

JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH
ZEMĚDĚLSKÁ FAKULTA

Studijní program: N4106 Zemědělská specializace

Studijní obor: Pozemkové úpravy a převody nemovitostí

Katedra: Krajinného managementu

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

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Analýza vlivu drenážních systémů na vodní režim povodí

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

Autor diplomové práce: Bc. Hana Nocarová

České Budějovice, 2014

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

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Hana NOCAROVÁ**
Osobní číslo: **Z12706**
Studijní program: **N4106 Zemědělská specializace**
Studijní obor: **Pozemkové úpravy a převody nemovitostí**
Název tématu: **Analýza vlivu drenážních systémů na vodní režim povodí**
Zadávací katedra: **Katedra krajinného managementu**

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

Rešerše na dané téma.

Výběr vhodných povodí pro řešenou analýzu a jejich popis.

Výpočet a porovnání odtokových součinitelů ve vybraných povodích.

Analýza srážko-odtokových událostí na těchto povodích.

Separace jednotlivých složek odtoku a porovnání zastoupení těchto složek v hodnocených povodích.

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

Štibinger, J., Kulhavý, Z. Úpravy vodního režimu půd odvodněním. ČZU v Praze, VÚMOP, v.v.i., 2010, 110 s.

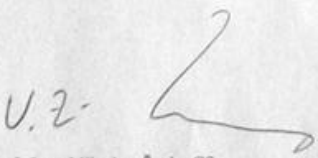
Kulhavý, Z., Soukup, M., Doležal, F., Čmelík, M. Zemědělské odvodnění drenáží. VÚMOP Praha, 2007, 86 s.

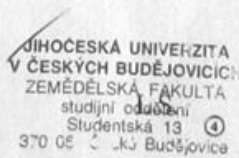
Maidment, D.R. (ed.). Handbook of hydrology. McGraw-Hill, New York, 1993, 1424 s.

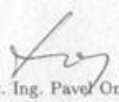
časopisy: Journal of hydrology, Physics and chemistry of the earth, Water science and technology, Soil and water research, atd.

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

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


prof. Ing. Milošlav Šoch, CSc.
děkan


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


doc. Ing. Pavel Ondr, CSc.
vedoucí katedry

V Českých Budějovicích dne 20. března 2013

Prohlášení:

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

Datum

.....

Poděkování

V první řadě bych ráda poděkovala vedoucímu své diplomové práce, Ing. Václavu Bystřickému, Ph.D, za zodpovězení všech mých otázek, za trpělivost, cenné rady, připomínky a důsledné vedení práce.

Poděkování patří také mým blízkým a to hlavně rodičům, za všestrannou pomoc a podporu při studiu, i při tvorbě této diplomové práci.

Abstrakt

V této diplomové práci je navázáno na bakalářskou práci a celkově jsou řešeny drenážní systémy a jejich vlivy na vodní režim povodí. V literární rešerši je popisována problematika spojená s drenážními systémy, ať už jejich vliv na krajinu, nebo celkově způsoby, jak ovlivňují vodní režim. Dále odtok vody v krajině, a to od rozdělení, k popisu jednotlivých druhů odtoku až po metody jeho separace. Jsou zde popisovány jak základní metody separace, tak separace digitálními filtry. Tyto metody jsou použity v poslední části k separacím odtoku na určených povodích, které jsou detailně popsány v kapitole materiál. K dalšímu porovnávání a zjištění výsledků byl použit výpočet odtokového součinitele, analýza srážko-odtokových událostí a analýza poklesových větví. Nakonec je umístěna kapitola výsledky a diskuze, kde jsou popsány všechny výsledky z této práce.

Klíčová slova: Drenážní systém, Odtok, Složky odtoku, Metody separace odtoku

Abstrakt

In this diploma thesis I follow my bachelor thesis and generally deal with drainage systems and their influence on a water regime of a river basin. In the theoretical part, I describe issues associated with the drainage systems, whether their impact on the landscape or generally how they affect the water regime. Further I explain the water runoff in the landscape from its sorting and description of various runoff types up to the methods of its separation. Basic methods of the separation are described here, as well as separation with the use of digital filters. In the last part, these methods are used for separations of the runoff at selected river basins which are described in detail in the chapter named "material". For further comparison and results, the calculation of the runoff coefficient, analysis of precipitation and runoff events and analysis of subsidence branches were used. The chapter "results and discussion" where all results of this thesis are explained has been placed at the end.

Key words: Drainage system, Runoff, Methods of runoff separation

Obsah

1. ÚVOD	8
2. LITERÁRNÍ PŘEHLED.....	9
2.1 Meliorace.....	9
2.1.1 Odvodňovací zásahy	10
2.1.2 Hlavní odvodňovací zařízení.....	11
2.1.3 Podrobná odvodňovací zařízení	12
2.1.4 Odvodnění v současnosti.....	13
2.2 Odtok.....	14
2.2.1 Bilanční rovnice odtoku	15
2.2.2 Celkový odtok	16
2.2.3 Povrchový odtok	17
2.2.4 Podpovrchový odtok	18
2.2.5 Podzemní odtok.....	19
2.2.6 Drenážní odtok	19
2.2.7 Metody separace odtoku	22
2.3 Ovlivnění vodního režimu.....	25
3. MATERIÁL	28
3.1 Jenínský potok.....	28
3.2 Kopaninský potok	31
3.3 Ostřice	34
3.4 Vyhodnocení využití území na sledovaných povodích.....	36
4. METODY	39
4.1 Separace odtoku	39
4.1.1 Metoda GROUND	39
4.1.2 Digitální filtry	42
4.1.3 Analýza poklesových větví	44
4.2 Odtokový součinitel	45
4.3 Analýza srážko-odtokových událostí	46
5. VÝSLEDKY A DISKUZE	48
5.1 Separace složek odtoku	48
5.2 Odtokový součinitel	54
5.3 Analýza srážko-odtokových událostí	56
6. ZÁVĚR	64
7. LITERATURA.....	65
8. PŘÍLOHY	71

1. ÚVOD

České země patří historicky k oblastem, v nichž stavby odvodnění plnily a nadále plní významnou úlohu při zkulturnění zemědělské krajiny. Je také otázkou, kdy jsou odvodňovací procesy potřebné a kdy jsou z hlediska hospodaření s vodou a z hlediska ochrany životního prostředí nežádoucí. Odvodňovací práce jsou starým odvětvím inženýrské činnosti, které lidstvu zajišťovala možnost využívat bažinaté a zamokřené plochy (JÚVA, 1957). Dnes nejčastější způsob odvodnění zemědělských pozemků – trubková drenáž – se u nás poprvé začal používat až na konci čtyřicátých let 19. století (JÚVA, 1968).

V České republice je drenáží odvodněna zhruba čtvrtina výměry zemědělských půd. Přítomnost drenážních systémů v krajině a jejich účinky jsou však většinou skryty oku běžného pozorovatele (KULHAVÝ a kol., 2005).

Náplní této práce je zanalyzovat vliv drenážních systémů na vodní režim povodí, což v této práci zahrnuje analýzu srážko-odtokových událostí a její srovnání na daných povodích, výpočet odtokového součinitele pro daná povodí a také separaci odtokových složek pomocí metod separace odtoku. Tato diplomová práce obsahuje literární rešerši na témata související s problematikou a popisem odtoku, odvodnění, dále popis materiálu, se kterým je v této práci pracováno, popis jednotlivých povodí a dat, se kterými je pracováno a také metody, pomocí kterých bylo dosaženo výsledků. Ty jsou shrnuty a popsány v poslední části „Výsledky a diskuze“.

2. LITERÁRNÍ PŘEHLED

2.1 Meliorace

Z celkové plochy půdy ve světě pouze asi 11 % nepostihují vážná omezení, která by se týkala produkční schopnosti pro zemědělství. Všechny ostatní pozemky trpí nějakým defektem, (suchem, minerálním stresem, nepatrnou hloubkou, přebytkem vody a podobně). Všechny tyto závažné jevy spadají do pracovní sféry meliorací (SANETRŇÍK a FILIP, 1991).

Půda je základní výrobní prostředek zemědělství a odvíjí se od ní množství a jakost zemědělské produkce a proto by neměla být poškozována, jak v současnosti, tak ani v budoucnu. Je velmi důležité poznat výnosové schopnosti půd v různých klimatických podmínkách, umět zhodnotit, které půdy jsou vhodné pro intenzivní zemědělství a které mohou a musí plnit mimoprodukční funkce. Aby vůbec došlo k zefektivnění zemědělské výroby na půdách, je potřeba méně výnosné nebo poškozené půdy trvale chránit a zlepšovat, odstraněním nebo alespoň omezením příčin, které ji znehodnocují nebo poškozují. Latinské slovo „melior“ = zlepšení. Zlepšení by nikdy nemělo být jednostranné, vždy by mělo zhodnocovat většinu složek přírodního prostředí, ale v žádném případě toto prostředí poškozovat (KVÍTEK, 2006). Kudrna (1979) uvádí, že meliorační opatření jsou regulačními prvky zemědělské soustavy, které svou činností stabilizují hlavně podmínky rostlinné výroby a zároveň stabilizují i výnosy pěstovaných plodin. Meliorační zásahy jsou i intenzifikačním faktorem, protože odstraňují i limitující vlivy rozvoje zemědělské činnosti. V moderním pojetí musí být meliorace opatření, které zhodnocuje většinu složek přírodního prostředí a současně zohledňuje výnosnost daného stanoviště (KVÍTEK, 2006). Meliorační zásahy jsou v podmínkách nadměrného zásobení půdy vodou (odvodnění půdy) významným regulačním, stabilizačním a intenzifikačním prvkem zemědělské soustavy. Jsou to zásahy, které fungují ke sbírání a odvádění vody ze zamokřených a zaplavených území a k jejich ochraně před záplavami. Souhrn všech zařízení, které jsou určeny ke sbírání vody ze zamokřeného nebo zaplavovaného území a k odvádění do recipientu se nazývá odvodňovací zařízení (BENETIN a kol., 1987).

Meliorace můžeme považovat za vědní obor a prostředek k vytváření zemědělsko-průmyslové krajiny, jako jsou architektura, urbanismus a prostředky pro

vytváření městského prostředí, neboť v obou případech záleží na způsobu a úrovni použití i komplexnosti řešení (STEHLÍK, 1985).

V současnosti i nadále budou meliorace představovat významné opatření, které se bude zejména projevovat v údržbě, rekonstrukci a modernizaci melioračních děl, v komplexním hodnocení a řešení optimalizace zemědělsky využívané krajiny při respektování ekologických aspektů prostředí a úpravou všech faktorů, které nepříznivě ovlivňují produkční schopnost zemědělských půd. Meliorace, které se provádí na základě současných poznatků je možno považovat za základ pro ekologickou stabilitu krajiny (SANETRŇÍK a FILIP, 1991).

2.1.1 Odvodňovací zásahy

Odvodňování zamokřených ploch je vážným zásahem do dosavadního vláhového režimu půd v dané oblasti a proto i intenzita odvodňovacího zásahu by měla odpovídat potřebě, která plyne z nutnosti odvedení přebytku vláhy (FÍDLER, 1975). Základní podmínkou je, aby voda nezamokřovala kulturní půdní profil a aby byla ustálená v přípustné hloubce pod terénem. Tato hloubka se u zemědělských pozemků řídí podle pěstovaných plodin (hloubkou zakořenění), (DUFKOVÁ, 2009). Jestliže provedeme na zájmové ploše odvodňovací soustavu, složenou z otevřených příkopů, nebo drenáže, urychlíme a také zvětšíme složku odtoku z plochy. Tento technický zásah je velmi rázný a mnohdy se při použití ve větším rozsahu a při použití jiných druhů technických opatření (úpravy velkých toků) vymkne možnostem přírody takový zásah organicky začlenit do dalšího přirozeného vývoje půdy nebo i krajiny (FÍDLER, 1975). Podle Jůvy (1957) zemědělské, nebo kulturní využívání půdy požaduje odvodnění zamokřené půdy, to znamená trvale se zbavit škodlivého přebytku vody. Aby se toho docílilo (zbavení přebytečné vody z povrchu i z vegetačního profilu), vodní režim zamokřené půdy se musí upravit.

Fídlér (1975) rozdělil odvodňovací zásahy na:

- a) biologické způsoby,
- b) technické způsoby.

Biologické způsoby odvodnění

Tyto způsoby se používají zpravidla u méně zamokřených půd a spočívají zejména v úpravě struktury půdy a ve výsadbě porostů s vysokou transpirací. Strukturní půdy při vhodném poměru kapilárních a nekapilárních pórů dobře hospodaří s vodou a brání zamokření. Výsadbou těchto porostů dochází k odvodnění tak, že kořenovým systémem je odebírána voda z mocnějšího půdního horizontu, který se tím vysouší. Pro představu vzrostlá bříza vypaří cca 30 l za den (KVÍTEK, 2006). Z převážné většiny jsou odvodňovací zásahy řešeny jinými a to technickými způsoby, aniž by někdo bral zřetel na možnosti odstranění příčin zamokření biologickými zásahy, které jsou však často nevýhodné pro pomalý a celkem nejistý účinek. Jsou také podstatně méně propracovány, než zásahy technické (FÍDLER, 1975).

Technické způsoby odvodnění

Technické způsoby odvodnění zemědělských půd jsou zpravidla využívány na silně zamokřených půdách a v takových podmínkách bývají jediným účinným odvodňovacím prostředkem. Jsou zaměřeny na zvětšení odtoku přebytečné vody z půdního profilu. U tohoto způsobu se používají různé technické úpravy a stavby (úpravy toků, příkopové soustavy).

Dle Kvítka (2006) se odvodňovací zařízení člení podle funkce na:

- a) odvodňovací zařízení podrobné
- b) odvodňovací zařízení hlavní

2.1.2 Hlavní odvodňovací zařízení

Hlavní odvodňovací zařízení se rozdělují na:

- a) odvodňovací kanály
- b) ochranná zařízení

Hlavní a podrobná odvodňovací zařízení k odvodnění území tvoří odvodňovací soustavu. Odvodnění souvisle zamokřené plochy je systematické neboli plošné odvodnění, naopak místní odvodnění je odvodnění místně zamokřené části

zájmového území. Ke správné funkci odvodňovacího zásahu je správné zaústění do recipientu, kterým bývá přirozený nebo umělý vodní tok, stojící voda nebo podzemní propustná vrstva. Soustava zaústíje do recipientu pomocí hlavního odvodňovacího kanálu (BENETIN a kol., 1987).

2.1.3 Podrobná odvodňovací zařízení

Podrobná odvodňovací zařízení bezprostředně odvodňují půdní profil. Jsou provedena takovým způsobem, aby do odvodňovacích prvků odtékala voda z gravitačních pórů půdního profilu (SANETRŇÍK a FILIP, 1991). Podle způsobu odvodu nadbytečné vody z půdního profilu, můžeme odvodnění rozdělit dle Kvítka (2006) na:

- a) odvodnění otevřenými příkopy
- b) drenáží - odvodnění podzemní odvodňovací sítí potrubí
- c) kombinované odvodnění

Odvodnění otevřenými příkopy

Odvodnění příkopy se navrhuje tam, kde je třeba především rychle odvést povrchové vody místní i cizí. Oproti odvodnění podpovrchovou drenáží má řadu nevýhod, z nichž hlavní je roztržštění plochy na dílce mezi trasami sběrných příkopů, což znemožňuje racionální využití mechanizace při obdělávání a sklizni (FÍDLER, 1975). Speciální případ, kdy lze použít odvodňovacích příkopů, je jejich uplatnění u regulačních drenážních systémů, kde slouží k odvádění vody při odvodňovací fázi a k přívodu vody při navlažovací fázi trubkové drenáže. Rozchod sběrných příkopů se stanovuje na základě hydraulických výpočtů, jejichž návrh se řeší v souladu s pozemkovými úpravami (KVÍTEK, 2006).

Odvodnění drenáží

Horizontální trubková drenáž je nejpoužívanější způsob podzemního odvodnění, které se sestává z drénů položených do drenážních rýh zhruba

rovnoběžně s povrchem odvodňovaného území. Rozeznávají se zde sběrné drény (péra, křídla) a drény svodné. Několik sběrných drénů, které jsou rovnoběžně uloženy a zaústíují do svodného drénu, vytváří drenážní souřad. Drény, které náleží jedné drenážní výusti, tvoří dohromady drenážní skupinu (SANETRŇÍK a FILIP, 1991). Tento druh odvodnění je v současné době prováděn téměř výlučně. Jeho výhody spočívají v tom, že celá síť odvodňovacích prvků je podzemní a nenarušuje celistvost pozemků. Současně nevyžaduje tak náročnou údržbu, jako odvodnění otevřenými příkopy. Nevýhodou je, že v zakrytém potrubí bývají poruchy, hlavně ucpání nebo poškození trubek, nepřehledné a těžko se hledají. Jinak má odvodnění drenáží předpoklady uplatnění ve velkovýrobě, neboť netříští plochy, pracuje vlastně automaticky. Není náročné na údržbu a byla pro ni v poslední době vyvinuta účinná mechanizace (FÍDLER, 1975).

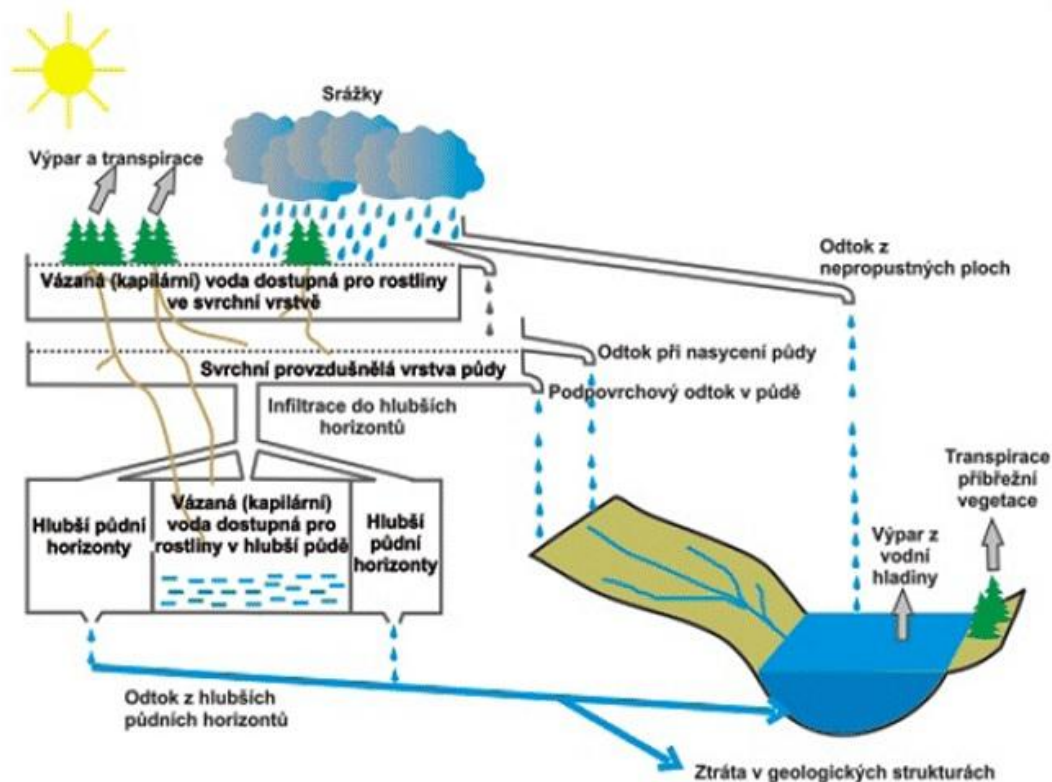
2.1.4 Odvodnění v současnosti

Podle Jelínka (1999) byl největší nárůst odvodňovacích systémů s příchodem socialistické zemědělské velkovýroby s principem maximální produkce za každou cenu. Prosazování velkovýroby nejen v zemědělství, ale i v melioracích mělo za následek, že drenážními systémy byly odvodněny jak zamokřené, tak i půdy zcela suché. V současnosti je v České republice evidováno 1 084 800 ha pozemků odvodněných trubkovou drenáží (z toho plných 1 065 000 ha připadá na plošné odvodnění trubkovou drenáží). 14 166,555 km upravených malých vodních toků a 11 712,403 km odvodňovacích kanálů (z toho je 7203,541 km kanálů otevřených a 4508,862 km kanálů krytých – zatrubněných). V tomto úředním seznamu jsou však z velké části přesněji zahrnuty jen výsledky stavební činnosti z let 1959 až 1989. Zatímco v roce 1955 v Československu došlo k odvodnění 12 197 ha, v roce 1975 to bylo již 72 855 ha. Hydromeliorační odborníci se shodují, že vedle výše evidenčně vykazovaného rozsahu odvodnění trubkovou drenáží u nás existuje nejméně dalších 450 000 ha drenážovaných zemědělských pozemků, které se do evidence z nějakých příčin nedostaly. Současná evidence ale především zdaleka neobsahuje výměry ploch zemědělských pozemků, které byly drenážované před rokem 1955 a tak zcela postrádá zejména výměry tzv. sporadického odvodnění trubkovou drenáží, které se rozšířilo zejména v první polovině minulého století (VAŠKŮ, 2011). Většina těchto

podzemních odvodňovacích systémů, pro která se používá též označení „podrobná odvodňovací zařízení“, má už svého konkrétního soukromého vlastníka. Je jím vlastník pozemku, na kterém se nacházejí. Mnozí vlastníci ani nevědí, zda na svých pozemcích drenáž mají, tím méně pak mají představu o tom, kde se drenážní potrubí a objekty nacházejí. Významnější skupinou případů jsou odvodňovací systémy na zbývajících státních zemědělských půdách, popř. na půdách obcí. Stavební dokumentace odvodňovacích systémů ve většině případů nebyla novým vlastníkům předána, pokud o to sami nepožádali dosavadního správce těchto systémů, kterým byla zpravidla Zemědělská vodohospodářská správa. Bohužel, v řadě případů již tato dokumentace neexistuje nebo je neúplná. Velice často projektové výkresy neodpovídají skutečnému provedení stavby (KULHAVÝ a kol., 2005).

2.2 Odtok

V další části je vysvětlen odtok a vše co je s ním a s jeho působením v krajině spojeno. Tomuto tématu se věnuje mnoha autorů, jako Kříž (1983), Hall (1968), Brutsaert (2005), Urbánek (1970), Kulhavý a kolektiv, (2001) a spousta dalších. Na obrázku č. 1 je znázorněno obecné schéma oběhu vody v krajině.



Obr. č. 1 – schéma srážko-odtokového procesu

Zdroj: http://www.chmi.cz/files/portal/docs/poboc/CB/pruvodce/hydrologicke_predpovedi_v_cr.htm

2.2.1 Bilanční rovnice odtoku

Základní hydrologická oblast, ve které zkoumáme odtokový proces a zjišťujeme vzájemný vztah bilančních prvků, se nazývá povodí (KUŘÍK, 2001).

Velikost odtoku závisí nejen na množství srážek, ale také na jejich druhu a časovém rozdělení. Větší odtokový součinitel dávají zásadně srážky ve formě sněhu, oproti dešťovým srážkám v teplejších obdobích, protože výpar v zimě není tak silný a voda se nevsakuje tak vydatně jako v teplejších ročních obdobích (NĚMEC, 1965).

Odeklé množství vody za vyšetřované období je dáno objemem vody, která otekla ze zájmového území po povrchu a pod povrchem půdy (URBÁNEK, 1970).

Odtok vody z povodí se vyjadřuje jednoduchou bilanční rovnicí:

$$O = S - E \pm \Omega$$

kde:

O - odtoková výška,

S - srážky,

E - evapotranspirace,

Ω - množství vody, které zvýšilo nebo snížilo zásoby povrchové a podzemní vody.

Odtok podzemní vody lze obvykle rozdělit na podzemní odtok, který je dotovaný z oblastí ležících těsně u povrchového toku a podzemní odtok, který je dotován podzemní vodou s hlubším oběhem a vzniká v horních částech povodí. Velikost podílu jednotlivých složek podzemního odtoku závisí především na hydrogeologických poměrech vyšetřovaného území (URBÁNEK, 1970).

2.2.2 Celkový odtok

Základní odtok

Hall (1968) uvádí, že základní odtok je část celkového odtoku z území, k určitému profilu na povrchovém toku. Dle Štamberové a kol., (1998) lze za tento odtok považovat odtok vody, který prochází oběhem podzemních vod. A podle Chow a kol., (1998) je zase základní odtok jako pomalu se měnící tok v období bez deště.

Hypodermický odtok

Podle Kříže, (1983) je hypodermický odtok takový, který stéká do koryta toku, na níže položené území, aniž by dosáhl k hladině podzemní vody, v bezprostřední vrstvě pod povrchem povodí. Hypodermický odtok je důležitou součástí celkového odtoku (ŠTAMBEROVÁ a kol., 1998).

Nasycený povrchový odtok

Kulhavý a Švihla, (1999) definují nasycený povrchový odtok jako tu část vody odtékající po povrchu málo propustných nebo dočasně nasycených půd. Nebo

také odtékající z trvale nasycených zón v blízkosti vodních toků. Přímý odtok je dohromady tvořen hypodermickým a nasyceným povrchovým odtokem.

Podrobně rozdělil rychlou odezvu odtoku na srážku např. BRUTSAERT (2005):

1. Povrchový odtok

- Odtok z překročení infiltrace
- Odtok z překročení nasycení

2. Podpovrchový odtok

- Odtok makropóry a jinými preferenčními cestami
- Odtok mělkou permeabilní vrstvou
- Odtok způsobený zvýšením hladiny podzemní vody

2.2.3 Povrchový odtok

Povrchový odtok je voda odteklá po povrchu terénu z míst, kde vznikly podmínky pro tvorbu odtoku. Primárním zdrojem vody pro tento odtok je srážkový úhrn (ŽLÁBEK, 2009). Podle Holého a kol., (1984) vzniká povrchový odtok vody v okamžiku, kdy přesáhne intenzita srážky vsakovací schopnost půdy a zároveň je vyčerpána akumulace půdního povrchu.

Odtok z překročení infiltrace

Tento proces je spojován se jménem R. E. Hortona, proto je někdy také označován jako Hortonovský odtok. Tento druh odtoku vody se objevuje, když infiltrační kapacita půdy je menší než míra intenzity srážky. Vytváří se tak na zemském povrchu přebytek vody odtékající po povrchu (HORTON, 1933).

Odtok z překročení nasycení

Povrchový odtok probíhá především v době tání, kdy během 10 až 20 dnů odtaje podstatná část sněhové pokrývky. Dle Tomana a Podhrázké (2002) je tento stav nejpříznivější, pokud je tání doprovázeno srážkami a náhlým oteplením

vzduchu. Je to rychlý a téměř okamžitý přepravní mechanismus, kvůli prosakování vytékající vody a dešťovým srážkám nebo tajícímu sněhu (BRUTSAERT, 2005).

2.2.4 Podpovrchový odtok

Infiltrovaná voda je primárním vstupem pro tento odtok (ŽLÁBEK, 2009). Je to voda infiltrovaná do půdy, která odtéká pod povrchem terénu a z povodí odteče, aniž by dosáhla hladiny podzemní vody (ŠTAMBEROVÁ a kol., 1998).

Podpovrchový odtok makropóry a jinými preferenčními cestami

Makropóry se vyskytují ve svrchních vrstvách půdního profilu, proto se vysoušení půdy i biologická aktivita odehrávají blízko povrchu půdy (BRUTSAERT, 2005).

Podpovrchový odtok mělkou permeabilní vrstvou

V mnoha povodích s pokryvem přírodní vegetace, obsahuje půdní vrstva relativně propustnou vrchní vrstvu, která je tvořena minerálními půdami s vysokým obsahem organických zbytků. Spodní rozhraní této vrstvy je charakterizováno nečekaným snížením hydraulické vodivosti. V mnoha studiích je tato vrstva označována jako významné až hlavní transportní médium událostního odtoku (BRUTSAERT, 2005).

Podpovrchový odtok způsobený zvýšením hladiny podzemní vody

Brutsaert, (2005) udává, že tento odtok se vyskytuje tam, kde přidání i velmi malého množství vody při vysokém stupni nasycení půdního profilu, může vést k rychlému zvýšení hladiny podzemní vody. V dolních částech svahu může být tento odtok obzvláště rychlý.

Podpovrchový odtok nenasycený

Podpovrchový odtok nenasycený může trvat až po dobu několik týdnů po srážce (ŽLÁBEK, 2009).

2.2.5 Podzemní odtok

Podzemní vody proudí mikrotrhlinami skrz navzájem propojené póry, mezi hranicemi zrn a trhlinami větších rozměrů (SMITH, WHEATCRAFT, 1993). Nepřetržitý odtok vody do vodních toků a vodních nádrží je tvořen relativně pomalou rychlostí proudění podzemní vody a její dlouhou dobou zdržení ve zvodních. Tento proces zajišťuje ve vodních nádržích minimální výšky hladin a minimální průtok ve vodních tocích v obdobích bez srážek. Navzdory malému pohybu, podzemní voda představuje největší zdroj vody na světě ve vnitrozemí. Podíl podzemní vody z celkové vody ve vnitrozemí, byl vyhodnocen na 30 % a na 90 % tekuté vnitrozemské vody (SERRANO, 1997).

2.2.6 Drenážní odtok

Specifickou hydrologickou charakteristikou povodí mnoha drobných vodních toků je voda, která vytéká ze systémů podpovrchového odvodnění zemědělských půd. Existuje celá řada metod popisu a analýzy drenážního odtoku, k nimž patří i metody separace více odtokových složek uvnitř drenážního odtoku (DOLEŽAL a kol., 2001).

Režim drenážního odtoku je analyzován z hlediska svých složek - přímého a základního odtoku, které se liší svou genezí. Přímá složka drenážního odtoku je odezvou na srážkovou událost nebo tání, zatímco složka základní je výslednicí dlouhodobého přerozdělování podzemních vod. K detekci přítomnosti několika složek v drenážním odtoku byla použita analýza sklonu poklesové větve hydrogramu, která zřetelně ukázala dokonce tři odlišné složky. Třetí hlavní složka, označovaná jako hypodermický odtok bývá vyčleňována na rozhraní mezi oběma hlavními kategoriemi odtoku (MOSLEY a McKERCHAR, 1993).

Poměr průměrného základního odtoku k průměrnému celkovému drenážnímu odtoku za určité charakteristické období, označovaný zde jako poměrný základní odtok, může charakterizovat typ zamokření dané lokality v daném období. Separace složek celkových částí odtoku, které protékají závěrovým profilem povodí, je základním nástrojem hydrologie už po mnoho desetiletí. Metodami, jak separovat přímý odtok od toho základního, empiricky i hydrologicky zdůvodněnými, se

zabývala již řada autorů (KULHAVÝ a kol., 2001). Při analýze povodňových vln k oddělení přímého odtoku od odtoku základního (povodňového) odtoku, se separace používá výhradně (PILGRIM a CORDERY, 1993).

Při separaci hydrogramu se musí určit tři hlavní body, kterými jsou začátek a konec období přímého odtoku a tvar hydrogramu základního odtoku mezi těmito dvěma body. Začátek přímého odtoku je většinou snadno určitelný v místě, kde se po začátku srážky hydrogram poprvé odchýlí od konstantního průběhu základního odtoku, který převažoval do té doby. Určení tvaru hydrogramu základního odtoku a konce období rychlé složky odtoku je již složitější (STEHLÍK, 1998). Další pomůcka je sice nákladná, za to výborná k separaci jednotlivých odtokových složek, a to je analýza obsahů přírodních izotopů ve srážkách, v samotném odtoku i v půdní a podzemní vodě (UHKENBROOK a LEIBUNDGUT, 2000). Jinou možností je využít k separaci odtoku paralelní data o srážkách a odvodit reprezentativní srážkoodtokové vztahy pro jednotlivé složky odtoku – např. jednotkový hydrogram (PILGRIM a CORDERY, 1993). Další relativně jednoduchou metodu separace přímého a základního odtoku navrhli Kliner a Kněžek, (1974) a ta je založená na pozorování (ve vhodných místech povodí) hladiny podzemní vody.

Drenážní odtok bývá často považován jen za jednu ze složek hypodermického odtoku (jak to formulují např. i Doležal a kol., 2000). Ve skutečnosti se však sám skládá z několika složek, jejichž vznik je různý. Tuto skutečnost rozpoznali jako jedni z prvních Fidler (1970) a Švihla (1992). Fidler (1970) konstatoval, že vlny podzemních odtoků jsou plošší než povodňové vlny v malých vodních tocích, neboť vztah mezi srážkou a odtokem je tlumen tím, že voda musí projít kratší nebo delší dráhu skrze půdní a horninové prostředí. Švihla (1992) vycházel z toho, že drenážní odtok zachovává podobné tendence jako odtok celkový a dospěl k závěru, že je opodstatněné využít i pro drenážní odtok ověřených postupů separace odtokových vln.

Dlouhodobých řad kontinuálně měřeného drenážního odtoku je však velmi málo jak v ČR, tak i v zahraničí. Ani v minulosti, kdy probíhala intenzivní výstavba systémů odvodnění pro zemědělské účely (v 60. až 80. letech 20. století), nebyly takové podklady k dispozici v odpovídající četnosti a délce, s výjimkou několika málo experimentálních ploch. Chyběly proto plošně použitelné podklady k ověření platnosti návrhových parametrů drenáží. To se např. projevilo i nedostatkem

měřených dat pro vyjádření vlivu odvodnění za extrémních situací, jakými byly záplavy let 1997 a 1998 (SOUKUP, 1998).

Jak definuje Kulhavý a kolektiv (2001), ve středoevropských podmínkách existují čtyři hlavní cesty, kterými se srážková voda dostává z atmosféry do drenáže, přičemž mezi jednotlivými mechanismy jsou pochopitelně plynulé přechody:

1 - Voda po dopadu na povrch půdy, obvykle málo propustné, odtéká po tomto povrchu, postupně se soustřeďuje v určitých odtokových dráhách a hromadí se v depresích, kde je v důsledku malého sklonu povrchu odtok zpomalen nebo zcela zastaven. Přítok vody do drénu je převážně shora, resp. z horního poloprostoru obklopujícího drén.

2 - Podobný případ jako sub 1), ale odtok sám se odehrává pod povrchem, v dočasně nasycené zóně v humusovém horizontu nebo nehluboko pod ním. Tento mechanismus je poněkud pomalejší než předchozí.

3 - Voda vsakuje do půdy na místě, kde dopadla a její další pohyb v půdním profilu, je převážně svislý až do chvíle, kdy dosáhne nasycené zóny svrchní trvalé zvodně. Voda se pak pohybuje převážně vodorovně až do míst, kde je zvodně přirozeně nebo uměle odvodňována.

4 - Voda akumulovaná na povrchu půdy i v půdě v pevné fázi (jako sníh nebo led) postupně roztává a odtéká po povrchu nebo podpovrchově podobným způsobem jako 1) nebo 2). Rozdíl oproti předchozím případům je především v tom, že jak přítok vody, tak propustnost půdy závisí na teplotě a mají proto výraznou denní periodicitu.

Složky drenážního odtoku

Odhlédneme-li od posledně jmenovaného (zimního) mechanismu, můžeme na základě výše řečeného předpokládat, že drenážní odtok se skládá ze tří složek, povrchové, hypodermické a základní, které odpovídají, v pořadí, uvedeným mechanismům 1, 2 a 3. Ve skutečnosti však povrchová a hypodermická složka často splývají, neboť žádná povrchová voda nevtéká do drenáže přímo. Proto ve shodě s Fídlarem (1970, a Švihlou a kol. (1992) budeme v drenážním odtoku rozlišovat jen dvě složky, které tito autoři označovali jako podpovrchový odtok a podzemní odtok,

kteře vřak ve shodě s ČSN 726530 budeme označovat jako přímý odtok (Q_p) a základní odtok (Q_z). Obě složky dohromady tvoří celkový drenážní odtok (Q_d):

$$Q_d = Q_z + Q_p$$

2.2.7 Metody separace odtoku

Křivka recese základního odtoku sama o sobě obsahuje cenné informace o vlastnostech zvodněných vrstev povodí a proto je separace základního odtoku z hydrogramu celkového odtoku již dlouho předmětem zájmu v hydrologii (SZILAGYI A PARLANGE, 1998).

Pro separaci hlavních složek hydrogramu drenážních odtoků lze použít metody GROUND a MGPM, metodu Klinera a Kněžka digitální filtry a další.

2.2.7.1 Metoda GROUND

Metoda GROUND ("separation of GROUND water runoff") byla vypracována Doležalem a Jainem (JAIN, 1997). Tato metoda vznikla z potřeby urychleně a přibližně separovat základní a přímý odtok z malého povodí. Separace se provádí z datové řady v závěrovém profilu, a to středních denních průtoků. Metoda je to empirická (založená na zkušenosti), laděná tak, aby hydrogramy středních denních odtoků, které jsou separovány z povodí o ploše řádu 1 km^2 , vypadaly věrohodně i při posuzování pouhým okem. Vhodně vyhodnocovaný začátek období by měl připadnout do méně vodného období, kdy nekolísá průtok. Koefficient přírůstku základního odtoku COEF je v této metodě jediný proměnlivý vstupní parametr. Empiricky (ze zkušeností) odladěná hodnota COEF pro povodí řádu 1 km^2 je 0,075. Přírůstek základního odtoku DIFF a logická proměnná FLOOD jsou vnitřními parametry, pokud nepočítáme pomocné proměnné. Vstupem je řada středních denních průtoků, nebo v jiném konstantním časovém kroku průměrovaných průtoků nebo odtoků. Jako výstup vzniknou dvě řady středních denních nebo obdobných průtoků, které představují v pořadí, přímý a základní odtok z povodí. Jejich součet v každém časovém intervalu se rovná celkovému odtoku (JAIN, 1997).

Prvním členem algoritmu je základní odtok, to znamená, že přímý odtok v prvním dni je roven nule. Předpokládá se, že nenastane povodňová situace (FLOOD

= .FALSE.). Následující den je porovnán průtok ve dni předchozím s průtokem v daném dni. Následující postupy záleží, zda přetrvává či nikoli povodňová situace v předchozím dni. Můžou nastat čtyři situace:

- Povodňová situace nepřetrvává, průtok se nezvyšuje.
- Povodňová situace nepřetrvává, průtok se zvyšuje.
- Povodňová situace přetrvává, průtok se zvyšuje.
- Povodňová situace přetrvává, průtok se nezvyšuje

(KULHAVÝ a kol., 2001).

2.2.7.2 Metoda MGPM

Metoda MGPM ("modifikovaná graficko-početní metoda"), jejímž autorem je Zbyněk Kulhavý, vznikla kvůli potřebě rozčlenit dlouhodobé datové řady středních denních průtoků na základní a přímé složky odtoku. Tato metoda se používá při nedostatku doplňujících měření, s plánovanou budoucí aplikací na data drenážních odtoků. Stejně jako u předchozí popisované metody GROUND jde o rozčlenění hydrogramu podle pravidla, že každá zřetelná odtoková vlna má příčinu v nějaké určité srážkové epizodě. Dílčí příčinné srážkové události na sebe mohou přitom libovolně navazovat. Úkolem tohoto algoritmu je separovat tu část odtoku, která je na tuto příčinnou srážku přímou odezvou. Metoda vychází z toho, že základní odtok má mít průběh plynulý a jen pozvolna kolísat, a to vše v závislosti na vývoji dlouhodobé hydrologické bilance povodí (KULHAVÝ a kol., 2001).

2.2.7.3 Metoda Klinera a Kněžka

Tato metoda je v České republice nejrozšířenější a je jí pokryto přibližně 75% našeho území. Metoda je vhodná pro tvorbu každoročních hydrologických bilancí, protože slouží i k výpočtu základního odtoku i pro kratší časové úseky. Dle Klinera a Kněžka metoda využívá výsledky režimního sledování podzemních vod a je založena na předpokladu závislosti výšky hladiny povrchové vody v toku na výšce hladiny vody v přilehlém vrtu. Existuje-li hydraulická spojitost mezi podzemními vodami a vodním tokem, nutně existuje i závislost hladin podzemních a povrchových

vod. Metoda umožňuje vyčíslení základního odtoku, a to na povodích o plochách řádově desítek až stovek km², s uzavřeným oběhem vody (KLINER A KNĚŽEK, 1974).

2.2.7.4 Digitální filtry

Další techniky oddělení hydrogramu základního odtoku na dlouhodobé období např. jednoho roku, několik let nebo na celé dlouhodobé období pozorování využívají určitý druh číslicového filtru. Tento filtr umožňuje každodenní časové řady celkového odtoku rozdělit na okamžitý a základní odtok (SMAKHTIN, 2001). Nejznámější techniky tohoto druhu jsou metoda UKIH (PIGGOTT a kol., 2005) a RDF - rekurzivní digitální filtr. Jeho první použití bylo založeno na filtru, který byl používán ke zpracování signálu a vykazovalo podobné výsledky jako obvyklé metody (LYNE A HOLLICK, 1979). Při použití rekurzivního digitálního filtru je potřeba odhadnout velikost koeficientu pomocí jiné metody – a to použít třeba již osvědčenou hodnotu koeficientu pro dané podmínky, nebo např. pomocí analýzy poklesové větve (KULHAVÝ a kol., 2001).

Metoda RDF

LYNE A HOLLICK (1979) navrhli běžně používaný rekurzivní digitální filtr, který je odvozený z analytických studií a použitý pro separaci přímého odtoku.

Chapmanův filtr

Tato metoda odděluje složku podpovrchovou (hypodermickou) a složku podzemní (základní). Vzorec pro výpočet základního odtoku metodou digitálního filtru dle Chapmana (CHAPMAN, 1999).

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

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

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

Kde:

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

Analýza poklesových větví

Při rozčlenění hydrogramu je možno vycházet z toho, že výtoková čára (poklesová větev) vyjadřuje postupný pokles odtékajícího množství v čase. Výtoková čára je poměrně stabilní, pokud se nemění přírodní ani antropogenní podmínky, které ji definují (KNĚŽEK, KESSL, 2000). Pro popis výtokové čáry (poklesové) větve jsou v hydrologii podzemních vod nejčastěji užívány vztahy odvozené Boussinesquem, které podrobně analyzuje např. Slepíčka a kol. (1989).

2.3 Ovlivnění vodního režimu

Jak je to dnes s dříve budovanými drenážními systémy?

Drenáže a odvodňovací systémy stárnou, protože nemají odpovídající údržbu, potrubí zarůstá a bývá zanášeno zeminou, konce trubek vystavené mrazu se mohou rozpadat. Šachtice se zanášejí, ty nadzemní se sesouvají a rozpadají. Drenážní výusti se rozpadají vlivem břehové eroze a jsou zanášeny splaveninami nebo také zarůstají. Spodní, kdysi i dnes nejvíce zamokřené partie zájmových území odvodňovacích staveb zarůstají bujnou vegetací vlhkomilných a eutrofních rostlinných společenstev (např. kopřivami a rákosem) a jsou de facto vyřazeny z orné půdy, zatímco horní, okrajové partie někdejších zájmových území často odvodnění nikdy nepotřebovaly a drenáž v nich je sice neporušená, ale po naprostou většinu roku bez vody. Vodní eroze na sklonitých pozemcích obnažuje drény a zejména zatrubněné odvodňovací kanály. Ucpané drény a šachtice způsobují vývěry vody, která pak buď odtéká po povrchu a způsobuje další erozi, nebo se hromadí v bezodtokých místech a dává vzniknout novým mokřadům. Ze stavebních a zemědělských podniků postupně odcházejí lidé, kteří se uměli o drenáže postarat, vyčistit je, nebo opravit (KULHAVÝ a kol., 2005).

Důsledky použití drenážních systémů

Účinky odvodnění na vodní ekosystémy zahrnují přímé i nepřímé účinky. K přímým účinkům patří ztráta stanovišť vlivem odvodnění a přeměna mokřadů na zemědělskou půdu. Nepřímé účinky zahrnují kvalitu vody zhoršenou přísunem sedimentů, fosforu, dusíku a dalších znečišťujících látek používaných v zemědělství (KRISTEN a kol., 2009). Ve vodných obdobích odvodnění snižuje hladinu podzemní vody a zvyšuje intenzitu odtoku, ale podíl drenážních vod na celkovém odtoku však bývá nižší. Za běžných odtokových situací a v období sucha vyrovnává odtokový režim vodního toku (SANETRŇÍK a FILIP, 1991). Míru ovlivnění vodního režimu udává intenzita a rozsah provedeného odvodňovacího zásahu. Voda je jedním z klíčových vegetačních činitelů a má význam při mnoha úkolech, jako je fotosyntéza, rozpouštění rostlinných živin, transportu živin i regulaci tepelných vlastností. Její vliv na vegetaci může být uměle upraven odvodněním (HOLÝ a kol., 1984). U nás je hlavní zvýšení a stabilizace výnosu zemědělských plodin, a to se děje dvěma mechanismy. Snížením kyslíkového stresu rostlin v době zamokření a zlepšením přístupnosti a obdělávatelnosti pozemků, drenáž umožňuje zornění vlhčích míst. Dále dochází ke zvýšení celkového odtoku, urychlení odtoku tím, že se podpovrchový odtok nahrazuje odtokem drenážními trubkami, v důsledku okysličení půdy dochází k urychlení mineralizace půdní organické hmoty a k omezení anaerobních a tudíž také denitrifikačních procesů, což má škodlivý důsledek v podobě vyplavování živin. Ve světě je hlavním účelem drenáží odstranění rizika zasolení a zamokření zavlažovaných půd (KULHAVÝ a kol., 2005).

Při odvodňování, zvláště u rozsáhlých systémů ve velkých územích, je třeba pečlivě vážit jejich vliv na hydrologickou bilanci, klimatické podmínky okolního území apod. Neuvážené zásahy mohou vyvolat nenapravitelné škody v oblasti ekologických vztahů a mohou znamenat i zánik rostlinných a živočišných druhů, způsobit rozkolísání průtoků v řekách a vyvolat řadu záporných vlivů (BENETIN a kol., 1987). Účinky odvodnění spočívají v odvedení volně pohyblivé vody v půdním profilu v gravitačních a semigravitačních pórech a v přivedení vzduchu do půdy, případně v jeho rychlejší výměně. Tím se vytváří podmínky pro zvýšenou biologickou aktivitu půdy. Odvodněním půdy s jejím provzdušněním se také zlepšuje teplotní režim půdy (ve srovnání se zamokřenými půdami je u odvodněných průměrná suma ročních teplot v hloubce 0,2 m asi o 300 až 500 °C vyšší).

Odvodnění urychluje koloběh vody v systému: Srážky – vsakování – průsak vodou – podzemní voda – recipient. Tuto skutečnost je možno využít k odstranění přebytečných solí z půdy. V obdělávaných úrodných půdách se však zvyšuje vyplavování živin, zejména dusíku (SANETRŇÍK a FILIP, 1991).

Vliv na odtok

Dle Nováka (2004) drenáž povrchový odtok při vydatných srážkách sice zpomaluje uvolněním systémů pórů, ale systém odpadů, ať už otevřenými příkopy nebo potrubními odpady odtok naopak urychluje. To je spojeno zejména s odtokem rozpuštěných a nerozpuštěných látek do povrchových vod. Celkový odtok se zvyšuje i v době sucha, a to má za následek snížení výparu z povodí, tedy i změnu hydrologické bilance. Když se celkový odtok zvýší a sníží se zásoba a hladiny podzemní vody, tak se krajina stane sušší a méně odolná vůči projevům vůči větrné erozi a suchu (SOUKUP a kol., 2007).

Funkční drenážní systém může v odvodněném půdním profilu ovlivnit infiltraci dešťových srážek příznivě a snížit tak složku povrchového odtoku. U zamokřené půdy jsou jak kapilární, tak gravitační póry zaplněny vodou, což až znemožňuje vsak srážkové vody do půdního profilu a voda ze srážky musí odtéct povrchově (FÍDLER, 1998).

Argumenty v neprospěch odvodnění

Hlavními argumenty proti odvodňovacím zásahům jsou ty, že odvodněné pozemky jsou celkově sušší a půda na nich se snadněji ohřívá. Krajina se tak stává sušší a méně odolnou proti suchu a projevům větrné eroze. Krajina se proto přehřívá a atmosférická konvekce se zesiluje. V některých případech odvodňovací systémy také odtok urychlují a přispívají, i když ne v rozhodující míře, ke kulminačním průtokům povodní. Jak vysvětluje Kulhavý a kolektiv (2005), odvodňovacími zásahy se zvyšuje celkový odtok z krajiny a jsou sníženy zásoby podzemní vody. Odvodnění, zejména trubková drenáž, posunuje půdní procesy od anaerobiózy k aerobnímu prostředí, půdní organická hmota vytvořená v podmínkách zamokření se v důsledku toho urychleně rozkládá. Obsah surového humusu v půdě se snižuje, zrašelinělý horizont se ztenčuje a mizí.

Nepřímé účinky zahrnují kvalitu vody zhoršenou přísunem sedimentů, fosforu, dusíku a dalších znečišťujících látek používaných v zemědělství (KRISTEN a kol., 2009). Právě ztráty živin ze zemědělských oblastí do odvodňovacích příkopů byly identifikovány jako přispěvatel ke špatné jakosti vody (AHIABLAME, a kol. 2009).

3. MATERIÁL

Všechny materiály k provádění metod v této práci byly poskytnuty vedoucím práce. Jde o materiály na daná povodí, údaje o jejich průtocích i naměřených srážkách ve stanici „U Turků“. Průtoky byly poskytnuty jak v denních, tak i v hodinových a desetiminutových intervalech pro daná povodí. Dále byla poskytnuta data i k jednotlivým povodím, hlavně rozvodnice k tvorbě výstupů v programu ArcGIS. Všechna ostatní data byla ze serverů, poskytnuta jako WMS, podle kterých byly výstupy poté vyhotoveny. Grafy a tabulky byly tvořeny v programu Microsoft Excel.

3.1 Jenínský potok

Povodí Jenínského potoka

Zájmové území Jenínského potoka s rozlohou 4,64 km², je situováno v katastrálním území obcí Jenín a Horní Kaliště, jež připadá do správního území obce Dolní Dvořiště, které se nachází v jihovýchodní části okresu Český Krumlov, tedy nedaleko státní hranice s Rakouskem. Je vymezeno rozvodnicí Jenínského potoka, pravostranného přítoku Rybnického potoka. Povodí je pravidelně monitorováno od 80. let 20. století pracovníky Jihočeské univerzity v Českých Budějovicích.

Nadmořská výška řešeného území je 635 – 870 m n. m., s dominantou severní části Žibřidovský vrch, dosahující výšky 870,3 m n. m., při hranicích s Rakouskem.

Zájmové území náleží podle geomorfologického členění do provincie Česká Vysočina, subprovincie Šumavská soustava, oblasti Šumavská hornatina, celku

Šumavské podhůří, podcelku Českokrumlovská vrchovina, okrsku Rožmberská vrchovina (DEMEK, 1965).

Českokrumlovský region se z pedologického pohledu řadí do oblastí půd kambizemních podzolů, horských podzolů a silně kyselých kambizemních půd. Mezi nejčastěji se vyskytujícími půdami zde řadíme: glejovou, oglejenou, hnědou půdu glejovou, hnědou kyselou půdu slabě oglejenou a hnědou kyselou půdu (ALBRECHT, 2003).

Povodí Jenínského toku spadá do klimatické oblasti MT3. Pro tuto oblast je charakteristické mírné až mírně chladné, suché až mírně suché léto (20 – 30 letních dnů). Normální, až dlouhé přechodné období, s mírným jarem a podzimem. Zima je normálně dlouhá, mírná až mírně chladná, suchá až mírně suchá a má normální až krátké trvání sněhových pokrývek (60-100 dní), (QUITT, 1971).

Povodí je extenzivně zemědělsky využíváno (90% pastvin) a podíl zalesnění je 10%. Jediným hospodářským subjektem v tomto povodí je společnost ZEMAV Rybník s.r.o., která má sídlo v Dolním Dvořišti.

Zvolené povodí Jenínského potoka 1-06-01-138 se řadí do povodí Vltavy, které se dále řadí do povodí Labe. Na toku převládají úseky bez podstatných lidských zákroků, které vedou údolnicí se stromovou a keřovou doprovodnou zelení.

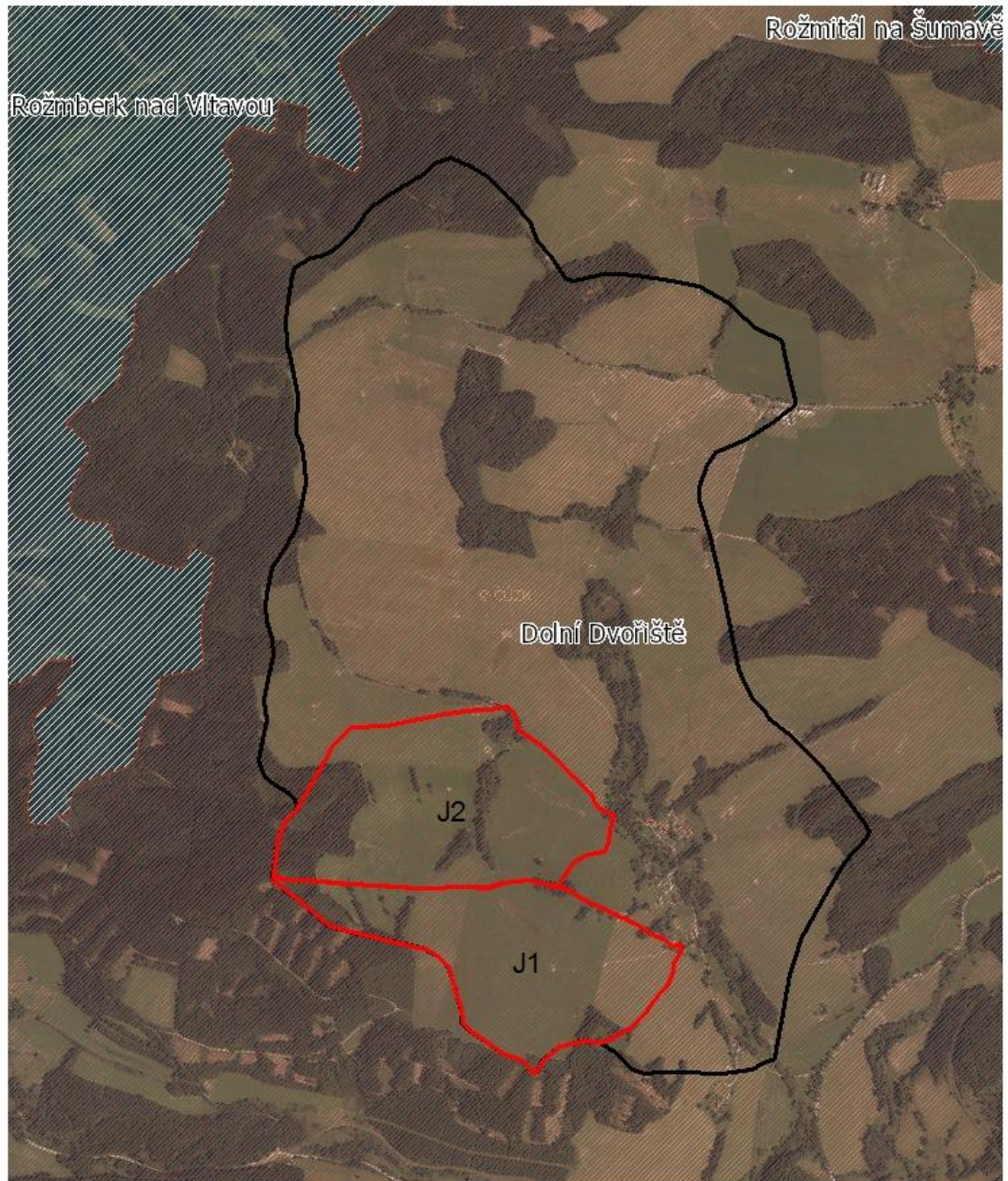
Subpovodí Jenín 1 – J1

Toto subpovodí se nachází západně od obce Jenín, v nadmořské výšce 656 – 802 m n. m. a má rozlohu 46,8 ha. Odvodňovaná plocha činí 24,77 ha. Území je odvodněno klasickou systematickou drenáží vybudovanou v letech 1978 – 1979. V uzávěrovém profilu je umístěno odběrné místo J1. Subpovodí J1 a J2 jsou vyznačeny na obrázku č. 2.

Subpovodí Jenín 2 – J2

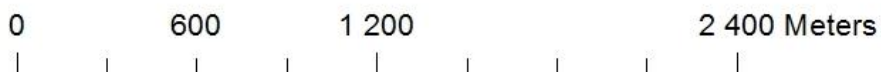
Toto subpovodí se také nachází západně od obce Jenín, v nadmořské výšce 668 – 814 m n.m. a jeho rozloha je 55,12 ha. Toto povodí je také odvodněno klasickou systematickou drenáží, jako Jenín 1 a odvodňovaná plocha činí 34,9 ha. V uzávěrovém profilu je umístěno odběrné místo J2.

Rozvodnice Jenínského potoka



Legenda

-  J1, J2
-  Rozvodnice Jenínského toku



Obr. č. 2 – Rozvodnice Jenínského potoka, subpovodí J1, J2

3.2 Kopaninský potok

Kopaninský potok

Povodí Kopaninského toku s hydrologickým pořadím 1-09-02-031, je levostranným přítokem Jankovského potoka, součástí povodí říčky Hejlovky, která je přítokem řeky Želivky (DEMEK, 1987).

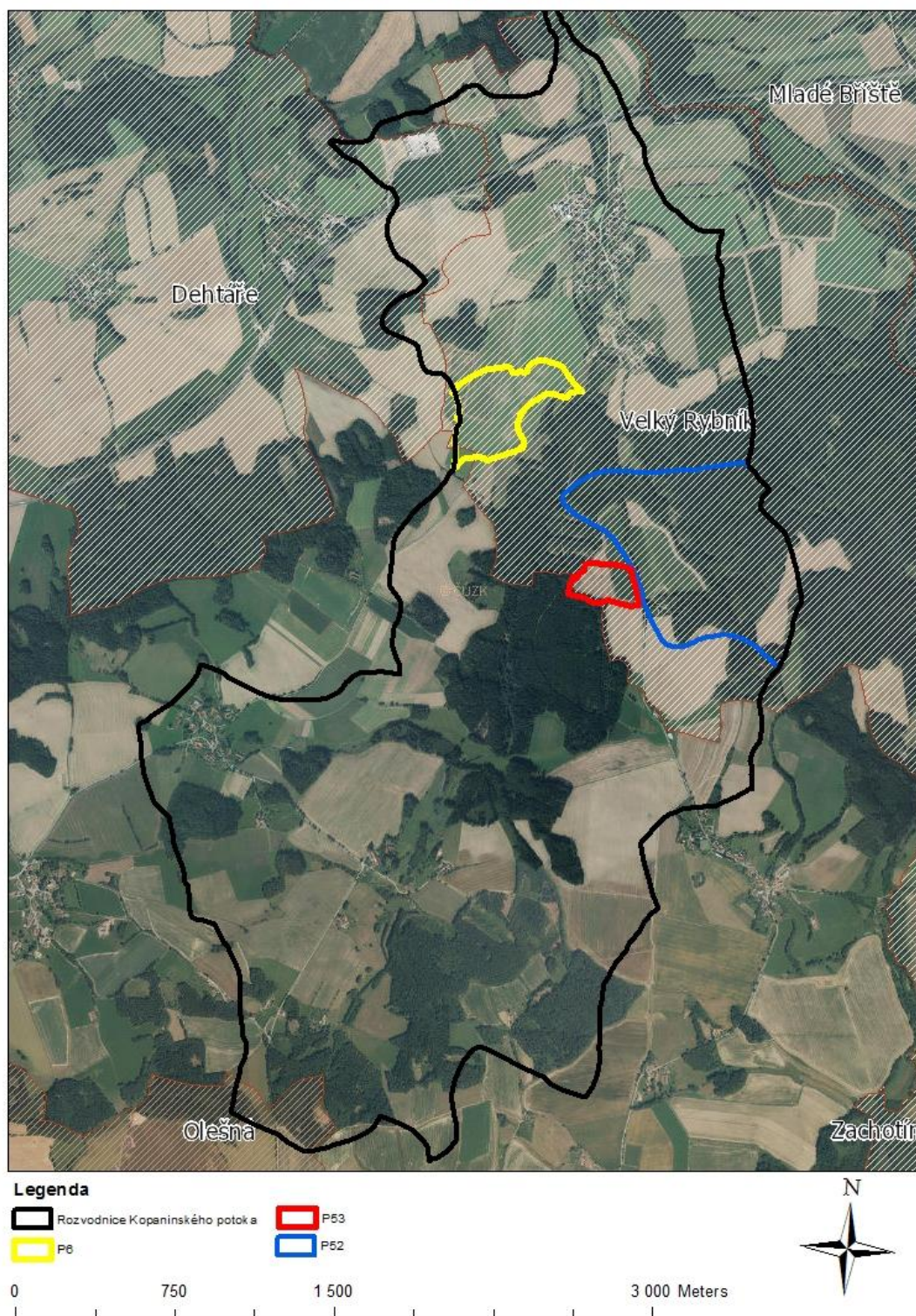
Povodí Kopaninského toku leží v kraji Vysočina v okrese Pelhřimov, mezi silnicemi I. třídy č. 34 a č. 19, v katastrálních územích obcí Chvojnov, Kletečná u Humpolce, Onšovice u Dehtářů, Velký Rybník u Humpolce a Žírov. Je sledováno Výzkumným ústavem meliorací a ochrany půdy, v. v. i. od roku 1985. Původním účelem byl výzkum regulační drenáže na lučních stanovištích. Od roku 1992 je zde systematicky sledována jakost vody v hlavním toku, ale i na cca sedmnácti přítocích. Díky tomu je možno rozlišit funkci jednotlivých lokalit a jejich podíl na odnosu dusíku. Zvláštní význam je přikládán infiltračním oblastem povodí. Na tomto povodí jsou standardně měřeny srážky, průtok, teplota vody a vzduchu, výpar, výška a objemová hmotnost sněhu. Dále je zde měřena radiace, vlhkost vzduchu, rychlost a směr větru, kvalita vody a hladina podzemní vody (DOLEŽAL a kol., 2006).

Rozloha povodí Kopaninského toku (dle ArcGIS) činí 8,8 km² s délkou toku 5,9 km. Nadmořská výška pramene je 578 m, v ústí toku 467 m, průměrná nadmořská výška je 523 m. Nejvyšším bodem v povodí je Pavlíčkův kopec (624 m n. m.). Tento kopec se nachází v jihozápadní části povodí. Ve vegetačním období se srážkový úhrn pohybuje od 350 do 450 mm, v zimních měsících od 250 do 300 mm (KVÍTEK a kol., 2012).

Povodí Kopaninského toku, z hlediska pedologie představuje zemědělskou oblast bramborářsko-žitného subtypu. Pro tuto oblast jsou charakteristické středně těžké až střední lehčí kambizemě modální na rulách. Plošně jsou zde dále výrazněji zastoupeny kambizemě oglejené a pseudogleje modální na rulách. V zamokřených oblastech, zpravidla s výskytem svahových pramenišť, dominují pseudogleje modální (PODHRÁZSKÁ a UHLÍŘOVÁ, 2005).

Téměř polovinu plochy povodí Kopaninského toku tvoří orná půda a více než třetinu pozemků pokrývají lesy. Další členění využití krajiny je vyhodnoceno v tabulce, v kapitole 3.4.

Rozvodnice Kopaninského toku



Obr. č. 3 – Rozvodnice Kopaninského toku, subvodí P6, P52, P53

Povodí Kopaninského toku patří z geomorfologického hlediska do oblasti Českomoravské vrchoviny, celku Křemešnické vrchoviny, podcelků Želivské pahorkatiny a Humpolecké vrchoviny, na rozhraní okrsků Košetické a Vyskytenské pahorkatiny (DEMEK, 1987).

Z hlediska klimatu je to oblast mírně teplá, mírně vlhká, s mírnou zimou a dlouhým teplým suchým létem.

Na povodí Kopaninského toku jsou zastoupeny podle mapy klasifikace půd BPEJ následující hlavní půdní jednotky:

HPJ 29 – kambizemě modální eu- až mesobazické

HPJ 37 – rankery modální a kambické

HPJ 50 – kambizemě oglejené (KAg) a pseudogleje modální (PGm)

HPJ 67 – gleje modální (GLm)

HPJ 73 – katény kambizemí oglejených (KAg), pseudoglejů (PG) a glejů (GL).

Na povodí Kopaninského toku hospodaří Zemědělské družstvo Kojčice a SPV Pelhřimov, a.s. a několik samostatně hospodařících zemědělců.

P6

Povodí P6 je součástí povodí Kopaninského toku a má rozlohu 16 ha. Krajinnou maticí (převládající využití půdy) je zde orná půda. Profil P6 je drenážní profil a je umístěn za výustí drenážní soustavy.

P53

Povodí P53 má rozlohu cca 5 ha. Toto subpovodí je celé tvořeno ornou půdou a je z největší části drenážované, asi z 92 %.

P52

Povodí P52 má rozlohu 65 ha a je zde zastoupena jak orná půda, tak trvalý travní porost. Převažující zastoupení zde má les, asi ze 2/3.

T7U

Profil T7U je situován na 1,4 ř. km Kopaninského toku (od soutoku s Jankovským potokem). Profil T7U se nachází těsně před obcí Velký Rybník, díky čemuž nedochází k ovlivnění průtoků tímto sídelním útvarem. Tento profil je uzávěrovým profilem celého Kopaninského toku.

3.3 Ostřice

Povodí Ostřice

Povodí Ostřice se nachází v bývalém okresu Český Krumlov, na levém břehu vodní nádrže Lipno mezi obcemi Černá v Pošumaví a Horní Planá. Tato lokalita se nachází asi 1,2 km jihozápadně od obce Hodňov, v katastrálním území Horní Planá.

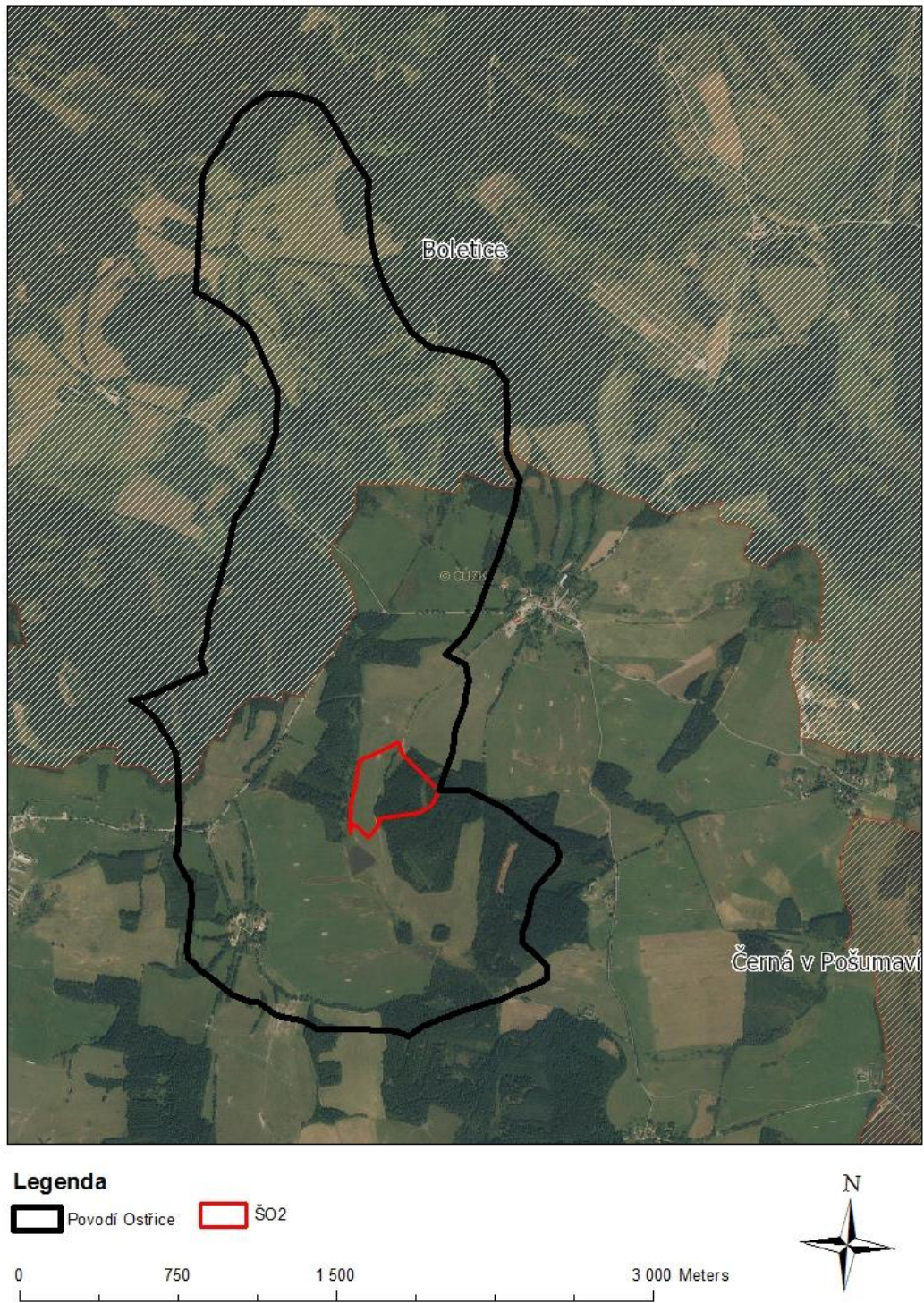
Území leží v CHKO Šumava. Nejvyšší bod území se nachází na jeho západní hranici s nadmořskou výškou 820,7 m n. m. V této lokalitě byl zbudován odvodňovací systém, který však již neplní svou funkci v plném rozsahu. Z toho důvodu se v části využívané jako pastva nachází poměrně rozsáhlé lokální zamokření.

Plocha povodí Ostřice je 9,824 km², číslo hydrologického pořadí: 1-06-01-080 s délkou vodního toku 5,3 km. Odvodňovaná plocha má rozlohu 289,70 ha. Vodní tok ústí do vodní nádrže Lipno. Povodí Ostřice představuje poměrně výrazně členitou krajinu s řadou menších lesních komplexů, remízů a mezí, ale také s poměrně rozsáhlými zemědělskými pozemky. V současné době v povodí zcela převažují využívané travné porosty a pastviny. V této diplomové práci je hodnoceno subpovodí ŠO2, které je vyznačeno na následujícím obrázku.

ŠO2

Toto povodí má rozlohu 10,8 ha a je z většiny odvodněno, asi 95%. Lesy tvoří více než polovinu výměry tohoto povodí, zbytek zabírá trvalý travní porost.

Rozvodnice toku Ostřice



Obr. č. 4 – Rozvodnice toku ostřice, subpovodí ŠO2

3.4 Vyhodnocení využití území na sledovaných povodích

Tab. 1, 2 – zastoupení jednotlivých kategorií využití území - Jenínský potok a tok Ostřice

Jenínský potok - subpovodí J1, J2 [ha]			Potok Ostřice - subpovodí ŠO2 [ha]	
	J1	J2		ŠO2
TTP	40,9	42,7	TTP	5,54
Orná půda	0	0	Orná půda	0
Les	5,8	12,7	Les	5,26
Zastavěná plocha	0,05	0	Zastavěná plocha	0
Ostatní plocha	0	0	Ostatní plocha	0,16
Celková plocha	46,8	55,2	Celková plocha	10,8

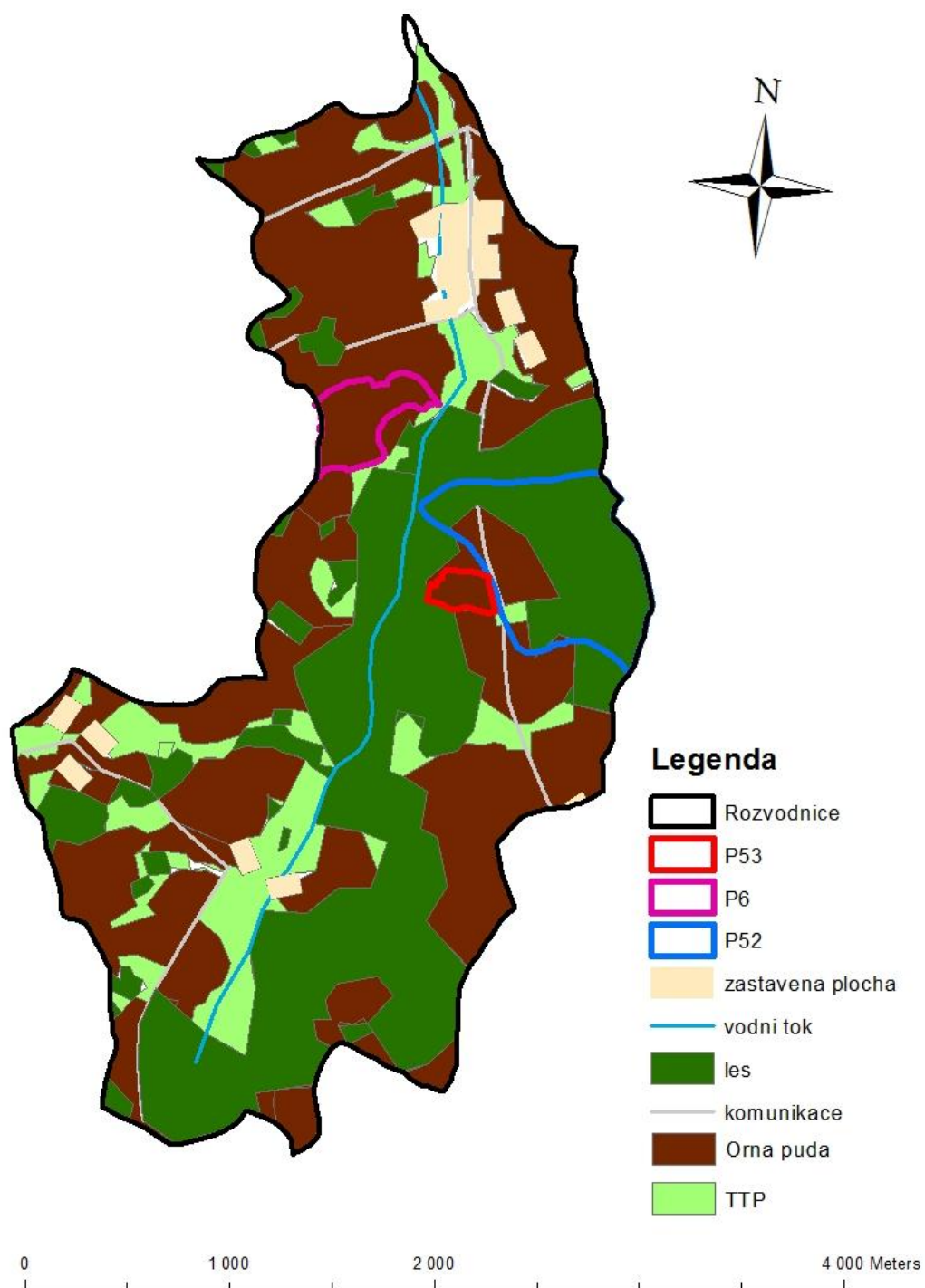
Tab. 3 – zastoupení jednotlivých kategorií využití území Kopaninského toku

Využití území - Kopaninský potok – P6, P53, P52, T7U [ha]				
	P6	P53	P52	T7U
TTP	0,2	0	13,7	110
Orná půda	15,4	4,9	0	410
Les	0	0	49,9	329
Zastavěná plocha	0	0	1,2	25
Ostatní plocha	0,0	0,1	0,2	5,2
Celková plocha	15,7	4,9	65	873,15

Tab. 4 – zastoupení jednotlivých kategorií využití území

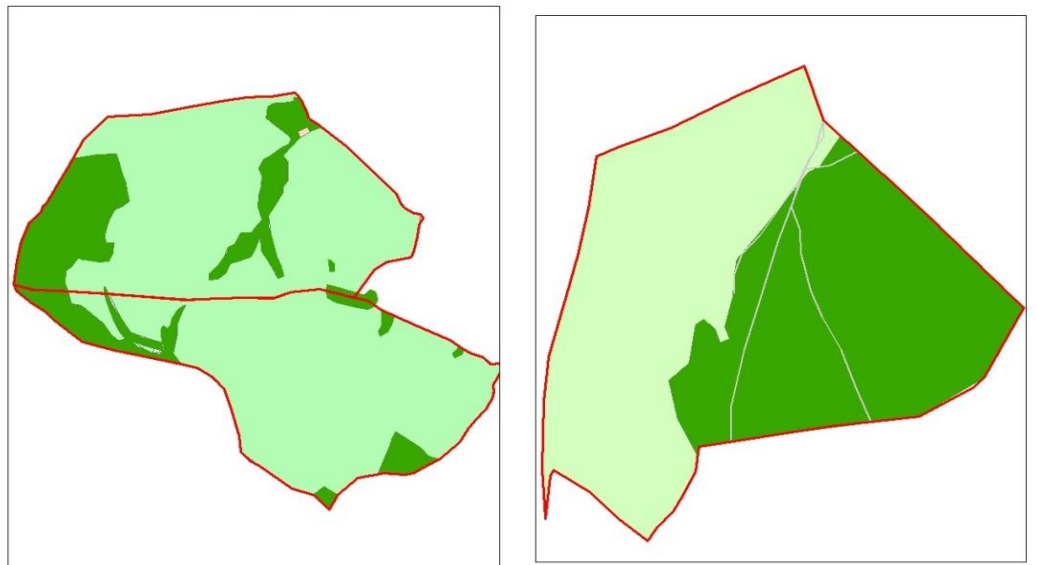
Povodí	orná půda	TTP	les	zastavěná plocha	ostatní plochy	odvodnění
	[% z celkové výměry povodí]					
P6	98,1	1,2	0	0	0,1	62
P53	99,7	0,0	0	0	2,1	92
P52	31	1	64	0,7	0,3	16
J1	0	87,4	12,4	0,1	0	53
J2	0	77,4	23,0	0,0	0	63
ŠO2	0	51,3	47,2	0	1,5	95
T7U	47	13	38	2,5	0,5	10

Mapa využití území Kopaninského toku



Obr. č. 5 – mapa využití území Kopaninského toku

Mapy využití území jednotlivých subpovodí



Legenda

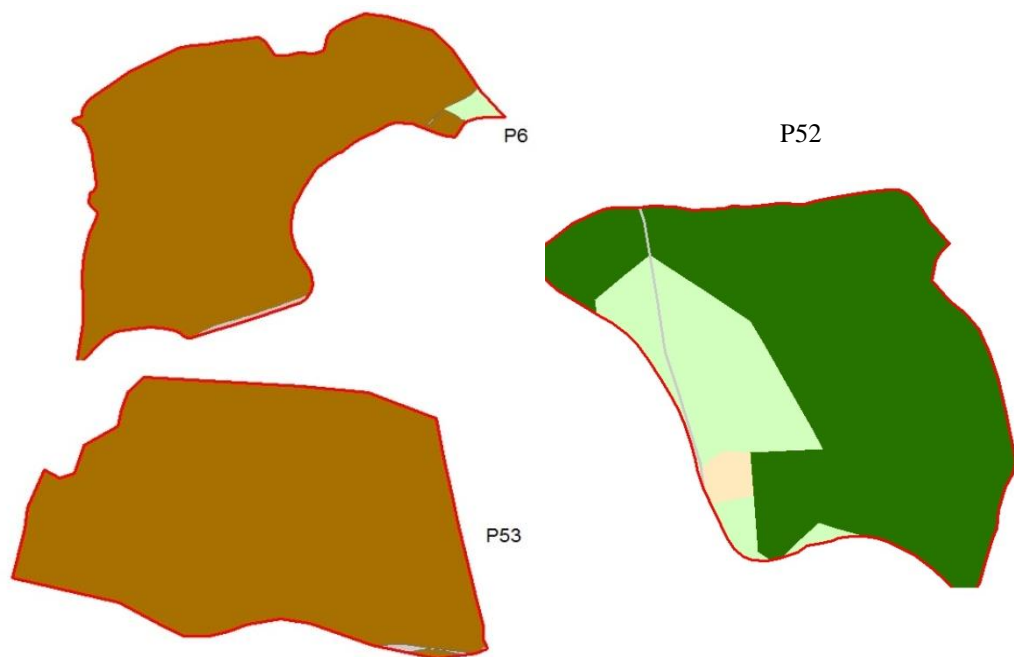


0 150 300 600 Meters

Legenda



0 45 90 180 Meters



Legenda



0 70 140 280 Meters

Obr. č. 6 – mapy využití území jednotlivých povodí

4. METODY

V této diplomové práci byl separován odtok pomocí metod GROUND a pomocí digitálních filtrů, byla použita analýza poklesových větví, za účelem zjištění inflexního bodu pro vyhodnocení srážko-odtokových událostí a byly hodnoceny další charakteristiky, jako vypočtení specifického průtoku, zhodnocení skupiny půd kvůli intenzitě infiltrace a také index předchozího nasycení. Dále byl vypočítán odtokový součinitel pro hydrologické roky 2009, 2010 a 2011 (u ŠO2 pro roky 2007, 2008) a nakonec byly sestrojeny hydrogramy pro vybrané srážky na daná povodí, které jsou hodnoceny, co se týče odtoku, jako odezva na jednotlivé srážky z daných povodí.

4.1 Separace odtoku

4.1.1 Metoda GROUND

Metoda je to empirická (založená na zkušenosti), laděná tak, aby hydrogramy středních denních odtoků, které jsou separovány z povodí o ploše řádu 1 km², vypadaly věrohodně i při posuzování pouhým okem. Vhodně vyhodnocovaný začátek období by měl připadnout do méně vodného období, kdy nekolísá průtok. Koeficient přírůstku základního odtoku COEF je v této metodě jediný proměnlivý vstupní parametr. Empiricky (ze zkušeností) odladěná hodnota COEF pro povodí řádu 1 km² je 0,075. Přírůstek základního odtoku DIFF a logická proměnná FLOOD jsou vnitřními parametry, pokud nepočítáme pomocné proměnné. Vstupem je řada středních denních průtoků, nebo v jiném konstantním časovém kroku průměrovaných průtoků nebo odtoků. Jako výstup vzniknou dvě řady středních denních nebo obdobných průtoků, které představují v pořadí, přímý a základní odtok z povodí. Jejich součet v každém časovém intervalu se rovná celkovému odtoku (JAIN, 1997).

Následující algoritmus je citován doslovně, aby nedošlo k chybné interpretaci.

Algoritmus metody GROUND je následující:

1. První člen řady je považován za základní odtok, tj. přímý odtok je v prvním dni nulový. Dále se předpokládá, že během prvního dne ani ve dnech jemu

předcházejících nenastala povodňová situace (FLOOD = .FALSE.). Přírůstek základního odtoku DIFF se nastaví na nulu.

2. V každém následujícím dni se porovnává průtok v daném dni s průtokem ve dni předcházejícím. Další postup však závisí také na tom, přetrvává-li z předchozích dní povodňová situace nebo nikoli.

Mohou nastat čtyři případy:

2.1 Povodňová situace nepřetrvává, průtok se nezvyšuje. Předpokládá se, že v prvním dni a dnech jemu předcházející nenastala povodňová situace. (Hodnoty DIFF = 0 a FLOOD = .FALSE. se nemění.)

2.2 Povodňová situace nepřetrvává, průtok se zvyšuje. Tento případ se považuje za začátek povodňové situace. (FLOOD se nastaví na .TRUE.). DIFF se nastaví na hodnotu COEF–násobku přírůstku celkového průtoku. V tomto případě se základní odtok rovná průtoku z předchozího dne a celý přírůstek průtoku se považuje za přímý odtok

2.3 Povodňová situace přetrvává, průtok se zvyšuje, pak se rozlišují tyto dva případy:

2.3.1 Průtok v daném dni je menší než základní odtok v předchozím dni zvětšený o hodnotu DIFF nastavenou v předchozím dni. Pak se celý průtok považuje za základní odtok a přímý odtok v daném dni je nulový. Pokud je přitom základní odtok v daném dni menší než základní odtok v předcházejícím dni, pak se na hodnotu základního odtoku v daném dni zpětně nastaví i základní odtok v předchozím dni (tj. sníží se) a přímý odtok v předchozím dni se o tutéž hodnotu zpětně zvýší.

2.3.2 Průtok v daném dni je větší než základní odtok v předchozím dni zvětšený o hodnotu DIFF nastavenou v předchozím dni nebo je takto zvětšenému základnímu odtoku roven. Pak se základní odtok v daném dni rovná základnímu odtoku z předchozího dne zvětšenému o hodnotu DIFF nastavenou v předchozím dni a zbytek průtoku se považuje za přímý odtok. Poté se vždy v případě 2.3 odhaduje druhá derivace průtoku podle času v předchozím dni jako rozdíl průtoku v daném dni a průtoku dva dny předtím:

$$X(I) - X(I-2)$$

Kde: $X(I)$ – je průtok v I-tém dni

Je-li tato derivace kladná, tzn., je-li hydrograf konvexní, zvětší se přírůstek základního odtoku DIFF (pro použití v následujícím dni) o COEF- násobek přírůstku celkového odtoku. Je-li tato derivace nulová nebo záporná (hydrograf je přímý nebo konkávní), hodnota DIFF se nemění. V obou případech přetrvává povodňová situace i nadále.

2.4 Povodňová situace přetrvává, průtok se nezvyšuje, pak se rozlišují tyto dva případy:

- 2.4.1 Průtok v daném dni je větší než základní odtok v předchozím dni zvětšený o hodnotu DIFF nastavenou v předchozím dni nebo je takto zvětšenému základnímu odtoku roven. Pak se základní odtok v daném dni rovná základnímu odtoku z předchozího dne zvětšenému o hodnotu DIFF nastavenou v předchozím dni a zbytek průtoku se považuje za přímý odtok. Hodnota DIFF se nemění, povodňová situace trvá i nadále.
- 2.4.2 Průtok v daném dni je menší než základní odtok v předchozím dni zvětšený o hodnotu DIFF nastavenou v předchozím dni. Pak se celý průtok považuje za základní odtok a přímý odtok v daném dni je nulový. Povodňová situace tímto dnem končí (FLOOD se nastaví na FALSE) a DIFF se nastaví na nulu. Pokud je přitom základní odtok v daném dni menší než základní odtok v předchozím dni, pak se na hodnotu základního odtoku v daném dni zpětně nastaví i základní odtok v předchozím dni (tj. sníží se) a přímý odtok v předchozím dni se o tutéž hodnotu zpětně zvýší (KULHAVÝ A KOL., 2001).

Doležal a Kvítek (2004) uvádějí, že model GROUND je založen na předpokladu, že pomalá složka odtoku reaguje se zpožděním oproti počátku změny celkového odtoku při srážko-odtokové události.

Metodou GROUND byla hodnocena všechna povodí a jejich průtoky, nejen Kopaninský tok, ale také povodí J1, J2 na Jenínském potoce a také ŠO2 na toku Ostřice.

4.1.2 Digitální filtry

Digitální filtr umožňuje rozdělit každodenní časové řady celkového odtoku na okamžitý a základní odtok (SMAKHTIN, 2001). Základní odtok je tvořen stálým přítokem z podzemních vodonosných vrstev, a proto jsou dlouhé vlny ve frekvenčním spektru hydrogramu spojovány právě s tímto odtokem. Naproti tomu vysoké frekvence variability celkového odtoku jsou přisuzovány přítomnosti přímého odtoku. Výhodou těchto digitálních filtrů je, že jsou nenáročné na vstupní data, jsou uživatelsky jednoduché a dávají obdobné výsledky jako manuální techniky separace (ARNOLD a ALLEN, 1999).

Chapmanův filtr

Tato metoda odděluje složku podpovrchovou (hypodermickou) a složku podzemní (základní), (CHAPMAN, 1999). Jedná se o metodu vyvinutou z původního rekurzivního digitálního filtr navrženého LYNEM a HOLLICKEM (1979). Vzorec pro výpočet základního odtoku metodou digitálního filtru dle Chapmana (CHAPMAN, 1999).

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

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

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

Kde:

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

Chapmanovým digitálním filtrem byla také hodnocena všechna povodí a jejich průtoky, jako metodou GROUND. Do výpočtů vstupovaly denní průtoky všech daných povodí. Výsledná tabulka je v kapitole výsledky a diskuze.

RDF filtr

Metoda rekurzivního digitálního filtru je upravena z teorie zpracování signálu. Filtrováním lze signál rozdělit na nízké a vysoké frekvence. Kde vysokofrekvenční signály představují rychlou složku odtoku a nízkofrekvenční pak pomalou (LYNE a HOLLICK, 1979).

$$q_t = a q_{t-1} + [(1+a) / 2] (Q_t - Q_{t-1}) \quad q_t \geq 0$$

kde: q je filtrovaný rychlý průtok toku,
 Q celkový průtok, a
 a je filtrační parametr.

Pak filtrovaný základní odtok získáme jako

$$b = Q_t - q_t$$

Pokud je $Q_f(i) < 0$, nastaví se hodnota v tento den jako $Q_f(i) = 0$. Základní odtok se pak vypočítá jako:

$$Q_b(i) = Q(i) - Q_f(i)$$

Nejpříjemnější výsledky byly získány při filtračním parametru v rozmezí 0,90 až 0,95 s optimální hodnotou 0,925. Časová řada je filtrována třikrát: dopředu, dozadu, dopředu a znovu. Výstup z filtru je omezen tak, že oddělené průtoky nemohou nabýt záporných hodnot a nejsou větší než celkový průtok. Obecný tvar hydrogramu základního odtoku odděleného metodou digitálního filtru je takový že:

- 1) pokles základního odtoku pokračuje i při vzestupu celkového hydrogramu kvůli počátečnímu odlivu z toku do přilehlých břehů,
- 2) základní odtok bude vrcholit za vrcholem celkového hydrogramu díky účinku podzemní akumulace,
- 3) hydrograf základního odtoku se vrátí k celkovému hydrogramu jakmile skončí přímý odtok (NATHAN A MCMAHON, 1990).

Touto metodou vyšly téměř stejné výsledky, tak nebyla do výsledků zahrnuta.

4.1.3 Analýza poklesových větví

Výtoková čára (poklesová větev) vyjadřuje postupný pokles odtékajícího množství v čase a z toho je možno vycházet při rozčlenění hydrogramu v celém jeho průběhu. Pokud se nemění výtokovou čáru definující přírodní i antropogenní podmínky, je výtoková čára poměrně stabilní (KNĚŽEK, KESSL, 2000).

Pomocí sestavení poklesových větví (výtokových čar) lze určit průběh odtoku podzemní vody i v období zvýšených povrchových průtoků a provést tak poměrně přesně separaci podzemního a povrchového odtoku (DUB A KOL., 1969). Rozčlenění hydrogramu pomocí poklesové větve představuje rozčlenění celkového objemu odtoku na účinnou srážku a podzemní odtok s delší dobou zadržení (SERRANO, 1997).

Poklesová větev má charakteristický průběh, horní část vyjadřuje prudké klesání, dolní část pozvolnější klesání průtoků, které se asymptoticky přibližují k hranici nejmenších průtoků – k nevyčerpatelné kapacitě zásob vody v povodí (STEHLÍK, 1998). Po analýze bezesrážkových období se vyberou poklesové řady průtoků, pak se zvolí vhodně intervaly pro průtok a v jednotlivých průtokových intervalech získáme součtovou čáru, která je průměrnou výtokovou čarou pro povodí uzavírající se k vyšetřovanému profilu (URBÁNEK, 1970).

Poklesové větve vynesené v semilogaritmickém měřítku často vymezují tři části, které se skládají z přibližně rovných úseků. Za konec období přímého odtoku je většinou považován bod křížení dvou nejnižše položených rovných úseků. Obecně se uvádí, že dva inflexní body poklesové větve jsou určeny exponenciálně klesající křivkou dle:

$$qt' = q_0 * e^{-t'/k}$$

kde: q_0 - hodnota průtoků v čase 0,

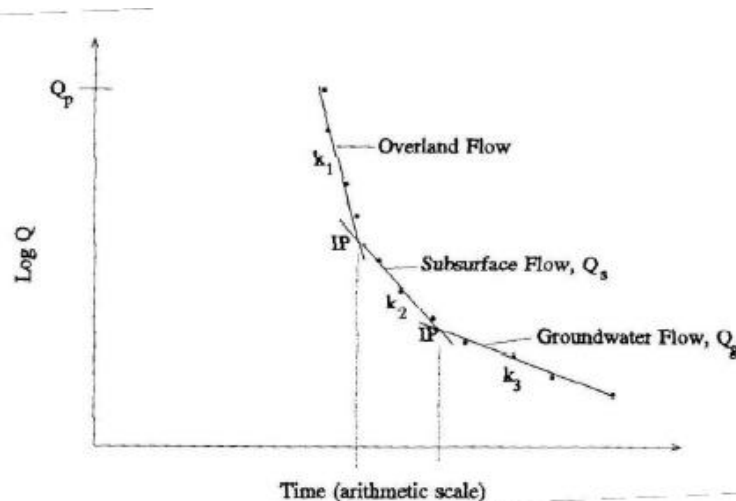
qt' - hodnota průtoků v čase t' ,

t' - čas,

k - konstanta

(BEDIENT A HUBERT 2002).

Takto zjištěné parametry poskytují souhrnné informace o hydraulických vlastnostech horninového prostředí v rámci celého povodí (STEHLÍK, 1998).



Obr. č. 7 - Inflexní body v poklesové větvi (SERRANO, 1997)

Analýza poklesových větví a grafy byly vytvořeny zlogaritmováním průtoků při poklesu hydrogramu a vyjadřují postupný pokles odtékajícího množství v čase. Výsledné grafy a jejich popis se nachází v kapitole výsledky a diskuze (5.1)

4.2 Odtokový součinitel

Odtokový součinitel udává, jaké množství ze spadlé srážky odtoklo povrchovým odtokem. Součinitel (ϕ) představuje poměr odtokové výšky (H_o) a průměrné srážky v povodí (H_{sp}), (KVÍTEK a kol., 2006). Hlavními faktory ovlivňující hodnotu odtokového součinitele v povodí jsou půdní typ, sklon povodí a využití půdy.

Odtokové součinitele byly vypočítány pro jednotlivá povodí na základě jejich průtoků přepočtených na odtokovou výšku v mm a vstupu srážek. Průtoky byly přepočítány na odtokovou výšku tak, že byly přepočteny na denní odtok v milimetrech a přepočteny na plochu povodí. Suma těchto odtokových výšek vstupovala do výpočtu jako odtoková výška. Srážky byly sumarizovány za celý hydrologický rok. Výpočty byly provedeny pro ŠO2 na hydrologické roky 2007, 2008, protože k jiným rokům nebylo dostatek údajů. Zbytek povodí byl počítán na hydrologické roky 2009, 2010 a 2011.

4.3 Analýza srážko-odtokových událostí

Byly vybrány tři srážkové události, které byly později hodnoceny, co se týče reakce odtoku jednotlivých povodí. Hodnocení proběhlo na subpovodích P6, P52, P53 a T7U – Kopaninského potoka. Srážky byly vybrány tak, aby tato událost byla v určitém období osamocená a aby hydrogramy byly reakcí na jednu srážku, bez více kulminačních vrcholů. Srážky byly vybrány v roce 2009, a to 3. srpen a v roce 2011 dvě srážky, a to 4. srpen a 5. září. Tyto srážko-odtokové události jsou zvýrazněny na prvních grafech č. 1 a 2.

Také bylo zhodnoceno přiřazení intenzity infiltrace, podle skupin BPEJ. Byly určeny hlavní půdní jednotky na těchto povodích a dle jejich čísel byly přiřazeny do jednotlivých skupin. Dle tohoto zhodnocení bylo zjištěno, že na povodích Kopaninského toku převládají půdy hydrologických skupin B a C. Skupina B zahrnuje půdy se střední rychlostí infiltrace (0,06 – 0,12 mm/min) i při úplném nasycení, zahrnující převážně půdy středně hluboké až hluboké, středně až dobře odvodněné, hlinitopísčité až jílovitohlinité. Skupina C zahrnuje půdy s nízkou rychlostí infiltrace (0,02 – 0,06 mm/min) i při úplném nasycení, zahrnující půdy převážně s málo propustnou vrstvou v půdním profilu a půdy jílovitohlinité až jílovité (JANEČEK, 2007). Také byl vypočítán index předchozího nasycení (předchozích srážek).

Jedním z činitelů ovlivňujících retenci krajiny jsou půdně-fyzikální charakteristiky, kam lze zařadit také nasycenost půdy vodou z předchozích srážek (index předchozích srážek). Tato charakteristika je součástí stanovení objemu odtoku a kulminačního průtoku z povodí o ploše do 5–10 km² metodou tzv. CN křivek, kde se bere v úvahu mimo jiné i celkové množství spadlých srážek v pěti předešlých dnech před dnem, ve kterém hodnotíme návrhovou srážku. Index předchozích srážek je členěn do 3 stupňů – I, II, III (KOZLOVSKÁ, TOMAN (2010)).

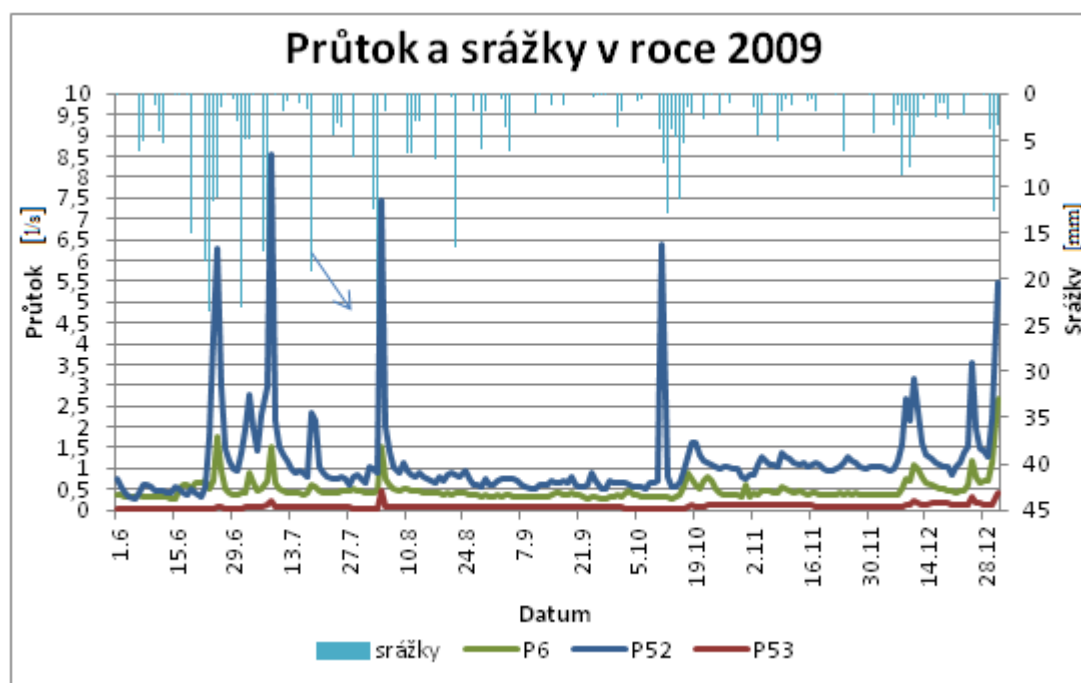
Tab. 5 – Zhodnocení IPS dle srážkového úhrnu (JANEČEK, 2007)

Skupina IPS	Úhrn srážek za 5 dnů [mm]	
	Mimovegetační období	Vegetační období
I	< 13	< 36
II	13 - 28	36 - 53
III	> 28	> 53

Všechny srážko-odtokové události shodně nastaly při IPS I (suché), pětidenní srážkový úhrn před hodnocenou srážkou, jak ukazuje tabulka 6, nepřesáhl 36 mm. Intenzita nasycení proto naše výsledky neovlivní, všechna povodí vstupují se stejnými vlastnostmi.

Tab. 6 – srážkový úhrn v předchozích 5 dnech před hodnocenou srážkou

Srážka	Srážkový úhrn (mm)
3. 8. 2009	12,4
4. 8. 2011	24,9
5. 9. 2011	0,1



Graf č. 1 – vybrané srážko-odtokové události v roce 2009

Srážková událost 3. 9. 2009 měla průměrnou hodinovou intenzitu 4,1 mm.



Graf č. 2 – vybrané srážko-odtokové události v roce 2011

Srážka 4. 8. 2011 měla průměrnou hodinovou intenzitu 10 mm a poslední vybraná srážková událost 5. 9. 2011 měla průměrnou hodinovou intenzitu 7,44 mm.

Dalším krokem u zhodnocení reakcí jednotlivých povodí na tuto srážku bylo vytvoření hydrogramů pro každou srážku a pro každé povodí zvlášť. Jak je vidět na jednotlivých grafech, každé povodí na každou srážku reagovalo jinak, vše je ovlivněno mnoha faktory, jako je velikost povodí, využití území nebo zastoupení drenážních systémů v těchto povodích.

5. VÝSLEDKY A DISKUZE

5.1 Separace složek odtoku

Pro separování přímého odtoku na jednotlivých subpovodích byla vybrána metoda GROUND. Tato metoda byla primárně vytvořena pro podmínky malých zemědělsky využívaných odvodněných povodí v rámci ČR.

Výsledný průběh přímého odtoku i podíl této složky na celkovém objemu odtoku vycházel u metody GROUND od 20 do 42 %, jak lze vyčíst z tabulky 7. Tyto hodnoty odpovídají podobným studiím, např. Doležal a kolektiv (2002) uvádí

průměrný přímý odtok 30 % pro malá povodí ČR, Müller a kolektiv (2003) pro zemědělsky využívaná malá povodí v Německu 34 %.

Z tabulky také vyplývá, že profil P53 má o poznání menší podíl základního odtoku a vyšší podíl přímého odtoku oproti ostatním povodím. Může to být způsobeno faktem, že tento profil je umístěn přímo v drenážním systému. Dle Kulhavého a kol. (2001) se obecně drenážní odtok může skládat ze všech tří složek odtoku (Q_z , Q_i a Q_p), kdy jejich poměr záleží na konkrétních podmínkách (hloubka uložení drénů, hloubka a kolísání hladiny podzemní vody, propustnost půdního profilu, aj.).

Je důležité použít stejný časový úsek (HR 2009, 2010, 2011) z hlediska porovnatelnosti, protože poměrové zastoupení jednotlivých složek odtoku je závislé na množství spadlých srážek, resp. na velikosti průtoku. Dle Žlábka (2009), čím je vyšší roční srážkový úhrn, tím je nižší podíl základního odtoku

Tab. 7 – vyhodnocení separace odtoku metodou GROUND

Povodí	Q celkový (l/s)	Q _z základní	Q _z (%)	Q _p přímý	Q _p (%)
P6	1008,6	792,9	78,8	213,7	21,2
P52	2449,1	1701,7	69,5	747,4	30,5
P53	199,01	114,2	57,3	84,8	42,7
T7U	37019,8	26784,8	72,4	10235	27,6
J1	3825,3	2743,4	71,7	1081,9	28,3
J2	3702,6	2432	65,7	1270,4	34,3
ŠO2	1052,1	832,5	79,1	219,5	20,9

Tab. 8 – vyhodnocení separace odtoku pomocí Chapmanova digitálního filtru

Povodí	Q celkový (l/s)	BF základní odtok	BF (%)	Hypodermický odtok	(%)
P6	1008,6	454	45,5	554,6	54,5
P52	2449,1	928	37	1520	63
P53	199,01	39,2	19,7	159,8	80,3
T7U	37019,8	14722,1	39,7	22297,7	60,3
J1	3825,3	1703	44,56	2119,64	55,43
J2	3702,6	1446,7	39,1	2255,9	60,9
ŠO2	1052,1	427,06	40,5	625	59,5

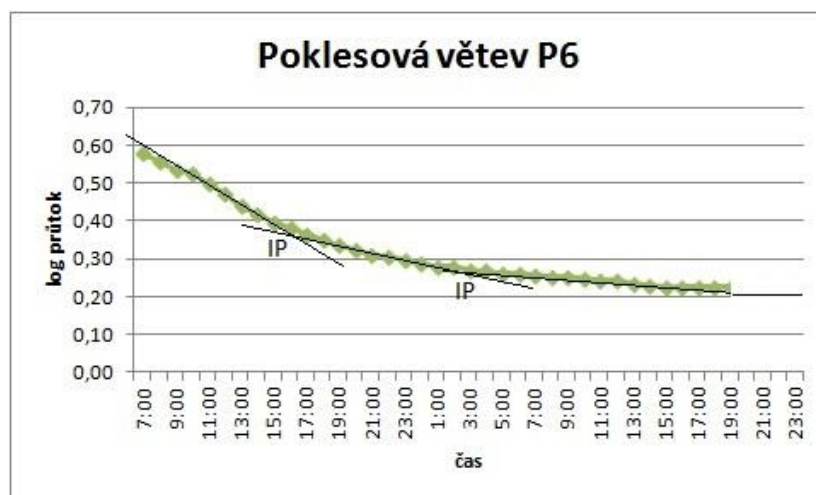
Z tabulky 8 je patrné, že základní odtok se podílí na celkovém odtoku od 20 do 45 %. Pro srovnání s jinými povodími tyto hodnoty odpovídají podobné studii, Bystřický (2012) uvádí, že na povodích Švihov na Želivce byl podíl základního odtoku průměrně 37%. Z tabulky vyplývá, že profil P53 má také o poznání menší podíl základního odtoku oproti ostatním povodím, což může také být způsobeno faktem, že tento profil je umístěn přímo v drenážním systému.

Z výsledků Doležala a kol. (2003), kteří separovali odtok pomocí metody GROUND a digitálních filtrů, vycházel poměr mezi jednotlivými složkami odtoku podobně, v průměru přímý odtok (velmi rychlá složka odtoku) představovala na zkoumaných povodích cca 30 %, hypodermický (středně rychlá složka odtoku) cca 40 % a základní, (pomalu proměnlivý odtok) cca 30% celkového odtoku.

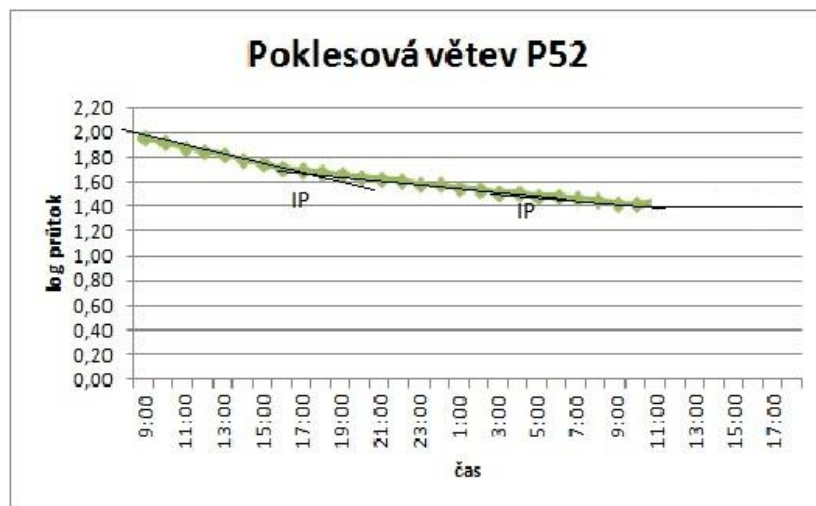
Analýza poklesových větví

Grafy poklesových větví byly vytvořeny zlogaritmováním průtoků při poklesu hydrogramu a vyjadřují postupný pokles odtékajícího množství v čase. Každý graf představuje odtok na daném povodí při dané srážce, tvar grafu se skládá ze tří úseček, z nichž každá vyjadřuje, jak se mění odtok, od přímého, přes hypodermický a zpět k základnímu odtoku. Tyto grafy byly vytvořeny z důvodu nalezení časového údaje třetího inflexního bodu, který je potřeba pro výpočet doby T_{1-3} , pro tabulku 11.

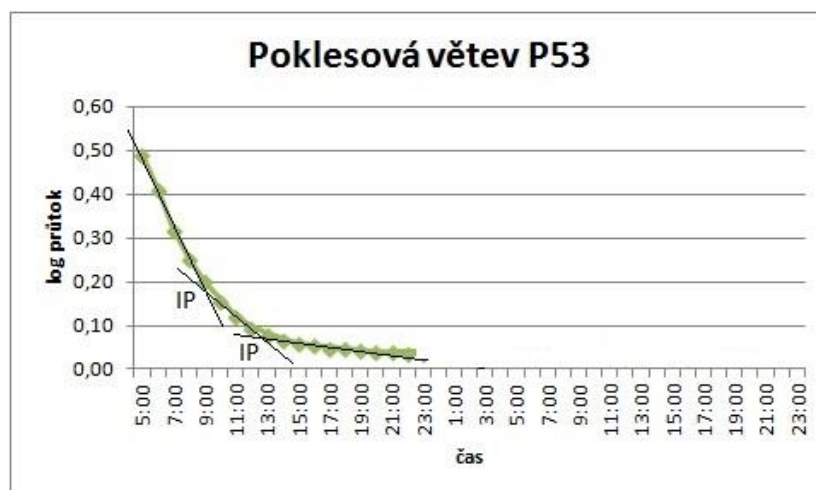
Poklesové větve po srážce 3. 8. 2009



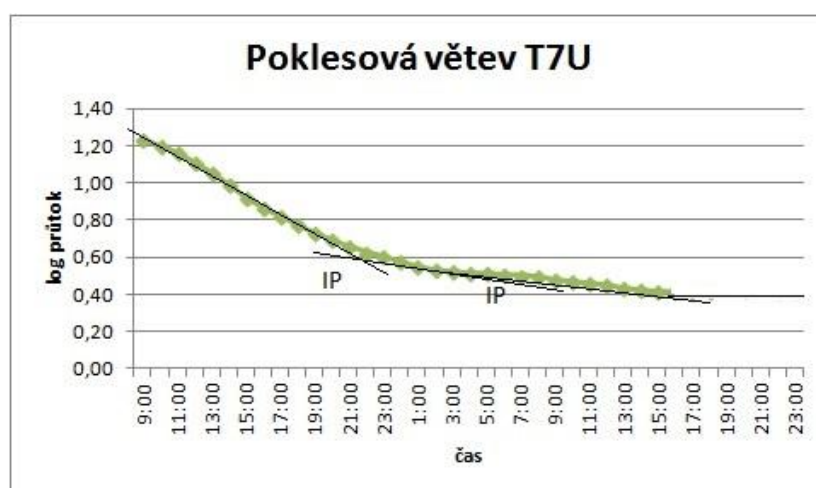
Graf č. 3



Graf č. 4



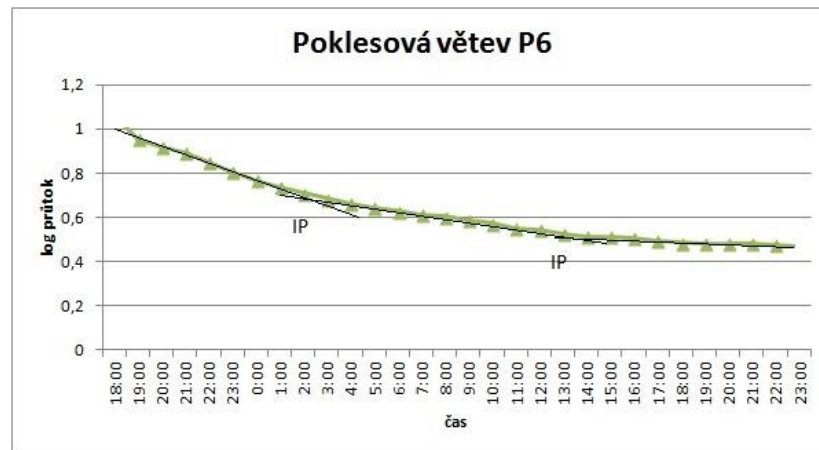
Graf č. 5



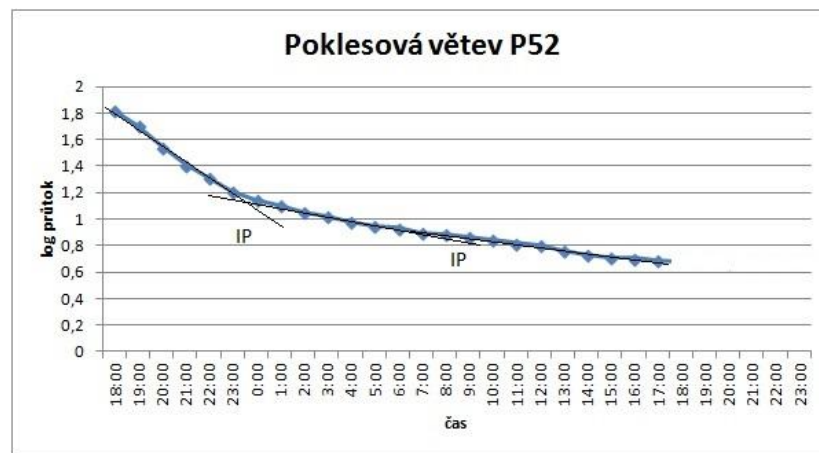
Graf č. 6

Grafy č. 3,4,5,6 – poklesové větve jednotlivých povodí po srážce 3. 8. 2009

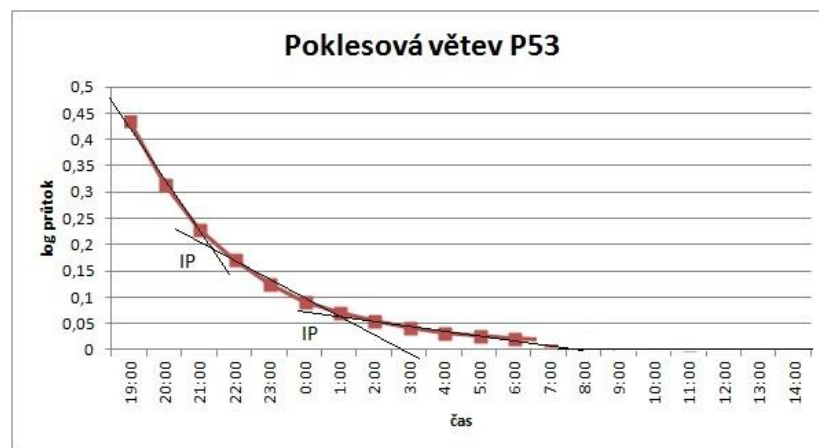
Poklesové větve po srážce 4. 8. 2011



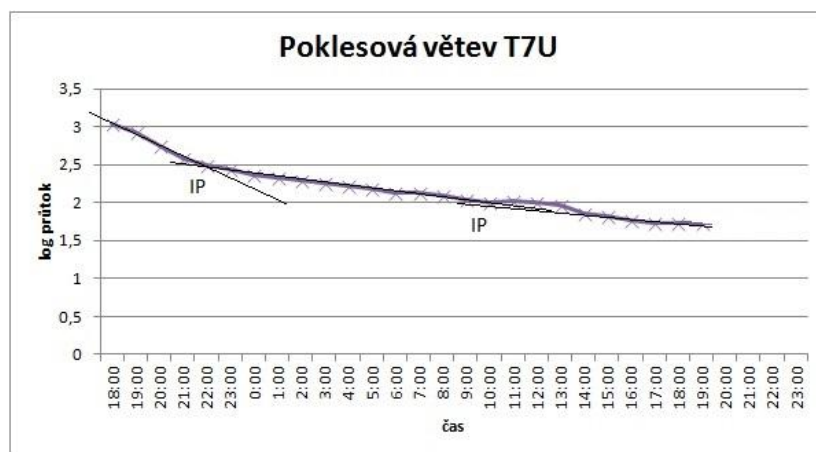
Graf č. 7



Graf č. 8



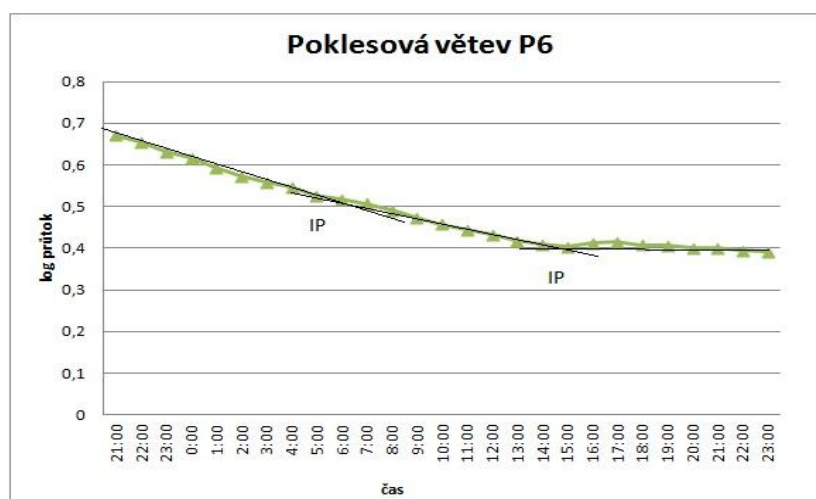
Graf č. 9



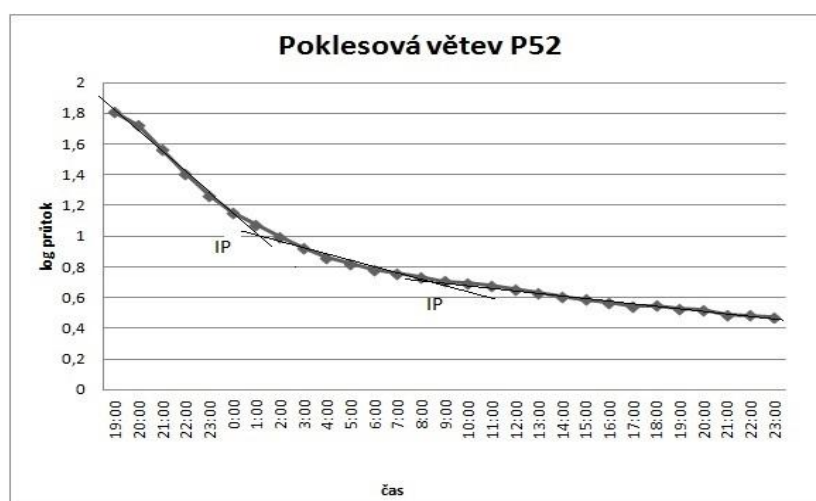
Graf č. 10

Grafy č. 7,8,9,10 – poklesové větve jednotlivých povodí po srážce 4. 8. 2011

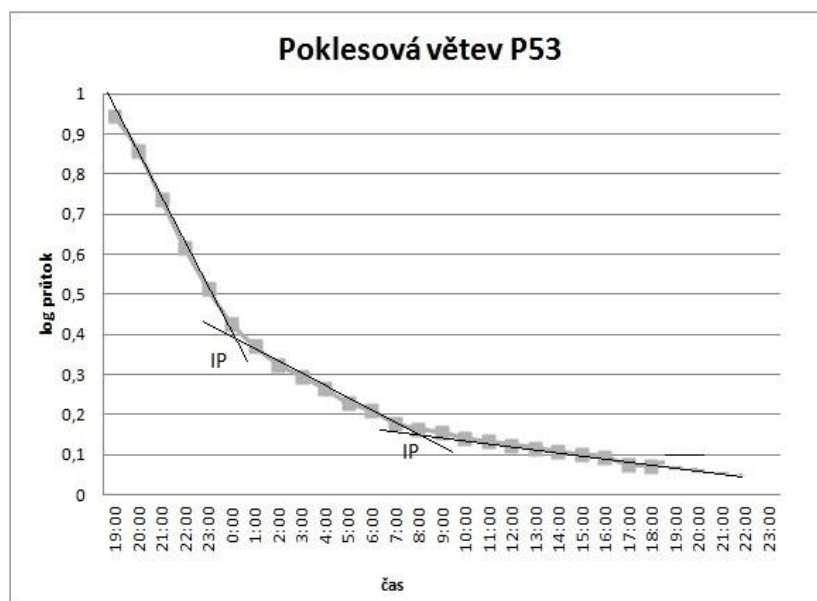
Poklesové větve po srážce 5. 9. 2011



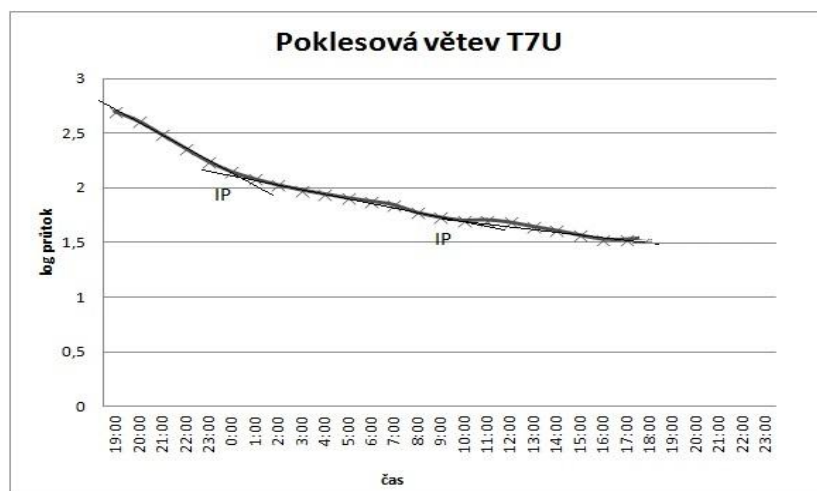
Graf č. 11



Graf č. 12



Graf č. 13



Graf č. 14

Grafy č. 11,12,13,14 – poklesové větve jednotlivých povodí po srážce 5. 9. 2011

5.2 Odtokový součinitel

Tab. 9 - Vypočtené odtokové součinitele pro jednotlivá subpovodí:

Hydrologický rok	Subpovodí						
	ŠO2	J1	J2	P6	P52	P53	T7U
2007	0,49						
2008	0,65						
2009		0,32	0,27	0,21	0,12	0,21	0,14
2010		0,44	0,36	0,24	0,15	0,19	0,16
2011		0,25	0,19	0,25	0,14		0,14

Odtokový součinitel se za katastrofálních situací může blížit až hodnotě 0,9, což potvrdila i studie, která zkoumala situaci za červencových povodní (ČHMÚ, 1998).

Na sledovaných dílčích povodích vycházel odtokový součinitel podobně, jako tvrdí Zajíček a kol. (2011), a to v rozpětí 12 - 44%. Celkové odtokové součinitele na povodí Dehtáře se pohybovaly mezi 5 a 12 % pro celé povodí, mezi 12 a 42 % pro drenážní systémy, a mezi 2 a 5 % (tedy podstatně méně) pro dílčí povodí. Jak je dále patrné z tabulky 9, profily P52 a T7U reagují velmi podobně, a to nejnižším odtokovým součinitelem, což může být dáno jejich větší rozlohou a hlavně malým zastoupením drenážních systémů. Povodí P6 a P53 jsou z velké části drenážované a reagují téměř stejně, což je patrné i z tabulky. Taktéž povodí ŠO2, J1 a J2 jsou z velké části drenážované a jak je vidět z tabulky mají vyšší hodnoty těchto součinitelů, než méně drenážovaná povodí. Tato povodí s velkým zastoupením drenáží rychle odvádí vodu drenážními systémy a urychluje se tím odtok z povodí (snižuje se povrchový odtok), jak uvádí i Fídlar (1998).

Tab. 10 – vypočtený specifický průtok

Průměrný průtok (l/s)				
Hydrologický rok	P6	P52	P53	T7U
2009	0,76	1,81	0,24	29,03
2010	0,58	1,17	0,07	21,74
2011	0,95	2,24	0,10	32,17
Plocha povodí	15,7	65	4,9	875,15
Specifický průtok (l/s/ha)				
2009	0,05	0,03	0,05	0,03
2010	0,04	0,02	0,01	0,02
2011	0,06	0,03	0,02	0,04

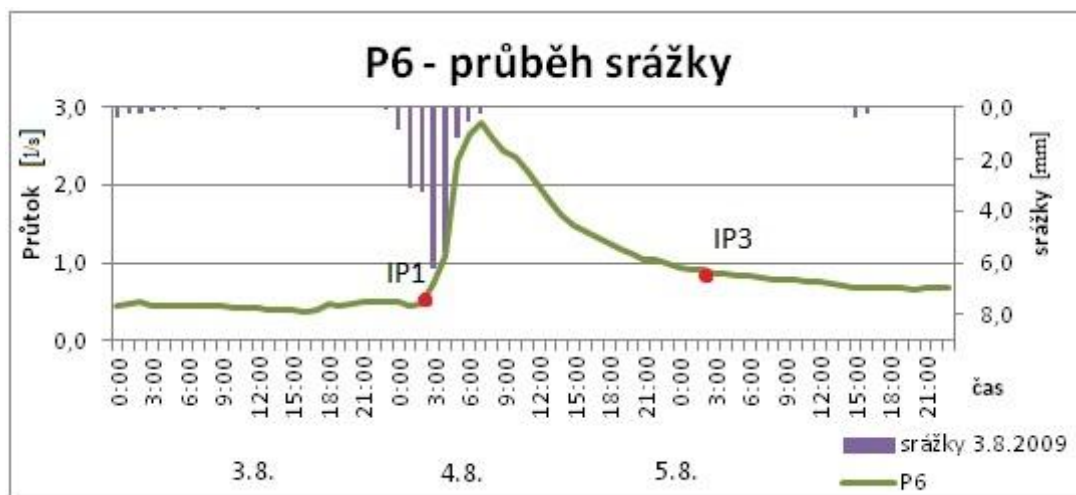
Drenážní systémy byly koncipovány na určitý specifický průtok podle srážek, a to dle Jůvy (1955): V území se srážkami do 600 mm = 0,65 l/s/ha, 600-700 mm = 0,8 l/s/ha, 700 – 1000 mm = 1 l/s/ha a v území se srážkami nad 1000 mm 1 a více l/s/ha. Tyto návrhové specifické průtoky vyjadřují maximální hodnoty, ale v této tabulce jsou hodnoty 10-15 krát menší, protože jde o dlouhodobé specifické průtoky za celé hydrologické roky.

5.3 Analýza srážko-odtokových událostí

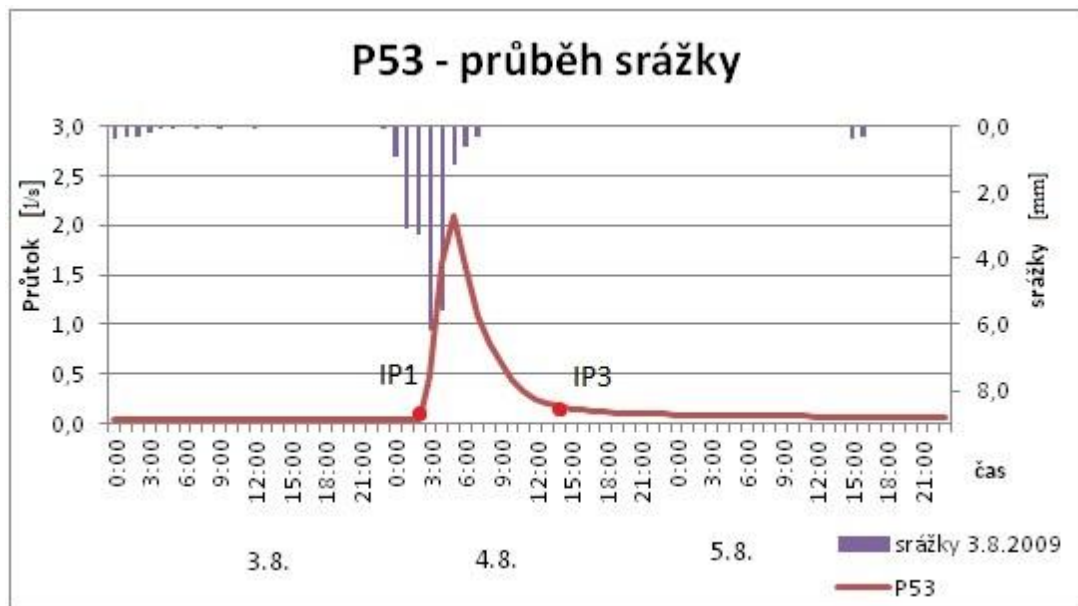
Grafy č. 15 – č. 20 vyjadřující souhrnnou reakci všech povodí na danou srážku, byly zařazeny do příloh, protože jde jen o základní grafy, které jsou dále rozšířeny. Dále jsou tyto grafy (č. 20 – č. 32) rozšířeny o srážku a vyznačení inflexních bodů, aby byla zřetelná reakce jednotlivých povodí.

V další části hodnocení jsme hodnotili reakci na danou srážku s výpočtem, jak průtok hodinově reaguje na srážkovou událost. Po grafech následuje vyhodnocená tabulka s hodnotami T_L (lag time) – doba od kulminace srážky do kulminace průtoku (SERRANO, 1997) a T_{1-3} , což je doba od prvního do třetího inflexního bodu, od počáteční až po konečnou reakci hydrogramu na srážku. Tyto inflexní body (IP – inflex point) jsou znázorněny v každém grafu.

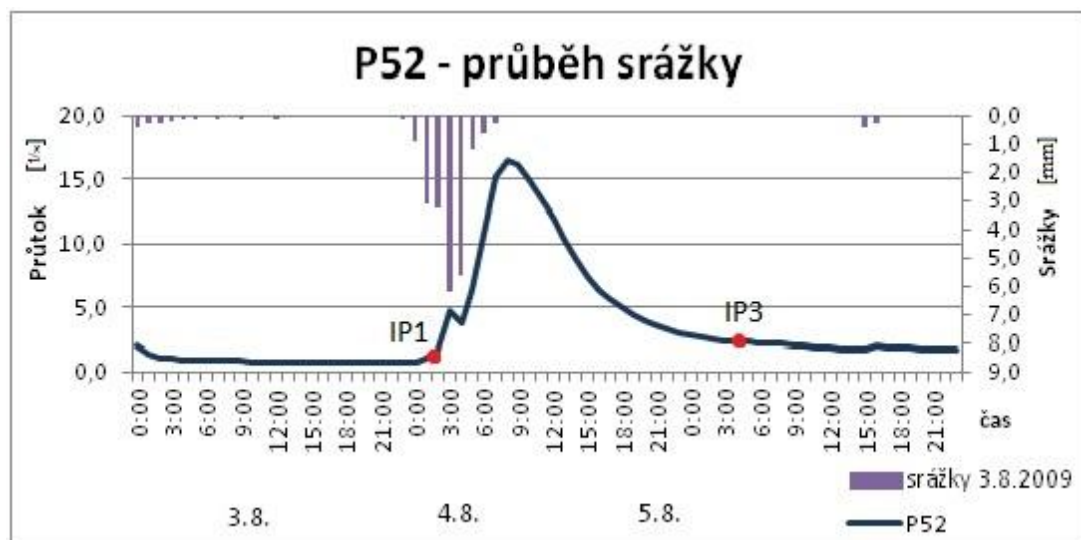
Srážka 3. 8. 2009



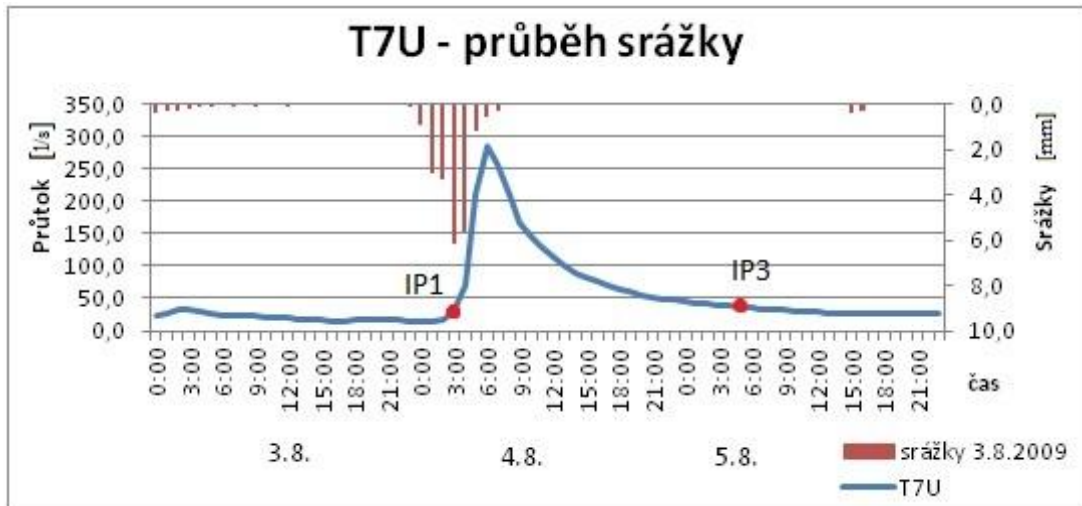
Graf č. 21 – Reakce povodí P6 na srážku 3. 8. 2009



Graf č. 22 – Reakce povodí P53 na srážku 3. 8. 2009

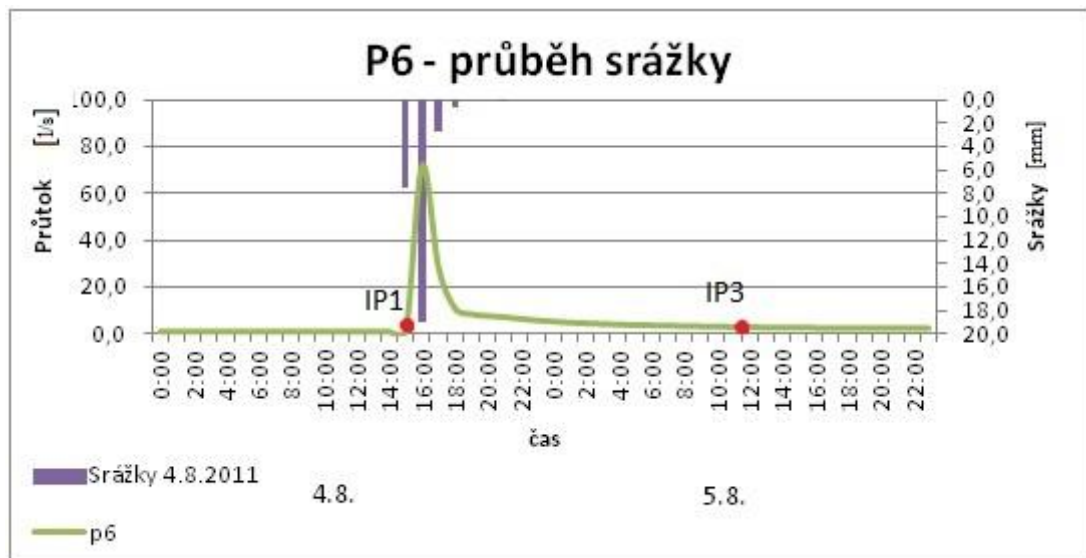


Graf č. 23 – Reakce povodí P52 na srážku 3. 8. 2009

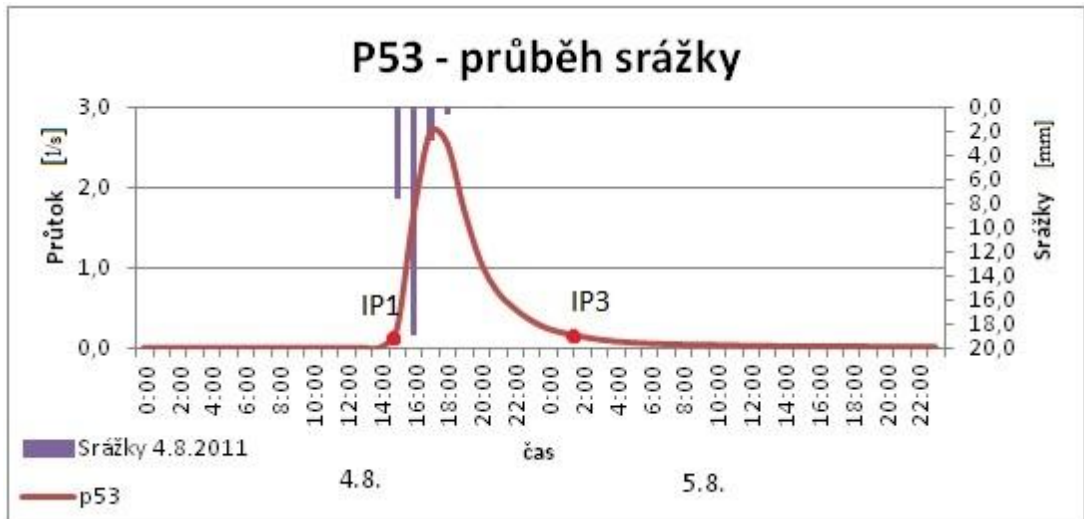


Graf č. 24 – Reakce povodí T7U na srážku 3. 8. 2009

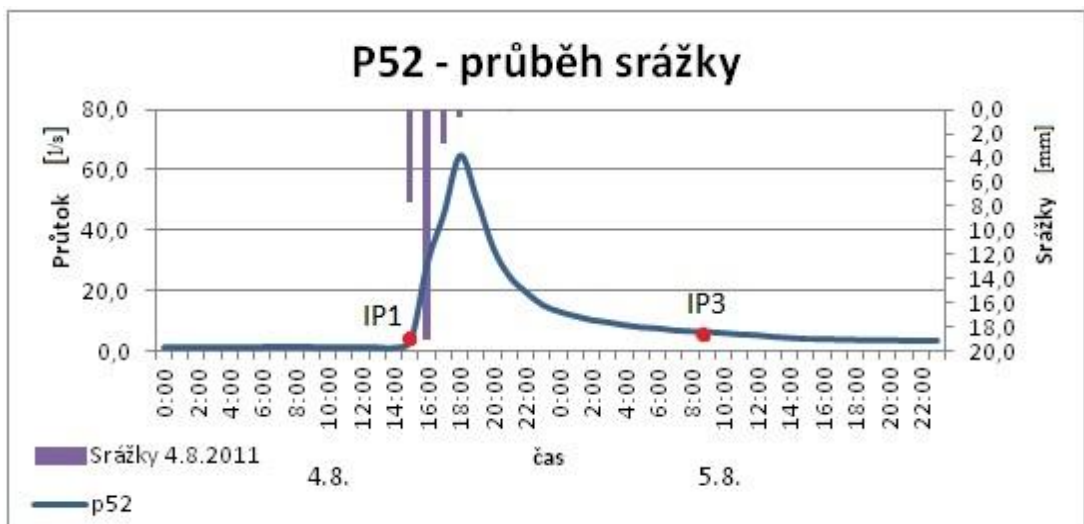
Srážka 4. 8. 2011



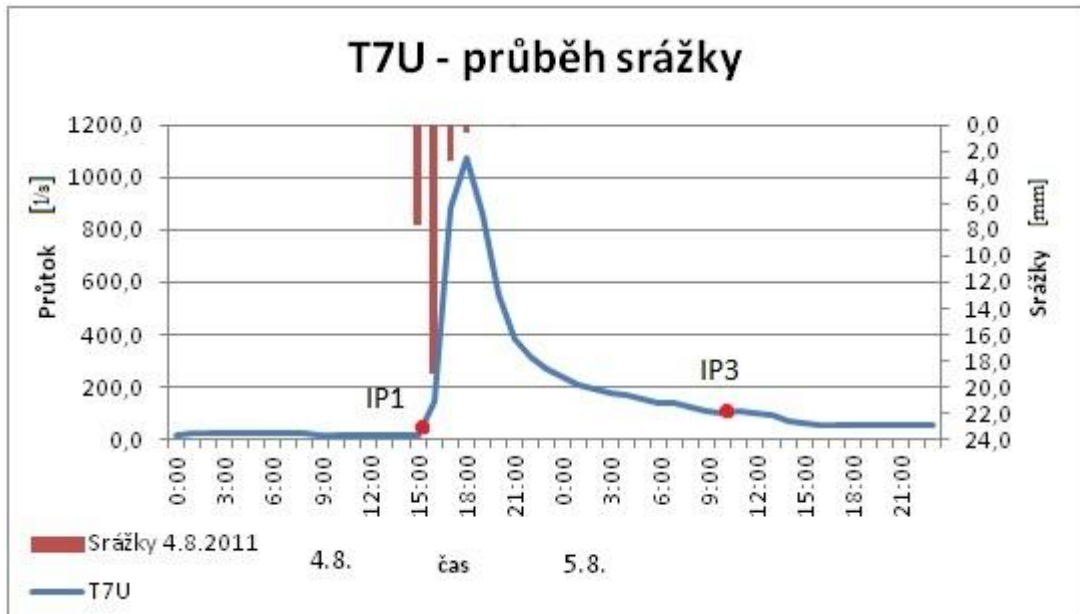
Graf č. 25 – Reakce povodí P6 na srážku 4. 8. 2011



Graf č. 26 – Reakce povodí P53 na srážku 4. 8. 2011

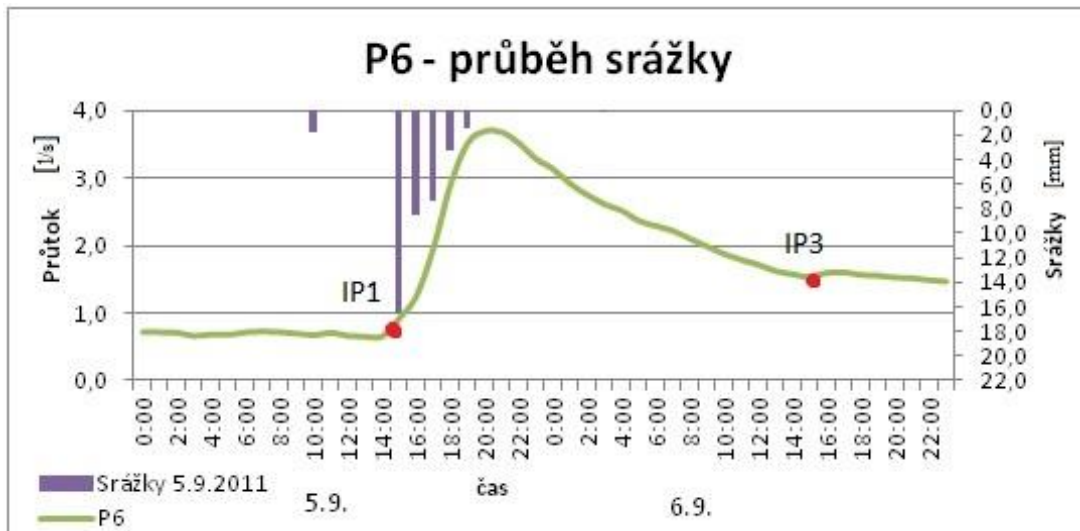


Graf č. 27 – Reakce povodí P52 na srážku 4. 8. 2011

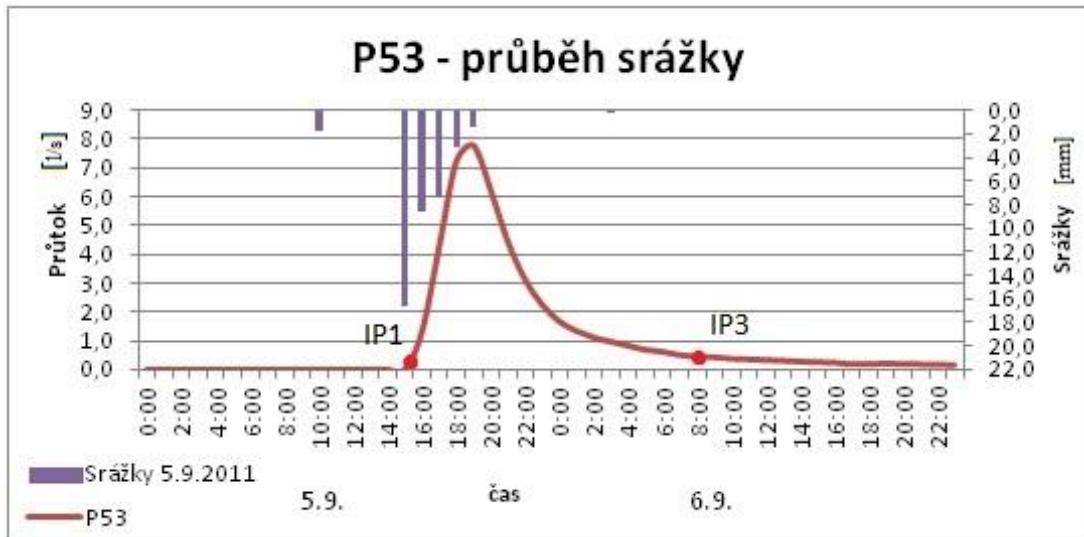


Graf č. 28 – Reakce povodí T7U na srážku 4. 8. 2011

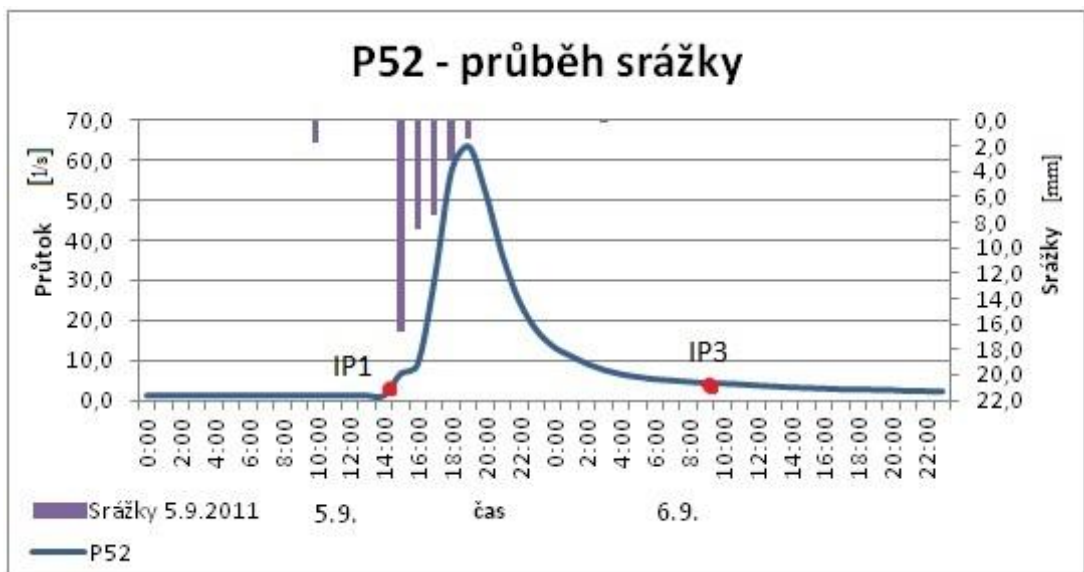
Srážka 5. 9. 2011



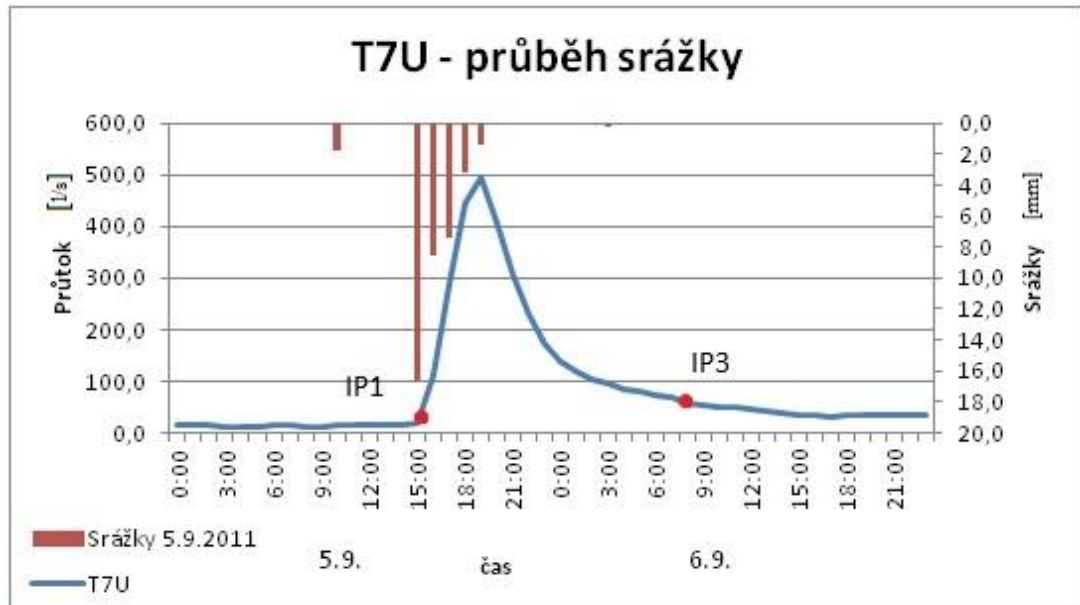
Graf č. 29 – Reakce povodí P6 na srážku 5. 9. 2011



Graf č. 30 – Reakce povodí P53 na srážku 5. 9. 2011



Graf č. 31 – Reakce povodí P52 na srážku 5. 9. 2011



Graf č. 32 – Reakce povodí T7U na srážku 5. 9. 2011

Tab. 11 – časové charakteristiky jednotlivých srážek v povodích (v hodinách)

Srážka	P6		P53		P52		T7U	
	T_L	T_{1-3}	T_L	T_{1-3}	T_L	T_{1-3}	T_L	T_{1-3}
3.8.2009	4	12	2	12	4	24	3	25
4.8.2011	1	20	1	12	2	20	2	19
5.9.2011	5	24	4	18	4	19	4	19

T_L - Lag time – doba od kulminace srážky, do kulminace průtoku

T_{1-3} – Doba od inflexního bodu č. 1 do inflexního bodu č. 3 (od počáteční reakce hydrogramu na srážku, až do doby návratu hydrogramu)

V této tabulce je patrné, že povodí P6 a P53 z části reagují podobně. Obě tyto povodí jsou z velké části drenážované. Jak je z této tabulky patrné, větší zastoupení drenáží urychluje odtok vody z povodí, jak uvádí mnoho autorů, např. Kulhavý (2001), Fídlér (1975), Novák, (2004) Sanetrník a Filip (1991). Naopak povodí s menším zastoupením drenáží reagují na srážku jiným způsobem, u povodí P52 a T7U návrat hydrogramu do běžných hodnot trvá déle, odtok není ničím urychlen.

Nejlépe jsou tyto podobnosti zřetelné u první srážky, a to 3. 8. 2009. Tato srážka trvala nejdéle, s hodinovou intenzitou 4,1 mm.

V období extrémních srážek se plošné odvodnění podílí na transformaci odtoku z povodí. Obecně lze konstatovat, že má vliv na vývoj odtokové vlny z důvodu zvýšení infiltrace srážkové vody do půdy. V konkrétních případech je však určující podíl odvodněných ploch v povodí a jejich poloha k recipientu, přírodní podmínky a hydrotechnické parametry dílcích staveb, ale i vývoj meteorologické situace v období předcházejícím. Významné pro snížení objemu povrchového odtoku je totiž předchozí vyprázdnění prostoru gravitačních půdních póru (SOUKUP a kol., 1999).

6. ZÁVĚR

Odvodnění urychluje koloběh vody v systému: Srážky – vsakování – průsak vodou – podzemní voda – recipient. Ve vodných obdobích odvodnění snižuje hladinu podzemní vody a zvyšuje intenzitu odtoku, ale podíl drenážních vod na celkovém odtoku však bývá nižší. Za běžných odtokových situací a v období sucha vyrovnává odtokový režim vodního toku (SANETRŇÍK a FILIP, 1991). Míru ovlivnění vodního režimu udává intenzita a rozsah provedeného odvodňovacího zásahu (HOLÝ a kol., 1984). Některé z těchto závěrů se v této diplomové práci prokázaly, a to hlavně, že odvodněná povodí rychleji odvádí vodu z povrchu, tedy urychluje koloběh vody, samozřejmě záleží na intenzitě odvodnění a na dalších podmínkách.

V této diplomové práci bylo řešeno, z jakých složek se odtok skládá a jak se podílí jednotlivé složky na odtoku a také ovlivnění tohoto odtoku drenážními systémy. Odtok vody z krajiny je závislý na mnoha faktorech, ať už na intenzitě srážek druhu a časovém rozdělení, na intenzitě infiltrace, velikosti a využití území a jak vychází z této diplomové práce, vliv na odtok mají i drenážní systémy. Spousta autorů tvrdí, že drenážní systém může v odvodněném půdním profilu ovlivnit příznivě infiltraci dešťových srážek a snížit tak povrchový odtok, což v této diplomové práci vyšlo nejen u porovnání odtokového součinitele, kde nejvíce odvodněná povodí měla velmi podobné výsledky, ale také pomocí analýzy srážko-odtokových událostí, ze kterých vyšel velmi podobný závěr o urychlení odtoku, takže je zřejmé, že drenáže tuto skutečnost ovlivňují.

Celkově tedy bylo zjištěno, že drenážní systémy mají skutečně vliv na odtok. Jak bylo ukázáno v grafech a tabulkách a podloženo jinými studiemi, jde hlavně o rychlé odvedení srážkové vody a rychlejší infiltraci vody do půdy.

7. LITERATURA

1. Ahiablame, L.M., Chaubey, I., Smith, D.R., Engel B.A.: *Effect of tile effluent on nutrient concentration and retention efficiency in agricultural drainage ditches*, Agricultural Water Management 98, 1271–1279, 2009
2. Albrecht, J.: *Okres Český Krumlov*, Agentura ochrany přírody a krajiny České republiky, Praha, s. 162.216, 2003
3. Arnold, J.G., Allen, P.M.: *Automated methods for estimating baseflow and ground water recharge from streamflow records*. Journal of the American Water Resources Association, 35, s. 411-424., 1999
4. Bedient, P. B., Hubert, W. C.: *Hydrology and floodplain analysis*. Prentice – Hall, Inc., USA, 763 s., 2002
5. Benetin, J.; Dvořák, J.; Fídl, J.; Kabina, P.: *Odvodňovanie*, 1st ed.; vydavateľstvo kníh a časopisov: Bratislava, 1987
6. Brutsaert, W.: *Hydrology: An introduction*. Cambridge University Press, 2005
7. Bystřický, V.: *Analýza časových řad nutrientů v celkovém i základním odtoku ve vybraném povodí*, Dizertační práce. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích), 2012
8. Český hydrometeorologický ústav: *Vyhodnocení povodňové situace v červenci 1997*, Souhrnná zpráva projektu, DÚ 5.2, 1998
9. Demek, J.: *Geomorfologie českých zemí*. Praha: Nakladatelství Československé akademie věd. 335 s., 1965
10. Demek, J.: *Zeměpisný lexikon ČSR, Hory a nížiny*. Academia, 584 s., Praha, 1987
11. Doležal, F., Soukup, M., Kulhavý, Z.: *Poznámky k hydrologii drenážního odtoku*. Vědecké práce VÚMOP Praha, 5-27, 11, 2000
12. Doležal, F.; Kulhavý, Z.; Soukup, M.; Kodešová, R.: *Hydrology of the drainage runoff*, European Geophysical Society, XXV General Assembly, Physics and Chemistry of the Earth, 2001
13. Doležal, F., Kulhavý, Z., Kvítek, T., Soukup, M., Tipl, M.: *Methods of runoff separation applied to small stream and tile drainage runoff*. ERB/FRIEND Conference - Interdisciplinary approaches in small Catchment

- Hydrology: Monitoring and research, Demänovská dolina, Slovensko, s. 131-136., 2002
14. Doležal, F., Kvítek, T.: *The role of recharge zones, discharge zones, springs and tile drainage systems in peneplains of Central European highlands with regard to water quality generation processes*. Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C, 29 (11-12), 2004
 15. Doležal, F., Kulhavý, Z., Kvítek, T., Soukup, M., Čmelík, M., Fučík, P., Novák, P., Peterková, J., Pilná, E., Pražák, P., Tippl, M., Uhlířová, J., Zavadil, J.: *Hydrologický výzkum v malých zemědělských povodích*. Journal of Hydrology and Hydromechanics, 54, 2006
 16. Dufková, J.: *Závlahy a odvodnění: teoretické základy a praktická cvičení*. 1. vyd. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, 114 s., 2009
 17. Dub, O. (EDIT.) a kol.: *Hydrologie*, Nakladatelství technické literatury Praha, s. 380, 1969
 18. Fídlér, J.: *Meliorace*, 1st ed.; Státní pedagogické nakladatelství: Praha, 1975.
 19. Fídlér, J.: *Hydrologie drenážních odtoků*. Závěrečná zpráva úkolu R-VI-11/3. Praha, Vysoká škola zemědělská, 1970
 20. Fídlér, J.: Vliv melioračních opatření na hydrologickou bilanci, retardace vody v povodí a drenážní systémy. In: *Hydrologická bilance a možnost zvyšování složek retence a akumulace vody*., Praha: VUMOP, 1998
 21. Grayson, B. R., Argent, R.M., Nathan, J.R., McMahon, T.A., Mein, R.G.: *Hydrological recipes: estimation techniques in Australian hydrology*. Cooperative Research Centre for Catchment Hydrology, 1996
 22. Hall, F. R.: *Base flow recessions-a review*. Water Resour, s. 973-983, 1968
 23. Holý, M., Dvořák, P., Hálek, V., Šoltész, J.: *Odvodňovací stavby*. Praha: Nakladatelství technické literatury, 468 s., 1984
 24. Horton, R. E.: *The role of infiltration in the hydrologic cycle*. Trans. Amer. Geophys. Un., 14, s. 446-460, 1933
 25. Chow, V. T., Maidment, D.R., Mays, L.W.: *Applied Hydrology*. McGraw-Hill, New York, 1988
 26. Chapman, T.G.: *A comparison of algorithms for stream flow recession and baseflow separation*. Hydrological Processes 13, , s. 701–714. 1999

27. Jain, S. K.: *Evaluation of catchment management strategies by modelling soil erosion/ water quality in EPIC supported by GIS*. M. Sc. Thesis, Galway: National University of Ireland, Department of Engineering Hydrology, 1997
28. Janeček, M. et al. : *Ochrana zemědělské půdy před erozí*. Praha: VÚMOP, v. v. i, 2007. 76 s. ISBN 978-80-254-0973-2., 2007
29. Jelínek, F.: *Nedoceněné bohatství*. Praha: Ministerstvo životního prostředí, 111 s., 1999
30. Jůva, K.: *Základy meliorací*, Státní zemědělské nakladatelství v Praze, str. 358, 1955
31. Jůva, K.: *Odvodňování půdy*, Praha, SZN 1957.
32. Jůva, K. *Dějiny meliorací*; ES VŠZ: Praha, 1968
33. Kliner K., Kněžek M.: *Metoda separace podzemního odtoku při využití pozorování hladiny podzemní vody*. Vodohospodářsky časopis, 1974
34. Kněžek, M., Kessler, J.: *Metody výpočtu základního odtoku*, Hydrologické dny, Nové podněty a vize pro příští století, s. 337 – 3476, Plzeň, 2000
35. Kozlovská, S., Toman, F.: *Vyhodnocení indexu předchozích srážek uvybraných klimatologických stanic*, Brno, 2010
36. Kristen L. Blann, James L. Anderson, Gary R. Sands & Bruce Vondracek: *Effects of Agricultural Drainage on Aquatic Ecosystems. A Review*, Critical Reviews in Environmental Science and Technology, 39:11, 909-1001. 2009
37. Kudrna, K.: *Zemědělské soustavy*. Praha, SZN, 1979
38. Kulhavý, Z., Švihla, V.: *Využití hydrologického modelování malých zemědělsko- lesních povodí*. Vědecké práce VÚMOP Praha, 1999
39. Kulhavý, Z., Doležal, F., Soukup, M.: *Separace složek drenážního odtoku a její využití při klasifikaci existujících drenážních systémů*, Vědecké práce VÚMOP, Praha, 2001
40. Kulhavý, Z., Soukup, M., Doležal, F. a Čmelík, M.: *Zemědělské odvodnění v kulturní krajině*, 2005
41. Kulhavý Z., Soukup M., Čmelík M., Doležal F.: *K současné a budoucí funkci odvodňovacích, zejména drenážních systémů v zemědělské kulturní krajině*. Příspěvek na konferenci Krajinné inženýrství 2005 - Voda v krajině 21. století. ČSSI-ČSKI, Pardubice, 8.-9.12.2005, s. 300-311, ISBN 80-903258-4-X, 2005

42. Kuřík, P.: *Hydrologie*. Rozšířené sylaby vybraných kapitol pro kombinované studium. ČZU Praha, 2001. Zdroj: www.sweb.cz/kurik.petr/hydrologie.html (in electronic). 2001
43. Kříž, H.: *Hydrologie podzemních vod*. – Academia. Praha, 1983
44. Kvítek, T.; Bystřický, V.; Peterková, J.; Žlábek, P.; Moravcová, J.: *Dynamika koncentrací a interakce odnosu dusičnanů a fosforu na malých zemědělsko-lesních subpovodích v povodí VN Švihov na Želivce*. Vodní hospodářství, 2012
45. Kvítek, T.; Gergel, J.; Ondr, P.; Zámešková, K.: *Zemědělské meliorace*, 1st ed.; Jihočeská univerzita, Zemědělská fakulta: České Budějovice, 2006
46. Lyne, V., Hollick, M.: *Stochastic time-variable rainfall-runoff modeling*. I.E. Aust. Natl. Conf. Publ. 79/10, Canberra, 1979
47. Mosley, M. P., McKerchar, A. I.: *Streamflow*. Chapter 8 in: Maidment, D. R. (ed.): *Handbook of hydrology*. New York, McGraw-Hill 1993
48. Müller, K., Deurer, M., Hartmann, H., Bach, M., Spiteller, M., Frede, H.-G.: *Hydrological characterisation of pesticide loads using hydrograph separation at different scales in a German catchment*. Journal of Hydrology, 273 (1-4), s. 1-17, 2003
49. Nathan, R.J., McMahon, T.A.: *Evaluation of automated techniques for base flow and recession analyses*. Water Resour. Res. 26 (7), s. 1465–1473, 1990
50. Němec, J.: *Hydrologie*. Praha: Státní zemědělské nakladatelství, 1965
51. Novák, P.: *Pozitivní a negativní dopady odvodňovacích a rekultivačních úprav*. In: *Meliorace včera, dnes a zítra: sborník vybraných příspěvků z celostátního semináře pořádaného u příležitosti 50. výročí založení ústavu: Průhonice u Prahy, 1. dubna 2004*. Praha: VUMOP, 224 s., 2004
52. Piggott, A.R., Moin, S., Southam, C.: *A revised approach to the UKIH method for the calculation of baseflow*. Hydrological Sciences Journal 50, , s. 911–920, 2005
53. Pilgrim, D. H., Cordery, I.: *Flood runoff*. Chapter 9 in: Maidment, D. R. (ed.): *Handbook of hydrology*. New York, McGraw-Hill, 1993
54. Podhrázká, J.; Uhlířová, J.: *Možnosti stanovení účinnosti ochrana před povodněmi retencí krajiny: Výstup etapy 06 výzkumného záměru VÚMOP Praha*. Praha: VÚMOP, 29 s, 2005

55. Quitt, E.: *Klimatické oblasti Československa*. Studia Geographica, Geografickýústav ČSAV, 73 s., Brno, 1971
56. Sanetník, J.; Filip, J. *Meliorace*, 1st ed.; Vysoká škola zemědělská v Brně: Brno, 1991
57. Serrano, E.S.: *Hydrology for Engineers, Geologists and Environmental Professionals*. HydroScience Inc. Lexington, Kentucky, 468 s., 1997
58. Slepíčka, F., Sarga, K., Anton, Z.: *Moderní hydrologické metody pro hydrogeologické testování a bilancování*, Praha, MON, 317 s., 1989
59. Smakhtin, V. U.: *Low flow hydrology: a review*. Journal of Hydrology 240, s. 147–186., 2001
60. Smith, L., Wheatcraft, S.W.: *Groundwater flow*. Chapter 6 In: Maidment, D.R. (ed.): *Handbook of hydrology*. McGraw-Hill, New York, 1424 s., 1993
61. Soukup, M., Fídl, J., Kulhavý, Z.: *Vliv melioračních opatření na retenční potenciál krajiny, maximální odtok a průběh povodní*. Praha, VÚMOP, ČHMÚ a ČZU, 1998
62. Soukup, M., Kulhavý, Z., Doležal, F.: *Functioning of drainage on agricultural lands during extreme flows*. In: *New Approaches in Irrigation, Drainage and Flood Control Management*, Proc. Int. Symp., 12-14 May, Bratislava, 1999
63. Soukup, M., Doležal, F., Čmelík, M.: *Zemědělské odvodnění drenáží: racionalizace využívání, údržby a oprav: uživatelský výstup projektu QF3095 Národního programu výzkumu TP3-DP6 priority 6*. 1. vyd. Praha: VUMOP, 85 s., 2007
64. Stehlík, K.: *Meliorace a formy hospodaření v krajině*, 2nd ed.; ÚVTIZ, 1985.
65. Stehlík, J.: *Současný stav metodologie poklesové fáze odtoku*, ČHMÚ Praha, 27 s., 1998
66. Szilagyi, J., Parlange, M. B.: *Baseflow separation based on analytical solutions of the Boussinesq equation*. Journal of Hydrology 204, s. 251- 260., 1998
67. Štamberová, M., Michalová, M., Mikšovský J., Prchalová, H.: *Vodní zdroje v České Republice*. Brno: Výzkumný úřad vodohospodářský TGM Brno, 89 s., 1998
68. Štibinger, J.; Kulhavý, Z. *Úpravy vodního režimu půd odvodněním*, 1st ed.; VÚMOP: Praha, 2010

69. Švihla, V., Damašková, H., Kynclová, J., Šimůnek, O.: *Výzkumný objekt Ovesná Lhota*, Monografie. Praha, 156 s. VÚMOP 1992
70. Toman, F., Podhrázká, J.: *Vliv klimatických podmínek na vznik eroze způsobené táním sněhu*, 2002
71. Uhlenbrook, S., Leibundgut, Ch.: *Monitoring and modelling of water quantity and chemistry to identify runoff processes in a mountainous basin*, 2000
72. Urbánek, P.: *Aplikovaná hydrologie podzemní vody*. Praha: Hydrometeorologický ústav, s. 96., 1970
73. Vašků, Z.: *Zlo zvané meliorace*. Vesmír 2011, (7), 2011
74. Zajíček, A., Kvítek, T., Kaplická, M., Doležal, F., Kulhavý, Z., Bystřický, V., Žlábek, P.: *Drainage water temperature as a basis for verifying drainage runoff composition on slopes*, 2011
75. Žlábek, P.: *Vliv uspořádání krajinné matrice na složky odtoku*. České Budějovice, 70 s. Dizertační práce. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, 2009

Zdroje obrázků:

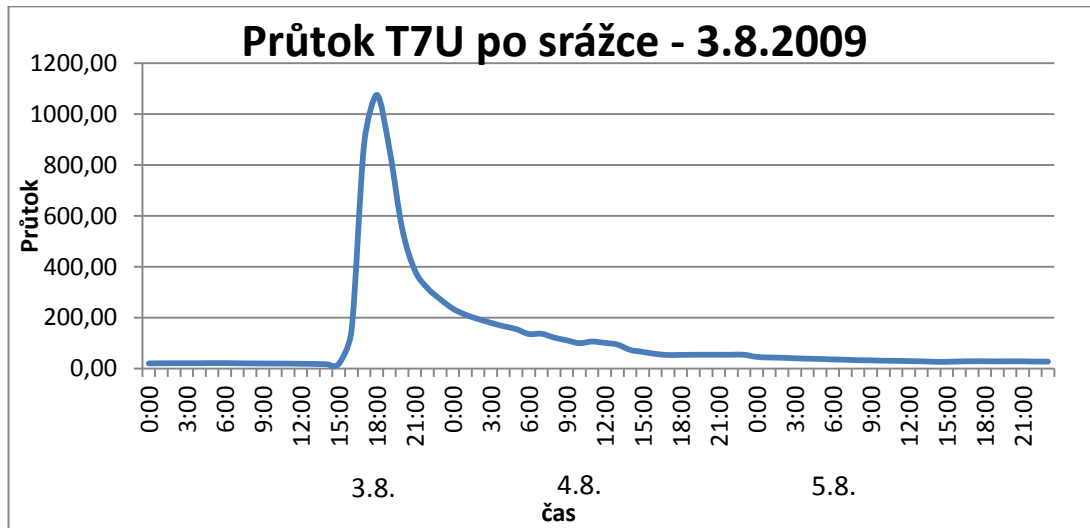
Obr. č. 1 - ČHMÚ

http://www.chmi.cz/files/portal/docs/poboc/CB/pruvodce/hydrologicke_predpovedi_v_cr.htm (accessed March 15, 2014)

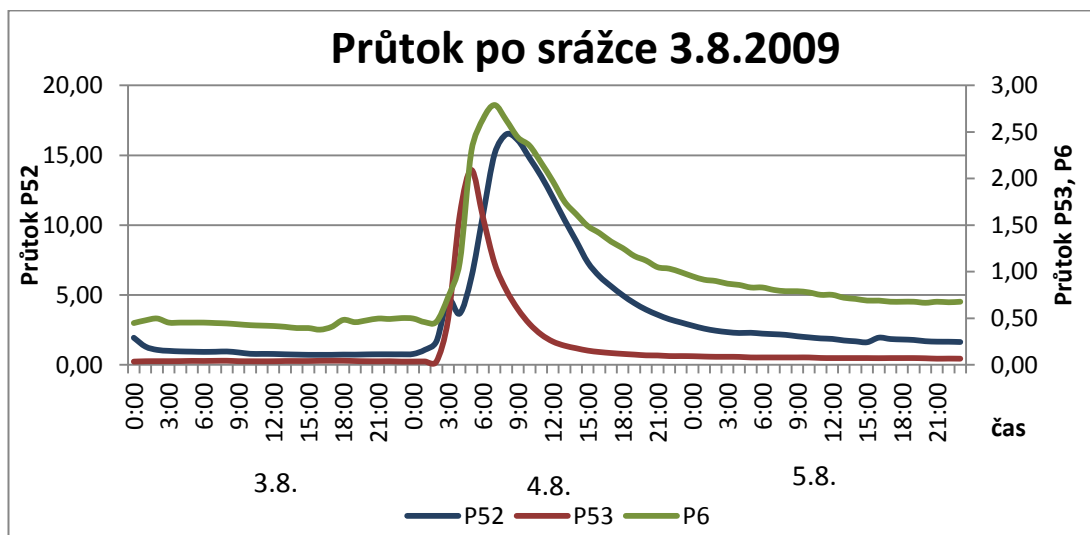
Obr. č. 2,3,4,5,6 – vlastní zpracování

8. PŘÍLOHY

Jednotlivé průtoky pro srážku 3. 8. 2009

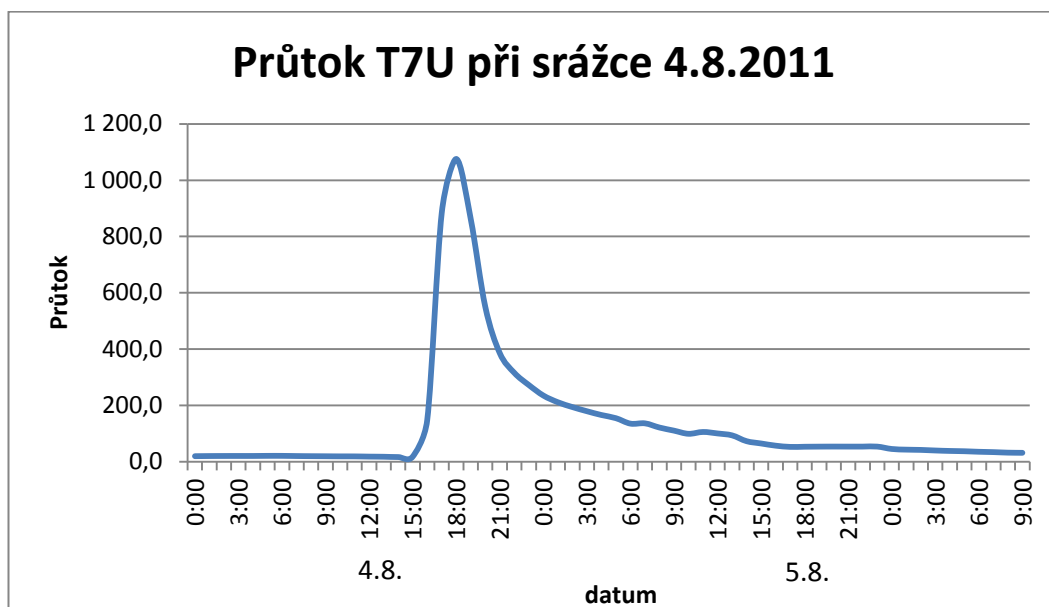


Graf č. 15 – průtok na profilu T7U po srážce 3. 8. 2009

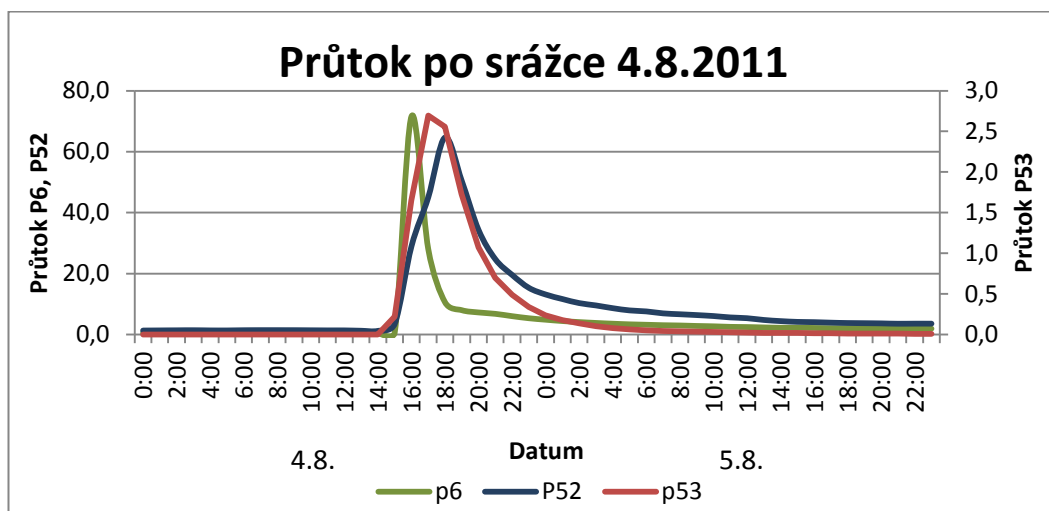


Graf č. 16 – průtok na profilu P53, P52, P6 po srážce 3. 8. 2009

Jednotlivé průtoky pro srážku 4. 8. 2011

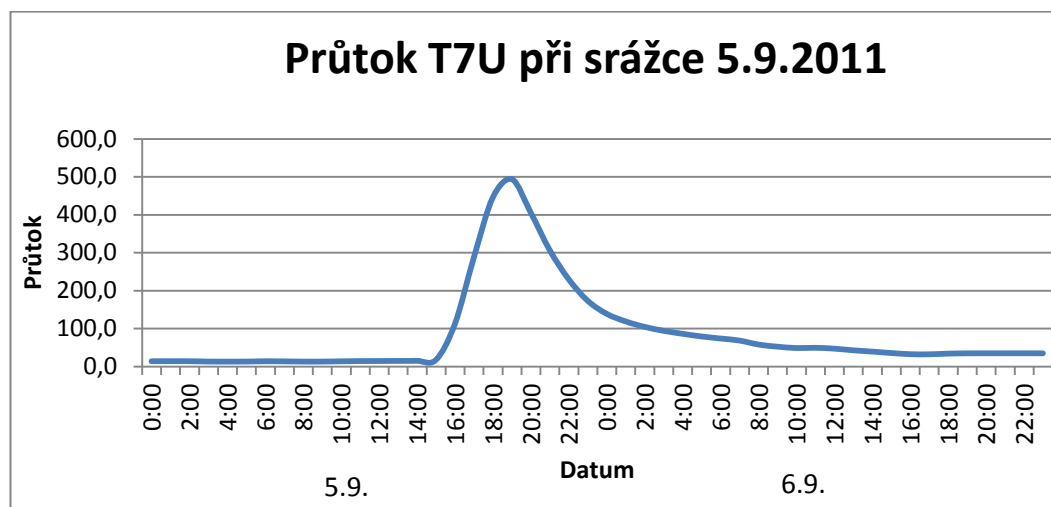


Graf č. 17 – průtok na profilu T7U po srážce 4. 8. 2011

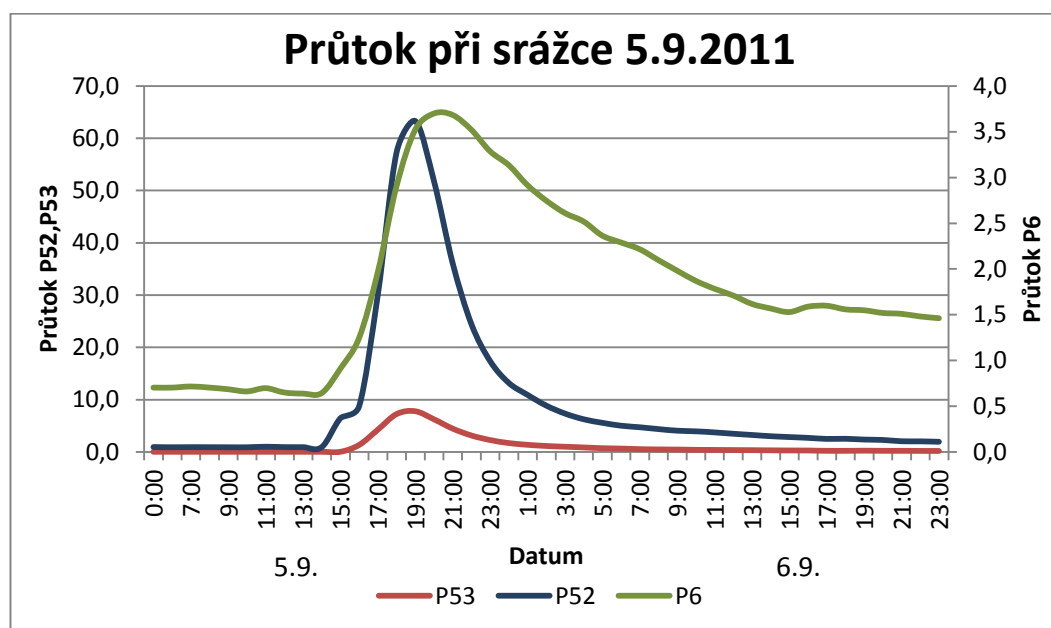


Graf č. 18 – průtok na profilu P6, P52, P53 po srážce 4. 8. 2011

Jednotlivé průtoky pro srážku 5. 9. 2011



Graf č. 19 – průtok na profilu T7U po srážce 5. 9. 2011



Graf č. 20 – průtok na profilu P6, P52, P53 po srážce 5. 9. 2011