

JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH
ZEMĚDĚLSKÁ FAKULTA

Studijní program: B4106 Zemědělská specializace

Studijní obor: Pozemkové úpravy a převody nemovitostí

Katedra: Katedra krajinného managementu

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

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

**Analýza významných srážkových událostí na vybraných
povodích**

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Jana Moravcová, Ph.D.

Autor bakalářské práce: Veronika Lexová

České Budějovice 2016

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

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

Jméno a příjmení: **Veronika LEXOVÁ**
Osobní číslo: **Z13035**
Studijní program: **B4106 Zemědělská specializace**
Studijní obor: **Pozemkové úpravy a převody nemovitostí**
Název tématu: **Analýza významných srážkových událostí na zvolených povodích**
Zadávající katedra: **Katedra krajinného managementu**

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

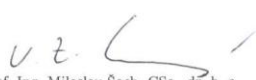
Identifikace jednotlivých srážko-odtokových událostí na zvoleném povodí ve vybraném časovém intervalu.
Analýza událostí z pohledu příčiny vzniku.
Analýza vývoje průtoků v průběhu srážko-odtokových událostí.
Analýza vývoje koncentrací nejdůležitějších sloučenin při srážko-odtokové události.
Vyhodnocení odnosu nejdůležitějších sloučenin při srážko-odtokové události.

Rozsah grafických prací: **dle potřeby**
Rozsah pracovní zprávy: **30 stran textu**
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**
Seznam odborné literatury:

DAVIE, T. 2008. Fundamentals of hydrology. Oxon: Routledge. 200 s. ISBN 978-0415220286. .
NOVOTNY, V. 2003. Water Quality. New Jersey: John Wiley Sons. 888 s. ISBN 0-471-39633-8. .
NOVOTNY, V., CHESTERS, G. 1981. Handbook of nonpoint pollution sources and management. New York: Van Nostrand Reinhold Company. 555 s. .
ŘÍHA, J., DOLEŽAL, P., JANDORA, J., OŠLEJŠKOVÁ, J., RYL, T. 2002. Jakost vody v povrchových vodních tocích a její matematické modelování. Brno: NOEL 2000, s.r.o. 269 s. ISBN 80-86020-31-2. .
VASILIEV, O. F., VAN GELDER, P. H. A. J. M., PLATE, E. J., BOLGOV, M. V. (Eds.). 2007. Extreme hydrological events: New concepts for security. Dordrecht: Springer. 500 s. ISBN 978-1-4020-5740-3. .
WESTRICH, B., FÖRSTNER, U. (Eds.). 2007. Sediment Dynamics and Pollutant Mobility in Rivers. New York: Springer. 430 s. ISBN 978-3-540-34785-9. .
Časopisy Journal of Hydrology, Hydrological Processes, Water Research, Soil and Water Research, Vodní hospodářství.


Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Jana MORAVCOVÁ, Ph.D.**
Katedra krajinného managementu

Datum zadání bakalářské práce: **26. února 2015**
Termín odevzdání bakalářské práce: **15. dubna 2016**


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

JIHOČESKÁ UNIVERZITA
V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH
ZEMĚDĚLSKÁ FAKULTA
studijní oddělení
Studentická 10
370 02

L.S.


doc. Ing. Pavel Ondr, CSc.
vedoucí katedry

V Českých Budějovicích dne 30. března 2015

Prohlášení

Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním své bakalářské práce, a to v nezkrácené podobě v úpravě vzniklé vypuštěním vyznačených částí archivovaných fakultou - 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 Táboře dne 22.4.2016

.....

Veronika Lexová

Poděkování

Na tomto místě bych ráda poděkovala své vedoucí práce Ing. Janě Moravcové, Ph.D. za odborné vedení, vstřícný přístup, čas strávený při konzultacích a trpělivost při zpracování této práce. Dále bych chtěla poděkovat své rodině a přátelům za podporu.

ABSTRAKT

Tato práce se zabývá analýzou významných srážkových událostí na výzkumném povodí Jenínského potoka. V rámci analýzy je cílem identifikace vybraných srážkových událostí a vyhodnocení příčin jejich vzniku. Dále analýza rozdílů průtoků jednotlivých srážkových epizod a vývoj koncentrace a odnos nejdůležitějších sloučenin při srážko-odtokové události.

V literární rešerši je obecně popsána voda a nejdůležitější živiny, které obsahuje. Dále je zde popsán hydrologický cyklus a srážko-odtokový proces, včetně faktorů, které ho ovlivňují. V práci je také popsán odnos živin při srážko-odtokovém procesu.

Klíčová slova: srážky, odtok, živiny, průtok, analýza, povodí Jenínského potoka

ABSTRACT

I aim of this thesis is on analysis of the precipitation at the Jenin stream research area. The analysis part aims to identify the precipitation occurrence and its cause, evaluation and analysis of the difference of each rain event flow rate and progress and loss of the most important compounds concentration during rainfall-runoff process.

In the literature search part there is the general description of water and its most important nutrients. Then there is a description of the hydrological cycle and rainfall-runoff process including all influencing factors. There is also a part about nutrient loss during the rainfall-runoff process.

Keywords: precipitation, loss, nutrients, flow, analysis, rainfall-runoff process, Jenin stream watershed

Obsah

1. Úvod.....	8
2. Literární rešerše.....	9
2.1 Voda	9
2.2 Chemické složení vody v přírodě	10
2.2.1 Živiny ve vodě.....	10
2.3 Hydrologický cyklus	13
2.3.1 Atmosférické srážky.....	14
2.3.2 Evapotranspirace	16
2.3.3 Odtok.....	16
2.3.4 Infiltrace	18
2.4 Srážko-odtokový proces	19
2.4.1 Faktory ovlivňující srážko-odtokový proces.....	21
2.4.2 Odos živin při srážko-odtokovém procesu.....	24
3. Materiál	26
3.1 Jenínský potok	26
4. Metody	28
5. Výsledky a diskuze	29
5.1 Dlouhodobý déšť a obleva v roce 2006.....	29
5.2 Významná srážková událost v srpnu 2008	32
5.3 Letní přívalový déšť v roce 2009	34
5.4 Přívalový déšť na jaře roku 2012	37
5.5 Podzimní dešťová srážka v září roku 2014	40
6. Závěr	44
7. Seznam literatury	46

1. Úvod

Veškerá voda na Zemi, tedy hydrosféra se účastní většiny procesů a všechny je ovlivňuje. Voda má jedinečné chemické a fyzikální vlastnosti, které jsou velmi důležité při tvorbě prostředí na Zemi. Hlavním zdrojem vody v České republice jsou atmosférické srážky, které výrazně ovlivňují celé její území. Nejdůležitějším ovlivňujícím činitelem jsou při srážko-odtokovém procesu. Na tomto procesu je závislý chod jednotlivých povodí. Na srážko-odtokovém procesu je závislý celý průběh vody, jako srážky až po vodu součástí odtoku uzávěrovým profilem. Tento proces zahrnuje veškerý odtok vody z povodí včetně látek, který s sebou nese.

Cílem této práce je zjistit na základě naměřených dat míru ovlivnění povodí Jenínského potoka srážko-odtokovým procesem. Zájmové povodí je nejvíce ovlivněno významnými srážkovými událostmi. Nejprve se musí tyto události identifikovat a zjistit příčiny jejich vzniku. Součástí vyhodnocování vlivu srážko-odtokového procesu je analýza průtoků v průběhu srážkových událostí, s kterými souvisí i nejdůležitější sloučeniny. U těchto sloučenin je významná analýza vývoje koncentrací a vyhodnocení jejich odnosu při srážkové události.

2. Literární rešerše

2.1 Voda

Veškerá voda na Zemi i v atmosféře, se nazývá hydrosféra (Kemel, 1996).

Šilar (1996) udává, že hydrosféra zahrnuje:

- vodu atmosférickou (ovzdušnou), která je obsažena v atmosféře jako pára nebo ovzdušná vlhkost,
- vodu povrchovou, která se vyskytuje na povrchu Země v podobě oceánů, moří, jezer, močálů, ledovců a vodních toků,
- vodu podpovrchovou, která je pod povrchem Země,
- vodu v biosféře, obsaženou v organizmech.

Voda je jeden z nejběžnějších prvků na naší planetě a má jedinečné chemické a fyzikální vlastnosti, které hrají velmi důležitou roli v utváření prostředí na Zemi, prostředí vhodného pro život (Buckley, Hopkins, Ehitaker, 2006).

Vodu můžeme rozdělit podle dvou významů – voda jako chemická složka a voda jako přírodní roztok, v němž je voda rozpouštědlem a ostatní látky jsou v ní rozpouštěné (Pačes, 1982). Pitter (1990) uvádí, že lze vodu rozlišovat podle výskytu a podle použití. Podle výskytu na vody atmosférické, povrchové a podzemní. A podle použití na vodu pitnou, užitkovou, provozní a odpadní.

Podle Pačese (1982) se voda vyskytuje v pevném, kapalném a plynném skupenství. Kapalná voda se nachází v nejsvrchnější části pevného zemského tělesa, tj. podzemní voda. Přechod podzemní vody do atmosféry tvoří mořská voda v oceánech a kontinentální povrchová voda. Kromě kapalné vody jsou velké zásoby vody ve formě ledu, menší množství se nachází v podobě páry a jako nadkritická tekutina hluboko pod povrchem.

2.2 Chemické složení vody v přírodě

Pačes (1982) uvádí, že chemické složení přírodních vod je výsledkem geochemických procesů, biologického metabolismu, antropogenní činnosti a fyzikálních procesů. Na chemické složení vody mají vliv také transportní jevy. Chemické složení povrchové vody je tvořeno kromě vodíku a kyslíku deseti dalšími prvky – fosfor, dusík, vápník, uhlík, chlor, sodík, hořčík, křemík, síra a draslík.

V přírodě voda vždy obsahuje rozpuštěné plyny, rozpuštěné a nerozpuštěné anorganické a organické látky. Některé látky přijme již v atmosféře, ale k největšímu obohacení dochází při infiltraci půdou a horninami (Pitter, 1990).

2.2.1 Živiny ve vodě

Z hlediska primární produkce ve vodách se za nejdůležitější považuje fosfor, dusík a vápník, které rozhodují o úživnosti vod (Heteša a Kočková, 1997). Podle Hrázkého a Šafarčíkové (2006) v největším množství přichází do prostředí fosfor a dusík, zejména vlivem antropogenní činnosti.

Fosfor a dusík

Fosfor a dusík se řadí mezi nejdůležitější biogenní prvky a patří mezi důležitá kritéria jakosti vod (Heteša a Kočková, 1997). Koncentrace fosforu a dusíku v tocích závisí na zdrojích v povodí. Přírodní pozadí koncentrací fosforu v odtoku z povodí závisí především na horninovém složení podloží a na procesech v půdě (Hejzlar, Žaloudík a Rohlík, 201). Zdroje fosforu mohou být anorganické a organické. Mezi anorganické zdroje řadíme některé minerály např. apatit, kaolinit a fosforit. Jako organické zdroje mohou být odpadní vody, spláchnutá statková hnojiva a produkty rozkladných procesů rostlin a živočichů (Heteša a Kočková, 1997). Antropogenní zdroje mohou několikanásobně zvyšovat přírodní koncentrační pozadí fosforu v tocích. Nejdůležitějším antropogenním zdrojem fosforu jsou komunální odpadní vody vypouštěné do toků, povrchové splachy a průsaky ze zemědělské půdy (Hejzlar, Žaloudík a Rohlík, 201). Hrázký a Šafarčíková uvádí, že za rok 2004 byla skoro polovina z hlášeného znečištění vod fosforem způsobena splašky odpadních vod obsahujícími množství fosfátů z pracích a mycích prostředků. Nejvyšší obsah fosforu ve vodě je v zimních měsících. V tomto období probíhá mineralizace

odumřelých těl organismů, kdy se fosfor uvolňuje a je spotřebován až v jarních měsících s nástupem vegetace. Na konci léta dosáhne svého minima (Heteša a Kočková, 1997).

Dusík se z podloží neuvolňuje a jeho odtok se řídí podle procesů probíhající v půdě. Koncentrace dusíku v přírodním odtoku z půdy jsou závislé zejména na přísunu z atmosférických srážek a na schopnostech vegetace a půdních organismů využívat dusík a zabudovávat ho do půdní organické hmoty. Vlivem antropogenní činnosti se koncentrace dusíku v odtoku z povodí významně zvyšuje. Dusík je přítomen v komunálních odpadních vodách, ale hlavně uniká ze zemědělských půd (Hejzlar, Žaloudík a Rohlík, 201). Udawatta a kol. (2006) uvádějí, že únik dusíku ze zemědělských půd ovlivňuje výše a intenzita srážek, půdní vlastnosti a vegetační pokryv.

Vápník a hořčík

Vápník a hořčík se do vody dostávají vyluhováním vápence, dolomitu, magnezitu, sádrovce, hlinitokřemičitanů vápenatých, hořečnatých a jiných minerálů (Pitter, 1990). Rozpustnost magnezitu je značně vyšší než rozpustnost vápence (Heteša a Kočková, 1997). Pitter (1990) uvádí jako antropogenní zdroj vápníku a hořčíku některé průmyslové odpadní vody z provozů, ve kterých se kyseliny neutralizují vápnem, vápencem, magnezitem nebo dolomit. Vody se obohacují vápníkem a hořčíkem také při odkyselování podzemních vod.

Uhlík

Uhličitanový systém významně ovlivňuje složení a vlastnosti vod (Pitter, 1990). Kromě sopečného zdroje se oxid uhličitý dostává do vody z atmosféry a z různých chemických a biochemických procesů ve vodě (Heteša a Kočková, 1997). Hydrogenuhlíčitany přecházejí do vody při chemickém zvětrávání hlinitokřemičitanů (Pitter, 1990).

Chlor

Chlor je v přírodních vodách vyjímečně rozšířen a je přítomen téměř v každé vodě, i když třeba jen v nepatrném množství. Jeho obsah ve vodě kolísá v širokém rozmezí. V řekách a jezerech zvláště severních oblastí s bahnitými a podzolovými

půdami je obsah chloridů ve vodě nepatrný a dá se vyjádřit dokonce desetiny miligramů v litru vody. V mořích a ve značné části slaných jezer jsou chloridy hlavním aniontem. Jsou známá jezera, v nichž množství chloridů dosahuje až 170 g na litr vody i více. Je to způsobeno dobrou rozpustností solí chloridů ve srovnání s jinými solemi v přírodních vodách (Hateša a Kočková, 1997).

Sloučeniny chloru jsou sice poměrně rovnoměrně rozšířeny v půdě a horninách, ale jen v malých koncentracích. Zvětráváním a vyluhováním přecházejí do vody. Větší koncentrace chloridů pocházejí z ložisek kamenné soli nebo ložisek draselných solí. Mohou být také vulkanického původu. Významným zdrojem chloridů v podzemních a povrchových vodách mohou být atmosférické vody, zejména v přímořských oblastech. Další zdrojem jsou močůvky, posyp vozovek v zimním období a některé průmyslové odpadní vody, kde se používá chlorid sodný k vysolování produktů nebo kyselina chlorovodíková (Pitter, 1990).

Sodík a draslík

Sodík a draslík jsou v zemské kůře rozšířeny přibližně stejně. Vyluhují se z různých hlinitokřemičitanů nebo se uvolňují při jejich chemickém zvětrávání. Jde např. o živce, slídy, ortoklas a muskovit. Ve větším množství se ionty sodíku vyluhují ze solných ložisek a ionty draslíku z tzv. odklizových draselných solí (z kernalitu, kainitu, polyhalitu), které představují naleziště kamenné soli. Antropogenním zdrojem sodíku jsou některé průmyslové odpadní vody z výroby, které obsahují chlorid nebo síran sodný (Pitter, 1990). V tocích mohou způsobit zvýšené množství draslíku odpadní vody z chemických závodů pracujících se solemi draslíku. Dále se do vody může dostat i splachem z polí hnojených draselnými hnojivami (Hateša a Kočková, 1997).

Křemík

Křemík je po kyslíku nejrozšířenějším prvkem v přírodě. Vyskytuje se zejména ve formě křemičitanů silně elektropozitivních prvků. Tvoří různé minerály jako živce, slídy, pyroxeny, amfiboly aj. Do vod přechází křemík chemickým zvětráváním hlinitokřemičitanů vlivem oxidu uhličitého a vody. Také rozpustnost samotného amorfního i krystalického oxidu křemičitého je značná. Antropogenním

zdrojem křemíku ve vodě mohou být některé průmyslové odpadní vody (z výroby keramiky a skla) a fluoridace pitné vody.

Síra

V přírodních i odpadních vodách se vyskytují anorganické sloučeniny síry v oxidačním stupni – II, 0, IV a VI. Jde o sulfan a jeho iontové formy, elementární síru, thisírany, siřičitany a sírany. Z organických látek obsahují síru některé bílkoviny, aminokyseliny, thioly a různé sulfosloučeniny (Pitter, 1990). Přirozený obsah síranů v povrchových a podzemních vodách je produktem zvětrávání hornin a biologické činnosti ve zvodněných vrstvách (Hateša a Kočková, 1997). Hlavními minerály jsou sádrovec a anhydrit. Sírany vznikají dále oxidací sulfidických rud, což je příčinou velkých koncentrací síranů v důlních vodách. Z antropogenních zdrojů síranů je nutné jmenovat především odpadní vody z moření kovů. Dalším zdrojem jsou městské a průmyslové exhalace, obsahující značné množství oxidů síry, vznikající spalováním fosilních paliv, kterými se obohacují atmosférické vody (Pitter, 1990).

2.3 Hydrologický cyklus

Pro vodu na Zemi je charakteristický neustálý oběh, kde voda neustále mění své skupenství. Tento oběh je uzavřený a nazýváme ho hydrologickým cyklem. K oběhu vody je potřeba energie ze Slunce a Země. Díky sluneční energii se voda vypařuje a pohybuje v atmosféře a díky gravitaci se voda pohybuje v kapalném i pevném skupenství (Šilar, 1996).

Voda v hydrologickém cyklu je neustále v pohybu v procesech vypařování, kondenzace, srážek a povrchového a podzemního odtoku (Buckley, Hopkins, Ehitaker, 2006).

Pačes (1982) říká, že množství vody v atmosféře, na povrchu země i v horninách je více méně konstantní. Voda, která toto množství tvoří, se pohybuje a neustále přechází z jednoho prostředí do druhého. Hydrologický oběh se skládá z atmosférických srážek, povrchového odtoku, infiltrace a evapotranspirace.

Mezi jednotlivými částmi hydrologického cyklu se vytváří dynamický rovnovážný vztah, který se označuje jako hydrologická bilance. Stanoví se pro určitý čas a prostor (Šilar, 1996). Starý (2005) uvádí, že jde o vztah mezi úhrnem spadlých srážek, úhrnem výparu a úhrnem odtoku.

Hydrologická bilance se nejčastěji stanoví pro orografické povodí z důvodu, že území je hydrologicky uzavřeným celkem a lze v něm snadněji vyšetřovat vztahy mezi srážkami a odtokem (Šilar, 1996).

2.3.1 Atmosférické srážky

Atmosférické srážky spolu s teplotou vzduchu jsou určujícím činitelem pro tvorbu rázu krajiny, její vegetační kryt a pro ekonomické a vodohospodářské poměry (Červený a kol., 1984). Srážky se vyznačují velkou časovou a místní proměnlivostí. Jsou značně závislé na nadmořské výšce a orientaci místa k převládajícímu proudění vzduchových hmot. Buckley, Hopkins, Ehitaker (2006) uvádějí, že srážky udržují vodu v pohybu mezi různými zdroji – z atmosféry k oceánům, řekám, ledovcům a ledovcovým čepicím.

Množství srážek, jejich kvalita a proměnlivost jsou podmíněny zeměpisnou polohou, geografickým uspořádáním a jsou ovlivňovány i antropogenní činností (Červený a kol. 1984).

Atmosférické srážky vznikají kondenzací vodních par na povrchu těles, rostlin, na zemském povrchu a v atmosféře (Kemel, 1996). Díky poklesu teploty a atmosférického tlaku se vzestupné proudy přesycují vodní parou. Na malých částech pevných látek pak kondenzuje kapalná voda a tvoří kapky vody, ty pak tvoří mraky. Mraky mají určitou stabilitu, která když je porušena většinou náhlou změnou teploty a tlaku, vzniknou atmosférické srážky. Tyto srážky jsou podle teploty kapalné nebo pevné (Pačes, 1982).

Kemel (1996) rozděluje srážky podle skupenství na kapalné (např. déšť) a pevné (např. kroupy) a podle způsobu a místa vzniku na horizontální, které se tvoří kondenzací na povrchu země, předmětech a rostlinách a na vertikální vznikající ve volné atmosféře a pak z ní vypadávají.

Kopáček a Bednář (2005) rozeznávají atmosférické srážky padající (např. déšť, mrholení, sníh, kroupy apod.), usazené (např. rosa, námraza apod.) a srážkové pásy pod základnami oblaků, které nedosáhnou povrchu Země, označují se jako virga.

Padající srážky rozdělili do hlavních druhů:

- Déšť – vodní srážky vypadávající z oblaků v podobě kapek.
- Mrznoucí déšť – kapky deště mrznou po dopadu na prochlazený zemský povrch nebo na předměty, které ale nejsou uměle ochlazovány.
- Mrholení – drobné kapičky o průměru menším než 0,5 mm vypadávají z mraků v malé intenzitě.
- Sníh – tuhé srážky vypadávající z mraků, které se skládají z ledových krystalků.
- Sněhové krupky – tuhé srážky, které se skládají z bílých neprůhledných ledových částic a mají kulovitý tvar.
- Sněhová zrna – tuhé srážky složené malých neprůhledných zrnků ledu, obvykle zploštělého nebo podlouhlého tvaru.
- Zmrzlý déšť – vzniká zmrznutím dešťových kapek v blízkosti zemského povrchu.
- Ledové jehličky – ledové krystalky ve tvaru jehlic, které se vznášejí ve vzduchu nebo pomalu klesají k Zemi.
- Kroupy – větší padající kusy ledu různého tvaru.

Podle Šilara (1996) lze srážky rozdělit podle intenzity a podle rozsahu zasaženého území na regionální a přívalové deště. Regionální neboli krajinné deště obvykle zasahují větší území, vyznačují se poměrně menší intenzitou a delší dobou trvání. Ovlivňují odtok povrchových i podzemních vod. Přívalové deště zasahují menší plochu, mají krátkou dobu trvání a vysokou intenzitu, jsou často spojené s bouřkami.

Starý (2005) uvádí, že lze srážky měřit a je to jedno z nejdůležitějších měření v hydrologii. Je jedním z klíčových prvků pro předpověď extrémních hydrologických situací, porozumění a monitorování hydrologického cyklu, změn klimatu a pro hydrologické a klimatické modely.

Množství vody ve srážkách se měří jako výška vodní vrstvy, která se vytvoří na vodorovném povrchu bez výparu a odtoku. Výška srážek se vyjadřuje v milimetrech a současně udává množství vody v litrech spadlých na 1 m² zemského povrchu. Celková výška srážek spadlá za dané období na daném místě se nazývá srážkový úhrn.

Výška srážek se měří srážkoměrem neboli ombrometrem. Srážkoměr je plechová nádoba ve tvaru válce, do které je shora nasazená nálevka. Pomocí nálevky jsou zachycovány srážky a stékají do nádoby na dně válce (Šilar, 1996).

2.3.2 Evapotranspirace

Část vody, která spadne na zemský povrch, se rychle vrací do atmosféry (Pačes, 1982). Voda se do ovzduší dostává výparem z hladiny vody, ze sněhu a ledu z povrchu pudy a rostlin a transpirací rostlin (Kemel, 1996). Její množství se odhaduje pouze na jednu tisícinu procenta z celkového množství vody na Zemi. Voda se atmosféře vyskytuje ve všech třech skupenstvích (Pačes, 1982). Manahan (2010) uvádí, že díky atmosféře je voda transportována z oceánů na pevninu, je to její základní část v hydrologickém cyklu.

Při výparu získávají molekuly vody slunečním zářením tolik energie, že přecházejí do plynného skupenství. Transpirace je pochod, při kterém rostliny uvolňují vodu do atmosféry. Oba pochody jsou spolu spjaty a vzájemně se ovlivňují, proto jsou dohromady označovány jako evapotranspirace (Šilar, 1996).

2.3.3 Odtok

Je to množství vody, které odtéká z území. Celkový odtok tvoří odtok povrchový v řekách a potocích a odtok podpovrchový. Odtok se skládá z vod, které se do vodoteče dostanou různými způsoby. Část srážkové vody je zachycena vegetací, ta je z většiny dříve vypařena zpět do atmosféry. Malá část dopadne přímo na hladinu vodotečí. Část srážkové vody, která dopadne na zemský povrch, prosákne do nenasyceného pásma hornin a dále vyteče do řeky nebo prosákne k hladině podzemní vody. Voda, která se nevsákne do povrchu Země, se hromadí na povrchu v tzv. depresích. Když se naplní objem povrchových depresí, voda stéká po povrchu

do koryt řek, to nazýváme povrchový stok, nebo ron. Tento stok s sebou unáší také velké množství částic zvětralých hornin a půd (Pačes, 1982).

Podle Jůvy (1957) vzniká srážkový povrchový odtok neboli ron, když převyšuje množství spadlých srážek výparovou schopnost ovzduší a jímavou schopnost půdy. Pro jeho vznik jsou význačné klimatické, územní, biologické i kulturní poměry povodí.

Z klimatických činitelů pro vznik srážkového odtoku je důležitá především intenzita, množství srážek a teplota. Dále z územních poměrů je to zvláště vyčlenění území a sklonitost, délka a tvar svahů. Výrazný vliv mají půdní poměry, jako zrnitost, struktura, propustnost, humosnost a jiné vlastnosti půdy které rozhodují o průběhu a intenzitě vsakování půdy. Důležitý je také vegetační kryt a biologický stav půdy, tyto vlastnosti se řadí mezi biologické poměry půdy. Kulturní poměry jsou charakterizované užíváním, obděláváním i hnojením zemědělské půdy polohovým umístěním kultur, volbou osevních postupů i různými úpravami a stavbami, které mohou pozměnit původní odtokové poměry (Jůva, 1957).

Povrchový odtok

Tvoří ho srážková voda, která napršela do koryt řek, potoků a vodních nádrží. Dále voda, která ronem po povrchu dosáhla koryta vodoteče. Voda, která infiltrovala do provzdušněného pásma a do vodoteče přitekla po méně propustných polohách uvnitř provzdušněného pásma. A podzemní voda, která se do vodoteče vcedila z nádrže podzemní vody (Pačes, 1982).

Podzemní odtok

Starý (2005) uvádí, že podzemní odtok je voda, která se dostala do podzemí převážně infiltrací srážek. Odtud pak odtéká z nenasycené zóny nad hladinou podzemní vody, nebo z nasycené zóny pod souvislou hladinou podzemní vody.

Průtok

Povrchový odtok spolu s infiltrovanou vodou ze zásob podzemních vod a podzemním odtokem tvoří v daném okamžiku průtok v toku. Tím rozumíme objem vody, který proteče daným průtočným průřezem za určitou dobu (Kemel, 1996).

Starý (2005) uvádí, že díky srážko-odtokovým procesům v povodí se průtoky neustále mění, což se nejzřetelněji projevuje na kolísání vodních hladin.

Znalost průtočného množství vody ve vodním toku je významná pro zabezpečení staveb na jeho břehu, pro hospodárné navrhování vodohospodářských a hydroenergetických zařízení, která jsou závislá na dostatečném množství vody a slouží jako podklad pro další hydrologické rozbory při zjišťování vodní bilance daného území (Šilar, 1996).

Průtok můžeme zjistit: přímým měřením, měřením bodových rychlostí, měřením průměrné průřezové rychlosti nebo chemickým měřením. Přímé měření se používá při určování vydatnosti pramenů nebo malých průtoků. K tomu používáme buď měrných nádob, nebo k nepřetržitému měření průtoků automaticky sklopných nádob. Určení průtoků z měřených bodových rychlostí se používá tam, kde pro velikost průtoků nebo nedostatek spádu nemůžeme měřit průtok přímo, ale měří se rychlosti v bodech, ze kterých se pak podle vzorce vypočítá průtok (Kemel, 1994).

2.3.4 Infiltrace

Infiltrací se rozumí proces vsakování vody do půdy při srážkách nebo při infiltraci (Starý, 2005). Voda, která dopadne na zemský povrch, je pohlcována zvětralými horninami a půdou, až dosáhne hladiny podzemní vody (Pačes, 1982).

Je to složitý děj, který je závislý na řadě faktorů. Především se uplatňují intenzita srážek a půdní poměry. Při vsaku se voda pohybuje především v nekapilárních poréech; dochází však také k postupnému pohybu kapilární vody obsažené v semikapilárních pórech. Proto zvýšení vlhkosti půdy zmenšuje obecně intenzitu infiltrace (Krešl, 2001).

Podle Starého (2005) je jedním ze základních tří úkolů při řešení hydrologických, hydromelioračních nebo hydrogeologických problémů stanovení

infiltrace vody do půdního profilu. Infiltrační schopnost půdy hraje, vedle charakteristik reliéfu a způsobu obhospodařování půdy, rozhodující úlohu při formulaci kritérií pro posouzení rozdílnosti různých povodí z hlediska vytváření odtoku. Vedle celkového množství vody vsáklého při infiltraci, je důležité znát i časový průběh infiltrace na půdním povrchu, proudění vody v půdním profilu a průběh vlhkostí v celém profilu po dobu infiltračního procesu. Bez podrobných znalostí o infiltraci není možné stanovit efektivní srážky.

Faktory ovlivňující infiltraci:

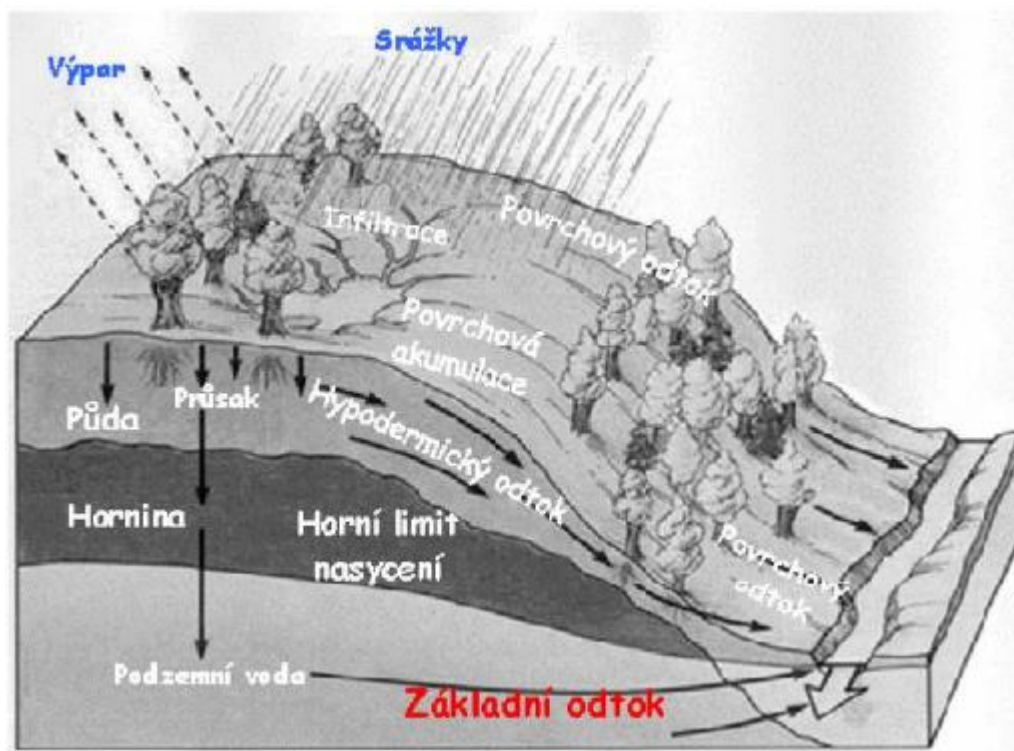
- Fyzikálně-vodní vlastnosti a stav půdy
- vegetační pokryv
- počáteční vlhkost půdy
- intenzita a trvání srážek
- chemické látky přidané do půdy

2.4 Srážko-odtokový proces

Srážko-odtokový proces výrazně ovlivňuje distribuci vody v krajině. Jeho tvorba je velice složitý mechanismus, na který má vliv mnoho faktorů (Rožnovský, 2013).

Starý (2005) uvádí, že srážko-odtokovým procesem v povodí rozumíme postupnou transformaci srážky dopadající na povodí až na odtok vody závěrovým profilem. Tento proces je ovlivněn řadou klimatických a geografických činitelů.

Obr. č. 1: Schéma srážko-odtokového procesu



Zdroj: Starý (2005)

Srážko-odtokový proces se skládá z hydrologické a hydraulické transformace.

Hydrologické transformace

Od srážky dopadající na povodí jsou postupně odečítány hydrologické ztráty, jako je evapotranspirace, intercepce (zadržetí vody na povrchu vegetace), navlhání, infiltrace vody do půdy a povrchová retence. Po odečtení ztrát získáme efektivní intenzitu srážky, toto množství vody pak odtéká z povodí jako plošný povrchový odtok (Starý, 2005).

Hydraulická transformace

Plošný povrchový odtok postupně odtéká rony a erozními rýhami, říční sítí a nakonec uzavěrovým profilem. Spolu s podpovrchovým odtokem tvoří celkový odtok (Starý, 2005).

2.4.1 Faktory ovlivňující srážko-odtokový proces

Červený a kol. (1984) uvádí, že v globálních měřítkách může být ovlivňován a měněn činnostmi, které nemají s vodou přímou spojitost. Mezi závažné činnosti patří např. znečišťování ovzduší a s tím spojené zvýšení teploty, roztátí ledovců a následné zvýšení hladin světových moří a oceánů. Dalšími činnostmi jsou úpravy vodního režimu nejčastěji kvůli industrializaci. Tyto činnosti mají za následek změny v evapotranspiraci a infiltraci a mohou dlouhodobě měnit hladiny a zásoby podzemních vod.

Další činnosti, které podstatně ovlivňují srážko-odtokový proces, jsou zpravidla rozptýleny po plochách celého povodí např. lesní hospodářství, urbanizace, zemědělství apod.

Fyzikálně-geografický činitelé

Podle Starého (2005) mají fyzikálně-geografické vlastnosti velký vliv na průběh odtoku vody z povodí.

Zeměpisná poloha povodí – je dána zeměpisnými souřadnicemi. Je rozdílné, zda se povodí nachází v arktických oblastech, mírném pásmu nebo v tropech. Dále je značný rozdíl mezi nížinným a horským povodím.

Plocha povodí – je výrazným činitelem, který ovlivňuje základní hydrologické veličiny jako průměrný odtok, specifický odtok apod.

Tvar povodí – ovlivňuje při daném časovém a plošném rozdělení srážek tvorbu povodňových průtoků.

Geologické vlastnosti povodí

Půdní a geologické poměry v povodí nejvíce ovlivňují množství infiltrované vody do půdy, a tím rozdělení odtoku na povrchový a podzemní. Rychlý povrchový odtok způsobují zejména nepropustné horniny. V takových oblastech je pak nedostatek podzemní vody a nevyrovnané průtoky v řekách (Starý, 2005). Velké odtoky vznikají také při tání sněhu, kdy je půda promrzlá. Malý povrchový odtok bývá na půdách s dobře vyvinutou drobtovitou strukturou nebo na lehčích půdách (Jůva a kol., 1984).

Vegetační pokryv

Půda, která je pokrytá vegetací, je odolnější vůči erozi, takový kryt je vodohospodářsky výhodný. Tráva zmenšuje rychlost odtoku a zvyšuje vsakování. Nejdůležitějším z vegetačních činitelů je les, který rozděluje odtok, snižuje velké vody a chrání půdu před erozí. Záleží však na správném rozložení a skladbě lesa, nejlépe působí smíšený les, opačně les jehličnatý, zejména smrkový. Nejvyšší význam lesa se projevuje v horských oblastech, kde je zóna tvorby povodňových průtoků, největších srážek a největšího sklonu. Na těchto místech je potřeba velké ochrany proti erozi a nejlepších podmínek pro vsakování vody ze srážek i tajícího sněhu. Vzniklé proudy podzemní vody zásobují nižší polohy, rozhojňují prameny a vyrovnávají průtoky v tocích (Starý, 2005).

Klimatické faktory

Mezi klimatické činitele řadíme časový a prostorový průběh spadlé srážky, vlhkost a teplotu ovzduší, výpar, rychlost a směr větru a atmosférický tlak (Starý, 2005). Mnohdy jsou však klimatické faktory potlačeny faktory fyzikálně-geografickými (Kemel, 1996).

Z hlediska srážko-odtokových událostí je nejvýznamnější z klimatických faktorů dešť (Matoušek, 2010). Podílem úhrnu a doby trvání deště zjistíme velmi významnou charakteristiku deště – jeho intenzitu. Intenzita deště je zpravidla vyjadřována v $\text{mm}\cdot\text{min}^{-1}$. Jestliže množství deště vyjádříme v $\text{l}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{ha}$, mluvíme o vydatnosti deště (Kemel, 1994). Velmi vydatné deště s krátkou dobou trvání nazýváme přívalové deště neboli lijáky, které většinou vypadávají na poměrně malé

ploše z bouřkových mraků, převážně v letním období. Výskyt bouřek v zimě je zcela mimořádný. Silné deště někdy mohou přinášet i dešťové mraky. Jednotná všeobecně platná definice přívalových dešťů neexistuje. Tyto deště jsou příčinou záplav, a tak vznikajících škod na majetku, poškození staveb, ale i narušení krajiny (Rožnovský, 1994). Regionálními dešti nazýváme deště, které se vyznačují nižší intenzitou a delší dobou trvání. Obvykle zasahují větší území. Ovlivňují povrchový odtok z rozsáhlých území i odtok podzemních vod (Šilar, 1996).

Deště o největších intenzitách (bouřkové lijáky) jsou schopny vyvolat katastrofální povodně hlavně na tocích malých povodí (Kemel, 1996). Povodeň je přechodné zvýšení hladiny toku nad úroveň břehů, způsobené náhlým zvětšením průtoků anebo zmenšením průtočnosti koryta (např. ledovou zácpou, ucpáním mostních otvorů (Červený a kol., 1984). Povodně jsou často spojené se záplavami a jsou způsobeny nadbytkem srážek, rychlým táním sněhu a v přímořských oblastech také prudkými příbojovými vlnami, případně kombinací všech těchto jevů (Seifert, 1987).

Zimní (jarní) povodně vznikají z pravidla jako následek tání sněhové pokrývky za současných srážek. Nejvýznamnější bývají, pokud sníh leží i v nížinách a podhůřích. Ve vyšších polohách sněhové zásoby odtávají pozvolna a obvykle způsobují pouze zvýšení vodnosti toků v jarních měsících. Povodňové vlny způsobené jarním táním dosahují zpravidla největšího objemu v roce, které se vyznačují plochým vrcholem a dlouhou dobou trvání. Výskyt tohoto typu povodní převládá v nížinných a pahorkatinných oblastech (Červený a kol., 1984). Příkladem jarní povodně je extrémní jarní povodeň v roce 1996 na povodí Opavy, kdy po poměrně dlouhém zimním období došlo k tání značných sněhových zásob. Koncem dubna pokračoval tento vývoj deštivým obdobím, které trvalo do poloviny května. Období před povodní se tak vyznačovalo postupným doplňováním zásob podzemních vod při relativně nasyceném půdním horizontu. Tím se vytvořily příznivé podmínky při výskytu větších srážek pro intenzivní povrchový odtok. Dne 13.5.1996 zasáhly okres Opava přívalové srážky, které způsobily velmi rychlé zvýšení průtoků v řekách (ČHMÚ, 1997).

Letní povodně způsobují regionální deště trvající přibližně 10 – 72 hodin. Za takových situací dochází k orografickému zesilování srážek vlivem nevětrných efektů v horských a podhorských oblastech, a tím i k prodloužení jejich doby trvání. Tyto povodně mají zpravidla menší objem než povodně z tání sněhu a povodňová vlna bývá poněkud strmější (Červený a kol., 1984). V některých případech mohou mít vlny několik

vrcholů (2 – 3), což je důsledkem jednak členitosti říční sítě a jednak obvykle nerovnoměrného plošného rozdělení srážek. Zajímavé je, že velkým povodním předchází často podružná vlna, z jejichž příčinných srážek dojde k nasycení povodí, takže případná další srážky způsobí velkou povodeň (Buchtele, 1972).

Červený a kol. (1984) uvádí třetí typ povodní. Jsou to *povodně způsobené krátkodobými prudkými bouřkovými lijáky*. Vyskytují se téměř výlučně v letních měsících. Povodňové vlny tohoto typu mají strmý průběh s krátkou dobou trvání, takže i objemově jsou relativně menší než předcházející typy. Příčinné srážky dosahují vysoké intenzity s rychlým vstupem vodních stavů a průtoků a s kulminací po několika hodinách od počátku vzestupu. Vyskytují se na území izolovaných dešťových jader (na povodích o rozloze několika desítek km²) nebo postihují území v pásech, někdy zasáhnou i celá povodí menších nebo středních toků.

Ochrana před povodněmi není ještě zcela dostatečná. Povodňové průtoky a jejich škodlivé účinky lze do značné míry snížit úpravami toků, ochrannými a retenčními nádržemi a vhodným hospodařením s vodou na ploše povodí. Je známo, že povodňové vlny s velkými nebo vysokými kulminačními a objemovými hodnotami mnohem lépe transformují velké moderní nádrže a jejich soustavy než nádrže objemově mnohonásobně menší.

2.4.2 Odnos živin při srážko-odtokovém procesu

Těžká období sucha následovaná intenzivními srážkami často vedou k velkým povodním na středomořských povodích. Výsledné koncentrace rozpuštěných látek v povodích jsou nepředvídatelné (Bernal a kol., 2002). McClain a kol. (2004) říká, že bouřkové události jsou nejvýznamnější příčinou splachování rozpuštěných látek na povodí v krátkém časovém měřítku (několik hodin až týdnů). Studium chování rozpuštěných látek během bouřek poskytuje užitečné informace o cestách proudění vody a zdrojů těchto látek v rámci povodí (Evans, Davies, 1998).

Rozpuštěný organický uhlík a dusík jsou dvě nejvíce studované živiny v biogeochemii (Mulholland, 1981). Změny koncentrací rozpuštěného organického uhlíku a dusičnanů jsou často nerovnoměrné a závisí na intenzitě dešťových srážek, na vlhkostních podmínkách půdy (Ávila a kol., 1992), na charakteristikách povodí (typ půdy, využití půdy, nadmořská výška, topografie) a na sezónnosti biologických

procesů (Arheimer a kol., 1996). Vitoušek (1977) uvádí, že se koncentrace dusičnanů v potoku často mění v závislosti na ročním období. Např. v zalesněných povodích je nízká koncentrace dusičnanů v průběhu vegetačního období a vysoká během období klidu. Koncentrace dusičnanů v tocích se v posledních letech výrazně zvýšila v mnoha oblastech (Mayewski a kol., 1990).

Je důležité znát procesy, které ovlivňují změny koncentrací rozpuštěných látek během bouřek pro pochopení, jak krátkodobých tak dlouhodobých změn v cyklu těchto látek v povodích (Mulholland, 1981). Hinton a kol. (1997), který stanoví význam jednotlivých bouří pro export rozpuštěných látek ve vlhkých oblastech, zjistil, že bouře byly během podzimu zodpovědné za zhruba 60% z celkového ročního exportu rozpuštěných látek a 35% na jaře. Velké dešťové epizody silně ovlivňují odnosy rozpuštěných látek. Například bylo zjištěno, že jedna velká bouře, může být zodpovědná za 20% z celkového ročního exportu rozpuštěných látek.

Studie zaměřené na reakci rozpuštěných látek v průběhu přechodu ze suchého období na vlhké pozorovaly výrazný vrchol koncentrací dusičnanů po první bouřkové události. Zvýšení dusičnanů při první velké bouřkové události pravděpodobně souvisí s rychlým odtokem přes povrchové půdní horizonty bohaté na živiny. Z těchto připovrchových zón se během srážek vyplavují produkty rozkladu organických látek a nitrifikací nahromaděné během období mezi srážkovými událostmi (Biron a kol., 1999). Bernal a kol. (2002) uvádí, že na vývoj koncentrací rozpuštěného organického uhlíku mají vliv předchozí vlhkostní podmínky na povodí, zatímco na vývoj dusičnanů má vliv velikost srážkové události.

Mayewski a kol. (1990) uvádí, že koncentrace dusičnanů v tocích se v posledních letech výrazně zvýšila v mnoha oblastech.

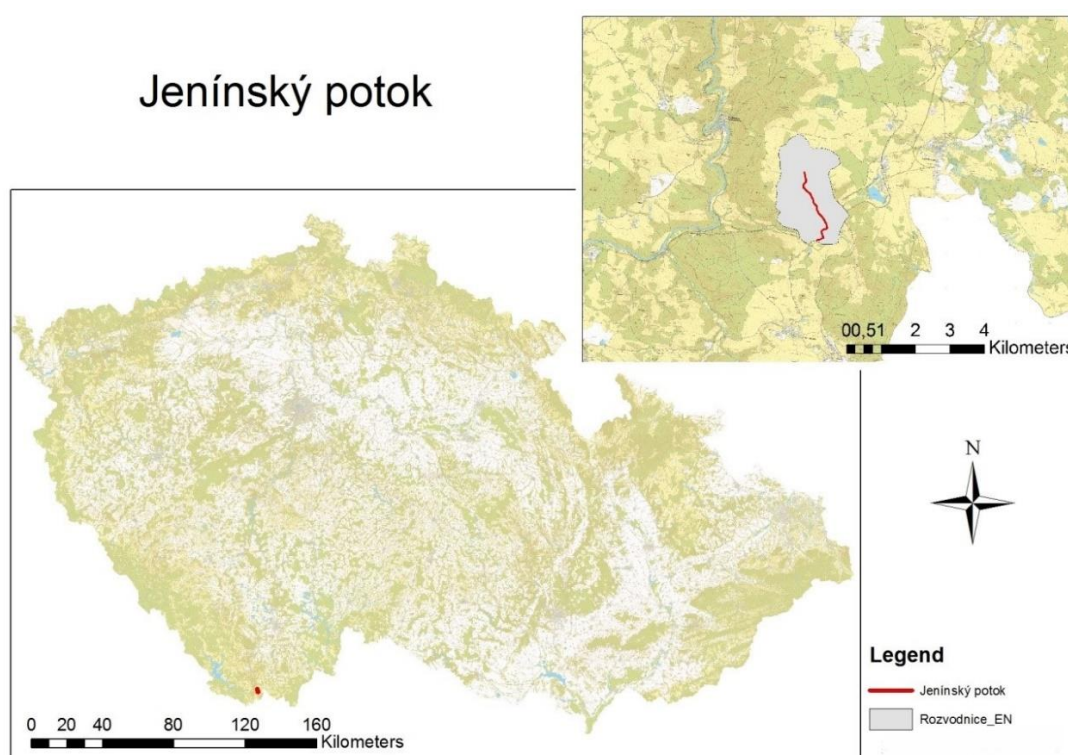
Transport fosforu v povodí je vázán pouze na vodní prostředí (McDowell a Sharpley 2001). Kvítek a kol. (2012) uvádí, že rozhodujícím faktorem pro odnos živin je odtok. Hlavní činitelé, které ovlivňují odnos rozpuštěného fosforu, jsou intenzivní srážkové události (Correll a kol. 1999).

3. Materiál

3.1 Jenínský potok

Povodí Jenínského potoka leží v Jihočeském kraji České republiky, v okrese Český Krumlov blízko hranic s Rakouskem. Nachází se v katastrálním území obce Jenín a Horní Kaliště a náleží do správního území obce Dolní Dvořiště. Zaujímá plochu 4,6 km² a je dlouhý 2,71 km.

Obr. č. 2: Lokalizace Jenínského potoka



Autor: Veronika Lexová

Podklad mapy byla použita základní mapa 1:10 000.

Zájmové území má průměrnou nadmořskou výšku 719 m s nejvyšším vrcholem 870 m n. m., který má Žibřidovský vrch.

Podle geomorfologického členění náleží do Hercynského systému, provincie Česká Vysočina, subprovincie Šumavská soustava, oblast Šumavská soustava, celek

Šumavské podhůří, podcelek Českokrumlovská vrchovina, a okrsek Rožmberská vrchovina (Demek, 1965).

Povodí leží v mírně teplé oblasti (Quitt, 1971) s půdním typem kambizemě a převládajících hlinitopísčítých půd.

4. Metody

Potřebný materiál a naměřená data poskytla Katedra krajinného managementu Jihočeské Univerzity.

V první části zpracování dat pro pozdější analýzu bylo vybráno 5 srážkových událostí, které významně ovlivnily povodí Jeninského potoka. Jednalo se událost od 27.3.2006 4:00 hod. do 30.3.2006 22:00 hod., dále o událost ze dne 3.7.2008 21:15 – 0:30 hod. Další vybraná událost proběhla od 23.7.2009 18:54 do 24.7.2009 a dvě události se odehrály dne 20.6.2012 15:00 – 4:00 hod a 11.9.2014 6:00 – 12:00.

U vybraných srážkových událostí bylo důležité naměřit množství a délku trvání srážek, průtok vody v toku a koncentraci dusičnanových a fosforečnanových iontů. Průtok vody v toku byl měřen ultrazvukem, který nepřetržitě snímá výšku hladiny vody v toce, a hodnoty jsou tak velmi podrobné. Koncentrace dusičnanových a fosforečnanových vzorků byly odebírány automatickým vzorkovačem každou celou hodinu a následně analyzovány v akreditované laboratoři.

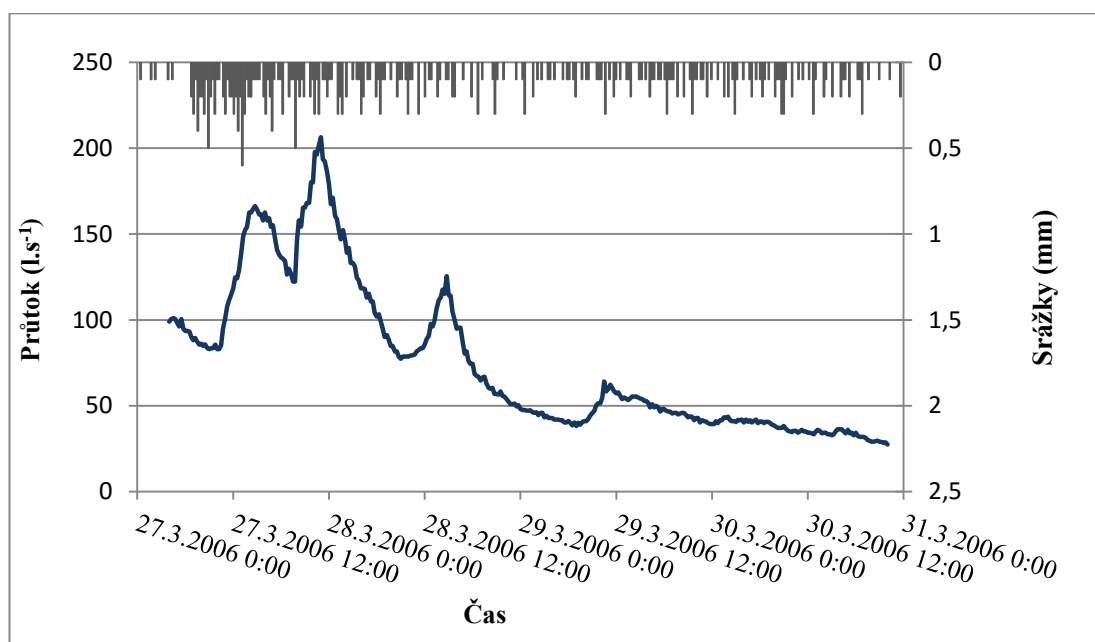
Pro následnou analýzu těchto hodnot bylo vhodné vytvoření grafů, na kterých je nejlépe vidět vývoj jednotlivých měřených hodnot na povodí Jeninského potoka.

5. Výsledky a diskuze

5.1 Dlouhodobý déšť a obleva v roce 2006

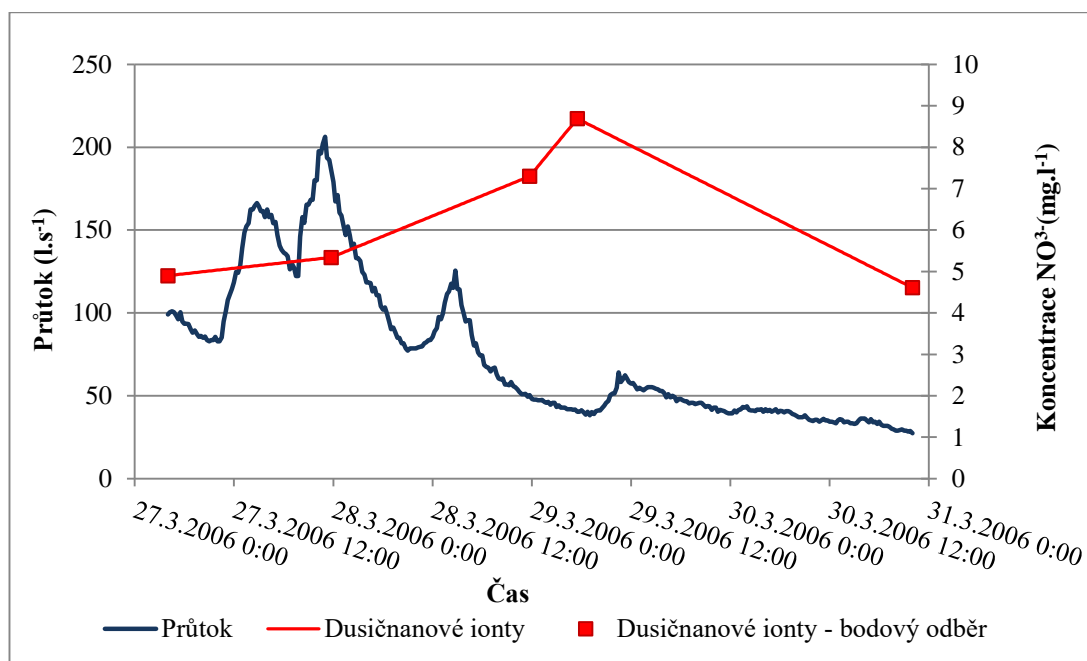
Jedna z významných srážkových epizod povodí Jenínského potoka probíhala od 27.3.2006 4:00 hod. do 30.3.2006 22:00 hod. Byla způsobena táním sněhu s přispěním dlouhodobých srážek, které provázely celou srážkovou epizodu.

Graf č. 1: Průtok a srážky



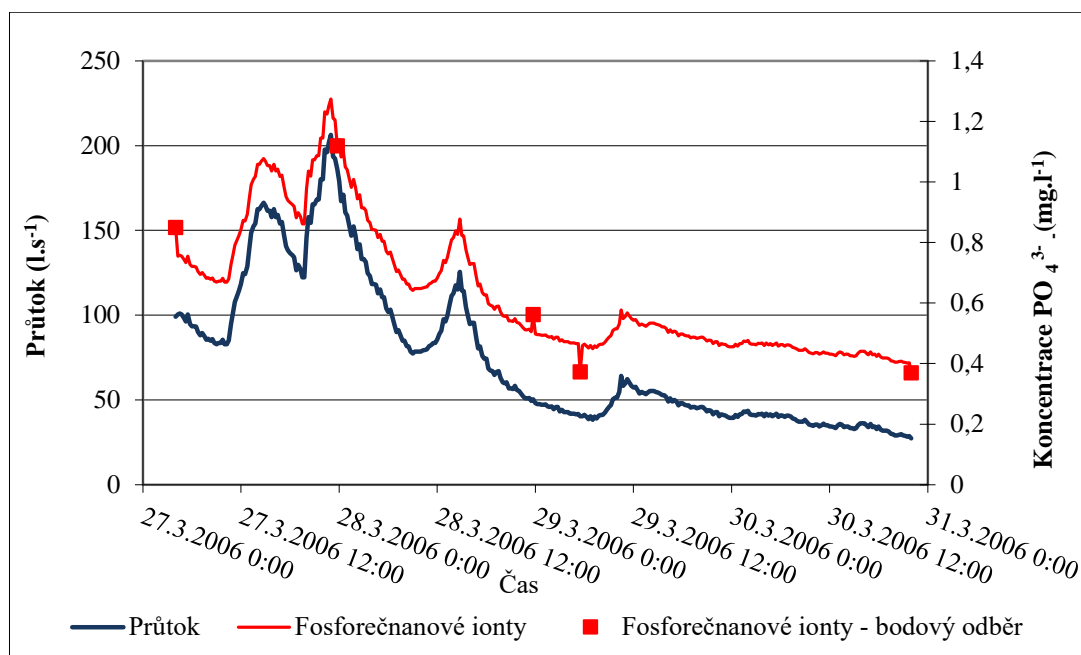
Na prvním grafu jsou znázorněné srážky a průtok vody v Jenínském potoce na konci března roku 2006. Díky tání sněhu byl průtok toku velmi vysoký již před srážkovou činností. Dosahoval až 100 l.s^{-1} , což je čtyřnásobně až pětinasobně vyšší průtok než průtok za obvyklé situace bez srážek a tání sněhu. Na začátku srážkové epizody byly srážky vydatné, v jednu chvíli dosahovaly více než půl jednoho litru za minutu. Téměř okamžitě po začátku srážek se průtok zvýšil až na $206,4 \text{ l.s}^{-1}$. Po dosažení maxima se průtok postupně začal snižovat. Díky vydatným srážkám roztál i poslední sníh a spolu se srážkovou vodou stekl do toku, což zamezilo neustálému přibývání vody v toku a na konci srážkové epizody průtok klesl na $27,4 \text{ l.s}^{-1}$, což je blízká hodnota obvyklému stavu toku.

Graf č. 2: Dusičnanové ionty



Graf s dusičnanovými ionty znázorňuje vývoj dusičnanů oproti průtoku vody v toku. Stejně jako průtok i dusičnanové ionty dosahovaly až čtyřnásobně vyšší hodnoty před srážkovou činností než je za obvyklého stavu. Bylo to způsobeno prvním smyvem dusičnanových iontů do toku, které vznikly během zimy jako následek mineralizace. V polovině srážkové události dosahovaly maxima, až 8,7 mg.l⁻¹. Poté začala koncentrace dusičnanových iontů klesat na hodnotu 4,61 mg.l⁻¹, pořád čtyřnásobně vyšší než obvykle. Průtok oproti tomu v tu chvíli nedosahoval ani hodnot dvojnásobně vyšších.

Graf č. 3: Fosforečnanové ionty

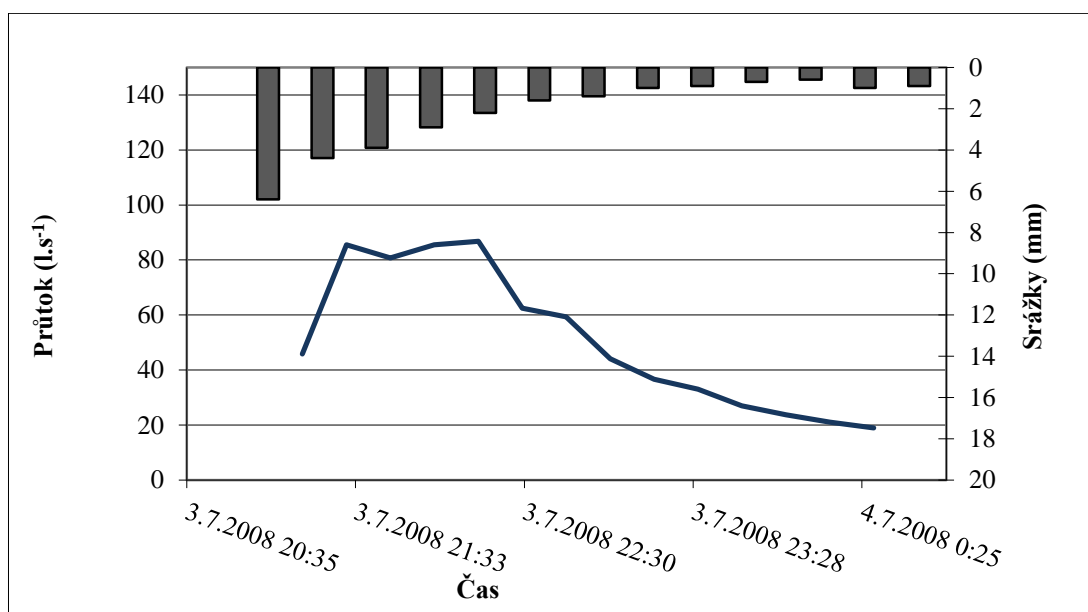


Zvýšený průtok kvůli tání sněhu způsobil i zvýšení koncentrace fosforečnanových iontů ve vodě. Její vývoj během srážkové epizody se však moc neliší od vývoje průtoků a spíš ho „kopíruje“. To znamená, že hodnoty průtoků a fosforečnanových iontů jsou neustále ve stejném poměru. Tání sněhu a přívalový déšť po zimě nezpůsobil výrazné zvýšení fosforečnanových iontů v toku, tedy nedošlo k velkým splachům z půdy.

5.2 Významná srážková událost v srpnu 2008

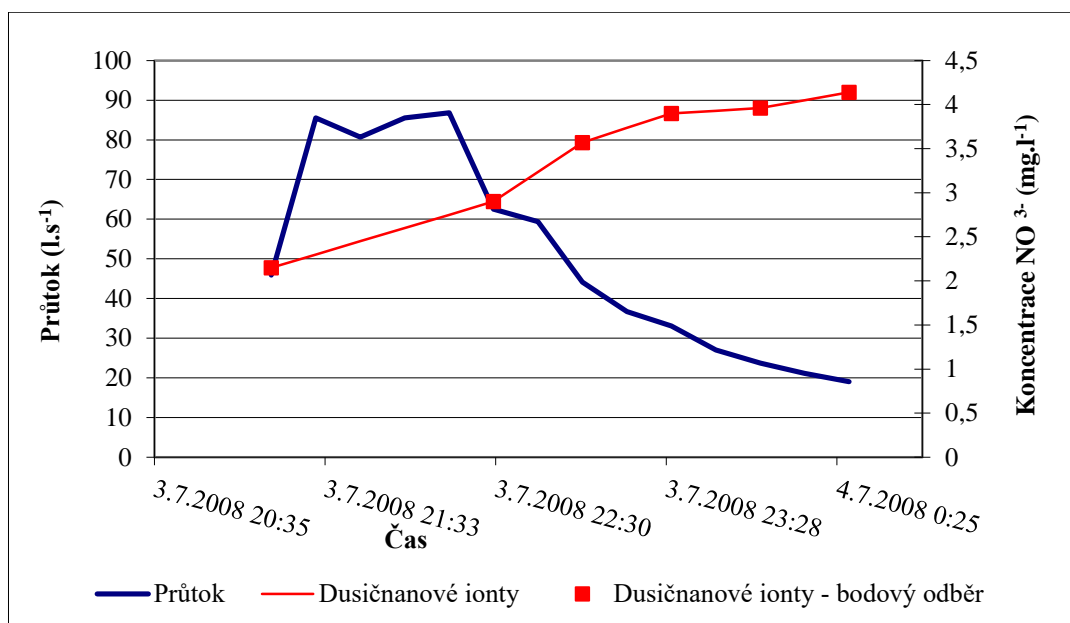
Další významná srážková epizoda se udála 3.7.2008, když přišel letní přívalový déšť a maximum srážek bylo $6,4 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$.

Graf č. 4: Průtok a srážky



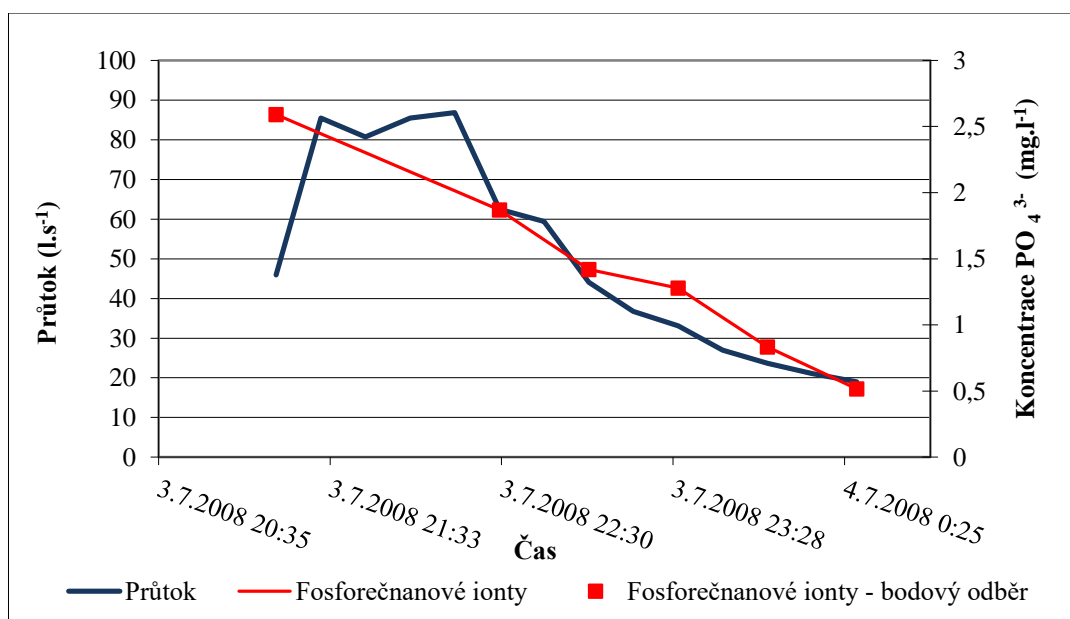
Před přívalovým deštěm se průtok na Jenínském potoce pohyboval lehce nad normálem. Ihned po příchodu srážek se průtok toku zvedl o $40 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1}$. Během trvání srážek se ještě lehce zvýšil a poté začal klesat. Na konci srážkové události byl průtok opět na obvyklé hodnotě $19 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1}$.

Graf č. 5: Dusičnanové ionty



Přívalový déšť způsobil odnos dusičnanových iontů z povodí, který se výrazně projevil až na konci srážkové události, kdy naměřené hodnoty dosahovaly 4,14 mg v litru vody. Splach do toku způsobil až čtyřnásobné zvýšení koncentrace dusičnanových iontů.

Graf č. 6: Fosforečnanové ionty



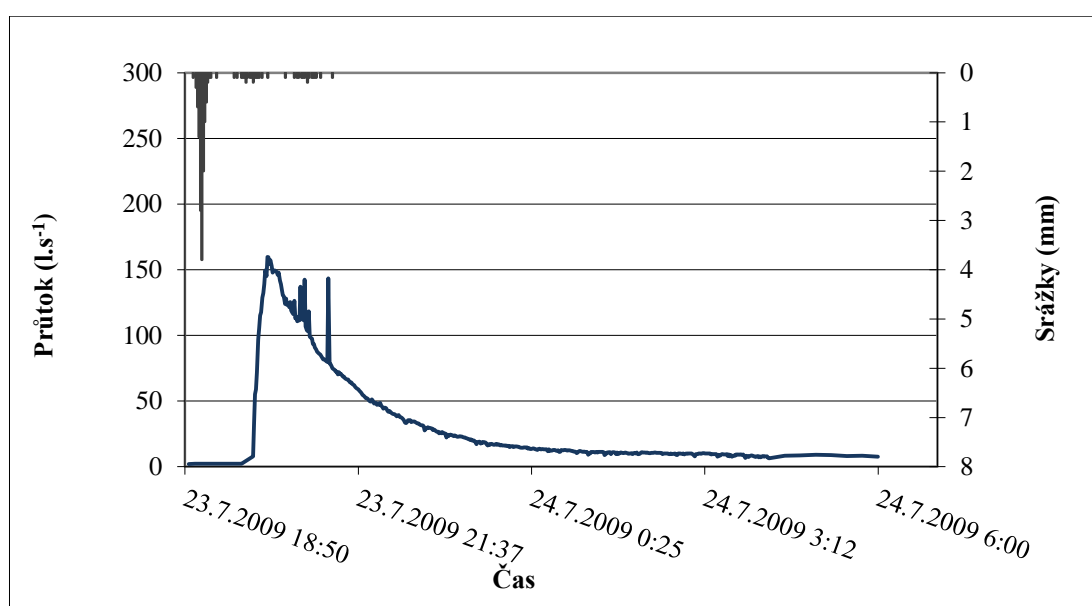
Na začátku srážkové epizody byly naměřené hodnoty fosforečnanových iontů přes 2,5 mg.l⁻¹. Během deště, kdy se výrazně zvýšil i průtok vody v toku a následně

začal klesat, začala klesat i koncentrace fosforečnanových iontů. Tento děj přisuzují velkému příbytku vody v korytě toku bez dalšího přínosu fosforečnanových iontů, a tedy následnému zředění koncentrace těchto iontů ve vodě.

5.3 Letní přívalový déšť v roce 2009

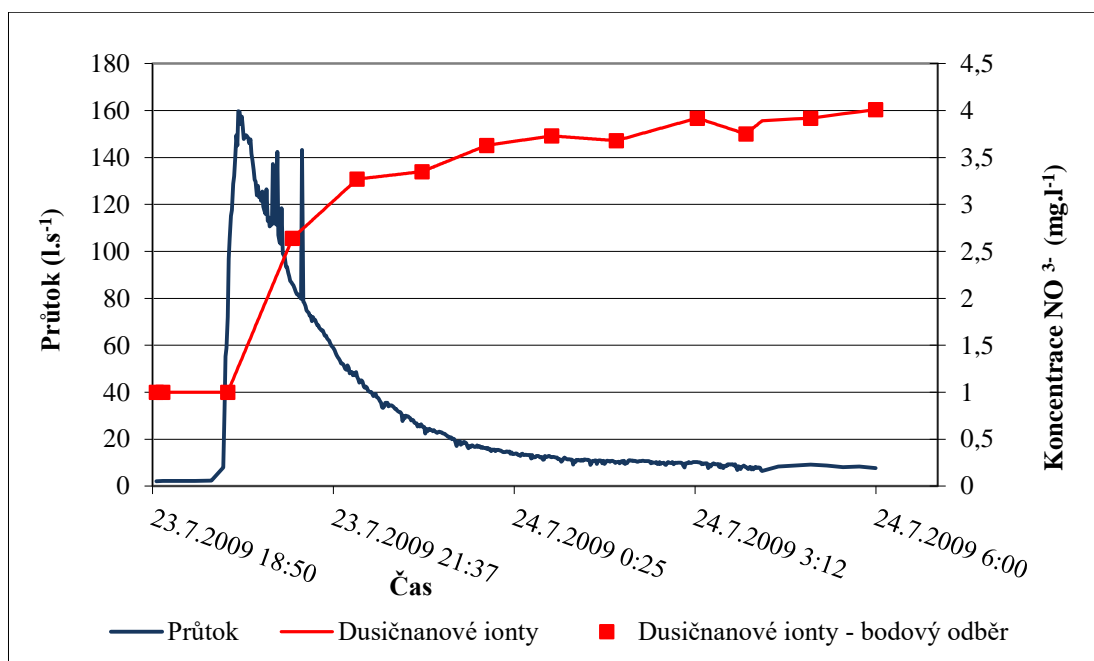
Významná srážková událost byla zaznamenána 23.-24.7.2009, kdy se udál krátký, ale vydatný přívalový déšť.

Graf č. 7: Průtok a srážky



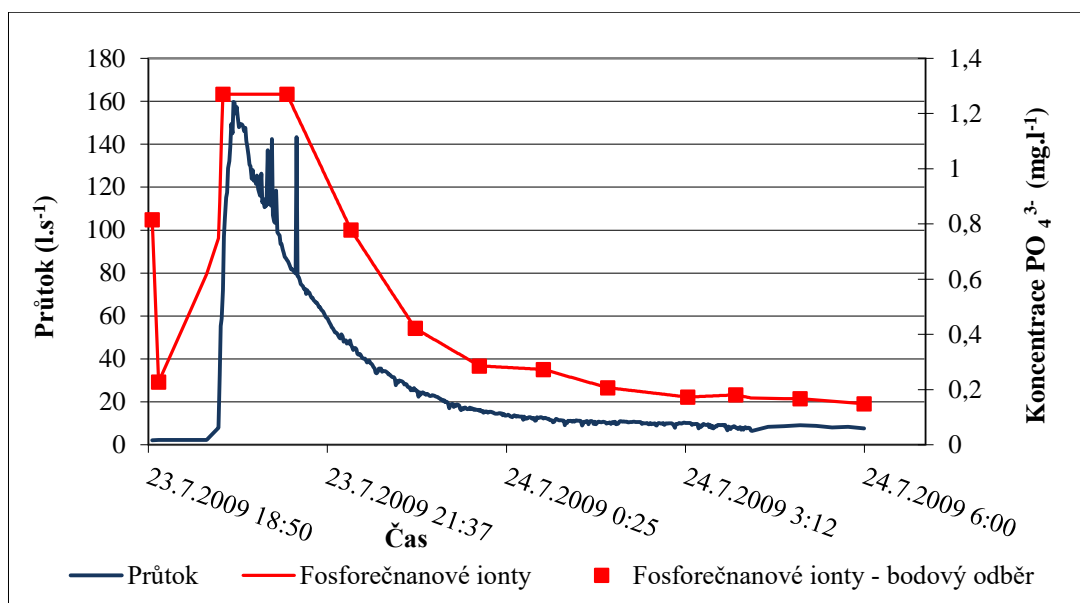
Srpen v roce 2009 byl z hlediska srážek velice slabý, před srážkovou událostí byl průtok na Jenínském potoce pouhé $2,1 \text{ l.s}^{-1}$. Po příchodu přívalového deště se průtok zvýšil až na $159,7 \text{ l.s}^{-1}$. Svého vrcholu dosáhl chvíli poté, kdy bylo naměřené maximální množství srážek $3,8 \text{ mm.min}^{-1}$. Srážková činnost rychle ustoupila a začal klesat i průtok vody v toku, který klesl opět na velice malé hodnoty $6,4 \text{ l.s}^{-1}$.

Graf č. 8: Dusičnanové ionty



Vývoj dusičnanových iontů je velice podobný jako při srážkové události v srpnu roku 2008. Před přívalovým deštěm se hodnoty těchto iontů pohybovaly v obvyklých hodnotách kolem 1 mg.l⁻¹. Během srážek došlo k odnosu dusičnanových iontů do Jenínského potoka a tím se zvýšila jejich koncentrace ve vodě na 4 mg.l⁻¹.

Graf č. 9: Fosforečnanové ionty

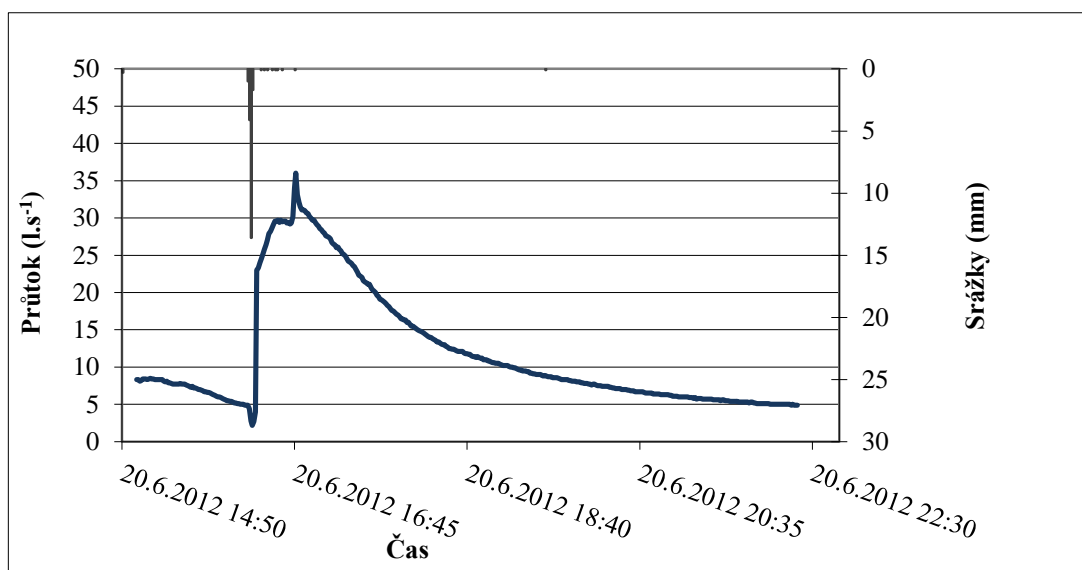


Před srážkovou událostí se koncentrace fosforečnanových iontů pohybovala v obvyklých hodnotách. Ovšem s nástupem srážek se výrazně zvýšila koncentrace fosforečnanových iontů v toku. Mohlo k tomu dojít při splachu z polí např. zemědělských hnojiv s obsahem fosforu. Maximum koncentrace fosforečnanových iontů a následný pokles se řídil podle vzestupu a poklesu průtoku vody v toku. Koncentrace těchto iontů poklesla na hodnotu ještě nižší, než která byla naměřená před příchodem srážek.

5.4 Přívalový déšť na jaře roku 2012

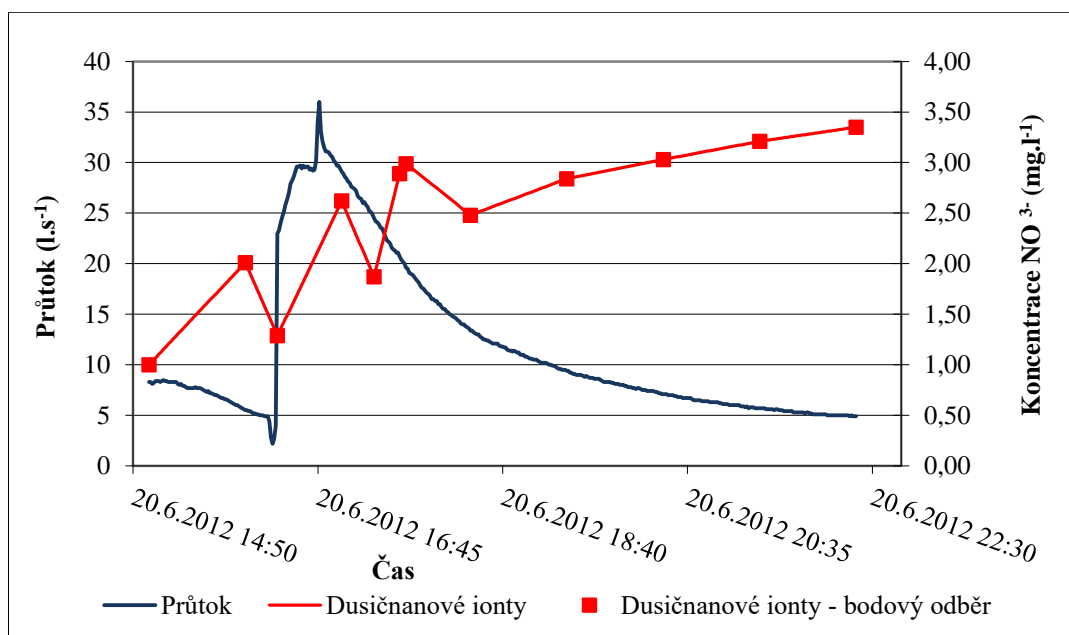
Na začátku léta v roce 2012 se udála významná srážková událost, kdy 20.6.2012 přišel přívalový déšť, který trval necelou hodinou, ale výrazně ovlivnil povodí Jenínského potoka.

Graf č. 10: Průtok a srážky



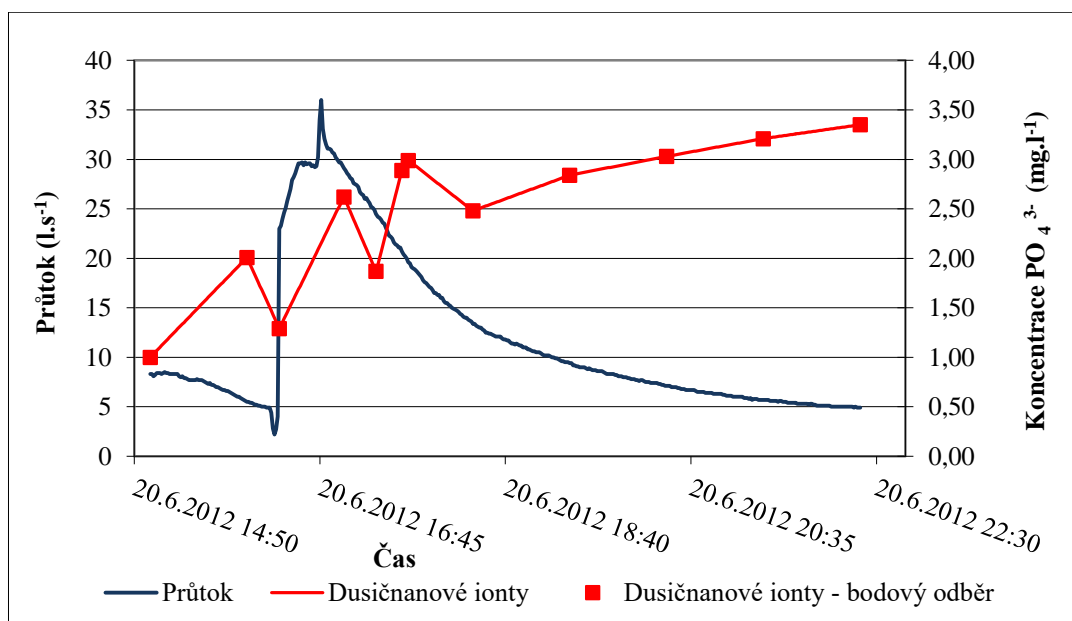
Začátkem června roku 2012 přišel malý déšť, který dosáhl je $0,3 mm.min^{-1}$. Průtok vody v toce byl $8,3 l.s^{-1}$, který následně klesl na minimální hodnotu $2,8 l.s^{-1}$. O tři hodiny později přišel velmi vydatný přívalový déšť krátkého trvání, ale dosáhl až $13,6 mm.s^{-1}$ množství srážek. V tomto okamžiku se rapidně zvýšil průtok vody v Jenínském potoce o $32 l.s^{-1}$. Po skončení srážkové události začal průtok klesat na hodnotu $4,9 l.s^{-1}$.

Graf č. 11: Dusičnanové ionty



Malá přeháňka na začátku srážkové události výrazně ovlivnila koncentraci dusičnanových iontů, které se zvýšily o 1 mg.l⁻¹. Po následném přivalovém dešti se díky splachům z povodí postupně zvýšily až na 3,35 mg.l⁻¹. Kolísání koncentrace dusičnanových iontů během srážky přisuzují nerovnoměrnému rozložení těchto látek v odtoku vody do Jenínského potoka.

Graf č. 12: Fosforečnanové ionty

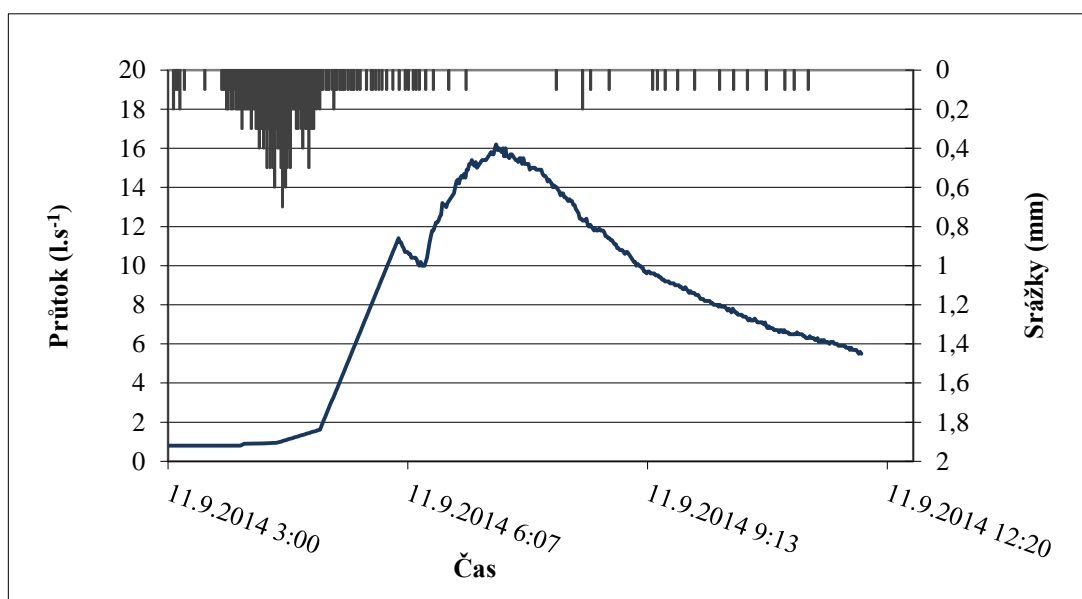


Koncentrace fosforečnanových iontů po malé přehánce klesala spolu s průtokem. S přívalovým deštěm, který následoval, se koncentrace výrazně zvýšila z hodnoty 0,26 na hodnotu 0,66 mg.l⁻¹. V předchozích významných srážkových událostech probíhal vývoj koncentrace těchto iontů podobně jako vzestup nebo pokles průtoku vody v toku. Při této srážkové události koncentrace fosforečnanových iontů výrazně kolísala, podobně je tomu i u dusičnanových iontů, ale v menší míře. Pravděpodobně to způsobily nerovnoměrné splachy z povodí nejspíše z polí, která byla hnojena hnojivy s obsahem dusíku a fosforu. Proto byly splachy do Jenínského potoka nárazové a to se projevilo na vývoji koncentrace fosforečnanových i dusičnanových iontů v toku.

5.5 Podzimní dešťová srážka v září roku 2014

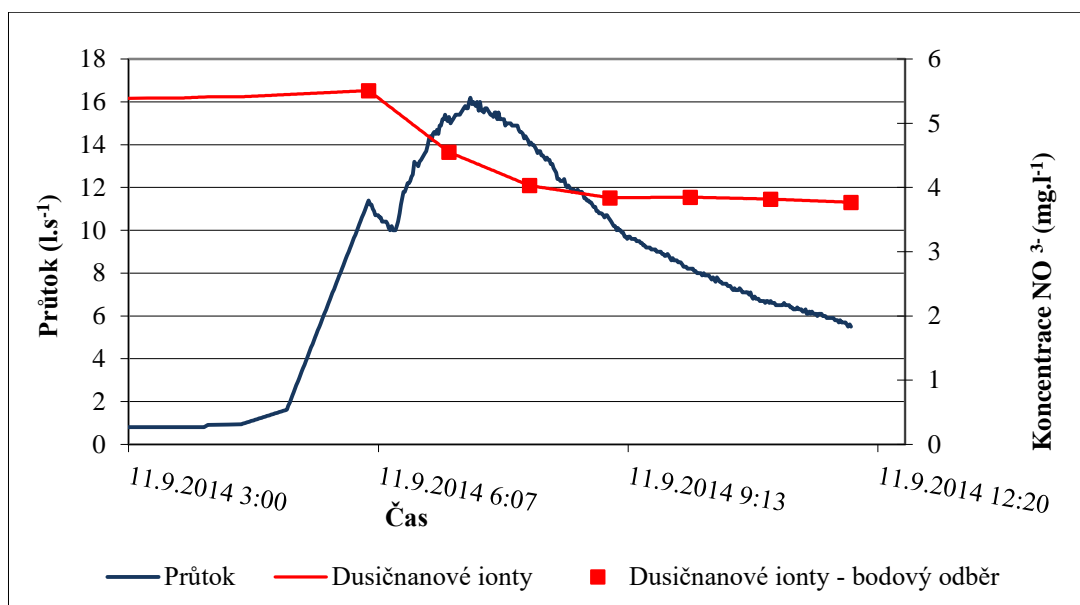
Podzimní deště nejsou z pravidla tak vydatné jako letní deště. Dne 11.9.2014 přišel mírný déšť s postupným zesílením na maximum $0,7 \text{ mm}\cdot\text{min}^{-1}$. Po dosažení vrcholu pomalu ustával, ale v podobě velmi slabých srážek se projevoval po celou dobu srážkové epizody.

Graf č. 13: Průtok a srážky



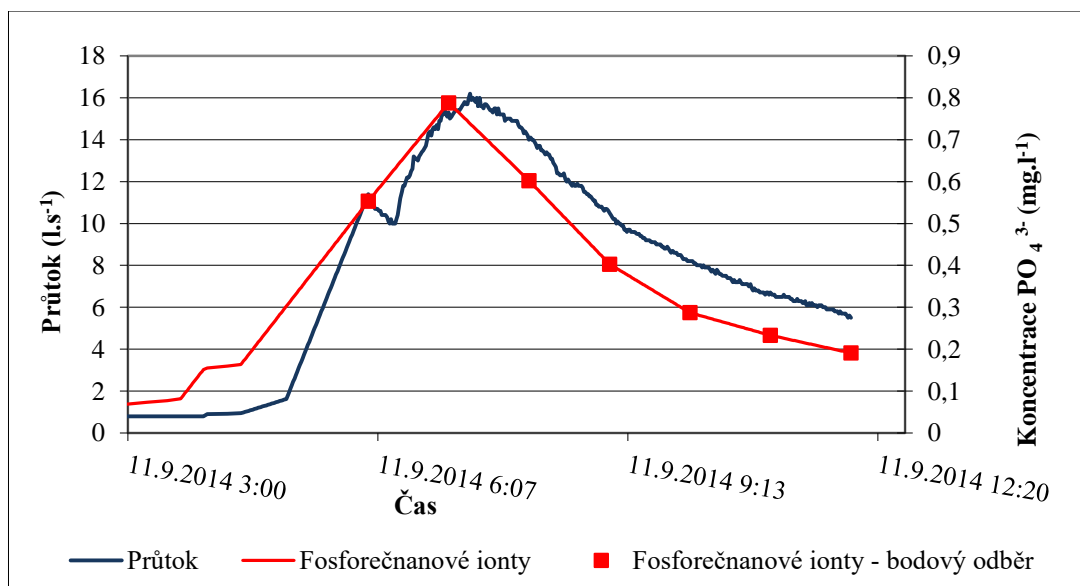
Srážky byly mírné a velmi pozvolné, což se projevilo i na průtoku vody v toku. Průtok postupně stoupal a svého vrcholu $15,7 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$ dosáhl až po ustávení deště, poté začal pomalu klesat. I takto malé srážky přispěly k malému naplnění toku, průtok na začátku a na konci srážkové epizody se lišil o $5 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$.

Graf č. 14: Dusičnanové ionty



Na začátku srážkové epizody byla koncentrace dusičnanových iontů velmi vysoká a dosahovala hodnoty 5,4 mg.l⁻¹. S příchodem srážky se ještě mírně zvýšila a poté postupně klesla na hodnotu 3,77 mg.l⁻¹.

Graf č. 15: Fosforečnanové ionty



Vývoj koncentrace fosforečnanových iontů byl opět podobný vývoji průtoku vody v toku. S příchodem srážek se koncentrace těchto iontů postupně zvýšila z hodnoty 0,07 na hodnotu 0,78 mg.l⁻¹. Po dosažení maxima postupně klesala až na hodnotu, která byla jen o 0,1 mg.l⁻¹ vyšší než před příchodem srážek.

Průtok na Jenínském potoce velice kolísá a je velmi citlivý na srážkové události. V srpnové srážkové události v roce 2009 se průtok během chvíle zvýšil o 157 l.s^{-1} .

Z hlediska koncentrace dusičnanových iontů je povodí Jenínského potoka znečištěné. V průměru se koncentrace těchto iontů pohybuje okolo 3 mg.l^{-1} . Pitter (1990) uvádí, že v čistých vodách se obvykle vyskytuje méně než 1 mg v litru. Ve znečištěných vodách bývá jeho koncentrace v jednotkách mg.l^{-1} a někdy přesahuje i 10 mg.l^{-1} . Koncentrace dusičnanového dusíku v povrchových vodách má stoupající tendenci. Tento jev je vidět v každé vybrané srážkové události na povodí Jenínského potoka. Je to způsobeno zejména častým používáním dusíkatých hnojiv v zemědělství. Sloučeniny dusíku podléhají za oxických a anoxických podmínek biochemickým přeměnám. Uplatňují se při fotosyntetické asimilaci a disimilaci. Proto koncentrace anorganického dusíku a distribuce jeho forem závisí i na ročním období (Pitter, 1990). Kvítek (2012) říká, že příčinou sezónní variability koncentrací je kromě měnící se zásoby dusíku v půdě také velmi silné ovlivnění koncentrací velikostí průtoku, kdy nejvyšší koncentrace bývají měřeny na konci léta či začátkem podzimu. Toto tvrzení potvrzuje vybraná srážková událost ze dne 11.9.2014, kdy byla koncentrace dusičnanových iontů před začátkem srážky $5,39 \text{ mg.l}^{-1}$. Tato hodnota je nejvyšší naměřená za velmi malého průtoku $0,8 \text{ l.s}^{-1}$.

Koncentrace fosforečnanových iontů na vybraném povodí je průměrně $0,6 \text{ mg}$ v litru, což je obvyklé množství vyskytující se v povrchových vodách. Podle Pittera (1990) je koncentrace fosforečnanů v povrchových vodách nízká, protože tvoří velmi málo rozpustné fosforečnany Ca, Mg, Fe, Al aj. Hodnoty koncentrací se obvykle pohybují v setinách až desetínách mg.l^{-1} . Tyto hodnoty se objevují i na povodí Jenínského potoka. Stejně jako u sloučenin dusíku lze i u sloučenin fosforu pozorovat sezónní změny v koncentraci způsobené biologickými a chemickými pochody. Např. při biologickém rozkladu biomasy se sloučeniny fosforu uvolňují do prostředí a jsou tak více náchylné k odnosu z povodí.

Pitter (1990) říká, že složení povrchových vod se mění s délkou a šířkou toku. Vliv šířky toku je však významnější jen u veletoků. Změny ve složení povrchových vod mohou být buď krátkodobé, nebo dlouhodobé. Krátkodobé změny jsou způsobeny převážně hydrologickými nebo klimatickými poměry. Dlouhodobé,

trvalejší změny jsou způsobeny zejména antropogenní činností, spočívající v chemizaci zemědělství, urbanizaci a industrializaci. Na povodí Jenínského potoka pozorujeme změny krátkodobé i dlouhodobé. Dlouhodobé změny jsou způsobeny vlivem splachů s vyšším obsahem sloučenin dusíku. Průměrná koncentrace dusičnanových iontů je trvale vyšší než obvykle v povrchových vodách. Zatím krátkodobé změny jsou zaznamenány u koncentrace fosforečnanových iontů vlivem klimatických faktorů např. srážkových událostí.

6. Závěr

Cílem této bakalářské práce byla analýza významných srážkových událostí na zvolených povodích. Vybraným územím pro analýzu bylo povodí Jenínského potoka a pět významných srážkových událostí, které svým výskytem zasáhly do jeho prostoru.

V první části hodnocení povodí byla analýza událostí z pohledu příčiny vzniku. Příčiny vzniku se liší podle ročního období. Na jaře je nejčastější výskyt tání sněhových zásob ze zimy většinou s přispěním srážek. Srážky ani nemusí být vydatné s velkou intenzitou, aby vznikla významná srážková událost na povodí při oblevě. Povodí je zpravidla nasycené vodou, proto stačí i slabá srážka, kterou už není půda schopná zadržet a vzniká tak velký povrchový odtok a tím i zvýšení množství a průtoku vody v toku. Při takovýchto událostech mohou nastat jarní povodně. Na povodí Jenínského potoka byla zaznamenána jarní srážková událost v březnu 2006. Tehdy byly srážky slabé a nedošlo k jarním povodním. V létě vznikají srážkové události při přívalových dlouhodobých nebo krátkodobých deštích, nebo bouřkách. Ty obvykle vznikají z velkých veder jako tomu bylo v srpnu roku 2007 a 2009 na povodí Jenínského potoka. Takovéto přívalové deště půda nestíhá zadržovat a opět vzniká velký povrchový odtok, z kterého se mohou vytvořit povodňové vlny. Podzimní srážkové události vznikají spíše dlouhodobými vydatnými dešti, ale nejsou tak časté. Na zvoleném povodí byla zaznamenána srážková událost v polovině září roku 2014, která však povodí moc neovlivnila. Významné srážkové události v zimě jsou spíše výjimečné. I když jsou sněhové srážky velice vydatné, ukládají se na povrchu do sněhových zásob a ty se projeví při jarní oblevě.

Další částí byla analýza vývoje průtoků v průběhu vybraných událostí. Bylo zjištěno, že průtok je závislý na chodu srážek nebo na tání sněhových zásob, tedy na odtoku vody z povodí do koryta toku. Po zvýšení odtoku vody do koryta toku se zvýší i průtok vody a naopak. I rychlost kolísání průtoku závisí na rychlosti odtoku vody z povodí. Tento jev byl pozorován na všech vybraných významných srážkových událostech Jenínského povodí bez ohledu na roční dobu nebo jiné činitele.

Na povodí Jenínského potoka probíhala analýza vývoje koncentrací nejdůležitějších sloučenin při srážkových událostech. Pro tuto analýzu byly vybrány dusičnanové a fosforečnanové ionty. Dusičnanové ionty se do povodí dostávají splachem z povodí, což se projevilo při každé vybrané srážkové události. Koncentrace těchto iontů byla vždy výrazně vyšší po skončení srážkové události než před jejím nástupem. Vývoj koncentrací fosforečnanových iontů byl převážně velmi podobný jako průtok vody v toku. Lišil se pouze v některých událostech, kdy koncentrace výrazně kolísala, což bylo způsobené splachem z polí obsahující hnojiva, která obsahovala fosfor. Obvykle ale koncentrace fosforečnanových iontů po skončení srážkové události také klesla.

Poslední bylo vyhodnocení odnosu nejdůležitějších sloučenin při důležitých srážkových událostech. Tyto sloučeniny byly stejné jako při analýze vývoje koncentrací nejdůležitějších sloučenin, tedy dusičnanové a fosforečnanové ionty. Tyto sloučeniny jsou nejčastěji odnášeny z povodí splachem při srážkové události. Jak je znázorněno v grafech, nejvíce jsou ovlivněny dusičnanové ionty. Ty se výrazně v toku zvýšily po každé srážkové události, která nemusí být o velké intenzitě ani dlouhého trvání.

7. Seznam literatury

1. ÁVILA, A., PINOL, J., RODÁ, F., NEAL, C., 1992, Storm solute behaviour in a montane Mediterranean forested catchment, *Journal of Hydrology*, 140, 143–161
2. ARHEIMER, B., ANDERSSON, L., LEPISÖ, A., 1996, Variation of nitrogen concentration in forest streams-influences of flow, seasonality and catchment characteristics, *Journal of Hydrology* 179, 281–304
3. BERNAL, S., BUTTURINI, A., SABATER, F., 2002, Variability of DOC and nitrate responses to storms in a small Mediterranean forested catchment, *Hydrology and Earth Sciences* 6, Barcelona, 1031 - 1041
4. BIRON, P.M., ROY, A.G., COURSCHEPNE, F., HENDERSHOT, W.H., COTÉ, B., FYLES, J., 1999, The effects of antecedent moisture conditions on the relationship of hydrology to hydrochemistry in a small forested watershed, *Hydrological Process.*, 13, 1541–1555
5. BUCHTELE, J., 1972, Kategorizace povodňového režimu na tocích Vltavské kaskády, *Sborník prací ČHMÚ*, Praha, 1972, 18 s.
6. BUCKLEY, B., HOPKINS, E. J., WHITAKER, R., 2006, *Počasi, velký obrazový průvodce*, Rebo Productions, Dobřejovice, 304 s.
7. ČERVENÝ. J., BÖHM, B., BUBENÍČKOVÁ, L., BUCHTELE. J., ČULÍK. J., DAŇKOVÁ. H., FRIGA. J., HLADNÝ. J., KŘÍŽ. V., KURPELOVÁ. M., NEDELKA. M., ŠEBEK. O., ŠKULEC. Š., VÍNÍČEK. K., VITOSLAVSKÝ. J., ZÁVODSKÝ. D., 1984, *Podnebí a vodní režim ČSSR*, Státní zemědělské nakladatelství, Praha, 416 s.
8. ČHMÚ, 1997, *Hydrologická ročenka České republiky 1996*, Český hydrometeorologický ústav, Praha, 183 s.
9. DEMEK, J., 1965., *Geomorfologie českých zemí*, Nakladatelství Československé akademie věd, Praha, 335 s.
10. EVANS, C. D., DAVIES, T. D., 1998, Causes of concentration/ discharge hysteresis and its potential as tool for analysis of episode hydrochemistry, *Water Resources Research*, 34, 129–137.
11. HETEŠA, J., KOČKOVÁ, E., 1997, *Hydrochemie*, Brno, 95 s.
12. HINTON, M. J., SCHIFF, S. L., ENGLISH, M. C., 1997, The significance of storms for the concentration and export of dissolved carbon from two Precambrian Shield catchments, *Biogeochemistry*, 36, 67–88

13. HRÁZKÝ, Z., ŠAFARČÍKOVÁ, S., 2006, Živiny v krajině: dusík, fosfor, eutrofizace půdy a vody, indikace dusíku, DAPHE ČR- Institut aplikované ekologie, 16 s.
14. JŮVA, K., HRABAL, A., TLAPÁK, V., 1984, Malé vodní toky, Praha, 253 s.
15. JŮVA, K., 1957, Odvodňování půdy, Státní zemědělské nakladatelství, Praha, 526 s.
16. KEMEL, M., 1994, Hydrologie, České vysoké učení v Praze, Praha, 222 s.
17. KEMEL, M., 1996, Klimatologie, meteorologie, hydrologie, České vysoké učení technické v Praze, Stavební fakulta, 289 s.
18. KEŠL, J., 2001, Hydrologie, Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, Brno, 128 s.
19. KOPÁČEK, J., BEDNÁŘ, J., 2005, Jak vzniká počasí, Karolinum, Praha, 268 s.
20. KVÍTEK, T., BYSTRICKÝ, V., PETERKOVÁ, J., ŽLÁBEK, P., MORAVCOVÁ, J., 2012, Dynamika koncentrací a interakce odnosu dusičnanů a fosforu na malých zemědělsko-lesních subpovodích v povodí VN Švihov na Želivce, Vodní hospodářství 6, 198 – 203
21. KVÍTEK, T., 2012, Modelování vlivu využívání půdy v geomorfologických zónách na odtok vody a koncentraci dusičnanů, VÚMOP, Praha, 89 s.
22. MAYEWSKI, P. A., LYONS, W. B., SPENCER, M. J., TWICKLER, M., BUCK, C. F., WHITLOW, S., 1990, An ice-core record of atmospheric response to anthropogenic sulphate and nitrate, Nature, 378, 355–359
23. MANAHAN, S. E., 2010, Environmental chemistry, Includes bibliographical references and index, New York, 755 s.
24. MATOUŠEK, V., 2010, Poznávání odtokových vlastností malých povodí za regionálních dešťů, Praha, 103 s.
25. MCCLAIN, M. E., 2004, Biogeochemical hot spots and hot moments at the interface of terrestrial and aquatic ecosystems, Ecosystems (N. Y., Print), 6, 301–312.
26. MCDOWELL, R. W., SHARPLEY, A. N., 2001, Approximating Phosphorus Release from Soils to Surface Runoff and Subsurface Drainage, Journal of Environmental Quality 30, 508-520
27. CORRELL, D. L., JORDAN, T. E., WELLTER, D. E., 1999, Transport of nitrogen and phosphorus from Rhode River watersheds during storm events, Water resources research 35, 2513-2521

28. MULHOLLAND, P. J., 1981, Organic carbon flow in a swamp-stream ecosystem, *Ecological Monography* 51, 307–322.
29. PAČES, T., 1982, *Voda a Země*, Academia, Praha, 174 s.
30. PITTER, P., 1990, *Hydrochemie*, Nakladatelství technické literatury, Praha, 568 s.
31. QUITT, E., 1971, *Klimatické oblasti ČSSR*, *Studia geographica*, Brno
32. ROŽNOVSKÝ, J., 2013, *Voda, půda a rostliny*, Nakladatelství Českého hydrometeorologického ústavu, Praha, 47 s.
33. SEIFERT, V., 1987, *Rozumíme počasí?*, Artia, Praha, 192 s.
34. STARÝ, M., 2005, *Hydrologie*, Vysoké učení technické v Brně, Stavební fakulta, 213 s.
35. ŠILAR, J., 1996, *Hydrologie v životním prostředí*, Vysoká škola Báňská – Technická univerzita Ostrava, 138 s.
36. UDAWATTA, R. P., MOTAVALLI, P. P., GARRETT, H. E., KRSTANSKY, J. J., 2006, Nitrogen losses in runoff from three adjacent agricultural watersheds with claypan soils, *Ecosystems and Environment* 117, 39-48 s.
37. VITOUŠEK, P. M., 1977, The regulation of element concentrations in mountain streams in the north-eastern United States, *Ecol. Monogr.*, 47, 65–87

Webové stránky

1. HEJZLAR, J., ŽALOUDEK, J., ROHLÍK, V., Koncentrace živin (N, P) v tocích v povodí nádrže Lipno a jejich závislost na struktuře krajinného krytu, Aktuality šumavského výzkumu, [online], 4.4.2011 [cit. 2016-03-21], Dostupné z: http://www.npsumava.cz/storage/82_86.pdf