvku a  $n$  je počet prvků v množině.

Naměřené hodnoty je nutno uspořádat sestupně. Největší hodnotě se přiřadí číslo 1, druhé nejvyšší hodnotě číslo 2 a analogicky se postupuje až k nejnižší hodnotě. Nakonec se využije Čegodajevův vzorec a pro každou hodnotu se stanoví pravděpodobnost překročení.

#### 5.4 Index předchozích srážek (API)

Index předchozích srážek je v hydrologické praxi (zejména v hydroprognóze) pro účely hodnocení nasycenosti území používán již řadu let.

Je počítán pomocí vztahu:

$$API_n = \sum_{i=1}^n C^i \cdot P_i \text{ [mm]},$$

kde

$n$  znamená celkový počet dní před výskytem příčinné srážky, v našem případě  $n = 5$ ,

$i$  je pořadí dne počítané nazpět ode dne, ke kterému je API určován,

$C$  je evapotranspirační konstanta, pro naše podmínky obvykle  $C = 0,93$ ,

$P$  je denní úhrn srážky v milimetrech v  $i$ -tém dni před výskytem příčinné srážky (Linsley, 1982).

Plošné rozložení hodnot  $API_{30}$  (zkratka anglického termínu „Antecedent Precipitation Index“), jak vyplývá ze vztahu ve vzorci, určitým způsobem vystihuje vývoj plošného rozložení srážek v předcházejících dnech a normál  $API_{30}$  za delší časové období by tudíž měl odpovídat dlouhodobým klimatickým charakteristikám

daného místa. Poměr aktuální hodnoty  $API_{30}$  k normálu vyjadřuje odchylku od normálu, a tedy i odchylku od dlouhodobé „míry nasycení“ území pro daný konkrétní den v roce (Beven, 2002).

## **5.5 Stanovení průměrných denních odnosů celkového fosforu**

Pro dosažení cílů diplomové práce byla využita skutečně naměřená data koncentrací celkového fosforu, průtoků a srážkových úhrnů, nicméně pro objektivnější vypovídající hodnotu dat byly dopočítány hodnoty průměrných denních odnosů celkového fosforu. Výsledné hodnoty průměrných denních odnosů celkového fosforu jsou součinem průměrné denní koncentrace celkového fosforu (mg/l) a průměrného denního průtoku (l/s).

Pro průměrné denní odnosy celkového fosforu byl spočítán základní ukazatel střední hodnoty.

## 6. VÝSLEDKY

### 6.1 Vyhodnocení statistických souborů dat koncentrace fosforu a srážkových úhrnů na jednotlivých zájmových subpovodích

Výsledků popisných statistik v tabulkách číslo 3 a 4 bylo dosaženo v programu STATISTICA 12 z naměřených dat ve sledovaném období na zkoumaných subpovodích. Znázorňují hodnoty koncentrací fosforu a úhrnů srážek, které by měly objektivně vypovídat o hydrologických a biogeochemických vlastnostech zájmových povodí. Pro účely dosažení cílů této diplomové práce jsou nejdůležitější zejména červeně vyznačené hodnoty v tabulce.

#### 6.1.1 Vyhodnocení statistických souborů dat koncentrace celkového fosforu

EDA	Výsledné hodnoty statistického souboru celkového fosforu		
	P6	P52	P53
Střední hodnota (mg/l)	0,063	0,073	0,056
Medián (mg/l)	0,055	0,065	0,052
Modus (mg/l)	0,055	0,059	0,052
Směrodatná odchylka (mg/l)	0,052	0,040	0,035
Rozptyl výběru	0,003	0,002	0,001
Špičatost	103,301	48,697	26,639
Šikmost	8,566	5,299	4,373
Dolní kvartil (mg/l)	0,046	0,052	0,039
Horní kvartil (mg/l)	0,065	0,080	0,062
Minimum (mg/l)	0,020	0,026	0,016
Maximum (mg/l)	0,818	0,603	0,394
Variační koeficient (%)	82,847	54,021	61,910

**Tab. č. 3:** Vyhodnocení statistických souborů dat koncentrace celkového fosforu na jednotlivých subpovodích (autor, 2017)

Z vyhodnocených nejzákladnějších ukazatelů, jako je střední hodnota, modus, medián, směrodatná odchylka, minimum i maximum je patrné, že odběrné stanoviště P53 dosahuje nejnižších hodnot všech zmíněných ukazatelů. Je však nutno brát v potaz, že subpovodí P53 je v drenážním systému a proto se na něm projevuje ve větší míře vnitropůdní eroze, která je podle Zachara (1970) definována jako proces mechanického vyplavování jemných, různě dispergovaných frakcí půdy mezi agregáty vlivem gravitační vody, což vede ke skeletizaci půdy. Z toho důvodu nelze příliš objektivně srovnávat hodnoty vyhodnocených ukazatelů ze subpovodí P53 s hodnotami subpovodí P6 a P52.

Hodnoty vyhodnocených ukazatelů pro subpovodí P6 a P52 se od sebe příliš neliší, nicméně je mezi nimi jeden zásadní rozdíl. Zatímco hodnoty pro subpovodí P6 jsou dlouhodobě nižší a jen místy „vystřelují“ do extrémně vysokých hodnot, čímž vykazují vysokou míru variability, hodnoty pro subpovodí P52 vykazují naopak poměrně stálý nepřilíš rozkolísaný soubor hodnot koncentrací celkového fosforu. To je patrné především na vyhodnocených hodnotách variačního koeficientu, který dosahuje pro subpovodí P6 82,8 % a naproti tomu pro subpovodí P52 54 %. Tento výsledek je na první pohled poměrně překvapivý, protože subpovodí P52 je z 65 % tvořeno lesním porostem a je i v rozporu s argumenty často uváděnými v literatuře, kde například Pasák (1984) uvádí, že eroze a s ní spojený odnos živin z území je mnohonásobně menší a pomalejší v územích s nižším podílem zemědělsky intenzivně využívaných ploch orné půdy a s permanentním vegetačním pokryvem. Takovéto dlouhodobě vyšší hodnoty koncentrace fosforu na subpovodí P52 mohou však být způsobeny bodovým zdrojem, tedy nefunkční čističkou odpadních vod některého z obytných domů v blízkosti odběrného stanoviště nebo případně rybníkem, na kterém po většinu vegetačního období pobývá vodní ptactvo. Tento rybník se nachází v bezprostřední blízkosti odběrného stanoviště, a tudíž by exkrementy vodních ptáků, které obsahují vysoké množství fosforu, mohly rovněž způsobovat dlouhodobě zvýšené hodnoty koncentrace celkového fosforu. Na subpovodí P6 se naproti tomu nevyskytuje žádné lidské obydlí a tudíž ani žádný možný bodový zdroj znečištění.

### 6.1.2 Vyhodnocení statistických souborů dat srážkových úhrnů

EDA	Výsledné hodnoty statistického souboru denních srážkových úhrnů	
	T7U	U Turků
Úhrn srážek za hydrologický rok 2009 (mm)	679,3	728,7
Úhrn srážek za hydrologický rok 2010 (mm)	728,1	741,8
Úhrn srážek za hydrologický rok 2011 (mm)	669,6	658,2
Střední hodnota (mm)	1,971	3,748
Medián (mm)	0,000	1,500
Modus (mm)	0,000	0,100
Směrodatná odchylka	4,853	6,052
Rozptyl výběru	23,555	36,631
Špičatost	31,172	14,247
Šikmost	4,714	3,355
Dolní kvartil (mm)	0,000	0,300
Horní kvartil (mm)	1,400	4,600
Minimum (mm)	0,000	0,100
Maximum (mm)	57,600	44,900
Variační koeficient (%)	246,242	161,468

**Tab. č. 4:** Vyhodnocení statistických souborů dat úhrnu srážek na jednotlivých srážkoměrných stanicích (autor, 2017)

Z výsledných hodnot vyhodnocených dat ze srážkoměrných stanic T7U a U Turků vyplývá několik faktů.

Dle Míkové (2007) je povodí Kopaninského toku územím s intervalem ročního srážkového úhrnu 650 - 700 mm. Z vyhodnocených údajů ročních srážkových úhrnů je patrné, že hranice tohoto intervalu byla ve sledovaném období překročena hned třikrát. V hydrologickém roce 2009 byla překročena na srážkoměrné stanici U Turků, kde roční srážkový úhrn dosáhl hodnoty 728,7 mm, čímž byl téměř o 50 mm srážek vyšší než ve stejném roce naměřený srážkový úhrn na srážkoměrné stanici T7U. Zbylých 2 případů překročení hranice intervalu srážkového úhrnu bylo dosaženo v hydrologickém roce 2010 na obou srážkoměrných stanicích. Na srážkoměrné stanici U Turků bylo dosaženo úhrnu 741,8 mm, což je stejně jako v předchozím případě vyšší úhrn než roční úhrn naměřený na srážkoměrné stanici T7U, který dosáhl hodnoty 728,1. Z těchto hodnot

lze usoudit, že hydrologický rok 2010 byl rokem s nadprůměrným výskytem srážko-odtokových událostí. Jediným hydrologickým rokem, kdy byl naměřen větší roční srážkový úhrn na srážkoměrné stanici T7U než na stanici U Turků je rok 2011. V tomto roce bylo dosaženo hodnot ročních srážkových úhrnů, které na obou srážkoměrných stanicích odpovídají intervalu 650 – 700 mm.

Jelikož jsou srážky jevem, který se nevyskytuje permanentně, hodnoty základního statistického ukazatele minima jsou pro obě stanoviště shodná – mají hodnotu 0. Naproti tomu hodnoty maxima dosahují na stanovišti T7U hodnoty 44,9 mm srážek, což podle tabulky číslo 5 odpovídá 2-leté srážce a na stanovišti U Turků dosahuje maximum hodnoty 57,6, což podle tabulky č. 5 odpovídá 5-leté srážce. Takovéto extrémně rozdílné hodnoty ukazatelů maxima a minima jsou pochopitelně promítnuty i do hodnot variačního koeficientu, který pro stanoviště T7U dosahuje hodnoty 246 % a pro stanoviště U Turků pak hodnoty 161 %. To se rovněž odráží na hodnotách ukazatele směrodatné odchylky, která pro stanoviště T7U dosahuje hodnoty 4,8 a pro stanoviště U Turků má hodnotu 6,1.

Hodnoty statistických ukazatelů střední hodnota, modus a medián jsou velmi nízké. Důvodem pro to je opět fakt, že srážky nejsou každodenním jevem, tudíž se najde spousta dní v roce, kdy srážky dosahují hodnoty 0.

<b>N-letá srážka</b>	<b>Odpovídající úhrn srážek</b>
N = 2 roky	35,3
N = 5 let	52,4
N = 10 let	63,3
N = 20 let	74,8
N = 50 let	88,8
N = 100 let	99,8

**Tab. č. 5:** Výčet hodnot odpovídajících denních úhrnů srážek s pravděpodobností opakování N let pro povodí Kopaninského toku (Šamaj, 1985)

## 6.2 Vyhodnocení časových řad koncentrace celkového fosforu v zájmových subpovodích a srážkových úhrnů

Pro vyhodnocení výsledků časových řad koncentrací celkového fosforu, docílených pomocí statistických výpočtů a metod byla naměřená data zpracována graficky. Nejprve byly z naměřených dat vytvořeny grafy, označené jako příloha číslo 2, 4 a 6. Jedná se o grafy, které znázorňují koncentrace celkového fosforu pro všechna 3 zkoumaná zemědělská subpovodí Kopaninského toku (P6, P52 a P53) ve sledovaném období.

Pro účel této práce bylo na všech subpovodích Kopaninského toku využito naměřených hodnot **celkového fosforu** (tzv.  $P_{\text{celk.}}$ ).

Pro vyhodnocení časových řad srážkových úhrnů naměřených v zájmovém území na srážkoměrných stanicích T7U a U Turků bylo využito analogického postupu jako při vyhodnocení časových řad koncentrací celkového fosforu. Jelikož byla pro účely naplnění cílů diplomové práce dostupná data pouze ze dvou srážkoměrných stanic, které se nevyskytují přímo ve zkoumaných subpovodích, bylo nutno vycházet z faktu, že srážky, které dopadly na povodí Kopaninského toku ve sledovaném období, byly rovnoměrně rozloženy po celé ploše povodí. Grafy, které zachycují vývoj časových řad úhrnu srážek na Kopaninském toku (na srážkoměrných stanicích s označením T7U a U Turků) ve sledovaném období jsou označené jako příloha číslo 1, 3 a 5. Tyto grafy vychází sice pro všechna zkoumaná subpovodí ze stejných dat, nicméně rozsah jejich zobrazení je upraven podle dostupnosti dat koncentrace celkového fosforu. Díky tomu jsou grafy pod sebou přehledné a lze z nich lépe vyvozovat další skutečnosti.

### 6.2.1 Subpovodí P6

Z grafu, označeného jako příloha číslo 1, který znázorňuje vývoj časové řady koncentrace celkového fosforu na subpovodí P6 je patrné, že obvyklé hodnoty koncentrace fosforu většinou nepřevyšují hodnotu 0,1 mg/l. Nachází se zde však několik patrných odchylek, které místy několikanásobně přesahují průměrnou hodnotu koncentrace celkového fosforu, která pro subpovodí P6 činí pouhých 0,063.



### 6.2.2 Subpovodí P52

Graf, označený jako příloha číslo 3, který znázorňuje vývoj časové řady koncentrace celkového fosforu na subpovodí P52 je velmi podobný grafu v příloze č. 1. Obvyklé hodnoty koncentrace celkového fosforu zde rovněž jen zřídka překračují hodnotu 0,1 mg/l a nachází se zde několik extrémních odchylek, které zde průměrnou hodnotu, která pro subpovodí P52 činí 0,073, převyšují místy až o více než pětinasobek této hodnoty.

K naměření nejnižších hodnot a k poklesu koncentrací u subpovodí P6 a P52 dochází pravidelně až na zanedbatelné výjimky v druhé polovině zimního období a během celého jara, tedy od února zhruba do května.

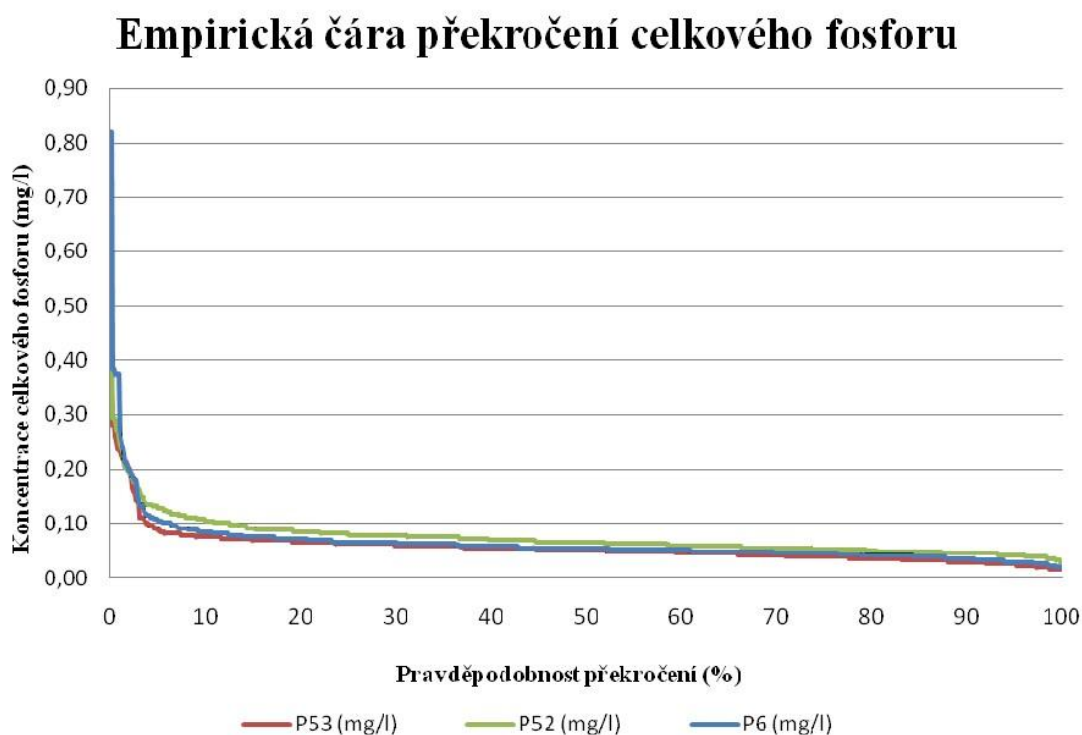
### 6.2.3 Subpovodí P53

Na grafu, označeném jako příloha číslo 5 je zobrazen vývoj časové řady koncentrace celkového fosforu na zkoumaném subpovodí P53. I když obvyklé hodnoty koncentrace na tomto subpovodí opět až na několik výjimek nepřesahují hranici 0,1 mg/l, je tento graf oproti grafům v příloze č. 1 a 3 specifický. Data, která jsou podkladem pro tento graf, byla totiž měřena jen do konce dubna 2011 a kvůli tomu je časová řada koncentrace fosforu na subpovodí P53, zobrazená na grafu v příloze č. 5, kratší o 6 měsíců. Na grafu v příloze č. 5 je rovněž několik extrémních odchylek, které místy dosahují až téměř 7násobku průměrné hodnoty, která pro časovou řadu koncentrace celkového fosforu na subpovodí P53 činí 0,056 mg/l. Tři z těchto extrémních odchylek se ovšem vyskytly v jarních měsících. Dvě z těchto odchylek se vyskytly v polovině března 2009 a třetí odchylka byla naměřena začátkem dubna 2011. Z takových odchylek nebude pro účely dosažení cílů této diplomové práce vycházeno, protože v období od listopadu do dubna jsou velmi odlišné klimatické podmínky než ve vegetačním období, často je zmrzlá půda, eroze funguje jinak a mnohdy má velký vliv na zvýšenou koncentraci fosforu v odtoku jarní tání sněhu, proto není možné vyhodnotit vliv srážko-odtokových událostí na případné výskyty vysokých koncentrací celkového fosforu.

#### **6.2.4 Srážkoměrné stanice T7U a U Turků**

Ačkoliv na srážkoměrné stanici U Turků nejsou k dispozici kompletní data o srážkových úhrnech pro celé sledované období, při pohledu na grafy v příloze č. 1, 3 a 5, které znázorňují vývoj časové řady srážkových úhrnů v povodí Kopaninského toku, je patrné, že na obou stanovištích (T7U a U Turků) dosahují naměřená data do značné míry velmi podobných hodnot. Z grafů je jasné, že období největších srážkových úhrnů se každoročně opakují a je jich pravidelně dosahováno v období od června do září, výjimečně maximálně o měsíc dříve či později. Občasné zvýšené srážkové úhrny byly naměřeny v jarních měsících, ty byly ovšem pro účely dosažení cílů této diplomové práce ignorovány, protože jak už je uvedeno výše, zvýšení koncentrace fosforu ve vodním prostředí na odběrných profilech zkoumaných subpovodí v jarních měsících velmi často souvisí s jarním táním sněhu.

## 6.2.5 Empirická čára překročení



**Graf č. 1:** Empirické čáry překročení celkového fosforu na odběrných stanovištích P6, P52 a P53 (autor, 2017)

Graf číslo 1 znázorňuje empirické čáry překročení celkového fosforu. Z grafu je patrné, že stanoviště P52 dosahuje po nejvyšší čas vyšších hodnot než zbylá 2 stanoviště a zároveň začíná v nejnižší hodnotě a končí v nejvyšší hodnotě. Toto stanoviště tedy jednoznačně vykazuje nejnižší rozkolísanost naměřených hodnot, což potvrzuje i výše zmíněná nízká míra variability (variační koeficient je pro stanoviště P52 nejnižší). Hodnoty jsou však velmi vyrovnané, což je stejně jako u popisných statistik dáno zejména velmi podobnými geologickými, geografickými a dalšími charakteristikami všech zkoumaných subpovodí, které jsou situovány ve vzdálenosti jen pár set metrů od sebe.

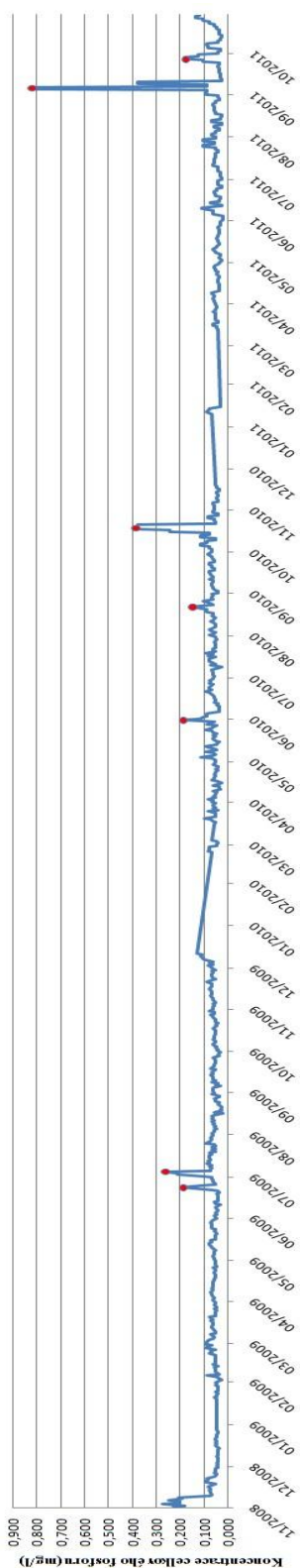
## 6.2.6 Stanovení výskytu extrémních koncentrací celkového fosforu

Pro účely dosažení cílů diplomové práce byly z naměřených hodnot koncentrace celkového fosforu podle Hendla (2004) stanoveny tzv. odlehlé hodnoty. Jedná se o hodnoty extrémních výskytů celkového fosforu, pro které byla následně zkoumána příčina, tedy vliv srážko-odtokových událostí na tyto extrémní výskyty. Tyto hodnoty byly po vyhodnocení statistických ukazatelů definovány jako hodnoty, které překračují hranici součtu 5násobku interkvartilového rozpětí a aritmetického průměru naměřených hodnot koncentrace fosforu v zájmovém období, která vyšla **0,15 mg/l** celkového fosforu. Odlehlé hodnoty koncentrace celkového fosforu na všech zájmových subpovodích jsou vyznačeny v grafu č. 2. Jejich hodnoty jsou chronologicky seřazeny v tabulce č. 6, ve které jsou uvedeny spolu se souvisejícími průměrnými denními průtoky na stejných odběrných stanovištích. Jak už bylo uvedeno, hodnoty koncentrací, které překročili stanovenou hranici 0,15 mg/l celkového fosforu, ale byly naměřeny v jarních měsících byly záměrně vynechány, z důvodu pravděpodobné souvislosti s jarním táním sněhu a rovněž proto, že v tomto období jsou velmi odlišné klimatické podmínky, zamrzá půda a eroze funguje jinak než ve vegetačním období.

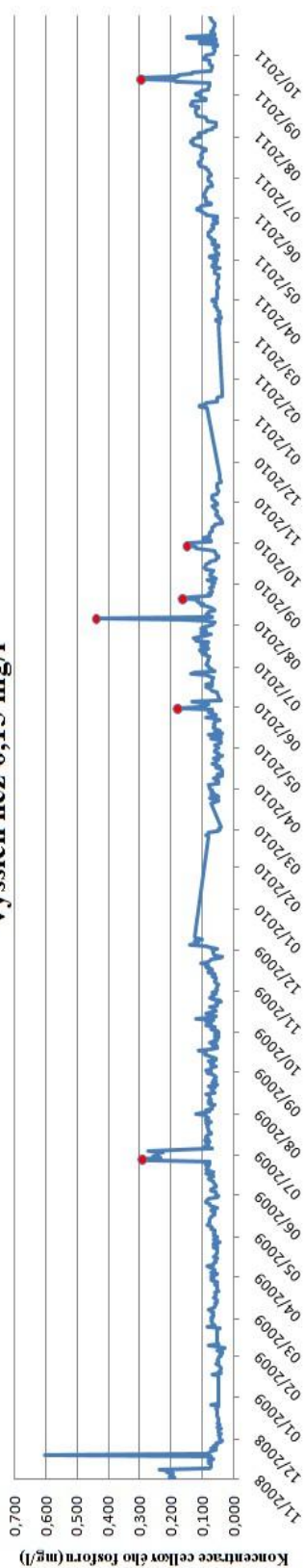
Datum	Hodnoty extrémních koncentrací celkového fosforu (mg/l)			Průtoky ve dnech výskytu vysokých koncentrací celkového fosforu (l/s)		
	P6	P52	P53	P6	P52	P53
25.06.2009	0,19	-	-	1,77	-	-
30.06.2009	-	0,29	-	-	0,95	-
01.07.2009	-	-	0,26	-	-	0,05
06.07.2009	0,26	-	-	0,5	-	-
02.06.2010	0,19	0,18	0,16	6,13	24,46	2,07
08.08.2010	-	0,44	-	-	12,69	-
23.08.2010	0,16	0,16	0,39	1,77	6,58	0,92
01.10.2010	-	0,16	-	-	5,02	-
20.10.2010	0,39	-	-	1,07	-	-
07.09.2011	0,82	-	x	1,32	-	x
16.09.2011	-	0,29	x	-	1,36	x
29.09.2011	0,18	-	x	0,76	-	x

**Tab. č. 6:** Hodnoty extrémně vysokých koncentrací celkového fosforu a k nim náležících průtoků na jednotlivých zájmových subpovodích (autor, 2017)

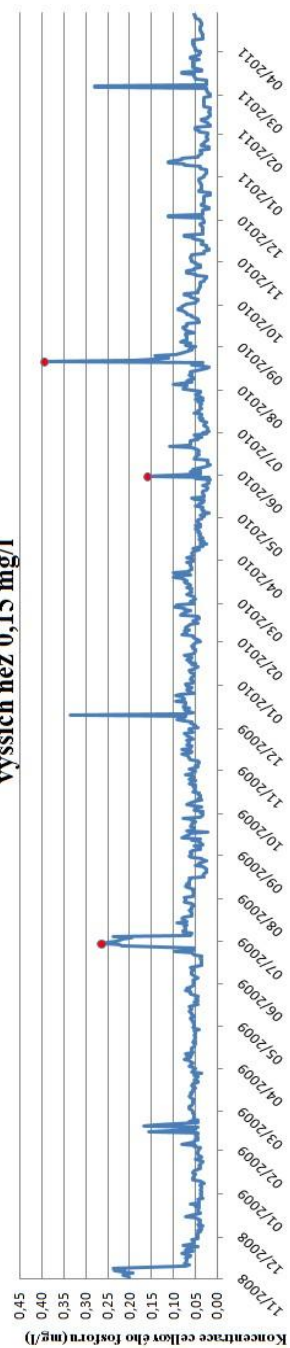
Vývoj časové řady koncentrace celkového fosforu na subpovodí P6 s vyznačením koncentrací vyšších než 0,15 mg/l



Vývoj časové řady koncentrace celkového fosforu na subpovodí P52 s vyznačením koncentrací vyšších než 0,15 mg/l



Vývoj časové řady koncentrace celkového fosforu na subpovodí P53 s vyznačením koncentrací vyšších než 0,15 mg/l



**Graf č. 2:** Znárodnění vývoje časové řady koncentrace celkového fosforu s vyznačením extrémních koncentrací celkového fosforu na subpovodích P6, P52 a P53 (autor, 2017)

### 6.3 Stanovení Indexu předchozích srážek (API)

Pro každou vybranou srážko-odtokovou událost, která se vyskytla ve stejný den, ve který byla naměřena extrémní odchylka od běžných hodnot koncentrace celkového fosforu v jednotlivých zkoumaných subpovodích byl vypočten index předchozích srážek pro 5 dní (API 5). Pro výpočet indexu všech jednotlivých srážkových událostí bylo využito dat z měrného stanoviště T7U, jelikož byl dostupný celistvý soubor dat, což je pro účely výpočtu indexu předchozích srážek nezbytně nutné. Výpočet indexu byl zvolen tak, že poslední den, pro který se hodnota určuje, je předchozí kalendářní den před výskytem vybrané události. Výčet výsledných hodnot je pro jednotlivé výskyty extrémních koncentrací uveden v tabulce č. 7.

Datum	Hodnoty extrémních koncentrací celkového fosforu (mg/l)			Příčinná srážka (mm)	API 5 (mm)
	P6	P52	P53		
25.06.2009	0,19	-	-	11,2	53,3
30.06.2009	-	0,29	-	3	13,2
01.07.2009	-	-	0,26	23,2	5
06.07.2009	0,26	-	-	17	33,3
02.06.2010	0,19	0,18	0,16	38,8	17,6
08.08.2010	-	0,44	-	57,6	43
23.08.2010	0,16	0,16	0,39	13,2	0
01.10.2010	-	0,16	-	14,8	64,8
20.10.2010	0,39	-	-	1,6	4,8
07.09.2011	0,82	-	x	1,4	39,2
16.09.2011	-	0,29	x	7,4	7,6
29.09.2011	0,18	-	x	0,2	0,4

**Tab. č. 7:** Hodnoty indexu předchozích srážek pro srážkové události spojené s extrémními koncentracemi celkového fosforu na jednotlivých subpovodích (autor, 2017)

## 6.4 Odnosy celkového fosforu

Tabulka č. 8 znázorňuje hodnoty vysokých koncentrací celkového fosforu a k nim náležící vypočítané průměrné denní odnosy celkového fosforu.

Datum	Hodnoty extrémních koncentrací celkového fosforu (mg/l)			Průměrné denní odnosy celkového fosforu (g)		
	P6	P52	P53	P6	P52	P53
25.06.2009	0,19	-	-	28,85	47,85	0,67
30.06.2009	-	0,29	-	2,06	23,72	0,89
01.07.2009	-	-	0,26	2,28	27,32	1,17
06.07.2009	0,26	-	-	11,17	53,16	1,71
02.06.2010	0,19	0,18	0,16	100,06	372,02	28,61
08.08.2010	-	0,44	-	21,36	482,41	7,13
23.08.2010	0,16	0,16	0,39	20,45	90,78	31,48
01.10.2010	-	0,16	-	23,03	65	5,93
20.10.2010	0,39	-	-	35,67	5,94	0,03
07.09.2011	0,82	-	x	93,07	14,02	x
16.09.2011	-	0,29	x	1,96	34,43	x
29.09.2011	0,18	-	x	11,78	9,21	x

**Tab. č. 8:** Hodnoty extrémně vysokých koncentrací celkového fosforu a hodnoty průměrných denních odnosů na jednotlivých zájmových subpovodích (autor, 2017)

Tabulka č. 9 znázorňuje hodnoty průměrných denních odnosů celkového fosforu z tabulky č. 8 a k nim náležící naměřené průtoky, naměřené na jednotlivých zájmových subpovodích ve sledovaném období.

Datum	Průměrné denní odnosy celkového fosforu (g)			Průtoky ve dnech výskytu vysokých koncentrací celkového fosforu (l/s)		
	P6	P52	P53	P6	P52	P53
25.06.2009	28,85	47,85	0,67	1,77	6,29	0,08
30.06.2009	2,06	23,72	0,89	0,38	0,95	0,05
01.07.2009	2,28	27,32	1,17	0,41	1,37	0,05
06.07.2009	11,17	53,16	1,71	0,5	2,27	0,08
02.06.2010	100,06	372,02	28,61	6,13	24,46	2,07
08.08.2010	21,36	482,41	7,13	3,79	12,69	1,41
23.08.2010	20,45	90,78	31,48	1,77	6,58	0,92
01.10.2010	23,03	65	5,93	3,27	5,02	0,84
20.10.2010	35,67	5,94	0,03	1,07	1,76	0,01
07.09.2011	93,07	14,02	x	1,32	2,07	x
16.09.2011	1,96	34,43	x	0,77	1,36	x
29.09.2011	11,78	9,21	x	0,76	1,13	x

**Tab. č. 9:** Hodnoty průměrných denních odnosů ve dnech výskytu extrémně vysokých koncentrací celkového fosforu a s nimi související hodnoty průtoků v odběrných profilech na jednotlivých zájmových subpovodích (autor, 2017)

Z tabulky č. 9 je patrné, že při vysokém průtoku zpravidla dochází také k vysokým odnosům celkového fosforu ze subpovodí a to v podstatě bez ohledu na koncentrace celkového fosforu v odtoku. To dokazuje tabulka č. 8.

Základní ukazatel střední hodnoty průměrných denních odnosů vyšel pro subpovodí:

- P6 = 5,4 g,
- P52 = 14,88 g,
- P53 = 1,26 g.



## **6.5 Analýza vlivu srážko-odtokových událostí na výskyt extrémních koncentrací fosforu v zájmových subpovodích**

Vyhodnocená data z tabulky číslo 7 dokazují, že nasycenost povodí, vyjádřená hodnotou API 5, nemá souvislost s výskytem vysokých koncentrací celkového fosforu. Z tabulky č. 6 je pak patrné, že neexistuje jednoznačná závislost mezi výskyty extrémně vysokých koncentrací fosforu a průtoky. Mimo to se však ve sledovaném období vyskytlo několik zajímavých událostí.

Dne 2. června 2010 byla na srážkoměrné stanici T7U naměřena srážka, která dosáhla 38,8 mm, čímž podle tabulky č. 5 překročila o 3,5 mm hranici 2leté srážky. Ve stejném dni byly naměřeny vysoké koncentrace celkového fosforu na odběrných stanovištích všech 3 sledovaných subpovodí a podle tabulky č. 6 byly naměřeny i do značné míry zvýšené průtoky. Přibližně o 2 a půl měsíce později, tedy dne 23. srpna 2010 byla naměřena srážka, dosahující 13,2 mm a ve stejném dni byly rovněž naměřeny extrémní koncentrace celkového fosforu na odběrných profilech všech 3 zájmových subpovodí a tabulka č. 6 vykazuje opět zvýšené průtoky. Na výskyt extrémních koncentrací celkového fosforu při obou zmíněných událostech má tedy evidentní vliv erozní účinnost deště.

Dne 8. srpna 2010 byla na srážkoměrné stanici T7U zaznamenána srážka, která dosáhla 57,6 mm, čímž podle tabulky č. 5 překročila hranici 5leté srážky o 5,2 mm. Ve stejném dni bylo dosaženo i zvýšených průtoků, nicméně extrémní koncentrace celkového fosforu byla naměřena pouze na odběrném profilu subpovodí P52. Pro tuto extrémní koncentraci celkového fosforu byla rovněž bezesporu příčinou s ní spojená srážko-odtoková událost.

Zmíněné případy jsou jedinými výskyty extrémních koncentrací celkového fosforu, pro které je evidentní příčinou vliv erozní účinnosti deště.

## 7. DISKUZE

### 7.1 Vliv srážko-odtokových událostí na výskyt extrémních koncentrací celkového fosforu v zájmových subpovodích

Podle Yanga (2009) jsou srážko-odtokové události faktorem, který má bezpochyby vliv na výskyt extrémních koncentrací fosforu v zájmových zemědělských subpovodích. Z případů, vyhodnocených jako události s evidentní příčinou vlivu erozní činnosti deště na výskyt extrémních koncentrací celkového fosforu se dá vyvodit, že srážkový úhrn na úrovni kolem 2leté srážky vytváří v zájmovém území pravděpodobně „ideální“ podmínky pro nejvyšší účinnost eroze ve smyslu dosažení vysokých koncentrací celkového fosforu v odtoku na všech sledovaných subpovodích. Jakmile totiž úhrn srážky překročí úroveň 5leté srážky, vysoká koncentrace celkového fosforu byla naměřena pouze na odběrném profilu subpovodí P52. Lze se tedy domnívat, že v případě, pokud se v zájmovém území vyskytne srážka o úhrnu nepříliš překračujícím 2letou srážku, bude pravděpodobně naměřena zvýšená koncentrace celkového fosforu na všech 3 zájmových subpovodích. Prashun (2005) uvádí, že při extrémních srážkových událostech je povrchová složka odtoku významným transportním médiem, které do značné míry ovlivňuje koncentraci fosforu. Pokud ovšem úhrn srážky přesáhne určitou úroveň, nastane v odběrném profilu příliš vysoký průtok, při kterém se koncentrace zředují, čímž je sice dosaženo úměrně vyšších odnosů, které s průtokem rostou, ale naměřená koncentrace celkového fosforu vykáže nepříliš vysokou hodnotu (Davie, 2008). To je patrné z tabulky č. 9 a při porovnání hodnot pro událost z 8. srpna 2010, kdy byla sice během 5leté srážky naměřena extrémní koncentrace celkového fosforu 0,44 mg/l, odpovídající 6násobku střední hodnoty denních výskytů pro subpovodí P52, což je velmi vysoká hodnota, nicméně vypočítaný průměrný denní odnos celkového fosforu, uvedený v tabulce č. 8 dosahuje hodnoty 482,41 g, což odpovídá více než 32násobku střední hodnoty průměrných denních odnosů pro subpovodí P52. To, že se při 5leté srážce vyskytla extrémní koncentrace celkového fosforu pouze na subpovodí P52 je pravděpodobně dáno jeho velikostí. Subpovodí P52 je totiž 13x větší než subpovodí P53 a 4x větší než subpovodí P6 a při přívalovém dešti proto působil vliv erozní účinnosti deště na mnohem větší plochu. Jak totiž uvádí Procházková (2011), v kraji Vysočina, v němž se nachází všechna zájmová subpovodí, jsou situovány jedny z nejohroženějších zemědělských pozemků

vodní erozi v České republice, což se týká zejména bloků zemědělsky využívané půdy o velké rozloze s absencí vhodných protierozních opatření.

## **7.2 Vliv bodových zdrojů na výskyt extrémních koncentrací celkového fosforu v zájmových subpovodích**

Němec (2006) uvádí, že jakost vody v přírodě se zhoršuje zejména odnosem živin ze zemědělských pozemků a ostatní změny v jakosti povrchových vod jsou způsobeny především bodovými zdroji, tedy hlavně vypouštěním odpadních vod do vod povrchových. Novotný (2003) považuje bodové zdroje za jeden z největších zdrojů výskytů vysokých koncentrací celkového fosforu a fosforečnanů v povrchových vodách a bodové zdroje mohou být pravděpodobnou příčinou dlouhodobě vysokých hodnot koncentrace celkového fosforu na subpovodí P52, na kterém se nachází v blízkosti odběrného stanoviště několik obytných domů, z nichž by se fosfor mohl do subpovodí dostávat. Na subpovodí P52 se nachází také výše zmíněný rybník, který je situován v bezprostřední blízkosti odběrného profilu. Na tomto rybníku po většinu vegetačního období pobývá vodní ptactvo. Zelenka (2015) uvádí, že trus vodních ptáků obsahuje velké množství fosforu, čímž v případě hojnějšího výskytu ptáků zatěžuje životní prostředí, proto by na subpovodí P52 mohly exkrementy vodních ptáků způsobovat dlouhodobě zvýšené hodnoty koncentrace celkového fosforu. Bodové zdroje tedy mohou být pro subpovodí P52 pravděpodobnou příčinou jednak, oproti zbylým 2 subpovodím, dlouhodobě zvýšené koncentrace celkového fosforu a pak také 2 naměřených extrémních výskytů celkového fosforu konkrétně 30. června 2009 a 16. září 2011, kdy byla v obou případech naměřena koncentrace fosforu rovna téměř čtyřnásobku střední hodnoty pro subpovodí P52, ale úhrny srážek a průtoky, odpovídající těmto výskytům, byly zanedbatelné.

Kromě výše zmíněných událostí se ostatní výskyt extrémních koncentrací celkového fosforu vyskytují poměrně nahodile a bez toho, aby se dala prokazatelně určit jejich příčina. Chování fosforu se dá jen velmi těžko odhadnout a v mnoha případech je hledání průkazné příčiny vysokého výskytu jeho koncentrace komplikované, proto se mnohdy lze o skutečné příčině pouze domnívat (Davis, 1998).

### **7.3 Vliv dalších faktorů na výskyt extrémních koncentrací celkového fosforu v zájmových subpovodích**

Faktorem, který do jisté míry může ovlivnit zvýšení koncentrace celkového fosforu v povodí je bezpochyby aplikace hnojiv na zemědělsky obdělávané pozemky. Půda je tak obohacena o poměrně velké množství fosforu a při srážko-odtokových událostech je pak transportováno větší množství fosforu. Vagstad (2004) uvádí, že ze zemědělských pozemků je často vyplavováno velké množství živin kvůli intenzivnímu hnojení, obzvláště pak v situacích, kdy dávka aplikovaných hnojiv překračuje množství živin, které pěstované plodiny vyžadují. Co se týče zájmových subpovodí, dle veřejného registru půdy LPIS na internetových stránkách [www.eAgri.cz](http://www.eAgri.cz) spadají všechny pozemky na subpovodí P52 a P53 do vlastnictví SPV Pelhřimov, a. s. a subpovodí P6 náleží z poloviny rovněž do vlastnictví SPV Pelhřimov, a. s. a druhou polovinu vlastní Kos MZ, s. r. o. Z toho důvodu lze brát v potaz, že termíny aplikování hnojiv mohou být velmi pravděpodobně podobné, případně stejné. Aby bylo možné označit vyplavení fosforu z hnojení do vodoteče za příčinu výskytu extrémní koncentrace celkového fosforu, je dle Haygartha (2002) nutný souběh. Hned po aplikaci hnojiva by se musela vyskytnout přívalová srážka, která by složky celkového fosforu, obsaženého v hnojivu, smyla z půdního povrchu do vodoteče dříve, než by byl fosfor přijmut vegetací. Právě přívalové srážky mají totiž podle Pionkeho (1999) největší vliv na míru splavování hnojiv ze zemědělských pozemků. Pro zhodnocení vlivu hnojení zemědělských pozemků na výskyt vysokých koncentrací celkového fosforu je proto nezbytné znát termíny aplikování hnojiv ve sledovaném území. Informace o aplikování hnojiv ani o pěstovaných plodinách na zemědělských pozemcích však nejsou veřejně přístupné a proto v této práci nebylo možné zhodnotit vliv aplikování hnojiv na výskyt zvýšených koncentrací celkového fosforu v zájmových subpovodích.

V literatuře je často zmiňován vliv landuse na zvýšené koncentrace živin v povodí a jejich odnosy. Johnes (1996) poukazuje na to, že hodnoty odnosu živin z pozemků spojených s intenzivním zemědělstvím jako je pastva skotu nebo plodiny na orné půdě mají tendenci být vyšší než z jiných typů land-use. Je však třeba brát v potaz i skutečný vegetační pokryv, který je na orné půdě pěstován. Galbraith (2007) udává, že vedle intenzity zemědělských aktivit ovlivňuje množství

exportovaných živin do povrchových vod také typ vegetačního pokryvu, což přímo souvisí s erozí půdy pro jednotlivé plodiny. Zatímco pro širokořádkové plodiny, tedy okopaniny, je náchylnost zemědělské půdy k erozi vysoká, nejméně náchylná k erozi je půda s hustějším vegetačním pokryvem, jako je například jetel. Jak je uvedeno výše, informace o osevních postupech zemědělských pozemků bohužel nejsou veřejně přístupné, proto v této diplomové práci nebyl hodnocen vliv vegetačního pokryvu na výskyt extrémních koncentrací celkového fosforu v zájmových subpovodích.

Koncentraci celkového fosforu, naměřenou v odběrných profilech zájmových subpovodí dále ovlivňují vegetační pásy podél vodních toků. Podhrázská (2005) uvádí, že vegetační zasakovací pásy se budují podél vodotečí k zabránění erozních smyvů. Mohou být travní, křovinné nebo lesní. Účinnost pásů je závislá na vegetačním krytu, půdě, vlhkosti půdy, sklonu svahu, šířce pásu a intenzitě přívalového deště. Pás může mít tedy například menší vliv při větších srážkách, kdy propustí více transportovaných živin, avšak při menších srážkách může zachytit velké množství fosforu, který se tím pádem nedostane do odběrného profilu a to může vyústit v situaci, kdy při stejné srážce na 3 zájmových subpovodích bude naměřena extrémní koncentrace celkového fosforu jen na 1 odběrném stanovišti.

Faktorem s podobně nahodilým vlivem na koncentraci celkového fosforu, naměřeného v odběrném profilu zájmového subpovodí, jako je vliv vegetačních pásů, mohou být také sedimenty, usazené v korytě toku. Jak totiž uvádí Hirsch (2012), tyto sedimenty mohou při menších srážko-odtokových událostech zůstat usazené v klidu, ale naopak při větší srážko-odtokové události se mohou vlivem zvýšeného průtoku rozvířit a navýšit tak koncentraci fosforu v odběrném profilu. Taková situace může opět vyústit v naměření extrémní koncentrace celkového fosforu jen na 1 odběrném stanovišti.

Jak je uvedeno výše, subpovodí P53 je v drenážním systému, což do značné míry ovlivňuje hydrogeologické charakteristiky tohoto subpovodí. To může mít dopad na výskyt vysokých koncentrací celkového fosforu, které se na tomto subpovodí mnohdy vyskytly v období od listopadu do dubna. Podle Druryho (1996) se totiž většina živin z pozemků s drenážními systémy vyplaví právě v průběhu mimovegetačního období (listopad – duben).

Je pravděpodobné, že mnohé z naměřených výskytů extrémních koncentrací celkového fosforu v zájmových subpovodích byly zapříčiněny vlivem některého z výše uvedených faktorů, případně jejich kombinací. Jedná se ovšem o faktory, jejichž vliv nelze prokazatelně potvrdit.

## 8. ZÁVĚR

Cílem diplomové práce byla především analýza výskytu vysokých koncentrací celkového fosforu v malých zemědělských subpovodích, naměřených během sledovaného období. Fosfor je totiž prvkem, který má negativní dopad na jakost povrchových vod, proto je nutné jeho pravidelné sledování a regulování. Pro tuto práci byly cíleně zvoleny tři subpovodí, náležící do povodí Kopaninského toku s různými rozlohami i způsoby využití území, na kterých byl analyzován vliv srážko-odtokových událostí na výskyt vysokých koncentrací celkového fosforu ve vegetačním období. Při řešení byly důležité zejména naměřené hodnoty koncentrace celkového fosforu a průtoku.

Výsledkem diplomové práce je několik případů, na kterých lze potvrdit, že srážko-odtokové události jsou důležitým faktorem, ovlivňujícím výskyt extrémních koncentrací celkového fosforu v malých zemědělských subpovodích. Případů, kdy se vyskytly extrémní koncentrace celkového fosforu na všech třech zájmových subpovodích současně v závislosti na srážko-odtokové události je však málo a proto lze tento faktor označit za příčinu výskytu extrémních koncentrací celkového fosforu jen za určitých podmínek. Fosfor je totiž prvkem, jehož chování je v krajině velmi těžko odhadnutelné a může na něj mít vliv celá řada faktorů (Davis, 1998). Dalšími faktory jsou: bodové zdroje, přítomnost či nepřítomnost drenážních systémů, využití území, intenzita aplikace hnojiv, struktura vegetačního pokryvu zemědělské půdy, protierozní opatření, sedimentace v korytech toků, hydrogeologické a pedologické vlastnosti, geografická a morfologická charakteristika území. Z dosažených výsledků vyplývá, že ve sledovaných malých zemědělských subpovodích jsou důležitými faktory výskytu vysokých koncentrací celkového fosforu zejména srážko-odtokové události a dále pak případný vliv bodových zdrojů.

## 9. SOUHRNY

### 9.1 Seznam použité literatury a zdrojů

- [1] ALEXANDROV, Y., LARONNE, J., B., REID, I. *Intra-event and intra-seasonal behavior of suspended sediment in flash flood of the semi-arid northern Negev, Israel*. *Geomorphology* 85, 2007. 85-97 s.
- [2] ANSORGE, L., KRÁSA, J. *Možnosti využití výsledků projektu Q1102A265 „Určení podílu erozního fosforu na eutrofizaci ohrožených útvarů stojatých povrchových vod“ při plánování v oblasti vod*. *Vodní hospodářství* 4/2012, 2012. 5–9 s.
- [3] BENNETT, E., M., CARPENTER, S., R., CARACO, N., F. *Human Impact on Erodable Phosphorus and Eutrophication: A Global Perspective*. *Bioscience* 51, 2001. 227-234 s.
- [4] BEVEN, K. *Rainfall-runoff modeling: The Primer*. Chichester: John Wiley and Sons, 2002. 360 s.
- [5] BRADY, N., C., WEIL, R., R. *The Nature and Properties of Soils, thirteenth edition*. Prentice Hall, 2002. 960 s. ISBN 13-016763-0.
- [6] BRONSDON, R., K., NADEN, P., S. *Suspended sediment in the Rivers Tweed and Tevoit*. *The Science of the Total Environment* 251/252, 2000. 95-113 s.
- [7] BUTTURINI, A., ALVAREZ, M., BERNAL, S., VAZQUEZ, E., SABATER, F. *Diversity and temporal sequences of forms of DOC and NO<sub>3</sub>-discharge responses in an intermittent stream: Predictable or random succession?* *Journal of Geophysical Research* 113, 2008. 10 s.
- [8] BUZEK, L. *Eroze půdy*. Ostrava: Pedagogická fakulta v Ostravě, 1983. 123 s.
- [9] CARPENTER, S., R., CARACO, N., F., CORRELL, D., L., HOWARTH, R., W., SHARPLEY, A., N., SMITH, V., H. *Nonpoint pollution of surface waters with phosphorus and nitrogen*. *Ecological Applications* 8, 1998. 559–568 s.
- [10] CÍSAŘ, V., ČÍHALÍK, J., HAVRÁNEK, J. *Člověk a životní prostředí*. Praha: Státní pedagogické nakladatelství, 1987. 264 s.
- [11] DANZ, M., E., CORSI, S., R., BROOKS, W., R., BANNERMAN, R., T. *Characterizing response of total suspended solids and total phosphorus loading to weather and watershed characteristics for rainfall and snowmelt events in agricultural watersheds*. *Journal of Hydrology* 507, 2013. 249-261 s.
- [12] DAVIE, T. *Fundamentals of hydrology*. Routledge, 2008. 200 s. ISBN 0415399874.
- [13] DAVIS, R., HAMBLIN, A., O'LOUGHLIN, E., AUSTIN, N., BANENS, R., CORNISH, P., COX, J., HAIRSINE, P., MCCULLOCH, M., MOODY, P., OLLEY, J.,



- PROVE, B., SMALLS, I., WEAVER, D. *Phosphorus in the landscape: diffuse sources to surface waters*. Land and Water Resources Research and Development Corporation. Government of Western Australia, Occasional Paper 16/98, 1998. 28 s.
- [14] DEMEK, J. *Geomorfologie českých zemí*. Praha: Nakladatelství Československé akademie věd, 1965. 335 s.
- [15] DOLEŽAL, F., ČMELÍK, M., KULHAVÝ, Z., KVÍTEK, T., PILNÁ, E., SOUKUP, M., TIPPL, M. *Základní charakteristika pokusných povodí*. 2002. In: DOLEŽAL, F. *Pokusná zemědělsko-lesní povodí VÚMOP ve středočeském krystaliniku. Srovnání základních souborů dat*. Sborník z workshopu, Nové Hrady, 16. Října 2001. Praha: VÚMOP Praha, 2002. 5-12 s.
- [16] DRURY, C. F., TAN, C. S., GAYNOR, J. D., OLOYA, T. O., WELACKY, T. W. *Influence of controlled drainage–subirrigation on surface and tile drainage nitrate loss*. Journal of Environmental Quality 25, 1996. 317-324 s.
- [17] GÄCHTER, R., NGATIAH, J. M., STAMM, C. *Transport of phosphate from soil to surface waters by preferential flow*. Environmental Science & Technology 32, 1998. 1865-1869 s.
- [18] GALBRAITH, L. M., BURNS, C. W. *Linking land-use, water body type and Water quality in southern New Zealand*. Landscape Ecology 22, 2007. 231-241 s.
- [19] GLIESSMAN, S. R. *Agroecology: the ecology of sustainable food systems*. BocaRaton: CRC Press, 2007. 384 s. ISBN 0-8493-2845-4.
- [20] HARMEL, R. D., KING, K. W. *Uncertainty in measured sediment and nutrient flux in runoff from small agricultural watershed*. Transactions of the ASABE 48, 2005. 1713-1721 s.
- [21] HAYGARTH, P. M., HEPWORTH, L., JARVIS, S. C. *Forms of phosphorus transfer in hydrological pathways from soil under grazed grassland*. European Journal of Soil Science 49, 1998. 60-72 s.
- [22] HAYGARTH, P. M., JARVIS, S. C. *Agriculture, Hydrology and Water Quality*. CAB International, 2002. 528 s.
- [23] HEJZLAR, J., BOROVEC, J., MOŠNEROVÁ, P., POLÍVKA, J., TUREK, J., VOLKOVÁ, A., ŽALOUDIK, J. *Bilanční studie zdrojů fosforu a dusíku v povodí nádrže Orlík*. České Budějovice: Biologické centrum AVČR, v. v. i., Hydrobiologický ústav, 2010. 67-80 s.
- [24] HENDL, J. *Přehled statistických metod zpracování dat: Analýza a metaanalýza dat*. 1. vyd. Praha: Portál, 2004. 583 s. ISBN 80-717-8820-1.

- [25] HETEŠA, J., KOČKOVÁ, E. *Hydrochemie*. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, 1997. 106 s. ISBN 80-7157-289-6.
- [26] HIRSCH, R., M. *Flux of nitrogen, phosphorus, and suspended sediment from the Susquehanna River Basin to the Chesapeake Bay during Tropical Storm Lee, September 2011, as an indicator of the effects of reservoir sedimentation on water quality*. U. S. Geological Survey Scientific Investigations Report 2012–5185, 2012. 17 s.
- [27] JOHNES, P., J., MOSS, B., PHILLIPS, B. *The determination of total nitrogen and total phosphorus concentrations in freshwaters from land-use, stocking headage and population data: testing of a model for use in conservation and water quality management*. *Freshwater Biology* 36, 1996. 451–473 s.
- [28] KALFF, J. *Limnology: Inland water ecosystems*. Prentice Hall, 2002. 592 s.
- [29] KALINOVÁ, J., MOUDRÝ, J., KONVALINA, P. *Půdní úrodnost, výživa a hnojení rostlin v ekologickém zemědělství*. České Budějovice: Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, 2007. 41 s. ISBN 978-80-7394-029-4.
- [30] KIM, J., S., OH, S., Y., OH, K., Y. *Nutrient runoff from a Korean rice paddy watershed during multiple storm events in the growing season*. *Journal of Hydrology* 327, 2006. 128-139 s.
- [31] KLÍR, J. *Bilance rostlinných živin*. Studijní informace: rostlinná výroba. Praha: ÚZPI, 1999. 43 s. ISBN 80-7271-061-3.
- [32] KODEŠ, V., LEONTOVYČOVA, D. *Jakost vody v ČR*. *Vesmír* 87/11, 2008. 771-773 s.
- [33] KORBEL, P., NOVÁK, M. *Kompletní encyklopedie minerálů*. Praha: REBO, 2004. 296 s. ISBN 80-7234-339-4.
- [34] KVÍTEK, T., GERGEL, J., KVÍTKOVÁ, G. *Využití a ochrana vodních zdrojů*. 1. vyd. České Budějovice: Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, 2005. 169 s. ISBN 80-7040-773-5.
- [35] LELLÁK, J., KUBIČEK, F. *Hydrobiologie*. Praha: Karolinum, 1991. 260 s. ISBN 80-7066-530-0.
- [36] LINSLEY, K., R., PAULHUS, J., L., KOHLER, M., A. *Hydrology for Engineers*. McGraw-Hill Companies, 1982. 512 s. ISBN 978-0070379565.
- [37] MÍKOVÁ, T., VALERIÁNOVÁ, A., VOŽENÍLEK, V. *Atlas podnebí Česka*. 1. vyd. Praha: Český hydrometeorologický ústav, 2007. 256 s. ISBN 978-80-86690-26-1.
- [38] MOLDAN, B., ZYKA, J., JENIK, J. *Životní prostředí očima přírodovědce*. Praha: Academia, 1979. 168 s.

- [39] NEWMAN, E., I. *Phosphorus inputs to terrestrial ecosystems*. Journal of Ecology, 1995. 713-726 s.
- [40] NEWBOLD, J., D. *Cycles and Spirals of Nutrients*. In: CALOW, P., PETTS, G., E. *The Rivers Handbook*. Oxford: Blackwell Science, 1992. 370 – 408 s.
- [41] NĚMEC, J., HLADNÝ, J. *Voda v České republice*. Praha: Consult, 2006. 253 s. ISBN 80-903482-1-1.
- [42] NOVOTNÝ, V. *Water Quality: Diffuse Pollution and Watershed Management*. John Wiley & Sons, 2003. 864 s. ISBN 0-471-39633-8.
- [43] OLLESCH, G., DEMIDOV, V., VOLOKITIN, M., VOSKAMP, M., ABBT-BRAUN, G., MEISSNER, R. *Sediment and nutrient dynamics during snowmelt runoff generation in a southern Taiga catchment of Russia*. Ecosystems and Environment 126, 2008. 229-242 s.
- [44] PARFITT, R., L., BAISDEN, W., T., ELLIOTT, A., H. *Phosphorus inputs and outputs for New Zealand in 2001 at national and regional scales*. Journal of the Royal Society of New Zealand, 38(1), 2008. 37-50 s.
- [45] PASÁK, V. *Ochrana půdy před erozí*. Praha: Státní zemědělské nakladatelství, 1984. 160 s.
- [46] PIERROU, U. *The global phosphorus cycle*. Ecological Bulletins, 1976. 75-88 s.
- [47] PIONKE, H., B., GBUREK, W., J., SCHNABEL, R., R., SCHARPLEY, A., N., ELWINGER, G., F. *Seasonal flow, nutrient concentrations and loading patterns in stream flow draining an agricultural hill-land watershed*. Journal of Hydrology 220, 1999. 62-73 s.
- [48] PITTER, P. *Hydrochemie*. Praha: Vydavatelství VŠCHT, 1999. 568 s. ISBN 80-7080-340-1.
- [49] PODHRÁZSKÁ, J., UHLÍŘOVÁ, J. *Možnosti stanovení účinnosti ochrany před povodněmi retencí krajiny*. Výstup etapy 06 výzkumného záměru VÚMOP Praha. Praha: VÚMOP, 2005. 29 s.
- [50] PRASHUN, V., SIEBER, U. *Changes in diffuse phosphorus and nitrogen inputs into surface waters in the Rhine watershed in Switzerland*. Aquatic Science 67, 2005. 363–371 s.
- [51] QUITT, E. *Klimatické oblasti Československa*. Praha: Academia, 1971. 73 s.
- [52] SHARPLEY, A., N. *Soil phosphorus dynamics: agronomic and environmental impacts*. Ecological Engineering 5, 1995. 261–279.

- [53] SHARPLEY, A., N., McDOWELL, R., W., KLEINMAN, J., A. *Phosphorus loss from land to water: integrating agricultural and environmental management*. Plant and Soil 237, 2001. 287–307 s.
- [54] SCHRÖDER, J., J., SCHOLEFIELD, D., CABRAL, F., HOFMAN, G. *The effects of nutrient losses from agriculture on ground and surface water quality: the position of science in developing indicators for regulation*. Environmental Science & Policy, 2004. 15-23 s. ISSN 14629011.
- [55] SMITH, V., H., TILMAN, G., D., NEKOLA J., C. *Eutrophication: impacts of excess nutrient inputs on freshwater, marine, and terrestrial ecosystems*. Environmental Pollution 100, 1999. 179-196 s.
- [56] SVOBODA, J. *Encyklopedický slovník geologických věd: 1. svazek A -M*. Praha: Academia, 1983. 916 s. In: ŠIMEK, M. *Základy nauky o půdě: 3. Biologické procesy a cykly prvků*. České Budějovice: Jihočeská univerzita, 2003. 151 s. ISBN 80-7040-630-5.
- [57] ŠAFARČÍKOVÁ, S., PEŠATA, M. *Zvýšená hladina živin. Živiny v krajině*. In: HRÁZSKÝ, Z., ŠAFARČÍKOVÁ, S. *Živiny v krajině: dusík, fosfor, eutrofizace půdy a vody, indikace dusíku*. DAPHNE ČR - Institut aplikované ekologie, 2006. 6-11 s.
- [58] ŠAMAJ, F., VALOVIČ, Š., BRÁZDIL, R. *Denné úhrny zrážok s mimoriadnou výdatnosťou v ČSSR v období 1901-1980*. Bratislava: Zborník prác Slovenského hydrometeorologického ústavu, 1985. 9-112 s.
- [59] ŠIMEK, M. *Základy nauky o půdě: 3. Biologické procesy a cykly prvků*. České Budějovice: Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, 2003. 151 s. ISBN 80-7040-630-5.
- [60] TLAPÁK, V., ŠÁLEK, J., LEGÁT, V. *Voda v zemědělské krajině*. Praha: Zemědělské nakladatelství Brázda, 1992. 320 s.
- [61] VAGSTAD, N., STALNACKE, P., ANDERSEN, H., E., DEELSTRA, J., JANSON, V., KYLLMAR, K., LOIGU, E., REKOLAINEN, S., TUMAV, R. *Regional variations in diffuse nitrogen losses from agriculture in the Nordic and Baltic regions*. Hydrology and Earth System Science 8, 2004. 651-662 s.
- [62] VANĚK, S. *Voda v ČR*. Vesmír 87/11, 2008. 774 s. ISSN 0042-4544.
- [63] VOLAUFOVÁ, L. *Kvalita povrchových vod v České republice*. Vesmír 87/11, 2008. 768-770 s. ISSN 0042-4544.
- [64] VIDON, P., CUADRA, P., E. *Phosphorus dynamics in tile-drain flow during storm in the US Midwest*. Agricultural Water Management 98, 2011. 532-540 s.

- [65] Vyhláška č. 327/1998 Sb., Vyhláška Ministerstva zemědělství, kterou se stanoví charakteristika bonitovaných půdně ekologických jednotek a postup pro jejich vedení a aktualizaci. In: *Sbírka zákonů*. 31. 12. 1998.
- [66] YANG, J., L., ZHANG, G., L., SHI, X., Z., WANG, H., J., CAO, Z., H., RITSEMA, C., J. *Dynamic changes of nitrogen and phosphorus losses in ephemeral runoff processes by typical storm events in Sichuan Basin, Southwest China*. Soil & Tillage Research 105, 2009. 292-299 s. ISSN 0167-1987.
- [67] ZACHAR, D. *Erózia pôdy*. 2. vyd. Bratislava: VSAV, 1970. 527 s.
- [68] ŽLÁBEK, P. *Vliv uspořádání krajinné matrice na složky odtoku*. Dizertační práce. České Budějovice: Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, 2009. 70 s.

### Internetové zdroje

- [1] HAVLÍK, A. *Základy hydrologie*. Publikováno 25. 11. 2014. Přístupno na: <[http://hydraulika.fsv.cvut.cz/Vin/ke\\_stazeni/Hydrologie.pdf](http://hydraulika.fsv.cvut.cz/Vin/ke_stazeni/Hydrologie.pdf)>
- [2] PROCHÁZKOVÁ, M. *Česká pole jsou časovanou bombou, u poloviny z nich hrozí eroze*. Publikováno 13. 6. 2011. Přístupno na: <[http://zpravy.idnes.cz/voda-odnasi-pudu-z-poli-ministr-fuksa-proti-zprisi-pravidla-pro-hospodareni-1xf/domaci.aspx?c=A110613\\_201643\\_domaci\\_taj](http://zpravy.idnes.cz/voda-odnasi-pudu-z-poli-ministr-fuksa-proti-zprisi-pravidla-pro-hospodareni-1xf/domaci.aspx?c=A110613_201643_domaci_taj)>
- [3] ZELENKA, J. *Zvláštnosti travcího ústrojí a trávení u drůbeže*. Publikováno 3. 4. 2015. Přístupno na: <<http://www.chovzvirat.cz/clanek/732-zvlastnosti-travciho-ustroji-a-traveni-u-drubeze/>>

## 9.2 Seznam obrázků

Obr. č. 1: Schéma cyklu jednotlivých forem fosforu ve vodních tocích (Newbold, 1992) .....	15
Obr. č. 2: Přeměny fosforu během jeho přesunu z krajinného do vodního ekosystému (Sharples, 1995).....	16
Obr. č. 3: Koloběh fosforu (Císař, 1987) .....	17
Obr. č. 4: Znázornění profilů monitoringu bodových zdrojů (Němec, 2006).....	20
Obr. č. 5: Porovnání jakosti vody v českých tocích v letech 1991 – 1992 a 2006 – 2007 (Vaněk, 2008).....	22
Obr. č. 6: Podíly jednotlivých zdrojů vstupu fosforu do povodí analyzovaných nádrží v letech 2006 – 2010 (Ansorge, 2012) .....	28
Obr. č. 7: Poloha Kopaninského toku na mapě ZM200 .....	30
Obr. č. 8: Rozvodnice Kopaninského toku se zobrazením polohy subpovodí P6, P52 a P53 a srážkoměrné stanice T7U .....	31
Obr. č. 9: Zastoupení jednotlivých BPEJ v povodí Kopaninského toku.....	33
Obr. č. 10: Mapa landuse s grafem poměru jednotlivých ploch landuse k celkové ploše subpovodí P6 .....	35
Obr. č. 11: Mapa landuse s grafem poměru jednotlivých ploch landuse k celkové ploše subpovodí P52 .....	36
Obr. č. 12: Mapa landuse s grafem poměru jednotlivých ploch landuse k celkové ploše subpovodí P53 .....	37
Obr. č. 13: Histogram četností a empirická čára překročení (Havlík, 2014) .....	41

### 9.3 Seznam tabulek

Tab. č. 1: Zdroje fosforu v povodí vodní nádrže Orlický náhon (2007 – 2009) (Hejzlar, 2010) .....	27
Tab. č. 2: Hlavní charakteristiky povodí Kopaninského toku (Doležal, 2002).....	31
Tab. č. 3: Vyhodnocení statistických souborů dat koncentrace celkového fosforu na jednotlivých subpovodích.....	44
Tab. č. 4: Vyhodnocení statistických souborů dat úhrnu srážek na jednotlivých srážkoměrných stanicích .....	46
Tab. č. 5: Výčet hodnot odpovídajících denních úhrnů srážek s pravděpodobností opakování N let pro povodí Kopaninského toku (Šamaj, 1985).....	47
Tab. č. 6: Hodnoty extrémně vysokých koncentrací celkového fosforu a k nim náležících průtoků na jednotlivých zájmových subpovodích .....	52
Tab. č. 7: Hodnoty indexu předchozích srážek pro srážkové události spojené s extrémními koncentracemi celkového fosforu na jednotlivých subpovodích.....	54
Tab. č. 8: Hodnoty extrémně vysokých koncentrací celkového fosforu a hodnoty průměrných denních odnosů na jednotlivých zájmových subpovodích .....	55
Tab. č. 9: Hodnoty průměrných denních odnosů ve dnech výskytu extrémně vysokých koncentrací celkového fosforu a s nimi související hodnoty průtoků v odběrných profilech na jednotlivých zájmových subpovodích.....	56

### 9.4 Seznam grafů

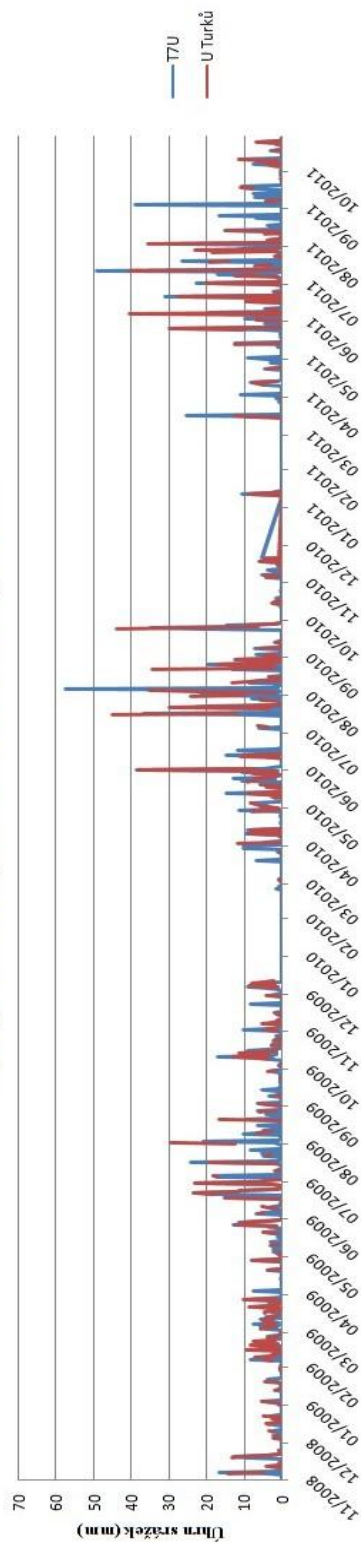
Graf č. 1: Empirické čáry překročení celkového fosforu na odběrných stanovištích P6, P52 a P53 .....	51
Graf č. 2: Znárodnění vývoje časové řady koncentrace celkového fosforu s vyznačením extrémních koncentrací celkového fosforu na subpovodích P6, P52 a P53.....	53

## 10. PŘÍLOHY

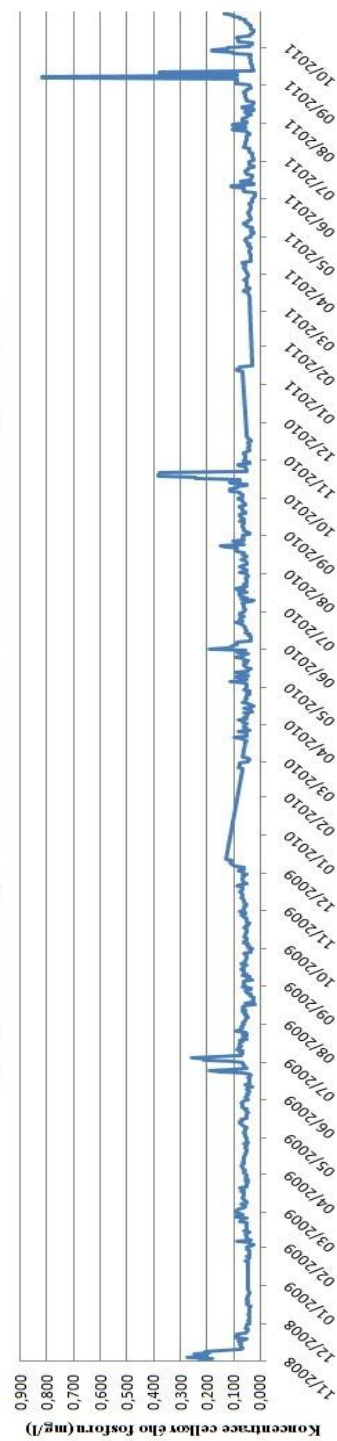
Příloha č. 1: Znázornění vývoje časové řady úhrnu srážek na subpovodí P6 .....	73
Příloha č. 2: Znázornění vývoje časové řady koncentrace celkového fosforu na subpovodí P6 .....	73
Příloha č. 3: Znázornění vývoje časové řady úhrnu srážek na subpovodí P52 .....	74
Příloha č. 4: Znázornění vývoje časové řady koncentrace celkového fosforu na subpovodí P52 .....	74
Příloha č. 5: Znázornění vývoje časové řady úhrnu srážek na subpovodí P53 .....	75
Příloha č. 6: Znázornění vývoje časové řady koncentrace celkového fosforu na subpovodí P53 .....	75



**Vývoj časové řady úhrnu srážek na subpovodí P6**



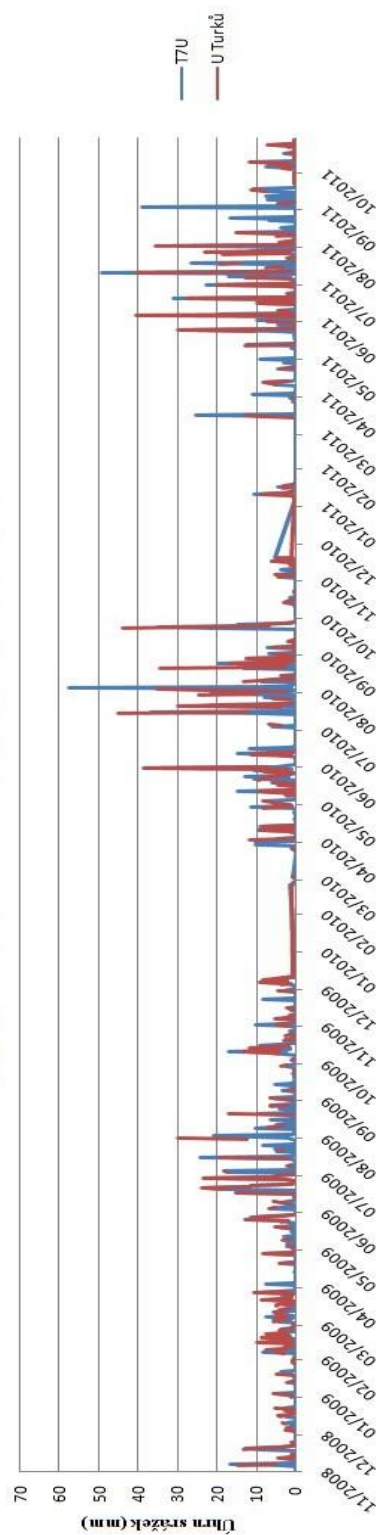
**Vývoj časové řady koncentrace celkového fosforu na subpovodí P6**



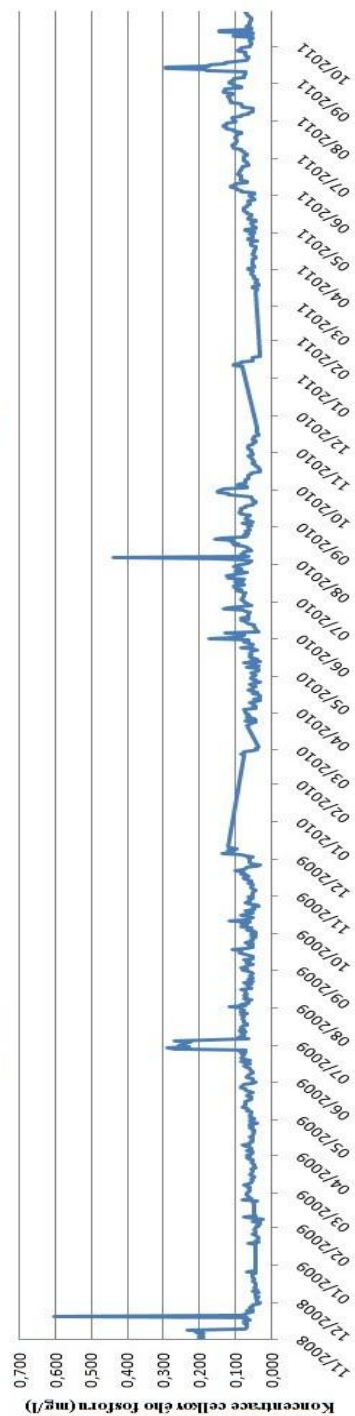
**Příloha č. 1:** Znázornění vývoje časové řady úhrnu srážek na subpovodí P6 (autor, 2017)

**Příloha č. 2:** Znázornění vývoje časové řady koncentrace celkového fosforu na subpovodí P6 (autor, 2017)

**Vývoj časové řady úhrnu srážek na subpovodí P52**



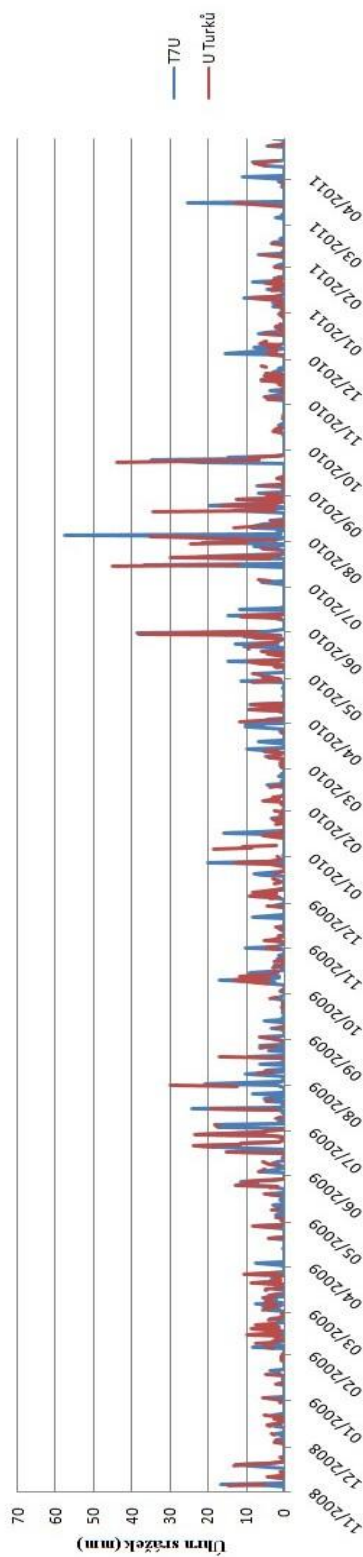
**Vývoj časové řady koncentrace celkového fosforu na subpovodí P52**



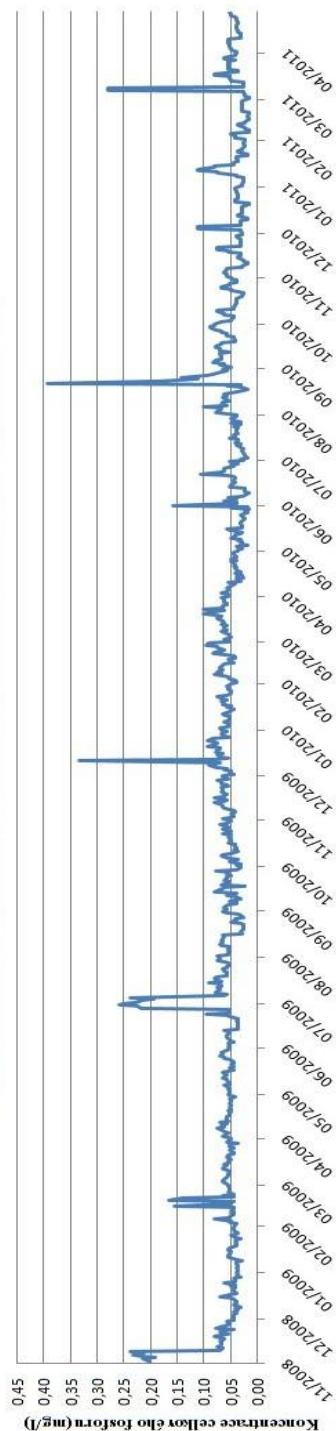
**Příloha č. 3:** Znárodnění vývoje časové řady úhrnu srážek na subpovodí P52 (autor, 2017)

**Příloha č. 4:** Znárodnění vývoje časové řady koncentrace celkového fosforu na subpovodí P52 (autor, 2017)

**Vývoj časové řady úhrnu srážek na subpovodí P53**



**Vývoj časové řady koncentrace celkového fosforu na subpovodí P53**



**Příloha č. 5:** Znárodnění vývoje časové řady úhrnu srážek na subpovodí P53 (autor, 2017)

**Příloha č. 6:** Znárodnění vývoje časové řady koncentrace celkového fosforu na subpovodí P53 (autor, 2017)