

JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH

ZEMĚDĚLSKÁ FAKULTA

Studijní program: N4106 Zemědělská specializace

Studijní obor: Pozemkové úpravy a převody nemovitostí

Katedra: Katedra krajinného managementu

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

DIPLOMOVÁ PRÁCE

DRENÁŽNÍ SYSTÉMY V ČR A JEJICH VLIV NA VODNÍ REŽIM POVODÍ

Autor diplomové práce: Bc. Jakub Červonyj

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

JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH
Fakulta zemědělská
Akademický rok: 2013/2014

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

Jméno a příjmení: **Bc. Jakub ČERVONYJ**
Osobní číslo: **Z13536**
Studijní program: **N4106 Zemědělská specializace**
Studijní obor: **Pozemkové úpravy a převody nemovitostí**
Název tématu: **Drenážní systémy v ČR a jejich vliv na vodní režim povodí**
Zadávající katedra: **Katedra krajinného managementu**

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

V rámci ČR je odvodněním dotčena přibližně čtvrtina výměry zemědělských půd (cca 13% celkové rozlohy ČR). Vybudované drenážní systémy přitom významně ovlivňují vodní režim dotčeného území. Cílem této diplomové práce bude pomocí matematicko-hydrologických a statistických metod analyzovat vliv drenážních systémů na vodní režim povodí.

Rámcový obsah DP:

Rešerše na dané téma:

Výběr vhodných povodí pro řešenou analýzu a jejich popis.

Výpočet a porovnání odtokových součinitelů ve vybraných povodích.

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


Analýza vlivu drenážních systémů na vodní režim povodí.

Rozsah grafických prací: **dle potřeby**
Rozsah pracovní zprávy: **50 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.

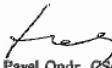
Vedoucí diplomové práce: **Ing. Václav BYSTRICKÝ, Ph.D.**
Katedra krajinného managementu

Datum zadání diplomové práce: **17. března 2014**
Termín odevzdání diplomové práce: **30. dubna 2015**


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

JIHOČESKÁ UNIVERZITA
V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH :
ZEMĚDĚLSKÁ FAKULTA
studijní oddělení
Studentůská 13
370 01 České Budějovice

L.S.


doc. Ing. Pavel Ondr, CSc.
vedoucí katedry

V Českých Budějovicích dne 17. března 2014

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem svoji diplomovou práci na téma „Drenážní systémy v ČR a jejich vliv na vodní režim povodí“ vypracoval samostatně s použitím pramenů a literatury uvedené v přehledu použité literatury.

Prohlašuji, že v souladu s § 47 b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním své diplomové práce, a to v nezkrácené podobě (v úpravě vzniklé vypuštěním vyznačených částí archivovaných Zemědělskou fakultou JU) elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejich 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

Podpis

Poděkování

Tímto děkuji vedoucímu diplomové práce Ing. Václavu Bystřickému Ph.D., za cenné připomínky a rady, dále za poskytnutí potřebných dat, ochotu a odborné vedení při zpracování diplomové práce.

Abstrakt

V rámci této diplomové práce byla řešena problematika vlivu drenážních systémů na vodní režim povodí. Cílem práce bylo pomocí matematicko-hydrologických a statistických metod analyzovat vliv drenážních systémů na vodní režim konkrétního povodí. V teoretické části se práce zabývá problematikou odvodnění, konkrétně drenážnímu odvodnění na území v ČR a vlivem odvodnění na vodní režim povodí. V praktické části byla provedena analýza vlivu drenážních systémů na povodí Kopaninského toku a na subpovodí P6, P52 a P53, které tomuto povodí náleží. Každé z těchto území je z určité části odvodněno podpovrchovou systematickou drenáží a tyto lokality jsou v práci podrobně popsány. Byly vypočítány a porovnány odtokové součinitele, specifické odtoky z jednotlivých subpovodí za různé časové intervaly, byla provedena separace odtoků a také analýza srážko-odtokové situace. V kapitole výsledky a diskuse jsou jednotlivé výsledky vyhodnoceny.

Klíčová slova: odvodnění, drenážní systémy, odtok vody z povodí, separace odtoku, specifický odtok, odtokový součinitel

Abstract:

In this diploma thesis the issue of drainage system influence on water regime of catchment area was solved. The aim of the thesis was to analyze influence of drainage system on specific catchment area using mathematical, hydrological and statistical methods. In the teoretical part, the thesis describes the issue of drainage (specifically the drainage system of area of the Czech republic) and the influence of drainage system on water regime. In the practical part an analysis of the catchment area of Kopaninský creek and subcatchment areas P6, P52 and P53 was performed. At all of those areas, certains parts are dewatered by subsurface systematic drainage system, those parts are described in detail. The runoff coefficients and specific runoff from each subcatchment areas in different time interval were calculated and observed. Runoff separation and precipitation-runoff situation analysis were performed. The results are evaulated in the chapter Results and Discussion.

Key words: drainage, drainage system, runoff, runoff separation, specific runoff, runoff coefficient

OBSAH

1. Úvod.....	10
2. Literární rešerše	11
2.1 Koloběh vody v přírodě.....	11
2.2 Odtok vody	12
2.2.1 Povrchový odtok	14
2.2.2 Hypodermický odtok.....	14
2.2.3 Podzemní odtok.....	15
2.2.4 Drenážní odtok	16
2.3 Cíl a účel odvodňovacích opatření	16
2.3.1 Zamokření půd a zemin.....	17
2.3.2 Způsoby odvodnění	19
2.4 Drenážní odvodnění	21
2.4.1 Svodné drény.....	22
2.4.2 Sběrné drény.....	22
2.4.3 Uložení drénů	22
2.4.4 Materiál drénů	23
2.4.5 Parametry drenážního odvodnění.....	23
2.4.6 Způsoby regulace a retardace odtoku.....	24
2.5 Odvodnění v ČR.....	27
2.6 Vliv drenážních systémů na vodní režim povodí	29
2.6.1 Vliv na odtok.....	30
2.6.2 Vliv na výpar.....	31
2.6.3 Vliv na hladinu a zásoby podzemní vody	32
2.6.4 Vliv na infiltraci	32
2.6.5 Vliv na jakost vod	33
2.6.6 Vliv na retenci vody v povodí.....	33
3. Materiál.....	34
3.1 Charakteristika povodí Kopaninského toku	34
3.1.1 Klimatické poměry.....	35
3.1.2 Gemorfologické, geologické a pedologické poměry	36
3.1.3 Hydrologické poměry.....	38

3.1.4	Subpovodí P6	39
3.1.5	Subpovodí P52	40
3.1.6	Subpovodí P53	42
4.	Metody.....	43
4.1	Odtokový součinitel	43
4.2	Specifický odtok.....	44
4.3	Separace odtoku	45
4.3.1	Metoda GROUND (separation of GROUNDwater runoff)	46
4.3.2	Metoda Chapman & Maxwell.....	48
4.4	Analýza srážko-odtokových situací.....	49
5.	Výsledky a diskuze	51
5.1	Průměrný denní odtok [$\text{l}\cdot\text{s}^{-1}$].....	51
5.2	Odtokový součinitel [-]	51
5.3	Specifický odtok [$\text{l}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{km}^{-2}$].....	52
5.3.1	Hydrologické roky	52
5.3.2	Suchá období.....	53
5.3.3	Vodná období	54
5.3.4	Jednotlivé měsíce	56
5.4	Separace odtoku	58
5.5	Analýza srážko-odtokových situací.....	59
6.	Závěr.....	67
7.	Seznam použité literatury.....	68
8.	Seznam zkratk	76
9.	Přílohy	77

1. Úvod

Základem veškerého organického života na Zemi je voda. Z tohoto důvodu je nepostradatelná a nejde ničím nahradit. Voda může být chápána jako významná část přírodního bohatství země. Mezi složkami životního prostředí hraje voda významnou roli tím, že faktory, které na ní působí, ji udržují v neustálém pohybu. Pro lidskou populaci plní voda spoustu důležitých funkcí a je nezbytnou surovinou zejména pro osobní potřebu, průmyslovou a zemědělskou výrobu, vodní dopravu, ale i jako zdroj energie.

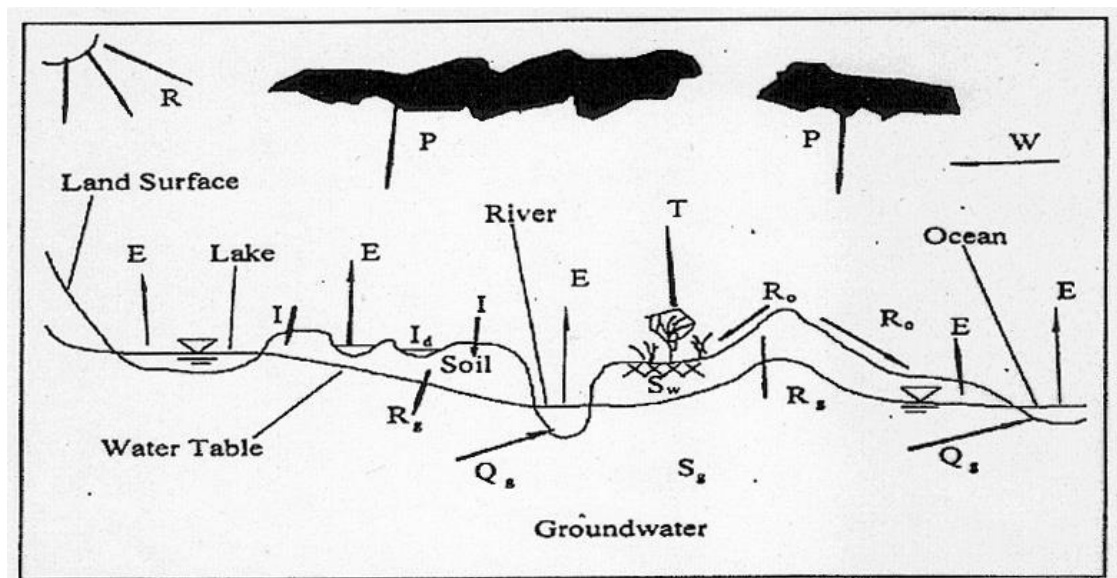
S rozvojem lidské populace rostly také nároky na zemědělskou produkci. Aby bylo možné obdělávat i přirozeně méně úrodné půdy, byla navrhována různá meliorační opatření. V některých případech znemožňovala zamokřená půda její obdělávání, a proto byla odvodňována. Jakýkoliv antropogenní zásah má na krajinu a její procesy určitý vliv. Proto i vybudovaná odvodňovací zařízení mají za následek změnu některých procesů v krajině. Tyto vlivy mohou být pozitivní, ale v mnoha případech jsou prokazatelně negativní.

Cílem této diplomové práce bylo pomocí matematicko-hydrologických a statistických metod analyzovat vliv drenážních systémů na vodní režim konkrétního povodí. K tomuto účelu bylo jako experimentální povodí vybráno povodí Kopaninského toku, které je odvodněné podpovrchovou systematickou drenáží. Součástí práce bylo také vypracování literární rešerše, která přibližuje problematiku a obecné náležitosti týkající se odvodnění na území ČR a jeho vlivy na vodní režim povodí.

2. Literární rešerše

2.1 Koloběh vody v přírodě

V krajině se voda pohybuje pomocí hydrologických procesů, které se komplexně nazývají hydrologický cyklus neboli koloběh vody (viz. obr. č. 1). Hydrologickým procesem se označuje každý pohyb vody a změna jejího skupenství při působení sluneční energie a gravitace. Skupenství, ve kterém se voda momentálně vyskytuje, intenzita, délka trvání a režim hydrologických procesů, jsou faktory, na kterých závisí velikost vlivu vody na krajinu (HANUSIN, 1996). Hydrologický cyklus je definovaný jako stálý oběh povrchové a podzemní vody, který je doprovázen změnami skupenství (HRÁDEK, KUŘÍK, 2002).



Obr. 1. Hydrologický cyklus (SERRANO, 1997)

E- evaporace	T- transpirace	Q _s - podpovrchový odtok
R- Sluneční záření	P- srážky	Q _g - odtok podzemní vody
I- infiltrace	W- rychlost větru	R _g - odtok do saturované zóny
S _w - půdní vlhkost	R _o - povrchový odtok	S _g - reservoár podzemní vody

Podle KEMELA (1996), se koloběh vody v přírodě dělí na velký koloběh vody, při kterém se hydrologické procesy uskutečňují mezi mořem a pevninou, a malý koloběh vody, který probíhá buď nad bezodtokovými územími pevniny, nebo nad plochami moří.

Hydrologické jevy se studují na území, které se nazývá povodí. Povodí je území, ze kterého stéká voda z atmosférických srážek povrchově i podzemní cestou do vodního toku. Jednotlivá povodí jsou rozdělena hranicí, která se nazývá rozvodnice. Plocha povodí povrchových a podpovrchových vod obvykle souhlasí. V případech, kde se nachází pestřejší a složitější geologické stavby rozvodní části, může voda vtékat podzemní cestou z orografického povodí sousední řeky nebo naopak do něho vtékat (*HERBER, 1996*).

Změnu zásob vod na ploše povodí, vyjadřuje základní hydrologická bilanční rovnice [1], která se uvádí v následujícím tvaru:

$$H_S + H_P - H_O - H_E = \Delta Z [\text{mm}, \text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}] \quad [1]$$

kde:

H_S- úhrn srážek, které spadly na plochu povodí za dané bilanční období (mm),

H_P- úhrn přítoku vody, tzv. cizí voda, která přiteče na plochu povodí za daný časový úsek (mm),

H_O- úhrn vody, která z plochy povodí odteče za daný časový interval (mm),

H_E- hodnota evapotranspirace za dané časové období,

ΔZ- celková změna zásob vody za daný časový interval na ploše povodí (mm) (*DUFKOVÁ, 2009*).

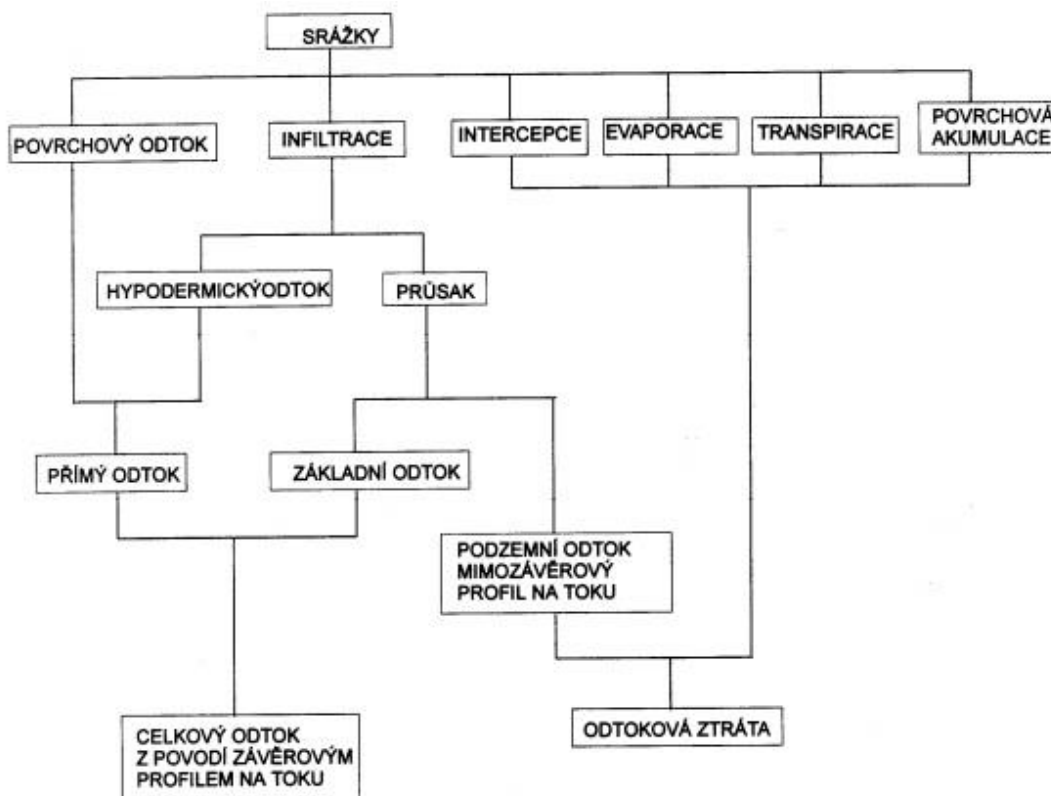
Podle *ŘIHY (1982)* jsou primárními složkami hydrologického cyklu v přírodě srážky, evapotranspirace, voda, která se akumuluje v umělých nebo přirozených nádržích, a povrchový a podzemní odtok.

2.2 Odtok vody

HERBER (1996) definuje odtok vody jako objem vody, který odtéká z povodí nebo vodního útvaru za daný časový interval.

Velikost odtoku je závislá na druhu srážek, na jejich plošném a časovém rozložení, na jejich intenzitě, i na ploše, kterou zasáhnou (*KEMEL, 1996*). Podle *JANEČKA (2012)* je odtok vody dále ovlivňován infiltrací vody do půdy, vlhkostí půdy, druhem vegetačního pokryvu, nepropustnými plochami a retencí povrchu. To potvrzuje *KREŠL (2001)* a dodává, že časový průběh odtoku v našich podmínkách předurčují atmosférické srážky, svým množstvím a časovým rozdělením.

Celkový odtok se dělí podle ŠTAMBEROVÉ A KOL. (1998) na dvě základní složky a to složku pomalou, stále přítomnou, ale relativně málo proměnnou, reprezentovanou základním odtokem (odtokem podzemní vody) a složku rychlého odtoku, vyvolaného intenzivní srážkou, kterou tvoří přímý odtok. Přičemž přímý odtok tvoří odtok povrchový a odtok hypodermický. Schéma odtokového procesu je znázorněn na obr. č. 2.



Obr. č. 2. Schéma odtokového procesu (ČSN 75-0110)

Odtok vody lze vyjádřit jednoduchou bilanční rovnicí [2]:

$$\mathbf{O = S - E \pm \Omega} \quad [2]$$

kde:

O- odtoková výška,

S- srážky,

E- evapotranspirace,

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

2.2.1 Povrchový odtok

Základním zdrojem vody pro tento odtok je srážkový úhrn. V okamžiku, kdy intenzita deště přesáhne vsakovací schopnost půdního profilu (překročení infiltrační kapacity) a zároveň je vyčerpána akumulace půdního povrchu, popř. při tání sněhu, vzniká povrchový odtok (*HOLÝ A KOL. 1984*). Voda nejdříve odtéká formou plošného odtoku (ron), který se následně díky nerovnosti povrchu půdy rozčleňuje erozními rýhami do stružek a jimi odtéká do bystřin a potoků, které tvoří říční hydrografickou síť. Tato fáze odtoku se nazývá soustředěný povrchový odtok. Na tvorbu povrchového odtoku má vliv řada proměnných antropogenních a přírodních činitelů (*MATOUŠEK, 2010*). Povrchový odtok podle *DAŇHELKY (2007)* nastává zejména na zpevněném povrchu a na zemědělských půdách, kde povrch půdy nedostatečně chrání plodiny. Jeho výskyt v přirozeném vegetačním krytu (lesy, louky) je spíše výjimečný. V oblastech ČR nastává maximum povrchového odtoku podle *KUDRNY (1987)* hlavně v době jarního tání a v období přívalových dešťů. *SERRANO (1997)* dělí vznik povrchového odtoku na tři typy:

a) *Hortonovský odtok* (dochází k překročení infiltrační kapacity půdy) (*HORTON, 1933*),

b) *Dunnyho odtok* (dochází k překročení retenční kapacity). Retenční kapacitu definuje *KLINER A KOL. (1978)* jako maximální množství vody, které je půda po nadměrném zavlažení schopna zadržet vlastními silami v téměř rovnovážném stavu.

c) *opětovná exfiltrace vody v nižších polohách svahu* (*SERANO, 1997*).

2.2.2 Hypodermický odtok

HANZEL (1998) definuje hypodermický odtok jako složku celkového odtoku, která stéká do koryta toku v bezprostřední vrstvě pod povrchem bez toho, aby dosáhla na hladinu podzemní vody. Jedná se o vodu, která po infiltraci atmosférických srážek odtéká nesaturovanou zónou, tedy v době sucha nezvodněným horninovým prostředím a dotéká s určitým časovým posunem k příslušné erozní bázi (nejčastěji povrchovému toku). Hypodermický odtok je časově omezenou událostí související se srážkou nebo srážkovým obdobím (např. velmi vlhkým rokem). Voda

hypodermického odtoku není tedy velmi často inženýrsko-geologickým průzkumem zastižena, to potvrzuje *ŠILAR (1996)* a dodává, že hypodermický odtok je obvykle krátkého a přechodného trvání.

2.2.3 Podzemní odtok

Podzemní odtok se velmi výrazně podílí na celkovém odtoku v povrchových tocích. Část vody infiltrované z atmosférických srážek prosakuje horninovým prostředím, až dosáhne hladiny podzemní vody, poté pokračuje ve svém běhu horninovým prostředím k místu odvodnění. Tato součást celkového odtoku se nazývá odtok podzemní vody neboli podzemní odtok. Na zemský povrch se podzemní voda dostává vývěrem v místech, kde zvodnělé (nasyčené) pásmo vystupuje na zemský povrch, a to buď v nádržích povrchových vod, či v méně soustředěných skrytých vývěrech v korytech toků nebo v zjevných soustředěných vývěrech, které se nazývají prameny. Jelikož je podzemní voda nepřístupná přímému pozorování, odtok podzemní vody se nedá přímo měřit. Lze jej měřit až poté, co se podzemní voda dostane vývěrem na zemský povrch a stává se tak vodou povrchovou, např. jako vydatnost pramenů. Převážná část podzemního odtoku však vyvěrá na zemský povrch mimo prameny skrytě, a proto je zahrnuta v odtoku celkovém, který lze měřit jako průtok vody v povrchových tocích. Při určení podzemního odtoku se proto vychází nejčastěji z analýzy celkového odtoku a jeho členění do jednotlivých složek včetně podzemního odtoku (*ŠILAR, 1996*). Odtok v podzemních vodách probíhá i v období bez výskytu srážek. Tento odtok není konstantní, ale rovněž reaguje růstem na intenzivní srážky (*DAŇHELKA, 2007*). Druh, způsob, stav a množství pohybu podpovrchové vody závisí na vlastnostech prostředí. Mezi významné fyzikální vlastnosti patří pórovitost. Čím více pórů, tím více vody dokáže hornina pojmout. Ve velkých dutinách a pórech dochází k pohybu vody účinkem gravitačních sil, v malých naopak dochází k velmi pomalému pohybu vlivem sil kapilárních (*KEMEL, 1996*). Téměř ve všech horninách se nacházejí alespoň nejmenší mikroskopické póry či mezery schopné pojmout vodu (*KŘÍŽ, 1983*).

2.2.4 Drenážní odtok

Podle *KUDRNY (1987)* je drenážní odtok ta část gravitační vody, která se dostává pomocí tlakového gradientu do drenážního potrubí, kterým odtéká. *TLAPÁK (1974)* doplňuje, že drenážní sítě se odvádí pouze voda volná (gravitační, podzemní), která se vytvoří za určitých podmínek vsakováním atmosférických srážek do půdy. *DOLEŽAL A KOL. (2000)* definoval drenážní odtok jako zvláštní případ hypodermického odtoku vody z povodí. Pro drenážní odtok je charakteristická nekonzervativnost ve směru proudění a značná prostorová variabilita. V bezdeštném období jen pomalu klesá, je téměř konstantní a prakticky nikdy se neztrácí. V klimatických podmínkách typických pro ČR se čára překročení drenážního odtoku (např. středního denního nebo okamžitého) v určitém měrném místě skládá ze tří na sebe navazujících úseků. Povrchová odvodňovací soustava či drenáž ochuzuje krajinu o vodu, která by jinak odtékala pomaleji jako základní odtok přirozenými vodními toky, mohla by být jímána pro užitečnou spotřebu, popř. by přispívala k evapotranspiraci vegetace nebo k doplňování zásob podzemní vody hlubších zvodní. *DOLEŽAL A KOL. (2001)* dodává, že voda z drenážního odtoku je specifickou hydrologickou charakteristikou povodí velkého množství drobných vodních toků.

Velikost drenážního odtoku je podle *KUDRNY (1987)* ovlivňována:

- a) *fyzikálními vlastnostmi odvodňovaného území,*
- b) *rozchody a hloubkami drenáží,*
- c) *sklonem odvodňovaného území.*

2.3 Cíl a účel odvodňovacích opatření

Veškerá opatření, která slouží ke zlepšení nějakého nepříznivého stavu, mají-li být dostatečně účinné a řešit podstatu problému a ne pouze jeho následky, musí odstranit nebo alespoň omezit působení zdroje tohoto stavu. Obdobně je tak i při odvodňování půdy (*BŘENDA, 1979*).

Neupravený vodní režim a nadbytek vody v půdě znehodnocují půdu a znemožňují tak její využití k stavebně technickým a zemědělským účelům (*ŠÁLEK, 1997*). Jedním ze základních opatření k regulaci vodního režimu v přírodním i

umělém prostředí jsou odvodňovací stavby. Představují široký komplex opatření a jeho účinnost závisí na prostředí, ve kterém se konkrétní odvodňovací zásah vyskytuje a na správnosti technického návrhu jednotlivých prvků s ohledem na účel odvodnění. Provedené odvodňovací zásahy mají za úkol racionální využívání půdy pro zemědělskou a lesní výrobu (HOLÝ A KOL., 1984). Podle SOUKUPA A KOL. (2007) má odvodnění jedinou funkci a to derivační (odvodňovací). Hlavním cílem podle SCHEPPERA A KOL. (2015) odvodnění pozemků je odvedení přebytečné vody z půdního profilu, tedy snížení současné úrovně na úroveň požadovanou. DUFKOVÁ (2009) uvádí, že primární podmínkou je, aby voda byla ustálena v přípustné hloubce pod terénem a nezamokřovala tak kulturní půdní profil. Tato hloubka se u zemědělských pozemků řídí podle hloubky zakořenění pěstovaných plodin, popř. jejich druhu.

2.3.1 Zamokření půd a zemin

KVÍTEK A KOL. (2006) definuje zamokření půdy jako převlhčení, které má delší dobu trvání a má za následek poškození pěstovaných rostlin. KUTÍLEK (1978) doplňuje, že k zamokření zemin a půd dochází jejich zaplavením nebo porušením vodního, tepelného a vzdušného režimu nadbytkem vody. JŮVA (1957) dodává, že toto zamokření může mít různé příznaky a to podle povahy půdy, způsobu jejího využívání a podle příčin vzniku zamokření. Podle HOLÉHO A KOL. (1984) je nezbytné zjistit příčiny zamokření, aby došlo k jejich účelnému odstranění odvodňovacími zásahy. Přirozenými příčinami zamokření jsou často hydrogeologické podmínky vzniklé působením vlivů geologických, hydrologických a orografických. Jsou dány polohou a mocností nepropustných a propustných vrstev profilů a jejich střídáním, výskytem pramenů, spojením mezi povrchovou a podzemní vodou. To vše přímo nebo nepřímo ovlivňuje pohyb a stav podzemní vody. Na zemědělsky využívaných půdách se zamokření posuzuje v závislosti na hloubce podzemní vody, na době zaplavení území a na vlhkostním stavu půdy. Podle BERANA (2009) mohou příčinami zamokření být:

a) vysoká hladina podzemní vody, způsobená nepříznivými půdními podmínkami nebo vysokým úhrnem srážek,

b) *vysoká hladina v tocích či nádržích*, tato vysoká hladina má za následek ovlivnění hladin podzemních vod u sousedních pozemků,

c) *cizí vody*, které se na určitý pozemek dostávají obvykle ze sousedních výše položených pozemků, a to ve formě povrchové nebo podzemní vody,

d) *zhoršená infiltrační schopnost půdy vlivem zhutnělého podorničí*.

U zemědělských půd se jedná o zamokření, jestliže vystupuje voda v půdním profilu výše než 50-60 cm v lukách a 100 až 120 cm v polích, nebo je-li z celkové pórovitosti vyplněno vodou podle druhu plodiny více než 70-85 % (JŮVA, 1957).

Dle KVÍTKA (2006) se na zamokření půdy může pohlížet z různých hledisek.

a) *Dle doby výskytu a četnosti:*

- trvalé,
- dlouhodobé,
- sezónní,
- krátkodobé.

b) *Dle působení vod:*

- cizích (vnějších),
- vnitřních.

c) *Dle velikosti výskytu:*

- plošné,
- liniové,
- bodové.

Výběr typu odvodňovacích opatření vzhledem ke způsobům a příčinám zamokření je zobrazeno v tab. č. 1.

Charakteristika zamokření						Meliorační opatření
	TOPOGRAFIE	ČASOVÝ CHARAKTER	FORMA	PŘÍČINA NEBO ZDROJ	EKOLOG. STUPEŇ VODNÍHO REŽIMU PŮDY ^{*)}	
1	bodové lokální	krátkodobé	podzemní vodou	vysoká hladina vody v tocích a nádržích	<i>MX až M</i>	<ul style="list-style-type: none"> - bez opatření až záchytný drén nebo jednotlivé drény - zlepšení odtokových poměrů nebo provozních stavů nádrže - úprava toku; nádrže - plošná drenáž
	liniové plošné	až sezónní až dlouhodobé	možná kombinace s povrchovým zamokřením	dešťové srážky	<i>MH až H</i>	
2	lokální	krátkodobé	povrchové	rozlivy	<i>MX až M</i>	<ul style="list-style-type: none"> - bez opatření až záchytné příkopy - odvodňovací příkopy - specifická drenáž - úprava toku - plošná drenáž
	plošné	až dlouhodobé			<i>MH až HG(H)</i>	
3	lokální až plošné	krátkodobé až trvalé	povrchové	povrchový přítok bodový až liniový	<i>M až HG(H)</i>	<ul style="list-style-type: none"> - záchytný příkop - záchytný drén
4	lokální až plošné	krátkodobé až trvalé	podzemní vodou vývěry	průsak až přítok podzemní svaňové vody s volnou až napjatou hladinou	<i>M až HG(H)</i>	<ul style="list-style-type: none"> - záchytný drén (příkop) - pramenní jámka - sporadická až plošná drenáž
5	lokální až plošné	krátkodobé až sezónní až dlouhodobé	povrchové podepřená voda kapilární voda vysoká hladina podzemní vody	atmosférické srážky	<i>MX až M</i> až <i>MH až HG</i>	<ul style="list-style-type: none"> - biologická, chem. a fyzikál. meliorace - průlehy, záchytné přk. a odv. příkopy - jednotlivé drény - sporadická drenáž - kombinované způsoby odvodnění - plošná drenáž
6	lokální až plošné	krátkodobé až sezónní	povrchové	sekundární zhuštění půd obděláváním	<i>MX</i> až <i>M</i>	<ul style="list-style-type: none"> - biologická, chem. a fyzikál. meliorace - lokálně kombinované způsoby odvodnění
7	bodové liniové lokální až plošné	krátkodobé až trvalé	vývěry kapilární voda vysoká hladina podzemní vody	podzemní voda s napjatou hladinou	<i>MX</i> až <i>HG(H)</i>	<ul style="list-style-type: none"> - pramenní jámky - záchytné drény (příkopy) - plošná drenáž (lokálně kombin. způsoby odvodnění) - snížení piezometr. tlaku (vrty, pramen. jámky, zách. drény)
8	lokální až plošné	krátkodobé až trvalé	kombinace příčin a zdrojů	podzemní voda atmosfér. srážky povrchová voda zhuštění půd	<i>(MX)M</i> až <i>HG(H)</i>	kombinace výše uvedených opatření s uplatněním jejich postupné realizace

Tab. č. 1. Způsoby úpravy vodního režimu zamokřených půd (KVÍTEK A KOL., 2006)

2.3.2 Způsoby odvodnění

Existují různé způsoby odvodnění půdy, které se rozdělují podle stupně, způsobu a příčiny zamokření a dále podle různých místních zřetelů, kterými jsou např. reliéf území, investiční náklady a povaha půdy, ale také podle účelu, kterému odvodnění slouží. Odvodňovací způsoby se rozdělují na dvě základní skupiny:

a) *biologické (zemědělsko-lesnické)* způsoby, při kterých se pomocí porostních výsadeb a trvalou úpravou půdní struktury odvodňují hlavně půdy méně náchylné k zamokření nebo půdy méně zamokřené (JŮVA, 1957). Mezi hlavní výhody podle KVÍTKA (2006) patří nízká ekonomická a realizační náročnost. BERAN (2009) dodává, že využití těchto způsobů v zemědělství je velmi omezené.

b) *technické (hydromeliorační)* způsoby, které při své funkci používají různé technické úpravy a stavby jako jsou drenáže, příkopové a kanálové soustavy, úpravy toků aj. (JŮVA, 1957). Tyto způsoby odvodnění podle KVÍTKA (2006) jsou nejčastěji využívány k odvodnění silně zamokřených půd a jsou jediným účinným odvodňovacím prostředkem.

Podle BENETINA (1987) soubor všech technických prvků, které mají za úkol sběr vody ze zamokřeného nebo zaplavovaného území a její následný odvod do recipientu, se nazývá odvodňovací zařízení. HOLÝ A KOL. (1984) rozděluje odvodňovací zařízení na hlavní odvodňovací zařízení, které se obvykle skládá z kanálů a vedlejší (podrobné) odvodňovací zařízení, které tvoří hlavně příkopy a podzemní drenáž.

Aby došlo k účinné regulaci či úpravě vodního režimu půd, obvykle se nestačí jediné opatření. Proto má rozhodující význam komplexní pojetí a součinnost všech hlavních i podrobných opatření či zařízení (BŘENDA, 1979).

Hlavní odvodňovací zařízení

Hlavní odvodňovací zařízení tvoří základ (kostru) vlastního odvodnění (SANETRŇÍK A FILIP, 1991). Do této skupiny odvodňovacích zařízení patří ochranná zařízení, kterými jsou např. odlehčovací a záchytné kanály, které mají za úkol neškodně odvést a zachytit, resp. přivést vodu, ochranné hráze na ochranu objektů, ochranné nádrže k zachycení povodňových průtoků, úpravy toků a odvodňovací kanály, do kterých spadají kanály, hlavní odvodňovací kanály a odpadové kanály podrobného odvodnění (ŠÁLEK, 1997). Primárním úkolem hlavních odvodňovacích zařízení je:

a) *odvedení vody z odvodňovaného území,*

b) *vytvoření odvodňovacího odpadu,*

c) *ochrana odvodňovaného území před cizími vodami (SANERNÍK A FILIP, 1991).*

Podrobné odvodňovací zařízení

Hlavním úkolem podrobného odvodňovacího zařízení (detail) je upravit vzdušný a vodní režim půdy na žádaný stav. Odvodnění pomocí podrobných zařízení lze řešit pomocí příkopového odvodnění (povrchovou odvodňovací sítí) nebo drenážním odvodněním (podpovrchovou odvodňovací sítí) (*HOLÝ A KOL., 1984*).

a) *příkopové odvodnění*, které zamokřenou půdu odvodňuje otevřenými příkopy, zaústující skupinově nebo ojediněle do sítě odvodňovacích kanálů. Účinek příkopového odvodnění je ve většině případů v rovinných polohách se silně propustnými půdami.

b) *drenážní odvodnění*, při kterém odvodňovací příkopy nahrazují podzemní drény (viz kap. 5).

O vhodnosti konkrétního odvodňovacího způsobu rozhodují kritéria, kterými jsou místní poměry, např. územní, hydrologické, půdní a hospodářské. Také zde hrají roli investiční a stavební zřetele, a proto musí být předem posouzeny jednotlivě i ve vzájemné kombinaci (*JŮVA, 1957*).

2.4 Drenážní odvodnění

Podzemní odvodnění neboli drenáž se využívá především k odvodnění těžkých půd, které jsou zamokřeny podzemní vodou. Podzemní trubková drenáž s navazující sítí drobných vodních toků a otevřených příkopů jako recipientů těchto hydromelioračních staveb přispívá k odvodňování pozemků a vstupuje tak do hospodaření s vodou v povodí. Intenzita jejího působení v povodí závisí na typu stavby a na místních a klimatických podmínkách (hospodářských, přírodních, apod.) (*KULHAVÝ A KOL., 2002*). Odvodnění trubkovou drenáží se dělí v závislosti na hydrogeologických, topografických a hydropedologických faktorech a příčinách zamokření. A to na drenáž *ojedinělou* (odvádí vodu z místního, plošně omezeného zamokření a skládá se obvykle z jednotlivého či jednotlivých drénů) a *drenáž plošnou* (odvádí vodu z ploch, které jsou souvisle zamokřené, a je tvořena svodnými

a sběrnými drény s drenážními objekty) (*SOUKUP A KOL., 2007*). Příklad zastavení plošnou drenáží je znázorněn v příloze č. 3 (zastavovací plán).

Primárním odvodňovacím prvkem je podle *HOLÉHO A KOL. (1984)* drén. Jeho hlavním úkolem je sbírat a odvádět vodu z odvodňovaného území. Drény se rozdělují na svodné drény (hlavníky) a sběrné drény (křídla). Podle *BERANA (2009)* se jednotlivé drény budují ve sklonu, aby voda vstupující do drénů volně odtékala po dně drenážního potrubí až do recipientu. Recipientem může být podle *BŘENDY (1979)* odvodňovací kanál nebo koryto vodního toku.

2.4.1 Svodné drény

Podle *KVÍTKA (2006)* se svodné drény ukládají nejčastěji do nejnižších míst v odvodňovaném území, aby využívaly maximální možný sklon a také v co nejdelších přímkách. Pokud je do odvodňovaného území třeba navrhnout svodné drény o větších délkách, rozdělí se drenážními šachticemi na úseky dlouhé max. 400 m. U půd, u kterých hrozí zanášení drenáže, se navrhuje úseky dlouhé max. 200 m. V *ČSN 75-4200 (1993)* se uvádí, že hloubka uložení svodných drénů se řídí podle hloubky uložení sběrných drénů a musí být větší alespoň o vnitřní průměr svodného drénu.

2.4.2 Sběrné drény

Sběrné drény se podle *BERANA (2009)* navrhuje v menších sklonech a jsou vedeny v mírném odklonu od vrstevnic. *DUFKOVÁ (2009)* doplňuje, že sběrné drény se zaústí nejčastěji do svodných drénů shora. Délka sběrného drénu je ve výjimečných případech 150 m, ale doporučená a obvyklá délka je 120 m.

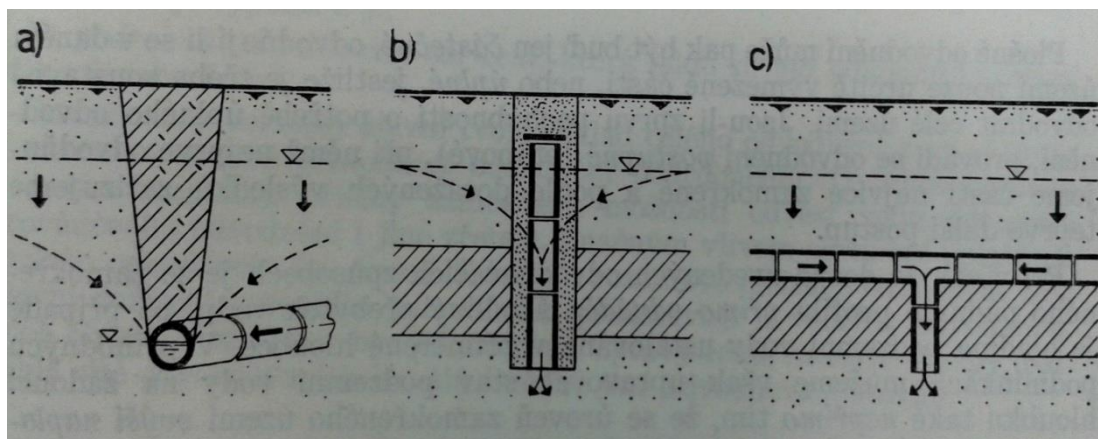
2.4.3 Uložení drénů

Podzemní drenáž může být z hlediska uložení drénů uspořádána jako:

a) *vodorovná (horizontální) drenáž*, která se skládá obvykle z podélných trubkových drénů uspořádaných v mírném spádu o různé konstruktivní úpravě,

b) *svislá (vertikální) drenáž*, při níž se využívá svislých drénů, upravených jako studny nebo vyztužené vrty,

c) *kombinovaná drenáž*, jež je kombinací obou předchozích způsobů (JŮVA, 1957) viz obr. č. 3.



Obr. č. 3. Způsoby uspořádání drenáže (JŮVA, 1957)

2.4.4 Materiál drénů

BERAN (2009) uvádí, že od roku 1843 se drenážní trubky kruhového profilu vyráběly z pálené hlíny. Do tohoto období se také využívaly materiály z pálené hlíny, ale byly vyráběny v jiném profilu, obvykle půlkruhové, miskovité žlábkky, nebo půleliptické. Avšak využívalo se i jiných materiálů, např. kamenné drény, haťové drény apod. S postupem času a s vývojem technologií se postupně nahrazovaly drény z pálené hlíny drény z jiných materiálů, zejména z PVC (např. perforované potrubí v kotoučích). Drény z PVC mají velké množství významných vlastností. Hlavní předností jsou hladkost, lehkost, pružnost a dobrý odvodňovací účinek.

2.4.5 Parametry drenážního odvodnění

Podle BLAHY (2009) patří mezi hlavní návrhové parametry drenážního odvodnění specifický drenážní odtok, rozchod drénů, hloubka uložení drenáže a průměr drénů. SOUKUP A KOL. (2005) uvádí, že *specifický drenážní odtok* je velikost navrhovaného průtoku ve svodném drénu, který připadá na 1 ha odvodněné plochy. Pro naše území použit v rozmezí 0,33 do 0,65 l.s⁻¹.ha⁻². Následujícím

parametrem je *rozchod drénů*, který byl navrhován především dle druhu půd a požadavku plodin na snížení hladiny podzemní vody v určitém čase po srážce. U těžkých půd se rozchod pohyboval v rozmezí 8-10 m, u středních půd 12-15 m. Lehké půdy byly odvodněny jen v případě trvale zvýšené hladiny podzemní vody. Dalším parametrem je *hloubka uložení drenáže*. Hloubka uložení svodných drénů se pohybuje nejčastěji v rozmezí 1,0 – 1,2 m (výjimečně i hlouběji). Sběrné drény jsou uloženy převážně v hloubce 0,7 – 0,9 m. *KVÍTEK A KOL. (2006)* uvádí, že *průměr svodných drénů* se určí jako nejbližší vyšší než průměr drénů sběrných. *Průměr drénů sběrných* se volí podle následující tabulky:

Materiál trubek	Vnitřní průměr sběrných drénů v mm		
	Role a louky	Půdy s nebezpečím zanášení železa	Rašelinistní půdy
Pálená hlína	50	65-100	65
Flexibilní z plastů	50	-	-
Hladký z plastů	40	-	-

Tab. č. 2. Průměr sběrných drénů (*KVÍTEK A KOL., 2006*)

KULHAVÝ, F. A KULHAVÝ, Z. (2008) uvádí, že kromě již zmíněné klasické drenáže existují i jiné druhy drenáží, např. šterbinová drenáž, krtčí drenáž, ochranná drenáž apod. Dále existují víceúčelové odvodňovací systémy, kterými se mohou zamokřované pozemky odvodňovat. Jsou jimi např. regulační drenáž, retardační drenáž nebo navlažovací drenáž.

2.4.6 Způsoby regulace a retardace odtoku

Je neoddiskutovatelné, že v některých konkrétních případech převažuje negativní vliv odvodnění. Řešením jsou metody s regulací, či retardací odtoku (*SOUKUP A KOL. 2003*). Doplnění stávajících drenážních systémů o regulaci drenážního odtoku může tento režim vrátit do původních relací (*KULHAVÝ A KOL., 2010*). Nicméně ani po navrácení vodního režimu nemusí dojít k obnově původní vegetace. Podzemní drenáž vyplavuje ve velkém množství draslík, jehož přítomnost v půdě je pro některé druhy důležitá (*DUREN A KOL., 1997*).

FÍDLER (1997) uvádí, že ke zřizování regulační, popř. retardační drenáže vedou ekologické požadavky zadržování vody v krajině a přestavba zemědělství. Podle

SOUKUPA A KOL. (2005b) je hlavní změnou při použití regulačních opatření oproti klasickému odvodnění „návrat“ vodního režimu směrem k režimu lokality před odvodněním. To potvrzuje *ŠVIHLA (1990)* a doplňuje, že regulace odtoku drenážních vod je jen částí hospodaření s vodou v povodí. Je ale nutné klást důraz na to, aby všechna opatření k regulaci byla navrhována z širších hledisek hospodaření s vodou v povodí. Pouze v souboru dalších vodohospodářských opatření lze jimi zabezpečit nutnou efektivnost.

Klasické odvodnění má jednostrannou funkci a regulace odtoku tuto funkci eliminuje. Do hlavních úkolů regulace odtoku se řadí optimalizace vláhového režimu odvodněných půd, zvýšení retence (akumulace) vody v odvodněném půdním profilu, časové zdržení a snížení drenážního odtoku. Dalším úkolem je optimalizace funkce a účinnosti stávajících odvodňovacích systémů s ohledem na využívání krajiny a její ochranu v souladu s teorií udržitelnosti zemědělského hospodaření, resp. v souladu s ochranou vodních zdrojů a posílením ekologické stability území. Regulace také snižuje podíl odtoku odvodnění v celkovém odtoku a vyrovnává odtok z povodí (*SOUKUPA A KOL., 2003*).

Podle *SOUKUPA A KOL. (2005b)* se způsoby regulace odtoku ve vhodných podmínkách nejčastěji zaměřují na vestavbu regulačních a retardačních prvků do odvodňovací sítě nebo také na doplnění přídatných větví, které slouží k zadržení vody a posílení infiltrace. Účinek regulačních opatření se projevuje v prostoru povodí a čase a lze jej vyjadřovat z různých úhlů pohledů. Kromě agronomických a krajinářských hodnocení je třeba vyhodnotit tento účinek z hlediska vodohospodářského, tj. vyjádřením změny odtoku a retence vody jako složek hydrologické bilance povodí, mezipovodí resp. části povodí. *FÍDLER (1997)* dodává, že při snížení intenzity odvodnění by se mělo projevit snížení specifických drenážních odtoků. Avšak výsledky měření ukazují fakt, že drenážní odtok z regulační, nebo retardační drenáže je i výrazně vyšší než odtok původní a může tak paradoxně zvýšit intenzitu odvodnění oproti původnímu požadavku. *KULHAVÝ A KOL. (2010)* uvádí, že v ČR však nejsou hospodařící subjekty motivovány k vynaložení investic, které by zvyšovaly retenci vody v krajině. Regulační opatření se obvykle využívají při lokálních poruchách funkcí odvodnění nebo při realizaci pozemkových úprav, kde jsou nástrojem k zlepšení krajinochranné či vodohospodářské funkce.

Podle *NĚMCE (1982)* lze z hlediska odvodňovacích systémů s ovládaným vodním režimem rozdělit hydromeliorační stavby na:

a) *retardační drenáž*

b) *trubkovou drenáž s regulovaným odtokem*

c) *regulační drenáž*

Retardační drenáž

Retardační drenáž má umožnit odvodnění zemědělských pozemků, ale zároveň zpomalovat odtok vody z území (*HEJNÁK, 2004*). Retardace podzemního odtoku je jedním ze způsobů, jak zvýšit retenci vody v odvodňované půdě v zemědělsky využívané krajině (*VÁŠKŮ, 2000*). Princip tohoto druhu drenáže je založen na plošné regulaci úrovně hladiny podzemní vody. V rýze je místo původního drénu nainstalována U-konstrukce z nepropustného materiálu. Tím se po celé délce tohoto odvodňovacího zařízení zvýší vtoková výška (*KURÁŽ A SOUKUP, 2004*).

Trubková drenáž s regulovaným odtokem

Patří z hlediska optimalizace vlhkostního režimu půdy přechodnou stavbou mezi klasicky chápanou trubkovou drenáží a regulační drenáží. Tento typ drenáže umožňuje v době nadbytku gravitační vody pozemky odvodňovat a naopak v době nedostatku akumulovat srážkovou nebo podzemní vodu. Při vhodném způsobu provozování drenáže s regulovaným odtokem a obhospodařování odvodněných pozemků lze významně ovlivnit množství infiltrující vody do podzemních rezervoárů a kolmataci vody. Rozdíl mezi regulační drenáží a drenáží s regulovaným odtokem je, že do drenáže s regulovaným odtokem není přiváděna voda z vodního zdroje, a proto chybí fáze udržování hladiny podzemní vody (*NĚMEC, 1982*).

Regulační drenáž

Podle *ŠÁLKA (1997)* je úkolem regulační drenáže optimální regulace hladiny podzemní vody, optimální hospodaření s vodou, částečná retardace odtoku

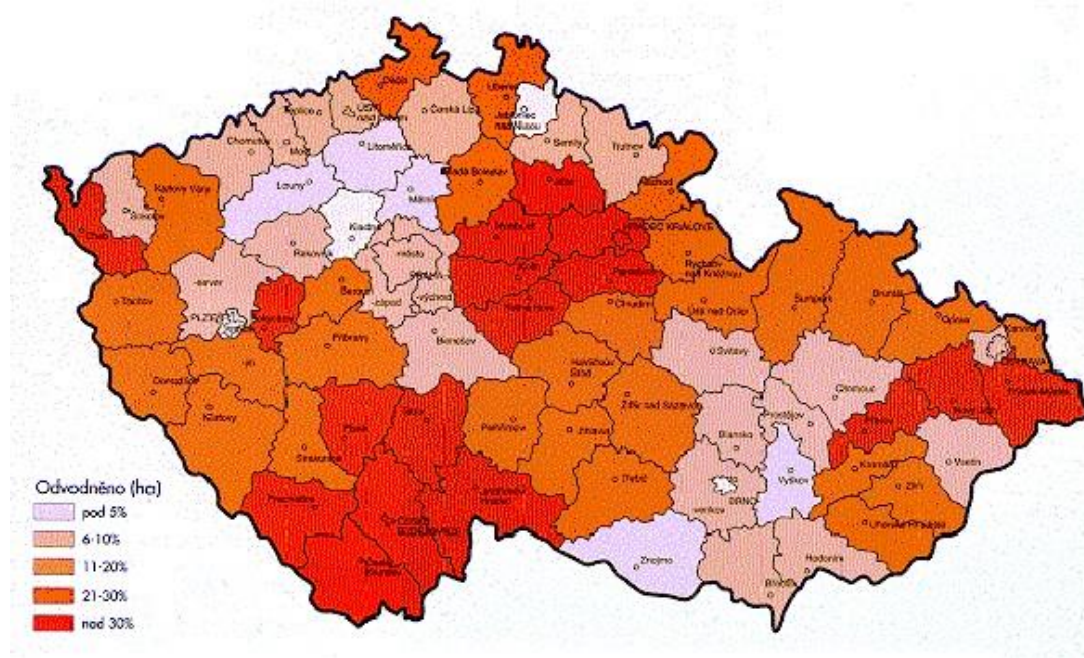
drenážních vod a možnost úplné automatizace provozu regulační drenáže. V době nedostatku vody plní zavlažovací funkci regulací úrovně hladiny podzemní vody a naopak v době nadbytku vody odvodňuje. Podle *KURÁŽE A SOUKUPA (2004)* regulační drenáž spojuje závlahu a odvodnění do jednoho celku.

2.5 Odvodnění v ČR

V rámci zkulturnění zemědělské krajiny patří ČR historicky mezi země, v nichž odvodňovací stavby plnily a stále plní významnou roli (*ŠTIBINGER A KULHAVÝ, 2010*). Podle *JŮVY (1957)* historie udává, že novodobé úpravy vlhkostního režimu zamokřených půd v ČR se prováděly prakticky od konce 19. století zhruba do konce 80. let dvacátého století. Meliorace byly vyvolány snahou zemědělců o vyšší produkci jak orných půd, tak i lučních porostů. Meliorace se jako obor začaly rozvíjet v období před druhou světovou válkou a jejich největší rozmach nastal v šedesátých a sedmdesátých letech 20. století. *PRAX A HYBLER (2012)* dodávají, že koncem 50. let, kdy se budovalo socialistické zemědělství, byly meliorace důležitou součástí koncepce rozvoje jednotlivých zemědělských družstev a státních statků. V této době se scelovaly pozemky do velkých honů, čemuž mnohdy bránila lokální zamokřená místa, ale bylo třeba je celoplošně využít. *JELÍNEK (1999)* dodává, že princip socialistické zemědělské velkovýroby stál na maximální produkci za každou cenu. *FÍDLER (1976)* říká, že nástup strojů třetí generace (složitě výkonné soupravy), si vynutil rozsáhlé změny v organizaci půdního fondu a v podstatě změnu v technologii polních prací. *SOUKUP (2006)* uvádí, že pro splnění hlavních zemědělských plodin, se upravovaly vodní režimy pozemků pomocí odvodňovacích staveb. Odvodnění, které bylo provedeno ve druhé polovině minulého století, odráží ekonomické požadavky té doby, které spočívaly v soběstačnosti výroby hlavních zemědělských komodit. Meliorace se v této době zaměřily výhradně na odvodnění a na regulaci vodních toků. To potvrzuje *NOVÁK (2004)* a dodává, že z výsledků pokusů provedených v letech 1924-1937 vyplývá, že u většiny zemědělských plodin došlo tehdy po odvodnění ke zvýšení výnosů o 10-30 % při zvýšení kvality.

Zemědělská vodohospodářská správa uvedla 1. 1. 1995, že plošná výměra zemědělských pozemků, které jsou odvodněny drenáží činí 1 064 999 ha. Z toho vyplývá, že v ČR je odvodněna přibližně čtvrtina zemědělsky využívaných půd.

Většina rozsáhlejších plošných staveb byla provedena před rokem 1990. Uváděnou plochu je třeba brát jako orientační, jelikož některé staré systémy nejsou evidovány a také některé nové systémy překrývají ty staré (SOUKUP A KOL., 2007). Podle NOVÁKA (2004) byla problémem nízká úroveň stavebních prací. Rekonstrukce starých drenáží se prováděly naslepo, jelikož chyběla dokumentace. PRAX A HYBLER (2012) doplňují, že meliorace zemědělských půd formou odvodnění drenážními systémy byly prakticky ukončeny koncem 80. let 20. století. Od té doby, až na některé výjimky, nová výstavba odvodňovacích systémů na zemědělských pozemcích ustala. NOVÁK (2004) dodává, že před rokem 1990 proběhl až nesmyslně velký rozsah odvodňovacích prací. Z průzkumu zjištěných údajů vyplývá, že rozdíl mezi plochou provedených odvodnění a plochou zamokřených půd je rozdíl 272 619 ha. Podíl odvodněných ploch v bývalých okresech ČR, který zpracoval Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, je znázorněn na obr. č. 4.



Obr. č. 4. Podíl odvodněné zemědělské půdy v jednotlivých okresech (Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, 1997)

Podle PRAXE A HYBLERA (2012) nesmí se zapomínat na to, že provedené meliorace jsou technickým dílem, tedy stavbou s určitou životností a nutností údržby. V současné době je řada drenážních systémů u konce své životnosti a na polích jsou místy patrná znovu zamokřená místa. BERAN (2009) doplňuje, že běžně se životnost

trubkové drenáže udává kolem 40 let. Životnost drenážních systémů však závisí ve velké míře také na údržbě.

2.6 Vliv drenážních systémů na vodní režim povodí

Vodní režimy krajiny jsou proměnlivé a tvoří základ biodiverzity (*SOUKUP A KOL., 2005a*). Pojmem vodní (hydrologický) režim se rozumí zákonitosti změn hydrologických jevů v čase a prostoru, způsobených fyzicko-geografickými činiteli, především klimatickými. Lze tak např. mluvit o režimu průtoků, režimu splavenin, hladin podzemních vod apod. Je třeba rozlišovat hydrologický režim přirozený a ovlivněný. Uvedené přirozené zákonitosti mohou být narušeny umělými zásahy, které se v současnosti vyskytují velmi často. Pod pojmem vodní režim si lze představit např. velikost a časové rozdělení průtoků, čas jejich výskytu, sled vodnosti v jednotlivých měsících, ročních období apod. V posledních desetiletích se čím dál tím více projevuje činnost člověka (*KEMEL, 1996*). Podle *KULHAVÉHO A KOL. (2000)* jsou hydromeliorační stavby výrazným činitelem, které v dané lokalitě ovlivňují vodní režim a kvalitu vod. To potvrzuje *KUDRNA (1987)* a dodává, že odvodňovací soustavy působí na hydrologické poměry celého krajinného prostoru. V důsledku funkce odvodňovací soustavy jako derivační složky se budou měnit základní prvky vodní bilance v území. *RADČENKO A NĚMEC (1980)* doplňují, že jakýkoliv necitlivý zásah do vodního režimu může vyvolat celou řadu negativních důsledků.

Podle *KURÁŽE A SOUKUPA (2004)* je regulace vodního režimu povodí pomocí systematického odvodnění založená na tom, že se sníží hladina podzemní vody. Na tomto principu jsou také založeny návrhové metody pro výpočet rozchodu a hloubky drenáže. Z toho vyplývá, že drenážní systémy byly dimenzovány pro podmínky, kde se vyskytovala vysoká hladina podzemní vody. V minulosti se velmi často navrhovalo také odvodnění na semihydromorfních půdách, což znamená tam, kde zvýšená vlhkost byla periodického charakteru a byla způsobena vysokými průměrnými srážkami a sníženou propustností buď celého profilu, nebo dominantní půdní vrstvy. Jestliže se odvodní půdy s vysokou hladinou podzemní vody, bude také docházet podle *KURÁŽE A SOUKUPA (2004)* k postupné změně půdotvorných procesů a částečně i půdotvorných faktorů. Půdotvorné procesy hydromorfní budou potlačeny a dojde ke změně půdotvorných procesů na procesy kambické, popř.

lůvické. Tato změna má za následek úpravu některých hydrofyzikálních vlastností půdy. Změny v půdní textuře, struktuře, objemové hmotnosti, kvalitě a obsahu humusu, jsou primárními charakteristikami, mají vliv na hydraulickou vodivost. Proto má odvodnění také vliv na hydraulickou vodivost, tedy také na snížení povrchového odtoku a zvýšení infiltrační schopnosti.

Účinky plošné systematické drenáže na vodní režim a retenci vody v povodí zdaleka nejsou jednoznačné. Proto je nutné následující posouzení vhodnosti systematické drenáže pro konkrétní půdní poměry a popřípadě nutnost provedení nápravných opatření, která by eliminovala nebo alespoň zmírnila negativní účinky odvodnění (*SOUKUP A KOL., 2003*).

2.6.1 Vliv na odtok

Procesy odtoku vody ze zemědělských povodí jsou modifikovány přítomností hydromelioračních staveb (*PODHRÁZSKÁ A KARÁSEK, 2014*). Podle *KUDRNY (1987)* se specifický povrchový odtok zmenšuje s rostoucí plochou drenážní sítě. Dle *SOUKUPA A KOL. (2003)* se na základě dlouhodobého sledování účinku drenáže na vodní bilanci zjistilo, že drenáží je podchyceno v průměru 10-35 % srážkového úhrnu a následně se zpomaluje povrchový odtok. *RADČENKO A ŇEMEC (1980)* uvádí, že systematická drenáž urychluje odvedení povrchové vody, aniž by tato voda byla efektivně využita rostlinstvem. Tímto se urychluje odtok vody, která se na konkrétní území dostává jen z atmosférických srážek. Velikost tohoto urychlení odtoku je možné ilustrovat úvahou, která se opírá o základní zákonitosti filtračního proudění podzemní vody nebo pohybu vody v otevřených korytech (nebo v drénech). Z porovnání absolutních hodnot rychlostí filtračního proudění podzemní vody (V_f) s rychlostí proudění vody v otevřených korytech a horizontálních drénech (V) při stejných hydraulických gradientech vyplývá, že poměr těchto rychlostí je $V/V_f = 10^5$ až 10^6 . Z toho plyne, že klasickou systematickou drenáží se mnohonásobně urychluje odtok vody z povodí. To potvrzuje i *SCHILLING A KOL. (2012)* a doplňuje, že s vybudováním drenážního systému se celoročně zvýšil v recipientu základní odtok z podzemní vody. Dle *ŠVIHLÝ (1990)* se zvyšují minimální průtoky v recipientu, jelikož drenáž odvádí i určitý objem ze zásob podzemních vod. To potvrzuje *KULHAVÝ A KOL. (2010)* dodává, že systematická drenáž hlavně ve vodných obdobích urychluje odtok vody a zvyšuje jeho intenzitu, podíl drenážních vod na

celkovém odtoku je však nižší. Podíl drenážních vod na celkovém odtoku se zvyšuje v období sucha. Proto při vysoké plošné intenzitě odvodnění jsou vody ve vodoteči převážně jen vodami drenážními.

V důsledku odvodnění se také mění podpovrchový odtok vody. Jestliže se sníží hladina podzemní vody, změní se proudění vody v půdě. Tento vliv je závislý na uložení drénů v závislosti na nepropustné vrstvě. Pokud je drén uložen v profilu nepropustné vrstvy, proudí podzemní voda po nepropustné vrstvě horizontálně, dokud není gravitačními silami svedena do nejbližšího drénu a následně odvedena do recipientu. Když je ale drén uložen nad nepropustnou vrstvou, proudí voda až k hladině podzemní vody. Hladina podzemní vody je drény ovlivňována a vytváří se tzv. depresní kužele (*MONTAGNE A KOL., 2009*).

Vliv změn na vodní režimy, resp. odtok z povodí není jednoznačný. V celém tomto procesu nerozhodují jen srážky, ale i teploty. V hydrologické bilanci se dopady jednotlivých scénářů, resp. odtok značně liší a to ve značném rozsahu +/- 100 %, porovnáváme-li odtok s průměrným stavem (*SOUKUP A KOL., 2005a*). *ŠVIHLA (1990)* uvádí, že pro průměrné roční odtoky byl na základě tříletých pozorování proveden rozbor odtoku z ploch zalesněných a z ploch s různou intenzitou odvodnění (20, 40, 100 % odvodnění). Výsledkem analýzy rozptylu naměřených experimentálních údajů bylo překvapivé zjištění, že kolísání průměrných specifických odtoků v povodí při různých uspořádání má náhodný charakter. Výzkum potvrdil, že maximální odtoky lze očekávat u pozemků s vysokým % odvodnění.

2.6.2 Vliv na výpar

Jestliže se důsledkem odvodnění snižuje na odvodněných půdách hladina podzemní vody, nedochází v důsledku toho k vyššímu neproduktivnímu výparu, a proto je celkový výpar na odvodněných půdách menší (*KUDRNA, 1987*). Také podchycení pramenných vývěřů ze zamokřených pramenišť se sníží nebo zamezí podle *KURÁŽE A SOUKUPA (2004)* vzniku neefektivního výparu. To potvrzuje *SOUKUP A KOL. (2003)* a doplňuje, že při zamezení neefektivního výparu, se zvyšují minima průtoků v recipientu.

2.6.3 Vliv na hladinu a zásoby podzemní vody

Odvodnění snižuje hladinu podzemní vody a v důsledku toho i evapotranspiraci (*KURÁŽ A SOUKUP, 2004*). Hladina podzemní vody se v důsledku odvodnění jednorázově sníží i v oblastech vodohospodářského zájmu. Na odvodněných plochách je také nižší infiltrace vody do horizontu podzemních vod. (*SOUKUP A KOL., 2003*). Při snížení hladiny a zásoby podzemní vody se krajina stává sušší a díky tomu také více náchylná k větrné erozi (*SOUKUP A KOL., 2007*). Základní orientaci o vlivu drenáže na zásoby podzemních vod určuje jednoduchá bilanční rovnice [3], platná pro zvodnělou vrstvu s volnou hladinou podzemní vody:

$$S_u + K_h - O_z - E_{et} = P_u \cdot \Delta H \quad [3]$$

kde: S_u - dotace podzemních vod ze srážek,
 K_h - horizontální komunikace, přítok podzemní vody,
 O_z - základní odtok, odtok podzemní vody,
 E_{et} - evapotranspirace z hladiny podzemní vody,
 P_u - účinná pórovitost,
 ΔH - změna úrovně hladin podzemních vod.

Vlivem odvodnění se sníží hladina podzemní vody a tím se změní většina veličin v rovnici [3] (*KLINER A KOL., 1978*).

2.6.4 Vliv na infiltraci

Infiltrace je definována jako proces, kterým se voda dostává pod zemský povrch (*POELS, 2009*). Vlivem velkoplošného odvodnění drenáží se v těchto lokalitách zvyšuje infiltrace. Tento děj je spojený s vyplavováním živin do půdního profilu. Obdobně je tomu při odvodnění půd, které byly k tomuto účelu zcela nevhodné (*PODHRÁZSKÁ A KARÁSEK, 2014; SOUKUP A KOL., 2003*). Zvýšená infiltrace bývá především v tzv. drenážní rýze. Jedná se o část půdního profilu, kde bylo výkopovými pracemi uloženo drenážní potrubí. V celém horizontu nad drenážním potrubím byla promíšena půdní vrstva. Tím se snižuje objemová hmotnost a zvyšuje infiltrace (*JACOBSEN A KJAER, 2007; ŠVIHLA, 1990*).

2.6.5 Vliv na jakost vod

DVOŘÁK (1989) uvádí, že kvalitativní vliv trubkové systematické drenáže na podzemní vody lze obecně hodnotit pozitivně. Vlivem převládající složky radiálního a horizontálního drenážního proudění v konvergenční oblasti (vertikální složka je zanedbatelně malá) dochází k hydraulickému usměrnění transportu znečišťujících látek (pocházejících převážně z chemizace zemědělství a atmosférických srážek) do trubkových drénů. Drenážní voda je následně odváděna do recipientu a je tedy nutné řešit vliv drenážních vod na kvalitu vody v recipientu. Podle *KULHAVÉHO A KOL. (2011)* působí drenážní systémy z hlediska jakosti vod spíše negativně. *ALGOAZANY A KOL. (2007)* dodává, že v některých typech povodí s vybudovanými drenážními systémy (zejména rovinná povodí v nížinných oblastech), může drenážní odtok představovat výrazný způsob transportu nerozpuštěných látek a dalších polutantů. Pozornost bývá především věnována látkám určených na ochranu zemědělských plodin (herbicidy, pesticidy, apod.) a živinám (N, C, P). Do drenážních vod se škodlivé látky mohou také dostat z bodových druhů znečištění. Drenážní vody bývají nejčastěji obohaceny podle *VOPRAVILA A KOL. (2008)* o dusík (N) a fosfor (P). Takto obohacené drenážní vody způsobují eutrofizaci ve vodním toku. Znečištění a eutrofizace povrchových vod má dle *BLANNA A KOL. (2009)* nepříznivé účinky na blízké ekosystémy. Podle *PODHRÁZSKÉ A KARÁSKA (2014)* ovlivňuje výskyt dusičnanů v drenážních vodách odvodnění mělkých zvodní, které umožňují denitrifikaci dusičnanů a také zpomalují odtok povrchové vody. *AYARS A KOL. (2006)* dodává, že v drenážních vodách se mohou nacházet také soli a to zejména v suchých oblastech.

2.6.6 Vliv na retenci vody v povodí

KURÁŽ A SOUKUP (2004) dodávají, že v odvodněné půdě se ve srovnání s neodvodněnou zadrží méně vody. To potvrzuje *ŠVIHLA (1990)* a uvádí, že na povodí s 84 % odvodněním byl zadržen menší objem vody než na neodvodněném povodí. *(KASPRZAK, 1984)* dodává, že tento vliv odvodňovacích systému je jeden z nejvýraznějších projevů. Je to samozřejmě negativní vliv, na druhou stranu může docházet ke zvýšení zásob podzemních vod převedením rychlého povrchového odtoku ze srážek na pomalejší odtok podzemní vody. Obvykle však zrychlením odtoku podzemních vod dochází ke snížení jejich zásob v povodí.

3. Materiál

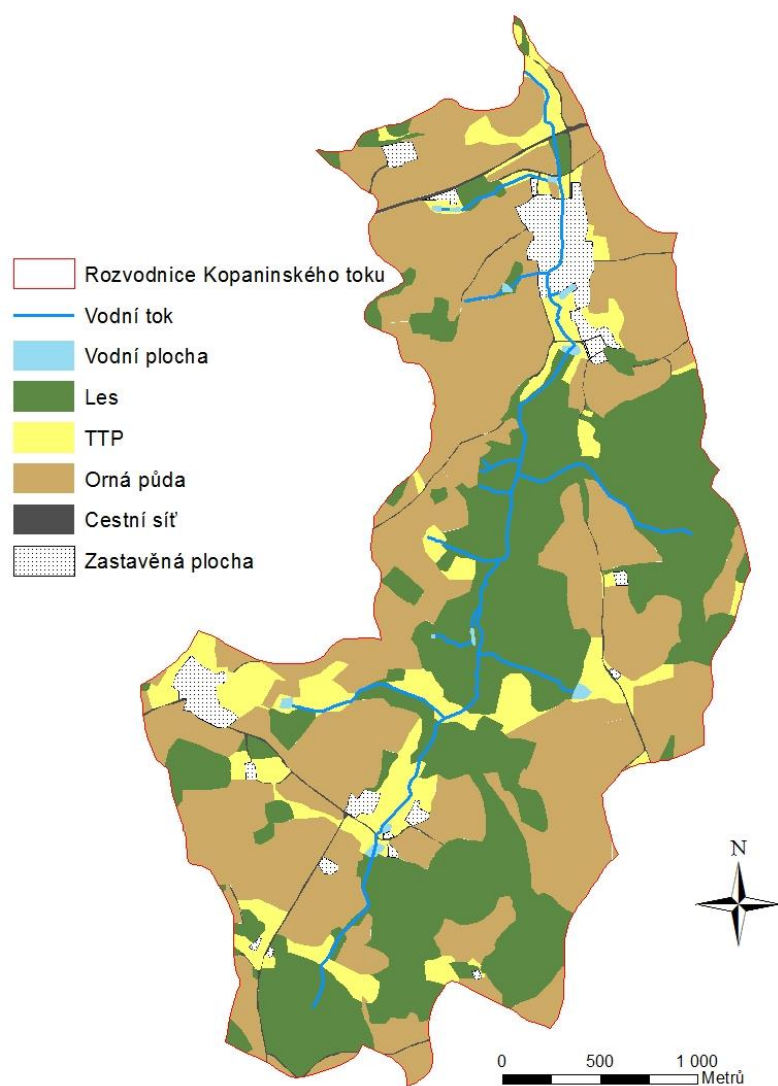
3.1 Charakteristika povodí Kopaninského toku

Povodí Kopaninského toku o celkové rozloze 8,73 km² se nachází v kraji Vysočina, konkrétně v oblasti bývalého okresu Pelhřimov, severovýchodně od města Pelhřimov a jihozápadně od města Humpolec (viz. obr. č. 5). Hlavním vodním tokem v tomto povodí je Kopaninský potok s průměrným sklonem 2,6 % a o délce 5,8 km, který se vlévá do Janovského potoka. Povodí se nachází v rozmezí nadmořských výšek 462-624 m.n.m. Průměrná nadmořská výška činní 546 m. Nejvyšším vrcholem v řešeném území je Pavlíčkův kopec (624 m.n.m.). V zájmovém území převažuje orná půda (49 %), podíl zalesnění je 36 % a 10 % z celkové plochy povodí zaujímá TTP. Zbývající plochu (5%) zaujímají ostatní plochy (zastavěná plocha, vodní plocha atd.). Celkové využití území je znázorněno v obr. č. 6. 10 % z celkové výměry povodí je odvodněno podpovrchovou drenáží, což představuje 87,2 ha z celkové plochy povodí. Od roku 1985 je povodí Kopaninského toku sledováno Výzkumným ústavem meliorací a ochrany půdy. V rámci této diplomové práce byla zkoumána 3 subpovodí označená jako P6, P52 a P53.



Obr. č. 5. Poloha povodí Kopaninského toku (mapy.cz, upraveno autorem, 2015)

POVODÍ KOPANINSKÉHO TOKU- LANDUSE



Obr. č. 6. Povodí Kopaninského toku- landuse (autor, 2015)

3.1.1 Klimatické poměry

Území ČR je dle *QUITTA (1971)* rozděleno na tři klimatické oblasti (chladná, mírně teplá a teplá), které jsou dále rozděleny na 12 podoblastí. Povodí Kopaninského toku je dle této klasifikace rozděleno do dvou klimatických oblastí označených jako MT3 a MT5. Základní charakteristiky jsou uvedené v tab. č. 3.

MT3- mírné až mírně chladné, suché až mírně suché, krátké léto. Přejídné období je normální až dlouhé, s mírným jarem a mírným podzimem. Zima bývá normálně dlouhá, mírná až mírně chladná, suchá až mírně suchá, normální až krátké trvání sněhové pokrývky.

MT5- mírné až mírně chladné, suché až mírně suché, normální až chladné léto. Přejídné období je normální až dlouhé, s mírným jarem a mírným podzimem. Zima bývá normálně dlouhá, mírně chladná, suchá až mírně suchá s normální až krátkou sněhovou pokrývkou.

Klimatická charakteristika	MT3	MT5
Počet letních dnů	20-30	30-40
Počet dnů s průměrnou $t \geq 10^{\circ}\text{C}$	120-140	130-140
Počet mrazových dnů	130-160	130-140
Počet ledových dnů	40-50	40-50
Průměrná teplota v lednu ($^{\circ}\text{C}$)	(-3)-(-4)	(-2)-(-3)
Průměrná teplota v červenci ($^{\circ}\text{C}$)	16-17	16-17
Průměrná teplota v dubnu ($^{\circ}\text{C}$)	6-7	6-7
Průměrná teplota v říjnu ($^{\circ}\text{C}$)	6-7	6-7
Průměrný počet dnů se srážkami ≥ 1 mm	110-120	100-120
Srážkový úhrn ve vegetačním období (mm)	350-450	350-450
Srážkový úhrn v zimním období (mm)	250-300	250-300
Počet dnů se sněhovou pokrývkou	60-100	60-100
Počet dnů zamračených	120-150	120-150
Počet dnů jasných	40-50	50-60

Tab. č. 3. Charakteristika klimatické oblasti (QUITT, 1971)

Končekova klasifikace zařazuje povodí Kopaninského toku do klimatické oblasti B5, která je charakterizována jako mírně teplá, mírně vlhká a vrchovinná (HYDROMETEOROLOGICKÝ ÚSTAV, 1958).

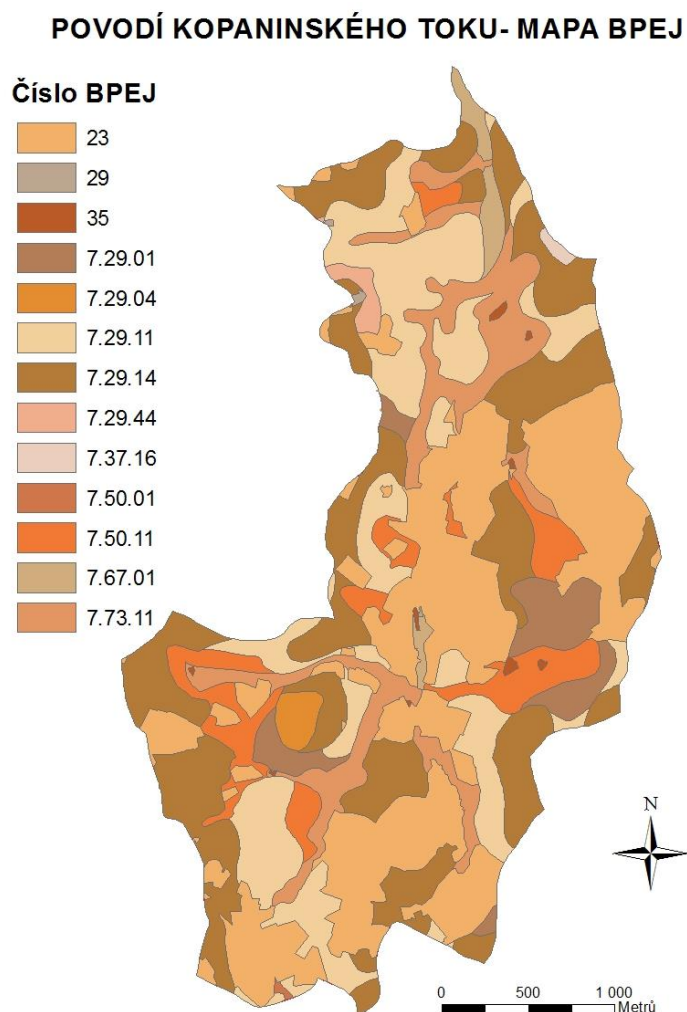
3.1.2 Gemorfologické, geologické a pedologické poměry

Z hlediska gemorfologického členění spadá povodí Kopaninského toku dle DEMEKA (1987) do provincie Česká vysočina, subprovincie Česko-moravská soustava, oblasti Českomoravská vrchovina a celku Křemešnická vrchovina. Tento celek je charakterizován jako plochá vrchovina a je tvořen převážně metamorfovanými horninami. Reliéf je vcelku monotónní a rozřezaný hlubokými údolími vodních toků. Nejvyšším bodem je vrch Křemešník (765 m.n.m).

Povodí Kopaninského toku svou polohou náleží do hydrogeologického rajonu 652- Krystalinikum v povodí Sázavy. Horniny krystalinika mají puklinovou propustnost, která v dosahu zvětrávacích procesů závisí hlavně na charakteru zvětralin (OLMER A KESSL, 1990).

Z hlediska biogeografického členění ČR spadá povodí Kopaninského toku do hercynské podprovincie a Pelhřimovského bioregionu. Bioregion se nachází na hlavním evropském rozvodí a je tvořen zdviženou plochou vrchovinou, převážně budovanou rulami. Má biotu 4. bukového a slaběji vyvinutého 5. jedlo-bukového stupně. Většina území je tvořena jednotvárným komplexem pararul až migmatů. Pro současnou krajinu jsou charakteristické drobné rašelinné louky, menší rybníky a fragmenty podhorských bučin. Avšak převažuje orná půda a kulturní smrčiny (CULEK, 1996).

Zastoupení půdních typů dle kódu BPEJ je znázorněno na obr. č. 7.



Obr. č. 7. Mapa BPEJ (autor, 2015)

Dle mapy klasifikace půd BPEJ se na povodí Kopaninského toku nacházejí tyto hlavní půdní jednotky:

HPJ 29

- kambizemě modální až mezobazická včetně slabě oglejených varie. Je nejrozšířenější HPJ na zájmovém území (4,4 km²).

HPJ 37

- kambizem litická, kambizem rankerová, ranker modální, pararendzina litická. Vyskytují se na 0,02 km² zájmového území.

HPJ 50

- kambizem oglejená, pseudoglej modální, pseudoglej kambický, pseudoglej dystrický, kambizem glejová. Tyto půdy jsou zastoupeny na 0,64 km² plochy území.

HPJ 67

- gleje, pseudoglej glejový, vyskytující se na ploše 0,13 km².

HPJ 73

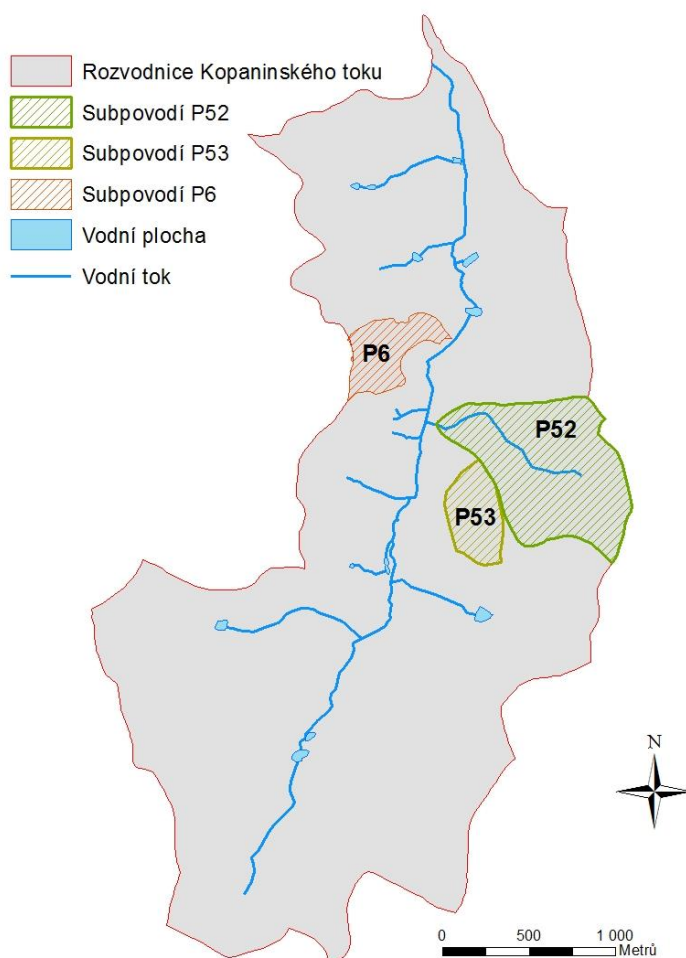
- katény půd: kambizem oglejená, pseudoglej glejový, glej hydroeluviovaný, glej povrchový, pseudoglej hydroeluviovaný, glej kambický. Zaujímá 0,86 km² plochy povodí.

3.1.3 Hydrologické poměry

Číslo hydrologického pořadí povodí Kopaninského toku je 1-09-02-031. Jedná se o povodí IV. řádu. Hlavním tokem v tomto povodí je Kopaninský potok o délce 5,8 km. Celkově je drenáží odvodněno 87,2 ha z plochy povodí (viz. příloha č. X).

Na území povodí Kopaninského toku byly v rámci této diplomové práce zkoumány tři subpovodí, které jsou značeny P6, P52 a P53. Polohu zkoumaných subpovodí znázorňuje obr. č. 8.

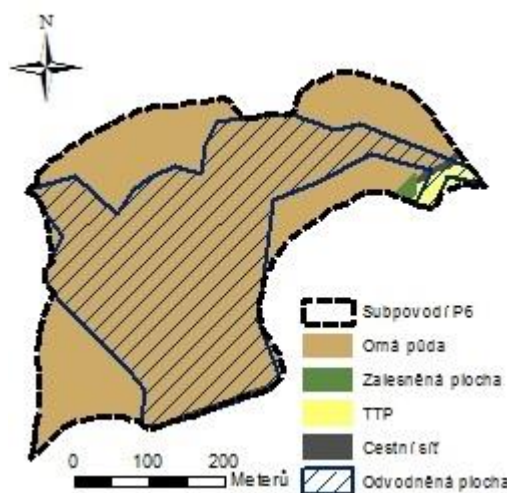
POVODÍ KOPANINSKÉHO TOKU- POLOHA SUBPOVODÍ



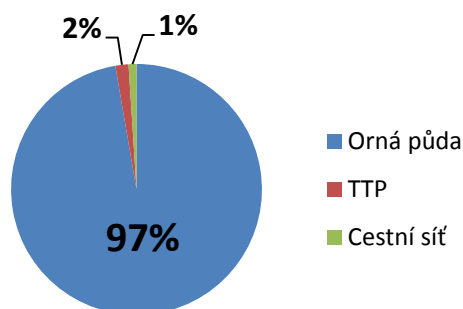
Obr. č. 8. Poloha zkoumaných subpovodí (autor, 2015)

3.1.4 Subpovodí P6

Toto subpovodí o rozloze 15,73 ha se nachází jihozápadně od obce Velký Rybník. Nadmořské výšky se pohybují v rozmezí 490-532 m.n.m. Toto území je využité především jako orná půda (viz. obr. č. 9 a graf č. 1). V této oblasti je systematickou drenáží odvodněno 9,68 ha, což představuje 62 % z celkové plochy povodí (viz obr. č. 9).



Obr. č. 9. Landuse P6 (autor, 2015)



Graf. č. 1. Landuse P6

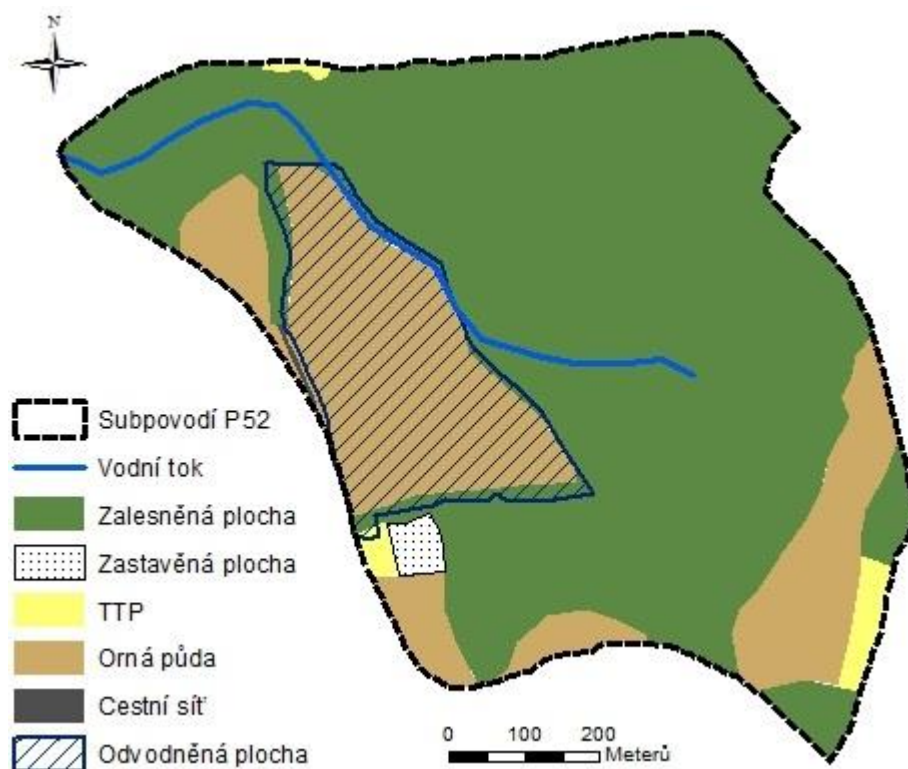
Dle kódu BPEJ se na subpovodí P6 se nacházejí následující půdy (viz. tab.č. 4):

BPEJ	VÝMĚRA [ha]	%	PŮDNÍ TYP
7.73.11	4,91	32,37	Kambizem oglejená, pseudoglej glejový, glej hydroeluviovaný, glej povrchový, pseudoglej hydroeluviovaný, glej kambický
7.29.11	6,65	43,84	Kambizem modální až mesobazická, včetně slabě oglejených varie
7.29.01	2,79	18,39	
7.29.14	1,38	5,4	

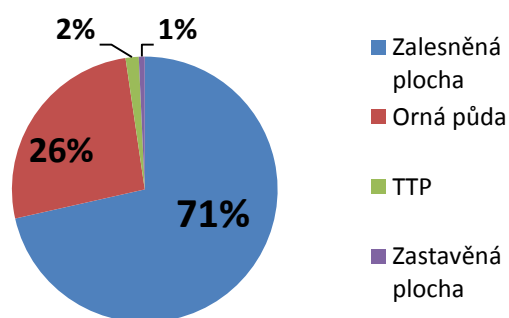
Tab. č. 4. Půdní poměry (P6)

3.1.5 Subpovodí P52

Subpovodí P52 se nachází jižně od obce Velký Rybník a jeho rozloha činí 64,93 ha. Nadmořské výšky se pohybují v rozmezí 508-614 m.n.m. V rámci využití území zde převažuje lesní společenství. Grafické znázornění využití území a % zastoupení ploch v tomto území je znázorněno na obr. č. 10., resp. v grafu č. 2. V subpovodí P52 je systematickou drenáží odvodněno 10,35 ha z celkové plochy (16 %). Jak je vidět z obr. č. 10, tak odvodnění se nachází na půdním bloku orné půdy.



Obr. č. 10. Landuse P52 (autor, 2015)



Graf. č. 2. Landuse P52

Na subpovodí P52 se dle charakteristiky BPEJ nacházejí tyto půdy (viz. tab. č. 5):

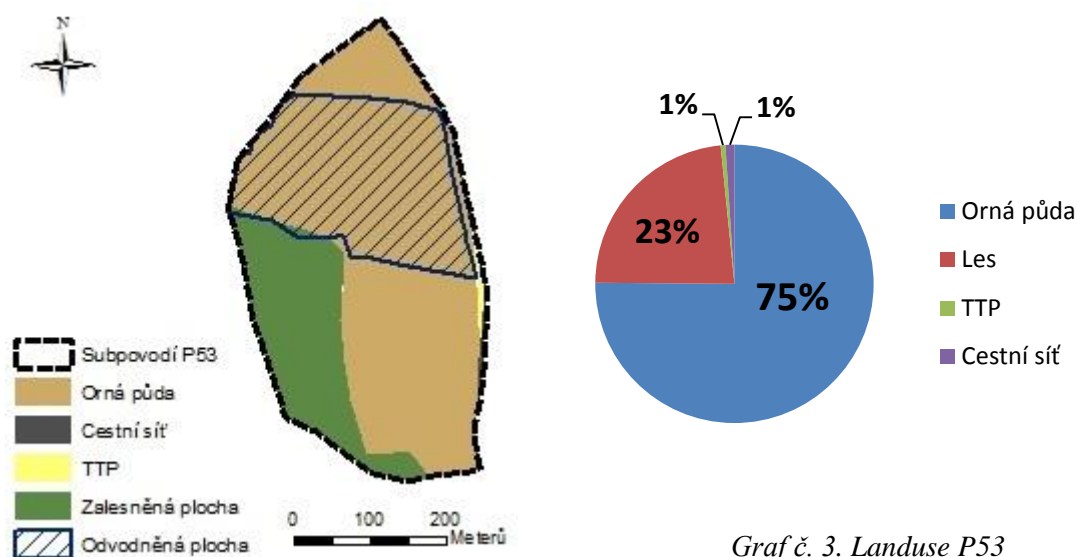
BPEJ	VÝMĚRA [ha]	%	PŮDNÍ TYP
23	41,18	63,41	Regozemě arenické a kambizemě arenické
35	0,17	0,26	Kambizemě dystrické, kambizemě modální mezobazické, kryptopodzoly modální včetně oglejených variet
7.29.01	1,66	2,56	Kambizem modální až mezobazická, včetně slabě

7.29.14	9,17	14,12	oglejených varie
7.50.11	9,33	14,37	Kambizem oglejená, pseudoglej modální, pseudoglej kambický, pseudoglej dystrický, kambizem glejová
7.73.11	3,42	5,28	Kambizem oglejená, pseudoglej glejový, glej hydroeluviovaný, glej povrchový, pseudoglej hydroeluviovaný, glej kambický

Tab. č. 5. Půdní poměry (P52)

3.1.6 Subpovodí P53

Subpovodí P53 je tvořeno především ornou půdou a z části také lesním společenstvím (viz. graf č. 3). Jeho plocha čítá 14,86 ha. Nachází se jižně od obce Velký Rybník a nadmořské výšky se v tomto subpovodí pohybují v rozmezí 532-590 m.n.m. Z tohoto území je odvodněno 5,4 ha z celkové plochy subpovodí (36 %). Jak je patrné z obr. č. 11, je odvodněna severní část subpovodí.



Graf č. 3. Landuse P53

Obr. č. 11. Landuse P53 (autor, 2015)

Dle kódu BPEJ se na subpovodí P53 nacházejí následující půdy (viz. tab. č.

6):

BPEJ	VÝMĚRA [ha]	%	PŮDNÍ TYP
23	3,19	21,47	Regozemě arenické a kambizemě arenické
7.29.01	1,58	10,63	Kambizem modální až mesobazická, včetně slabě oglejených varie
7.29.14	10,09	67,9	

Tab. č. 6. Půdní poměry (P53)

4. Metody

Veškeré zpracování mapových podkladů včetně plošných podílů odvodněných ploch a charakteristik povodí bylo prováděno v softwaru ArcMap 10. Byly vytvořeny mapy polohy jednotlivých subpovodí v povodí Kopaninského toku a mapa odvodnění v povodí Kopaninského toku. Digitalizací byla vytvořena mapa využití území jednotlivých subpovodí a povodí Kopaninského toku. Pro znázornění výškových poměrů v zájmovém území byl sestrojen digitální model terénu.

Dále byla zpracována dostupná data. K řešení této diplomové práce byla k dispozici data řady měření průtoků na 4 měrných profilech (P6, P52, P53 a T7U) a denní a 10-ti minutové intervaly spadlých srážek ze srážkoměru „u Turků“. Data byla poskytnuta katedrou krajinného managementu Jihočeské univerzity. Z těchto dat byly vyhodnoceny základní hydrologické charakteristiky: průměrné denní odtoky z konkrétních povodí [l/s], odtokové součinitele [-] a specifické odtoky [$l \cdot s^{-1} \cdot km^{-2}$]. Dále byla provedena separace odtoku různými metodami. V poslední části se tato práce zabývala analýzou srážko-odtokové události. Při porovnávání výsledků nelze mluvit o drenážovaných a nedrenážovaných povodí. Každé analyzované subpovodí bylo z určité části drenážované, proto tato byla práce zaměřena na porovnání více či méně drenážovaných subpovodí.

4.1 Odtokový součinitel

Odtokový součinitel je číselná hodnota, která vyjadřuje množství vody odtoklé ze spadlých srážek. Vyjadřuje se jako bezrozměrná hodnota (od 0 do 1), ale může se vyjádřit i v %. Odtokový součinitel bývá zařazován do základních charakteristik povodí (BERAN, 2009). Vyjadřuje celkové podmínky pro odtok v povodí bez rozlišení rozhodujících činitelů geografického prostředí (HERBER, 1996). Odtokový součinitel byl vypočítán pro konkrétní subpovodí (P6, P52, P53) a také pro celkové povodí Kopaninského toku (T7U). Jako časové intervaly byly vybrány hydrologické roky 2009, 2010 a 2011. Pro subpovodí P53 byly odtokové součinitele počítány jen pro hydrologické roky 2009 a 2010. Hydrologický rok 2011 nebyl do tohoto vyhodnocení zařazen z důvodu nedostatku potřebných dat. Odtokový součinitel byl vypočítán dle rovnice [4].

$$\Phi = \frac{H_o}{H_s} [-; \%] \quad [4]$$

kde: Φ - odtokový součinitel [-; %],

H_o - odtoková výška [mm],

H_s - roční objem srážek [mm].

K výpočtu součinitele odtoku byly použity roční objemy srážek ze srážkoměru „u Turků“. Průměrné denní průtoky musely být nejprve převedeny na celkové denní průtoky. Dále byly vypočítány celkové odtoky za dané časové období. Odtoková výška H_o byla vypočítána z následující rovnice [5].

$$H_o = \frac{O_r}{P} [\text{mm}] \quad [5]$$

kde: H_o - odtoková výška [mm],

O_r - roční objem odtoku [$\text{l}\cdot\text{s}^{-1}$],

P - plocha povodí [m^2].

4.2 Specifický odtok

Dle *HERBERA (1996)* je specifický odtok definován jako odtok vody z povodí vyjádřený v jednotkách objemu za jednotku času z jednotky plochy. Specifický odtok umožňuje vzájemně porovnávat celkové podmínky pro odtok v jednotlivých povodích. Specifické odtoky byly vypočítány pro celé povodí Kopaninského toku a pro subpovodí P6, P52 a P53. Pro tyto výpočty byly jako časové intervaly vybrány hydrologické roky (2009, 2010, 2011), dále měsíční intervaly, vegetační a nevegetační období. Hydrologický rok 2011 nebyl do vyhodnocení pro subpovodí P53 zařazen z důvodu nedostatku dat. Specifické odtoky byly vypočítány také pro suchá a vodná období. Suchá období byla vymezena na základě srážkového úhrnu a ustálenosti odtoku. Z údajů srážkového úhrnu byla také vymezena vodná období. Výsledky výpočtů specifických odtoků z jednotlivých subpovodí byly následně porovnány. Specifický odtok byl vypočítán dle rovnice [6].

$$q = \frac{Q_a}{P} \text{ [l.s}^{-1}\text{.km}^{-2}\text{]} \quad [6]$$

kde: q - specifický odtok [$\text{l.s}^{-1}\text{.km}^{-2}$],

Q_a - dlouhodobý průměrný roční průtok [l.s^{-1}],

P - plocha povodí [km^2].

4.3 Separace odtoku

Jedním ze základních nástrojů hydrologie je separace složek odtoku, které dohromady tvoří celkový odtok vody z povodí v závěrovém profilu (*KULHAVÝ A KOL., 2001*). Jak už bylo řečeno, odtok je tvořen složkami povrchového odtoku, hypodermického odtoku a odtoku podzemních vod. Poměr těchto tří složek celkového odtoku je plošně a zejména časově značně proměnlivý a je ovlivňován řadou činitelů. Zvláště pro rozlohou větší územní celky je obtížné v časovém průběhu samostatně vyčlenit složku povrchového a hypodermického odtoku. Proto se obvykle odtok rozčleňuje pouze na základní odtok a na přímý odtok (součet povrchového a hypodermického odtoku). Metod rozčlenění odtoku je celá řada (*KLINER A KOL., 1978*).

Jako nástroj pro separaci odtoku byl použit autorizovaný software (SW), který vytvořili *KULHAVÝ A ČERNOHOUS (2013)*. Vznikl na základě smlouvy o poskytnutí podpory na řešení projektu výzkumu a vývoje č. QI112A17 „Lesnické a zemědělské aspekty řízení vodní komponenty v krajině“ mezi Ministerstvem zemědělství a autory. Tento SW je dostupný na <http://www.hydromeliorace.cz/separace> (*KULHAVÝ A ČERNOHOUS, 2013*). SW rozčleňuje odtok vody z povodí několika různými metodami. Konkrétně využívá medy GROUND, MGPM a také digitální filtry Chapman & Maxwell a Nathan & McMahon. Pro potřeby této diplomové práce byly z těchto metod separace odtoku vybrány dvě. První metodou je metoda GROUND, která je zaměřena na separaci přímého odtoku a byla vytvořena pro potřeby rozčlenění odtoků z malých povodí v ČR. Jako druhá metoda byla vybrána metoda digitálního filtru podle Chapmana & Maxwella. Tento druh separace odtoku byl vytvořen pro separaci základního odtoku. Jako vstup do tohoto SW byly použity celkové střední denní průtoky Q_C [l/s]. Výstupem po zpracování dat SW byly střední denní odtoky základního odtoku (Q_Z).

[l/s] a odtoku přímého (Q_P) [l/s] pro jednotlivé metody separace odtoku. Pracovní prostředí v SW je znázorněno na obr. č. 12.

Obr. č. 12. Pracovní prostředí v SW (<http://www.hydromeliorace.cz/separace>)

Jednoduchou metodou byl také zjištěn odtok hypodermický (Q_H). Hodnoty přímého odtoku, které byly získány pomocí metody GROUND a hodnoty základního odtoku získané naopak metodou digitálního filtru podle Chapmana & Maxwella byly nejprve sumarizovány. Následně byla tato suma odečtena od celkového odtoku. Výsledek této rovnice se rovná hodnotám hypodermického odtoku (Q_H).

4.3.1 Metoda GROUND (separation of GROUNDwater runoff)

Podle *KULHAVÉHO A KOL. (2001)* se metoda GROUND řadí do metod empirických a je odladěná tak, aby separované hydrogramy středních denních odtoků z povodí o ploše jednotek km^2 odpovídaly autory nabytým zkušenostem. Tato metoda obsahuje jediný proměnlivý vstupní parametr COEF (koeficient přírůstku základního odtoku). Pro povodí řádu jednotek km^2 je hodnota COEF empiricky odladěna na hodnotu 0,075. Hodnota tohoto koeficientu byla převzata pro separaci složek odtoku pro všechny povodí. Nepočítají-li se pomocné proměnné, je dalším vnitřním parametrem DIFF (přírůstek základního odtoku). Při vstupu řady odtoků jsou výstupem řady základních (Q_Z) a přímých odtoků (Q_P). Součet základního (Q_Z)

a přímého odtoku (Q_P) je v každém časovém intervalu roven celkovému odtoku (Q_C).
Algoritmus výpočtu je následující:

- i) První člen řady je považován za Q_Z , tzn. v prvním dni je Q_P nulový. Předpokládá se, že v časovém období prvního dne a dní předchozích nenastala žádná povodňová situace. DIFF se nastaví na nulu ($DIFF = 0$).
- ii) Dalším krokem je porovnání průtoku v každém následujícím dni s průtoky naměřených ve dnech předchozích. Dále se podle toho, jestli přetrvává či nikoliv povodňová situace z předchozích dní. Mohou nastat 4 situace:
 - (1) Nepřetrvává povodňová situace a průtok se nezvyšuje. V této situaci se předpokládá, že Q_C je dotován pouze Q_C a Q_P je nulový. V tomto případě $DIFF = 0$.
 - (2) Nepřetrvává povodňová situace a průtok se zvyšuje. V této situaci je Q_Z roven odtoku z předchozího dne a za Q_P se považuje celkový přírůstek odtoku. Tyto hodnoty Q_Z a Q_P mohou být zpětně korigovány- viz situace ii.3.a, ii.3.b. Tato situace je považována za počátek povodňové situace. Hodnota DIFF se nastaví na hodnotu COEF-násobku přírůstku Q_C , která se uplatní v následujícím dni.
 - (3) Přetrvává povodňová situace a zvyšuje se průtok. Poté se situace dělí na následující případy:
 - (a) Q_Z , který je v předchozím dni zvětšený o hodnotu DIFF nastavenou v předchozím dni, je větší než průtok v aktuálním dni. Jestliže je tato podmínka splněna, pak platí, že Q_Z je roven Q_C . Q_P je tedy roven nule. Pokud je současně Q_Z v aktuálním dni menší než Q_Z ve dni předchozím, pak se na hodnotu Q_Z v aktuálním dni zpětně nastaví i hodnota Q_Z ve dni předchozím (tj. sníží se). A Q_P se ve dni předchozím o tuto hodnotu zpětně zvýší.
 - (b) Průtok v aktuálním dni je větší než Q_Z ve dni předchozím zvětšený o hodnotu DIFF nastavenou v předchozím dni nebo je takto upravenému (zvětšenému) Q_Z roven. Pak se Q_Z v aktuálním dni rovná Q_Z z předchozího dne zvětšenému o hodnotu DIFF nastavenou v předchozím dni. Při splnění těchto podmínek se zbylá část průtoku rovná Q_P .

(4) Přetrvává povodňová situace a současně se průtok nezvyšuje. Za této situace se rozlišují dva případy:

- (a) Průtok v aktuálním dni je větší než Q_Z ve dni předchozím zvětšený o hodnotu DIFF nastavenou v předchozím dni nebo je takto upravenému Q_Z roven. Poté se Q_Z v aktuálním dni rovná Q_Z z předchozího dne zvětšeného o hodnotu DIFF nastavenou v předchozím dni. Zbylá část průtoku je považována za Q_P . Hodnota DIFF zůstává stejná, nadále trvá povodňová situace.
- (b) Průtok v aktuálním dni je menší než Q_Z v předchozím dni zvětšený o hodnotu DIFF nastavenou ve dni předchozím. Q_C je pak považován za hodnotu Q_Z . Q_P je v tomto případě nulový. Povodňová situace je u konce a hodnota DIFF se nastavuje na nulu. Pokud je Q_Z v aktuálním dni menší než Q_Z ve dni předchozím, pak se na hodnotu Q_Z v aktuálním dni zpětně nastaví i Q_Z ve dni předchozím (sníží se) a Q_P ve dni předchozím se o tutéž hodnotu zpětně zvýší (KULHAVÝ A KOL., 2001).

4.3.2 Metoda Chapman & Maxwell

Tato metoda je nazvaná podle jejich autorů a byla navržena k separaci složky základního odtoku. Autoři využili analogie s digitálním filtrováním vysokofrekvenčních signálů ze signálů s nízkou frekvencí. Přitom složka základního odtoku náležela nízkofrekvenčnímu signálu a složka přímého odtoku zase signálu vysokofrekvenčnímu. Separace složek odtoku se zakládá na následujících rovnicích [7] a [8] (CHAPMAN, 1999):

$$Q_Z(i) = \frac{k}{2-k} Q_Z(i-1) + \frac{1-k}{2-k} Q_C(i) \quad [7]$$

kde: $Q_Z(i)$, $Q_Z(i-1)$ - složka základního odtoku v i -tém, resp. $(i-1)$ -tém výpočtovém intervalu,

$Q_C(i)$ - celkový střední průtok v i -tém výpočtovém intervalu,

k - filtrační parametr (konstanta poklesu filtrovaného průtoku).

Dále platí podmínka: $Q_Z \leq Q_C$ [8]

Hodnotu filtračního parametru „ k “ je třeba odhadnout nebo použít ověřenou hodnotu. Pro potřeby této diplomové práce byl parametr „ k “ nastaven na hodnotu **0,99483**. Tato hodnota byla přímo na tomto území použita několika autory (*BYSTRICKÝ, 2012; ŽLÁBEK, 2009*).

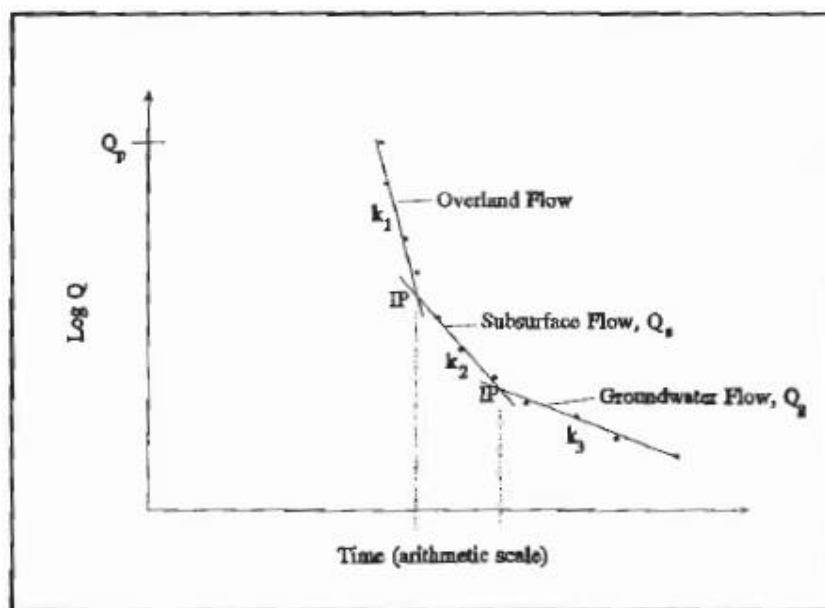
4.4 Analýza srážko-odtokových situací

V rámci této diplomové práce byla také provedena analýza srážko-odtokových událostí. Nejprve byla vybrána srážko-odtoková událost. Tato událost byla vybrána podle předem určených kritérií. Hlavním úkolem bylo vybrat takovou událost, aby odtok z porovnávaných subpovodí reagoval pouze na jednu srážku. Srážky byly voleny pouze ve vegetačním období, aby půda nebyla zmrzlá a aby vyhodnocení neovlivňoval tající sníh. Každá událost musela dále splňovat, aby měla jednoduchý průběh, tzn., aby měla jeden vrchol. Dalším důležitým kritériem bylo, aby půda nebyla příliš nasycena vodou. Proto u těchto událostí byly také zjišťovány úhrny srážek za posledních pět dní a u každé z nich byl stanoven index předchozích srážek. Index předchozích srážek (IPS) podle *DUFKOVÉ A KOL. (2005)* udává vlhkost půdy určené na základě pětidenního úhrnu předchozích srážek a řadí se do tří stupňů- I, II, III. Ve vegetačním období je hodnota IPS I < 36 mm. Hodnoty IPS II jsou v rozmezí 36-53 mm. IPS III je charakterizován úhrnem srážek > 53 mm. Pro potřeby této diplomové práce byly vybrány události, které mají IPS I (suché).

Na základě výše uvedených kritérií byla vyselektována jedna srážko-odtoková událost. Byly vytvořeny hydrogramy, které znázorňují reakci odtoku na konkrétní srážku. Následujícím krokem byla analýza poklesových větví těchto událostí. *SERANO (1997)* uvádí, že poklesová větev vyjadřuje postupný pokles odtékajícího množství vody v čase. Poklesové větve rozdělují celkový objem odtoku na efektivní srážky a podzemní odtok s delší dobou zdržení.

K sestavení poklesové větve byly nejprve nalezeny z hydrogramů hodnoty kulminačních odtoků. Hodnoty odtoků v hodinových intervalech od kulminace až po ustálení byly zlogaritmovány a vyneseny do grafu na osu Y. Na osu X v grafu byly vyneseny hodnoty času v hodinových intervalech. Následně byly z grafů určeny inflexní body (IP). IP 1 se podle *SERANA (1997)* snadno z hydrogramu identifikuje vizuální kontrolou a nachází na začátku stoupající odtokové vlny. IP 2 a IP 3 byly určeny z poklesových větví. Body v grafu u poklesových větví byly proloženy třemi

přímkami a v bodech protnutí těchto přímek se nacházely IP 2 a IP 3. Obr. č. 13 znázorňuje proložení poklesové větve přímkami.



Obr. č. 13. Schéma poklesové větve (SERANO, 1997)

Časy protnutí přímek byly zaznamenány a vyneseny do hydrogramu, ve kterém se vyznačili IP 2 a IP 3. Následně se v hydrogramu přímkou spojily IP 1 a IP 2. Objem odtoku nad touto přímkou odpovídá přímému odtoku. Dále se přímkou propojily IP 1 a IP 3. Naopak hodnoty nad touto přímkou odpovídají odtoku hypodermickému. Následně byly vypočítány plochy jednotlivých složek odtoku a byly porovnány mezi jednotlivými subpovodími.

5. Výsledky a diskuze

Výsledky ukazují, že v porovnání s ostatními subpovodími vykazuje subpovodí P53 výrazně nejmenší odtoky. Toto území, které je ze 75 % využito jako orná půda a 36 % z celkové plochy povodí je odvodněno systematickou drenáží. Proto se tato práce zaměřila na porovnání subpovodí P6, P52 a celkového povodí Kopaninského toku, které se pro tento účel jeví jako nejvhodnější.

5.1 Průměrný denní odtok [$l \cdot s^{-1}$]

K znázornění odtokových situací v jednotlivých povodích byly zjištěny průměrné denní odtoky. Jako časové intervaly byly zvoleny hydrologické roky (2009, 2010 a 2011). Výsledky byly vloženy do tab. č. 7 ($l \cdot s^{-1}$).

Hydrologický rok	Území			
	P6	P52	P53	T7U
2009	0,76	1,81	0,24	29,00
2010	1,05	2,66	0,26	40,30
2011	0,95	2,24	-	32,20

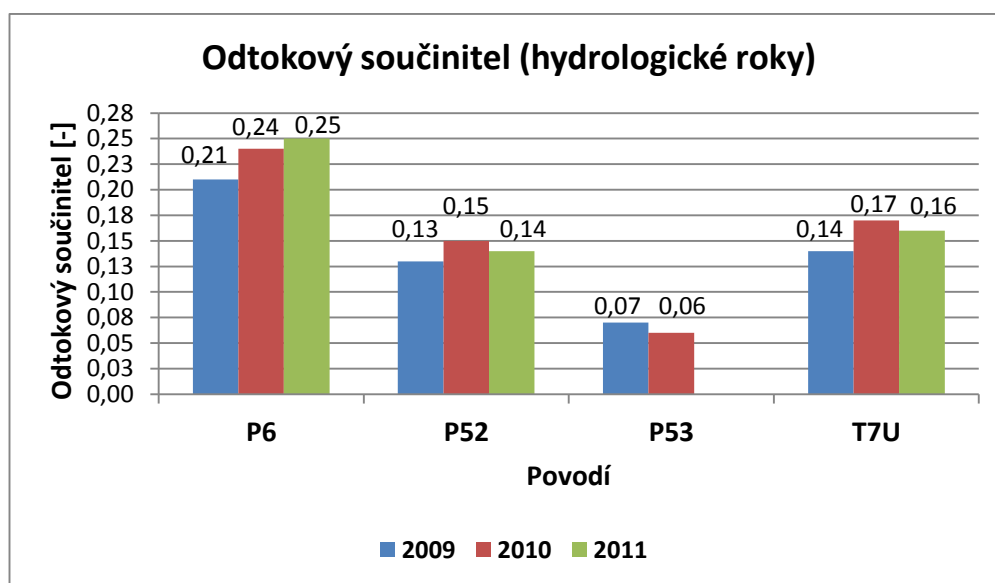
Tab. č. 7. Průměrný denní odtok ($l \cdot s^{-1}$)

Z tab. č. 7 je patrné, že průměrný denní odtok je dle předpokladu výrazně nejvyšší z celkového povodí Kopaninského toku (měrný profil T7U). Při porovnání průměrných denních odtoků z jednotlivých subpovodí byly zjištěny nejvyšší hodnoty u subpovodí P52, které je co se týče plochy největší. Subpovodí P6 a P53, které mají přibližně shodnou plochu (15,73 ha a 14,86 ha), měli výrazně rozdílný průměrný denní odtok. Ze subpovodí odtéká výrazně větší množství vody než ze subpovodí P53.

5.2 Odtokový součinitel [-]

Pokud se do vyhodnocení nezahrnou hodnoty odtokového součinitele ze subpovodí P53, tak je z grafu č. 4 je patrné, že nejnižší hodnoty odtokového součinitele byly ve všech třech porovnávaných obdobích zjištěny u subpovodí P52.

Toto území je ze 71 % zalesněné, díky tomu má vysoký podíl retenční schopnosti a evapotranspirace. Podobné hodnoty byly zjištěny i u celkového povodí Kopaninského toku, které má podíl zalesnění 36 %. Naopak nejvyšší hodnoty součinitele odtoku byly podle předpokladu zjištěny u subpovodí P6 a to v hydrologickém roce 2009, 2010 i 2011. Subpovodí P6 je využíváno z 97 % jako orná půda. Na urychlení odtoku ze spadlých srážek má také vliv vybudované odvodnění systematickou drenáží (62 %).



Graf č. 4. Odtokový součinitel za hydrologické roky 2009, 2010, 2011

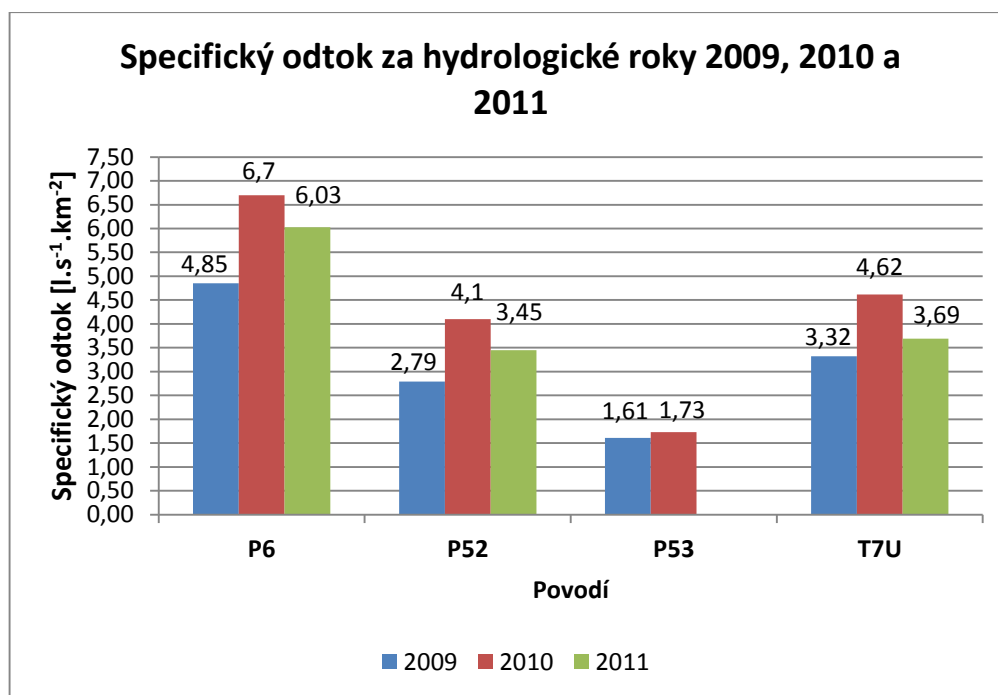
5.3 Specifický odtok [$\text{l}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{km}^{-2}$]

Jednotlivá vyhodnocována subpovodí mají rozdílnou plochu, proto byly ke konkrétnějšímu porovnání využity hodnoty specifických odtoků, které zohledňují velikost zkoumaného území.

5.3.1 Hydrologické roky

Základní časovou jednotkou pro výpočet a porovnání specifických odtoků z konkrétních subpovodí (P6, P52, P53) a celého povodí Kopaninského toku byly hydrologické roky (2009, 2010 a 2011). Hodnoty specifických odtoků z konkrétních povodí za hydrologické roky jsou zobrazeny v grafu č. 5. Výsledky výpočtů ukazují fakt, že výrazně nejvyšší hodnoty specifického odtoku vykazovalo subpovodí P6 ve

všech třech porovnávaných časových intervalech. Tyto vysoké hodnoty specifických odtoků může mít za následek druh využití území. P6 je využito především jako orná půda, na které bývají specifické odtoky vyšší. Subpovodí P6 je také nejvíce odvodněno ze všech porovnávaných území (62 %).

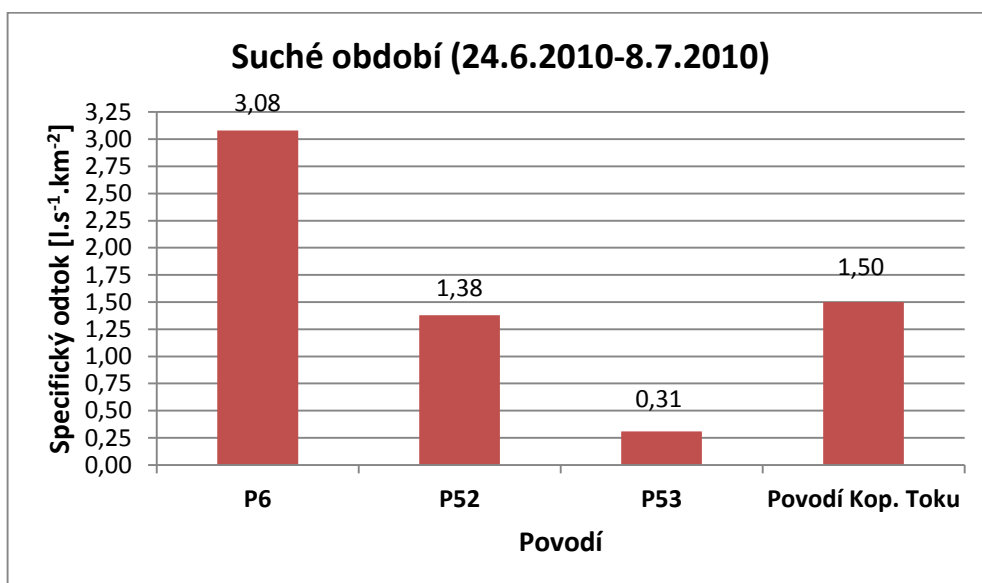


Graf č. 5. Specifický odtok za hydrologické roky 2009, 2010, 2011

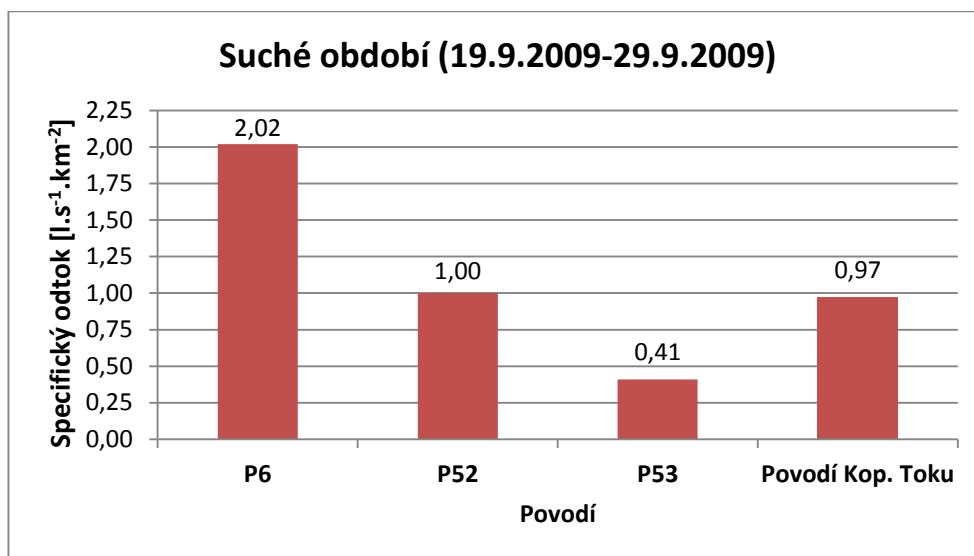
5.3.2 Suchá období

Pro názornější porovnání specifických odtoků z různých subpovodí byla vybrána dvě suchá období. První časový úsek začíná 24.6.2010 a končí 8.7.2010. Srážkový úhrn v tomto úseku byl nulový. Hodnoty specifických odtoků jsou zobrazeny v grafu č. 6. Druhý časový úsek byl vymezen od 19.9.2009 do 29.9.2009. V tomto období byl srážkový úhrn celkem 0,6 mm (denní průměr činil 0,05 mm). Výsledky výpočtů specifických odtoků v tomto období ukazuje graf č. 7. Z grafů č. 6. a 7. je patrné, že v obou zkoumaných suchých obdobích byl zjištěn nejvyšší specifický odtok ze subpovodí P6. Tento jev může být způsoben přítomností systematické drenáže, která urychluje odtok vody z povodí. Subpovodí P6 je využíván jako orná půda a je systematickou drenáží odvodněno z 62 %. Jak uvádí *KULHAVÝ A KOL. (2010)*, tak vysoká intenzita drenáže i v suchých obdobích urychluje odtok podzemní vody, která by jinak pomalu proudila podzemní cestou.

Také *SOUKUP A KOL. (2007)* potvrzují, že vybudované drenážní odvodnění zvyšuje odtok vody z povodí i v období sucha.



Graf č. 6. Specifický odtok při suchém období (24.6.2010- 8.7.2010)

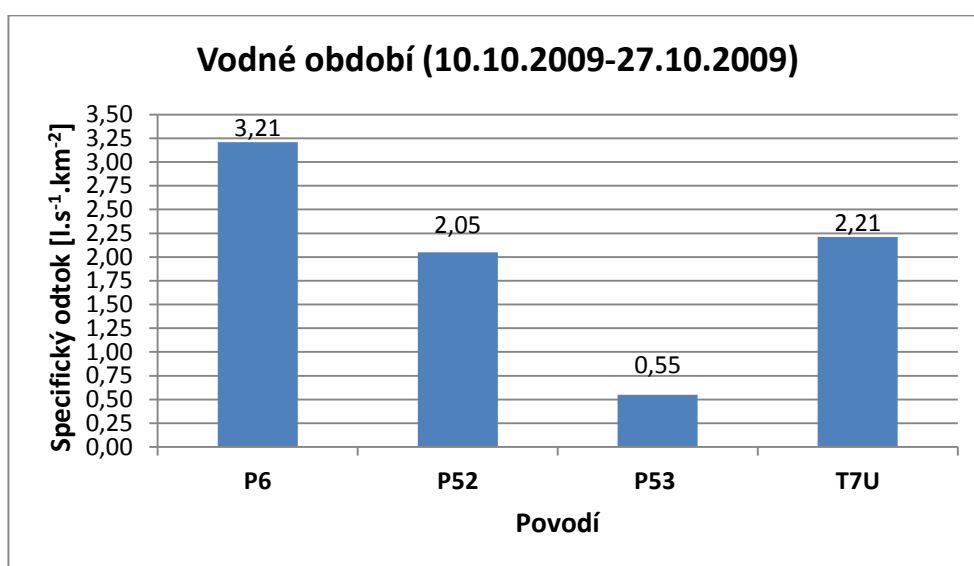


Graf č. 7. Specifický odtok při suchém období (19.9.2009- 29.9.2009)

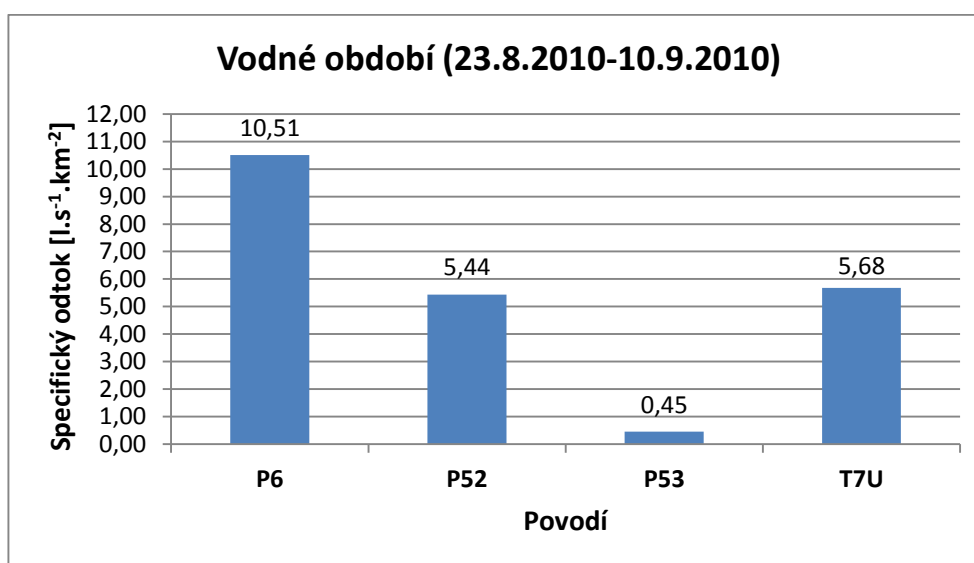
5.3.3 Vodná období

Specifické odtoky z konkrétních povodí byly porovnávány také pro vodná období. Časové úseky byly vybrány dle srážkového úhrnu. V rámci této diplomové práce byly stejně jako u suchých období vybrány dvě vodné epizody. První vodné období začíná 10.10. 2009 a končí 27.10. 2010. V této epizodě byl celkový srážkový

úhrn 59,7 mm. Na povodí spadlo denně průměrně 3,3 mm srážek. Porovnání specifických odtoků z jednotlivých povodí je znázorněno v grafu č. 8. Druhé vodné období pro porovnání specifických odtoků bylo vybráno v rozmezí od 23.8. 2010 do 10.9. 2010. Srážkový úhrn v tomto úseku byl celkem 86 mm. Průměrně spadlo 4,5 mm srážek za den. Specifické odtoky z jednotlivých povodí jsou zobrazeny v grafu č. 9. Výsledkem výpočtu byl fakt, že nejvyšší specifický odtok byl zjištěn u subpovodí P6 v obou vodných obdobích. To potvrzuje *KULHAVÉHO A KOL. (2010)*, který uvádí, že systematická drenáž hlavně ve vodných obdobích urychluje odtok vody z povodí a zvyšuje jeho intenzitu.



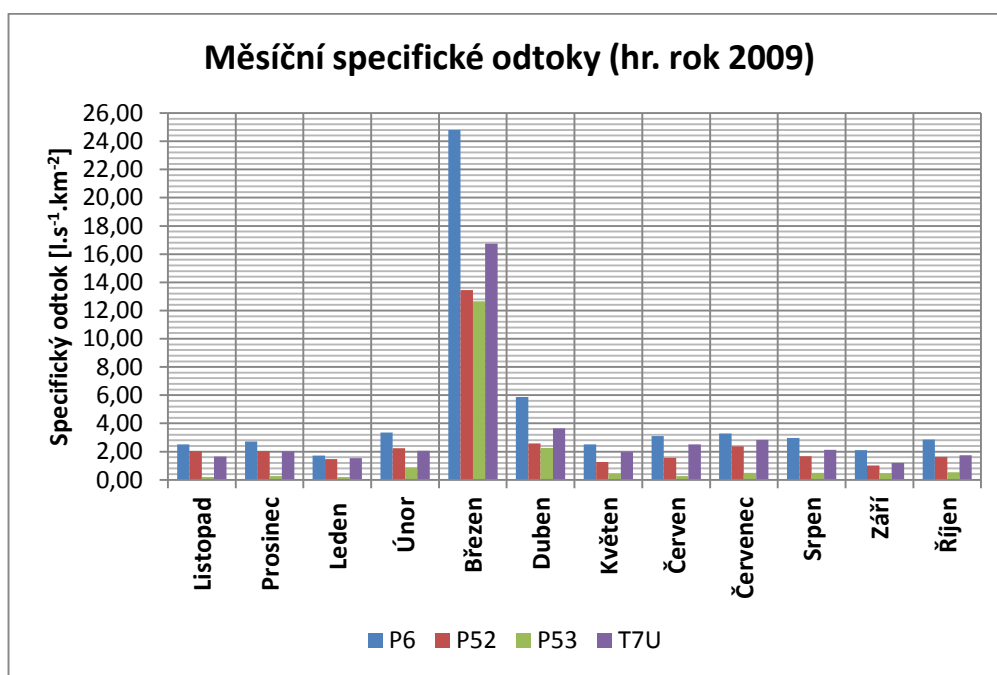
Graf č. 8. Specifický odtok ve vodném období (10.10.2009-27.10.2009)



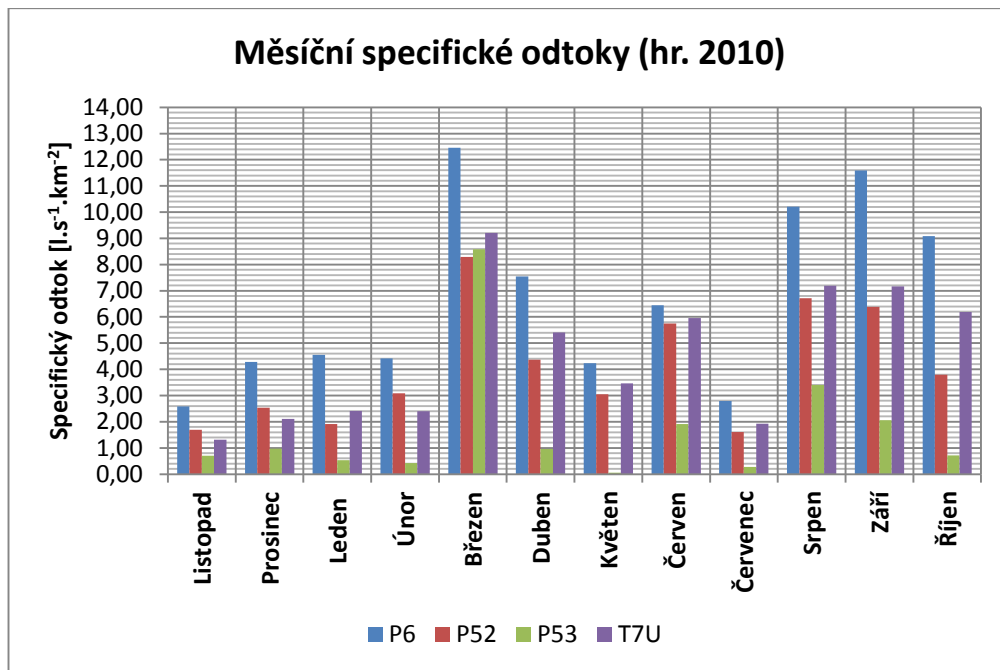
Graf č. 9. Specifický odtok ve vodném období (23.8.2010- 10.9.2010)

5.3.4 Jednotlivé měsíce

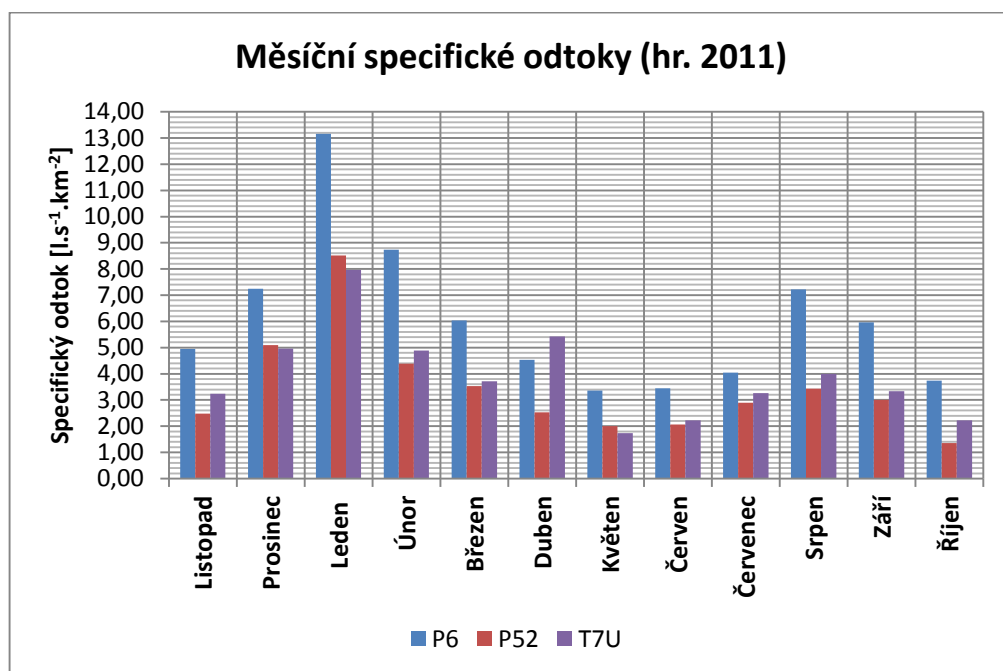
Ke konkrétnějšímu porovnání jednotlivých subpovodí byly vypočítány specifické odtoky pro jednotlivé měsíce v hydrologických letech 2009, 2010 a 2011. Subpovodí P53 nebylo zahrnuto do vyhodnocení za rok 2011 z důvodu nedostatku potřebných dat. Výsledky výpočtů jsou znázorněny v grafech č. 10, 11 a 12. Z grafů je patrné, že specifický odtok ze subpovodí P6 je nejvyšší v každém konkrétním měsíci po všechny tři hydrologické roky. To může být způsobeno systematickou drenáží, která se na území nachází a zvyšuje celkový odtok z povodí. Tento fakt může potvrzovat *RADČENKA A NĚMCE (1980)*, kteří uvádí, že vybudovaná systematická drenáž v některých případech až mnohonásobně urychluje odtok vody z povodí.



Graf č. 10. Specifický odtok v jednotlivých měsících v hr. roce 2009



Graf č. 11. Specifický odtok v jednotlivých měsících v hr. roce 2010



Graf č. 12. Specifický odtok v jednotlivých měsících v hr. roce 2011

5.4 Separace odtoku

K separaci přímého odtoku (rychlé složky odtoku) z konkrétních povodí byla jako vhodná metoda vybrána metoda GROUND. Naopak jako nejvhodnější metoda k separaci základního odtoku (pomalé části odtoku) byla použita metoda digitálního filtru podle Chapmana & Maxwella. Rozčlenění složek odtoků bylo prováděno ve stejném časovém intervalu (hydrologické roky 2009, 2010 a 2011) pro všechna povodí. U subpovodí P53 z nedostatku potřebných dat nebyl vyhodnocen hydrologický rok 2011. Použití stejného časového období je důležité zejména z hlediska porovnatelnosti výsledků. Výstupy ze SW byly vloženy do tab. č. 8, tab. č. 9, resp. tab. č. 10. Zmíněné tabulky znázorňují objem složek přímého, základního a hypodermického odtoku z konkrétních subpovodí (P6, P52, P53) a celého povodí Kopaninského toku. Dále tabulky udávají celkový odtok za konkrétní hydrologický rok [$\text{l}\cdot\text{s}^{-1}$]. Jednotlivé složky odtoku jsou znázorněny v $\text{l}\cdot\text{s}^{-1}$ a také v %.

Hydrologický rok 2009	Q _P [$\text{l}\cdot\text{s}^{-1}$]	Q _Z [$\text{l}\cdot\text{s}^{-1}$]	Q _H [$\text{l}\cdot\text{s}^{-1}$]	Q _P [%]	Q _Z [%]	Q _H [%]	Q _C [$\text{l}\cdot\text{s}^{-1}$]
P6	69	131	78	25	47	28	278
P52	193	295	172	30	45	25	660
P53	32	26	29	37	30	33	87
Povodí Kop. toku	2929	4899	2752	28	46	26	10580

Tab. č. 8. Separace odtoku (h. r. 2009)

Tab. č. 8 ukazuje, že nejmenší zastoupení povrchového odtoku bylo zjištěno ze subpovodí P6. Jelikož je toto subpovodí z velké části drenážované (62 %), mohou tyto nízké hodnoty povrchového odtoku znázorňovat fakt, že větší část celkového odtoku pochází z preferovaných cest drenážních systémů. Toto zjištění potvrzuje teorii KUDRNY (1987), který uvádí, že systematická drenáž snižuje povrchový odtok vody. Jak je uvedeno v tab. č. 9 a č. 10, tak subpovodí P6 vykazovalo nejmenší zastoupení povrchového odtoku ve všech třech porovnávaných časových intervalech, kterými byly hydrologické roky (2009, 2010 a 2011). Výsledky porovnání zastoupení jednotlivých složek odtoku u subpovodí P52 a u celkového povodí Kopaninského toku byly přibližně stejné.

Hydrologický rok 2010	Q _P [l.s ⁻¹]	Q _Z [l.s ⁻¹]	Q _H [l.s ⁻¹]	Q _P [%]	Q _Z [%]	Q _H [%]	Q _C [l.s ⁻¹]
P6	87	161	137	23	42	35	385
P52	330	406	237	34	42	24	973
P53	43	28	23	46	30	24	94
Povodí Kop. toku	4564	5759	4386	31	40	29	14709

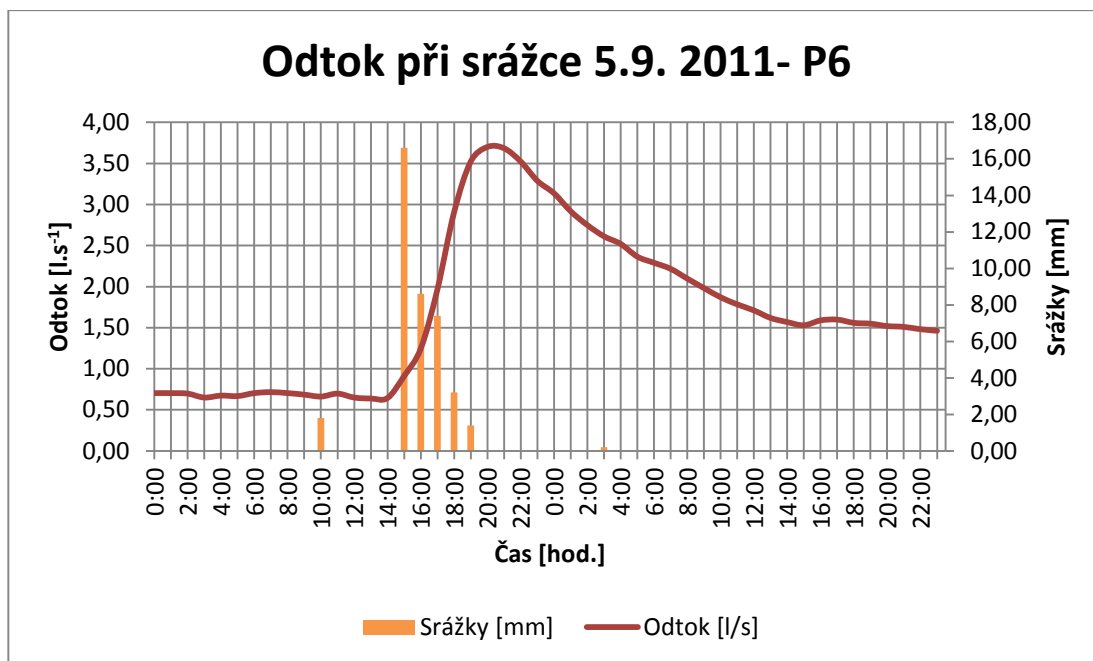
Tab. č. 9. Separace odtoku (h. r. 2010)

Hydrologický rok 2011	Q _P [l.s ⁻¹]	Q _Z [l.s ⁻¹]	Q _H [l.s ⁻¹]	Q _P [%]	Q _Z [%]	Q _H [%]	Q _C [l.s ⁻¹]
P6	56	211	79	16	61	23	346
P52	23	458	336	27	56	17	817
P53	-	-	-	-	-	-	-
Povodí Kop. toku	2710	7154	1882	23	61	16	11746

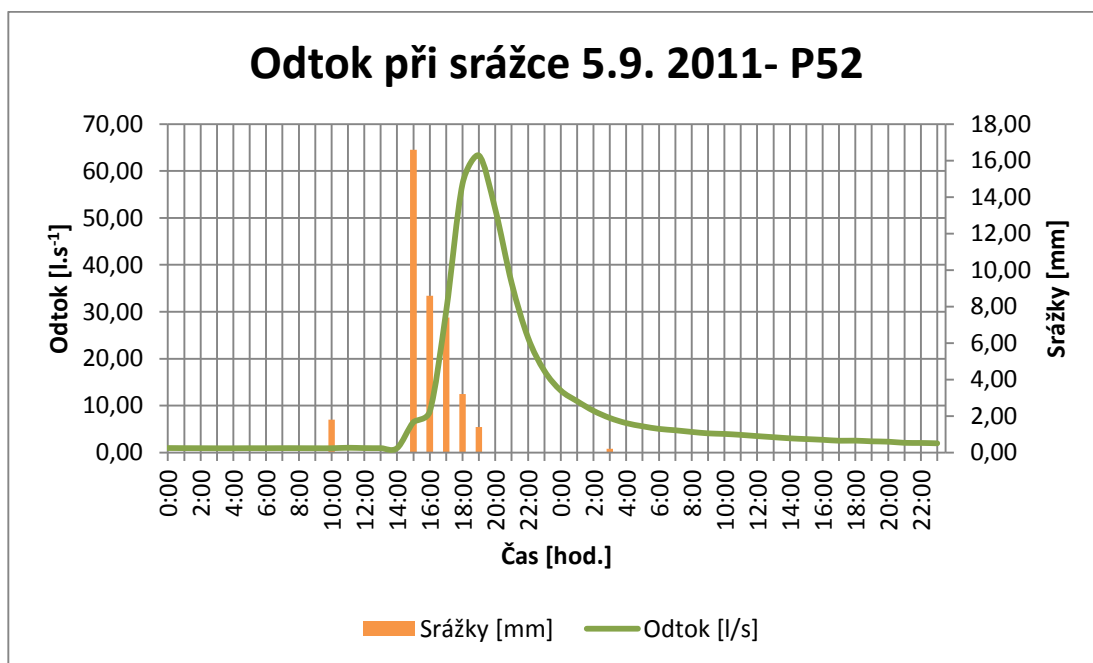
Tab. č. 10. Separace odtoku (h. r. 2011)

5.5 Analýza srážko-odtokových situací

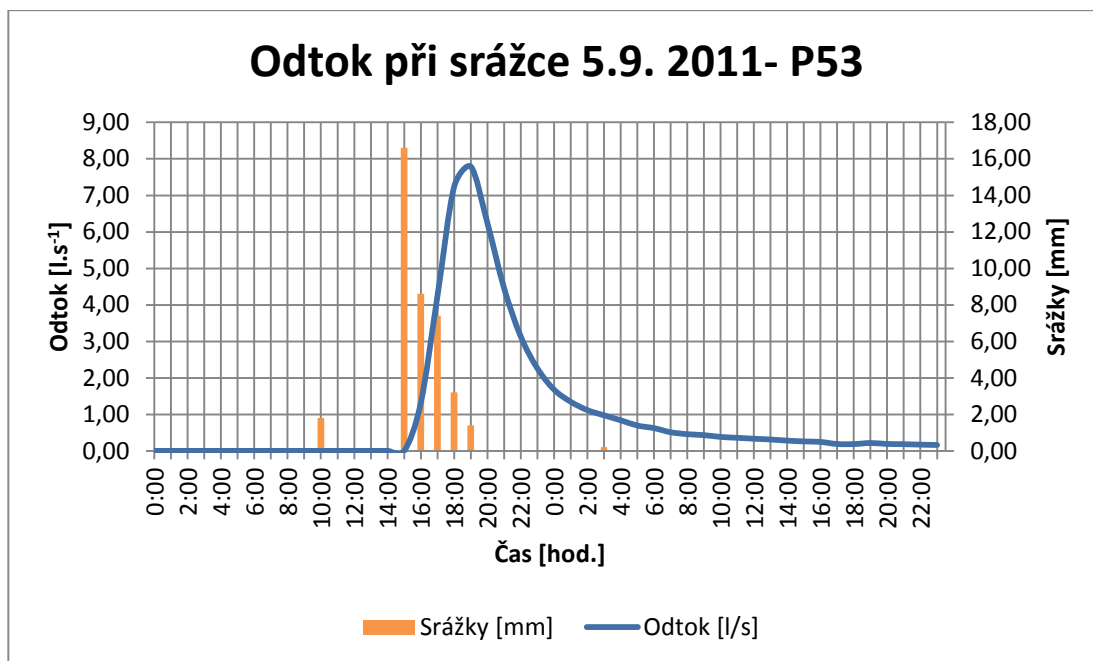
Podle předem stanovených kritérií byla vybrána jedna srážko-odtoková událost. Tato porovnávaná událost nastala 5. 9. 2011. Dle dat ze srážkoměru byl úhrn srážek v předchozích pěti dnech 0,1 mm. Na základě těchto údajů byl přiřazen IPS I. Při této srážce bylo celkově naměřeno 39 mm spadlých srážek v časovém rozmezí mezi 10:00 až 19:00. Závislost odtoku vody na spadlých srážkách v čase z jednotlivých subpovodí znázorňují grafy č. 13, č. 14, č. 15 a č. 16.



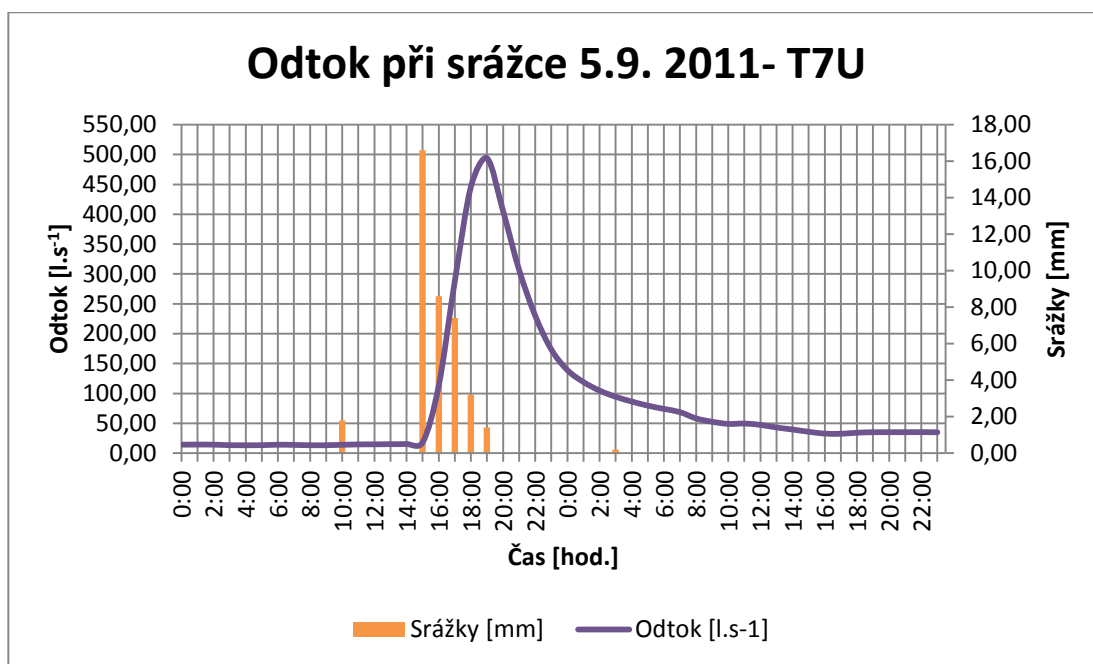
Graf č. 13. Odtok při srážce 5.9. 2011 ze subpovodí P6



Graf č. 14. Odtok při srážce 5.9. 2011 ze subpovodí P52

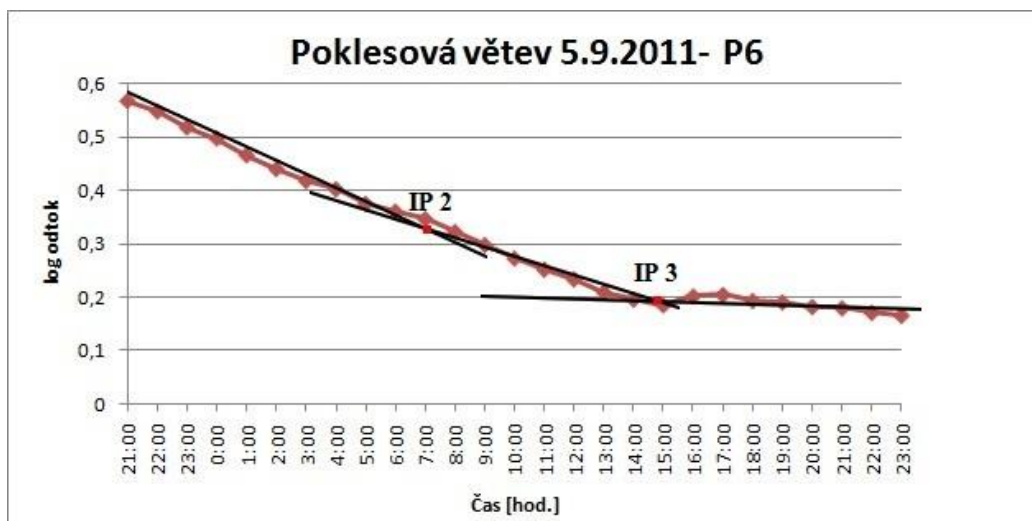


Graf č. 15. Odtok při srážce 5.9. 2011 ze subpovodí P52



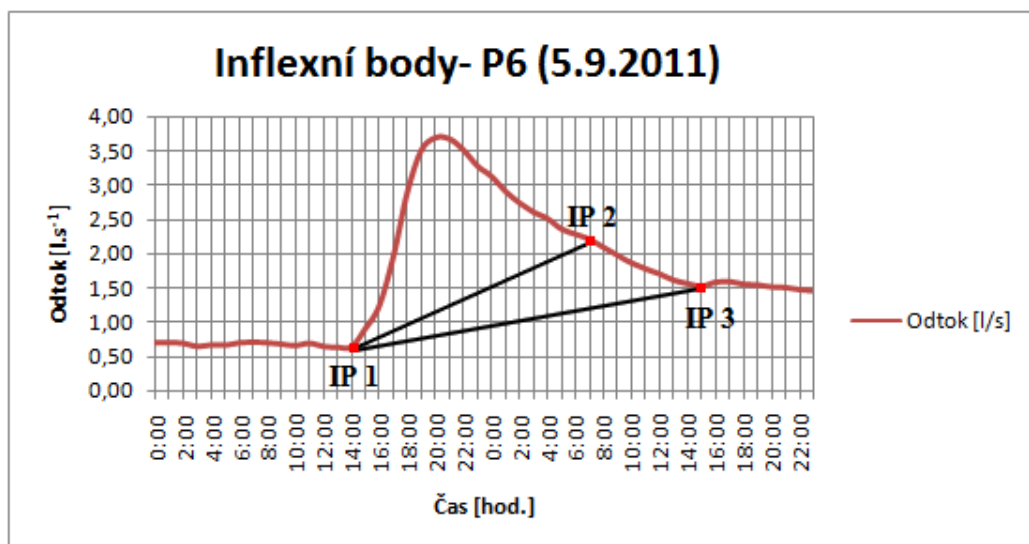
Graf č. 16. Odtok při srážce 5.9. 2011 ze subpovodí T7U

Dle postupu popsaného v kap. 9.4 byly sestrojeny poklesové větve, ze kterých byly zjištěny IP 2 a IP 3. Poklesová větev ze subpovodí P6 je znázorněna v grafu č. 17.



Graf č. 17. Poklesová větev a inflexní body při srážce 5.9. 2011 ze subpovodí P6

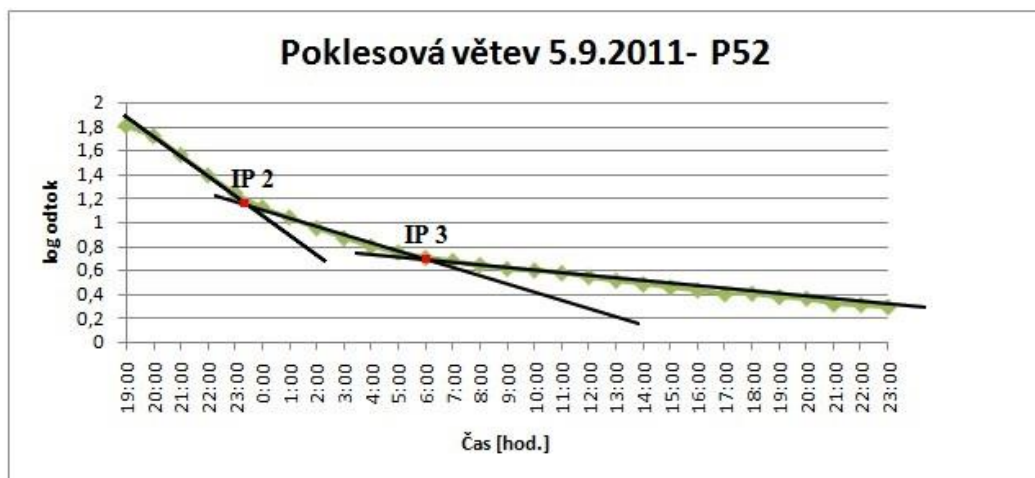
Z grafu č. 17 je patrné, že IP 2 náleží času 7:00 a IP 3 odpovídá času 15:00. Tyto zjištěné inflexní body byly podle časových hodnot vyneseny do grafu č. 18. Také byl nalezen IP 1, který byl určen vizuálně. Následně byly přímkou spojeny IP 1 a IP 2 a také IP 1 a IP 3. Tento krok byl proveden k rozčlenění jednotlivých složek odtoku.



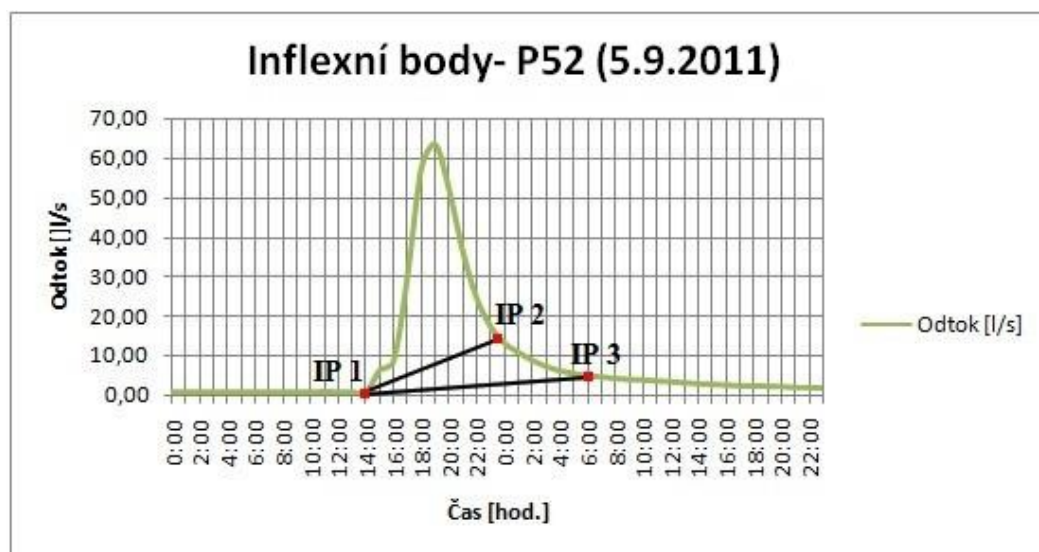
Graf č. 18. Inflexní body při srážce 5.9. 2011 ze subpovodí P6

Poklesovou větev při srážce 5.9. 2011 ze subpovodí P52 zobrazuje graf č. 19. Podle průtnutí přímek se IP 2 v tomto případě nachází v čase 23:30 a IP 3 byl nalezen v čase 6:00. Z hydrogramu byl zjištěn také čas výskytu IP 1, který se v tomto

případě nacházel v čase 14:00. Tyto nalezené inflexní body byly přeneseny do grafu č. 20.



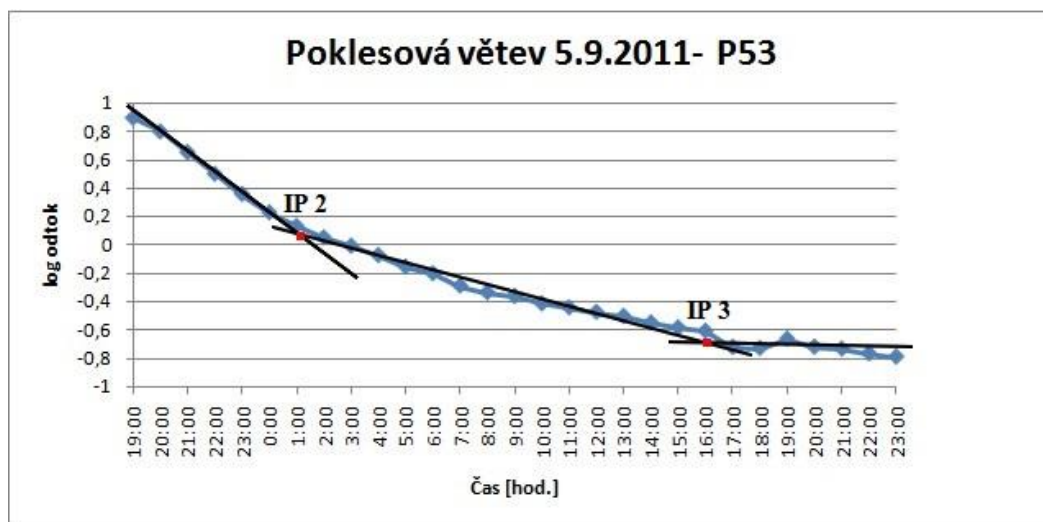
Graf č. 19. Poklesová větev a inflexní body při srážce 5.9. 2011 ze subpovodí P52



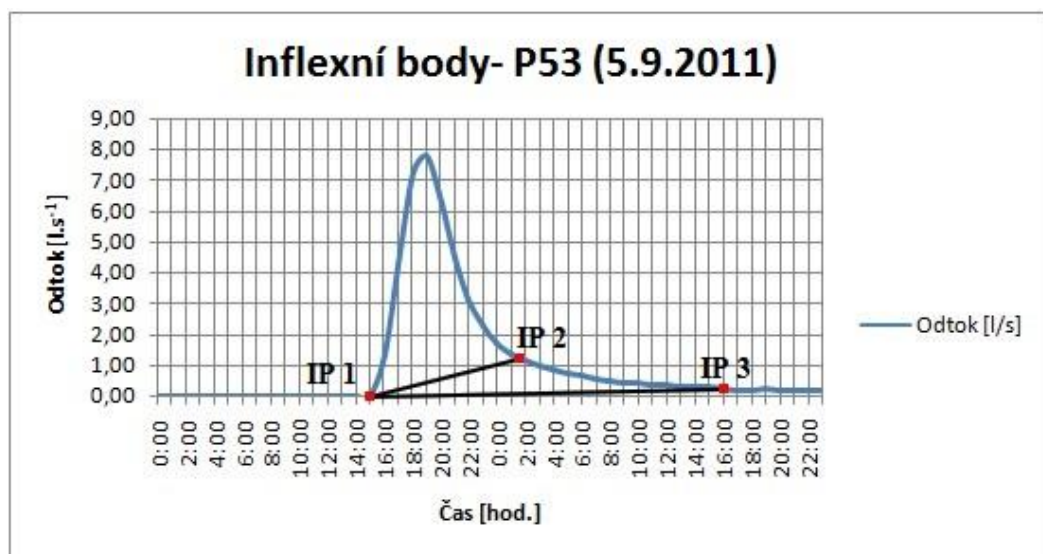
Graf č. 20. Inflexní body při srážce 5.9. 2011 ze subpovodí P52

Graf č. 20 znázorňuje protnutí inflexních bodů, které udává zastoupení konkrétních složek odtoku, jako reakci na analyzovanou intenzivní srážku.

Poklesovou větev ze subpovodí P53 při srážce 5.9. 2011 znázorňuje graf č. 21. IP 2 se dle poklesové větve nacházel v čase 1:00 a IP 3 byl nalezen v čase 16:00. Inflexní body byly přeneseny do grafu č. 22.



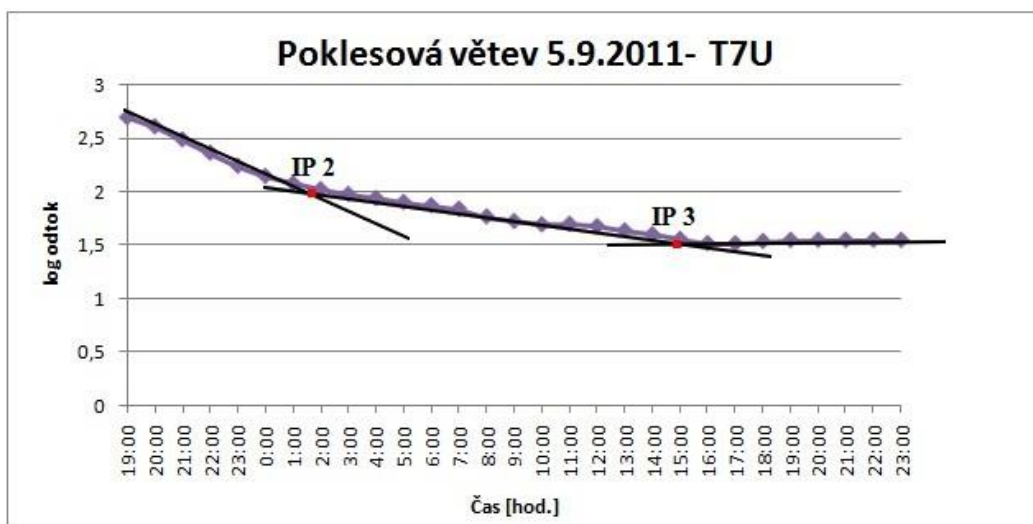
Graf č. 21. Poklesová větev a inflexní body při srážce 5.9. 2011 ze subpovodí P53



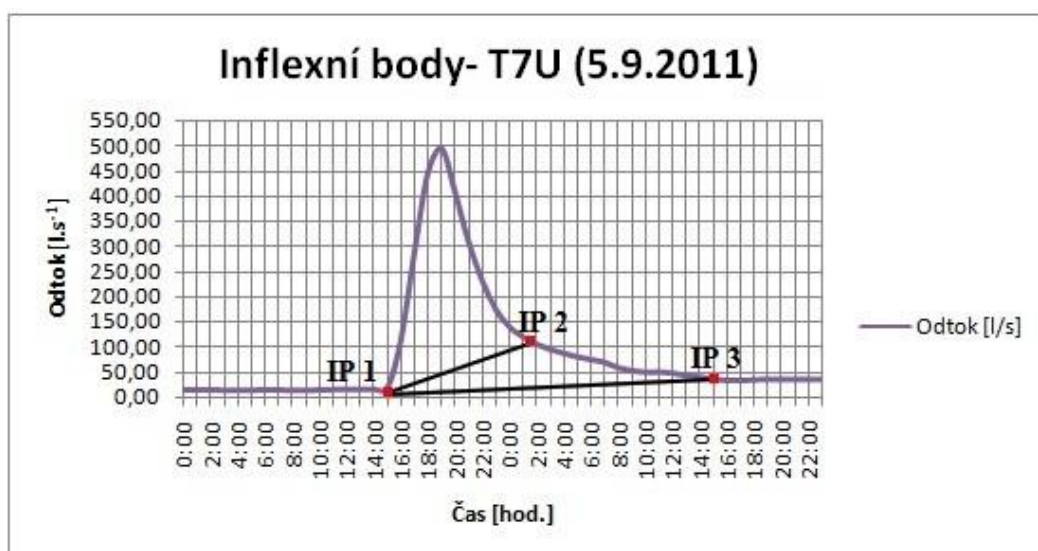
Graf č. 22. Inflexní body při srážce 5.9. 2011 ze subpovodí P53

Graf č. 22 znázorňuje spojení jednotlivých inflexních bodů, které zároveň udává zastoupení jednotlivých složek odtoku.

Poklesová větev z celkového povodí Kopaninského toku je zobrazena v grafu č. 23. IP 2 byl nalezen v čase 1:30 a IP 3 v 15:00. Tyto nalezené IP byly následně přeneseny a zobrazeny v grafu č. 24.



Graf č. 23. Poklesová větev a inflexní body při srážce 5.9. 2011 z povodí T7U



Graf č. 24. Inflexní body při srážce 5.9. 2011 z povodí T7U

Poté byly z grafů inflexních bodů vypočítány plochy, které odpovídají jednotlivým složkám odtoku. Při analyzované srážce, bylo zjištěno, že nejvíce drenážované subpovodí P6 vykazuje při této intenzivní srážce výrazně nejmenší podíl zastoupení povrchového odtoku (36 %). Toto subpovodí také charakterizuje nejmenší sklon ze všech tří porovnávaných subpovodí. P6 je 62 % celkové plochy odvodněno systematickou drenáží, která podle *SOUKUPA A KOL. (2003)* podchycuje v průměru 10-35 % srážkového úhrnu a tím snižuje povrchový odtok. To potvrzuje i *FÍDLER (1998)*, který uvádí, že funkční drenážní systémy může

v odvodněném půdním profilu příznivě ovlivnit infiltraci dešťových srážek a tím tak snížit objem složky povrchového odtoku.

Podíl povrchového odtoku u subpovodí P52 a u celkového povodí Kopaninského toku vyšel přibližně podobně (50 %, resp. 56 %). U subpovodí P53 byl při pozorované intenzivní srážce podíl povrchového odtoku výrazně vyšší a to 70 %.

6. Závěr

Tato diplomová práce se zabývala drenážními systémy na území ČR a jejich vlivem na vodní režim povodí. V rámci území ČR je přibližně čtvrtina výměry zemědělských půd. Přitom tyto vybudované drenážní systémy výrazně ovlivňují vodní režim dotčeného území. Cílem diplomové práce bylo pomocí hydrologicko-matematických a statistických metod analyzovat vliv drenážních systémů na vodní režim konkrétního povodí. Součástí práce byla literární rešerše, která přibližuje problematiku odvodnění v ČR, konkrétně podzemní trubkovou drenáž.

Pro potřeby této diplomové práce bylo jako zájmové území vybráno povodí Kopaninského toku a subpovodí označené P6, P52 a P53, které se nachází na tomto zájmovém území. Tyto lokality byly v práci podrobně popsány. Na každém ze zkoumaných území se v určité míře vyskytovala podpovrchová systematická drenáž. K vyhodnocení byla použita data o odtocích z jednotlivých povodí a také údaje o spadlých srážkách ze srážkoměru „u Turků“.

Z výsledků je zřejmé, že subpovodí P6, které je ze všech porovnávaných území nejvíce odvodněné (62 %), vykazuje nejvyšší specifické odtoky ve všech zkoumaných časových intervalech. To dokazuje, že vybudovaná podpovrchová systematická drenáž ovlivňuje vodní režim povodí tím způsobem, že zvyšuje odtok vody z povodí. Dále systematická drenáž zvyšuje infiltraci a zároveň snižuje objem složky povrchového odtoku, což bylo zjištěno separací odtoků. Při rozčlenění jednotlivých složek odtoků po dobu tří hydrologických let byl povrchový odtok nejnižší na nejvíce drenážovaném subpovodí (P6). To potvrdila i analýza srážko-odtokové situace, při které byl povrchový odtok nejmenší také na subpovodí P6.

7. Seznam použité literatury

- [1] ALGOAZANY, A., S., KALITA, P., K., CZAPAR, G., F., MITCHELL, J., K. *Phosphorus transport through subsurface drainage and surface runoff from a flat watershed in East Central Illinois*. Journal of Environmental Quality. 2007, roč. 39, č. 3, s. 681-693.
- [2] AYARS, J., E., CHRISTEN, E., W., HORNBUCKLE, J., W. *Controlled drainage for improved water management in arid regions irrigated agriculture*. Agricultural water management. 2006, č. 86, s. 128-129.
- [3] BENETIN, J., DVOŘÁK, J., FÍDLER, J., KABINA, P. *Odvodňovanie*. 1. vyd. Bratislava: Príroda, 1987, 574 s.
- [4] BERAN, J. *Základy vodního hospodářství*. 2. vyd. Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze, 2009, 146 s.
- [5] BLANN, K., L., ANDERSON, J., L., SANDS, G., R., VONDRACEK, B. *Effects of agricultural drainage on aquatic ecosystems*. Rev. Environmental Science and Technology. 2009, roč. 39, č. 11, s. 909–1001.
- [6] BŘENDA, I. *Odvodnění zemědělských půd*. Vodní hospodářství. 1979, č. 8, s. 204-207.
- [7] BYSTRICKÝ, V. *Analýza časových řad nutrientů v celkovém i základním odtoku ve vybraném povodí*. České Budějovice, 2012. Disertační práce, Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, 135 s.
- [8] CULEK, M. *Biogeografické členění České republiky*. Praha: Enigma, 1996, 224 s.
- [9] ČSN 75-4200. *Hydromeliorace: Úprava vodního režimu zemědělských půd odvodněním*. Praha: Český normalizační institut, 1993. 72 s.

- [10] ČSN 75-0110. *Vodní hospodářství: Terminologie hydrologie a hydrogeologie*. Praha: Český normalizační institut, 2010, 98 s.
- [11] DAŇHELKA, J. *Hydrologie povodí*. In: Sborník prací Českého hydrometeorologického ústavu. 1. vyd. Praha: Český hydrometeorologický ústav, 2007, s. 7-14.
- [12] DEMEK, J. *Zeměpisný lexikon ČSR, hory a nížiny*. Praha: Academia, 1987, 584 s.
- [13] DOLEŽAL, F., KULHAVÝ, Z., SOUKUP, M., KODEŠOVÁ, R. *Hydrology of Tile Drainage Runoff*. Phys. Chem. Earth. 2001, roč. 26, č. 7, s. 623-627.
- [14] DOLEŽAL, F., SOUKUP, M., KULHAVÝ, Z. *Poznámky k hydrologii drenážního odtoku*. Praha: VÚMOP, 2000, č. 11, s. 5-27.
- [15] DUFKOVÁ, J. *Závlahy a odvodnění: teoretické základy a praktická cvičení*. 1. vyd. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, 2009, 114 s.
- [16] DUFKOVÁ, J., TOMAN, F., ŠŤASTNÁ, M. *Srovnání metod stanovení faktoru erodovatelnosti půdy K*. Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis, 2005, roč. 53, č. 5, s. 197-206.
- [17] DUREN, I., C., BOEYE, D., GROOTJANS, A., P. *Nutrient limitations in an extant and drained poor fen: implications for restoration*. Plant Ecology, 1997, č. 133, s. 91-100.
- [18] DVOŘÁK, P. *Vliv plošného odvodnění na podzemní vody*. Vodní hospodářství. 1989, roč. 39, č. 10, s. 253-258.
- [19] FÍDLER, J. *Odvodnění a závlahy zemědělských půd a změny v rostlinné výrobě*. Vodní hospodářství. 1976, č. 2, s. 51-53.
- [20] FÍDLER, J. *Retardační drenáž a hydraulické podmínky její činnosti*. Vodní hospodářství. 1997, roč. 47, č. 3, s. 80-83.

- [21] FÍDLER, 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: VÚMOP, 1998, s. 110-115.
- [22] HANUSIN, J. *Prirodná krajina- voda- spoločnosť*. Životné prostredie, 1996, č. 6, s. 98-99.
- [23] HANZEL, V. *Geologický slovník*. Bratislava: Vydavateľstvo Dionýza Štúra, 1998, 301 s.
- [24] HEJNÁK, J. *Geologické podklady pro krajínovorné programy*. Praha: Ministerstvo životního prostředí, 2004, 142 s.
- [25] HERBER, V. *Cvičení z fyzické geografie*. 2. vyd. Plzeň: Západočeská univerzita, 1996, 93 s.
- [26] HOLÝ, M., DVOŘÁK, P., HÁLEK, V., ŠOLTÉSZ, J. *Odvodňovací stavby*. Praha: Nakladatelství technické literatury, 1984, 468 s.
- [27] HORTON, R., E. *The role of infiltration in the hydrologic cycle*. Trans. Amer. Geophys. Un., 1933, č. 14, s. 446-460.
- [28] HRÁDEK, F., KUŘÍK, P. *Hydrologie*. Praha: Skriptum FLE ČZU Praha, 2002, 280 s.
- [29] HYDROMETEOROLOGICKÝ ÚSTAV. *Atlas podnebí Československé republiky*. Praha: Ústřední správa geodézie a kartografie, 1958.
- [30] CHAPMAN, T., G. *A comparison of algorithms for stream flow recession and baseflow separation*. Hydrological Processes, 1999, č. 13, s. 701-714.
- [31] JACOBSEN, O., KJAER, J. *Is tile drainage water representative of root zone leaching of pesticides?* Pest Management Science, 2007, č. 63, s. 417-428.
- [32] JANEČEK, M. *Ochrana zemědělské půdy před erozi: metodika*. 1. vyd. Praha: Powerprint, 2012, 113 s.

- [33] JELÍNEK, F. *Nedocené bohatství*. Praha: Ministerstvo životního prostředí, 1999, 111 s.
- [34] JŮVA, K. *Odvodňování půdy*. 1. vyd. Praha: Státní zemědělské nakladatelství, 1957, 526 s.
- [35] KASPRZAK, K. *Vliv odvodňování zamokřených půd na zájmy vodního hospodářství*. In: Sborník ČSAZ Praha, 1984, č. 72, str. 51-63
- [36] KEMEL, M. *Klimatologie, meteorologie, hydrologie*. Praha: Skriptum FS ČVUT, 1996, 289 s.
- [37] KLINER, K., KNĚŽEK, M., OLMER, M. *Využití a ochrana podzemních vod*. 1. vyd. Praha: Státní zemědělské nakladatelství, 1978, 291 s.
- [38] KREŠL, J. *Hydrologie*. 1. vyd. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, 2001, 125 s.
- [39] KUDRNA, K. *Využití melioračních soustav*. 1. vyd. Praha: Státní zemědělské nakladatelství, 1987, 400 s.
- [40] KULHAVÝ, F., KULHAVÝ, Z. *Navrhování melioračních staveb*. 1. vyd. Praha: Informační centrum ČKAIT, 2008, 432 s.
- [41] KULHAVÝ, Z., ČMELÍK, M., DOLEŽAL, F., TLAPÁKOVÁ, L. *Podíl drenážního odtoku na celkovém odtoku z povodí*. Vodní hospodářství, 2010, roč. 60, č. 7, s. 190-194.
- [42] KULHAVÝ, Z., DOLEŽAL, F., SOUKUP, M. *Separace složek drenážního odtoku a její využití při klasifikaci existujících drenážních systémů*. Praha: VÚMOP, 2001, č. 12, s. 29-52.
- [43] KULHAVÝ, Z., DOLEŽAL, F., SOUKUP, M., HAVEL, M. *Identifikace a kategorizace odvodňovacích soustav na zemědělské půdě v povodí Orlice*. Agromagazín [online], 2000 [cit. 2015-02-03], s. 1-8. Dostupné z: http://www.hydro-meliorace.cz/vumop/2000_8.pdf

- [44] KULHAVÝ Z., EICHLER J., DOLEZAL F., SOUKUP M. *DRAINET-hydraulický model drenážního systému*. Soil and Water. 2002, č. 2, s. 45-64.
- [45] KULHAVÝ, Z., FUČÍK, P., TLAPÁKOVÁ, L. *Metodická příručka pro žadatele OPŽP: Pracovní postupy eliminace negativních funkcí odvodňovacích zařízení v krajině pro podporu žadatelů o PBO v prioritních osách 1 a 6*. Praha: VÚMOP, 2011, 27 s.
- [46] KURÁŽ, V., SOUKUP, M. *Vliv odvodnění na půdní a hydrologické režimy*. Vodní hospodářství. 2004, roč. 54, č. 8, s. 246-248.
- [47] KUTÍLEK, M. *Vodohospodářská pedologie*. Praha: SNTL/SVTL, 1978, 295 s.
- [48] KRÍŽ, H. *Hydrologie podzemních vod*. 1. vyd. Praha: Academia, 1983, 292 s.
- [49] KVÍTEK, T., GERGEL, J., ONDR, P., ZÁMIŠOVÁ, K. *Zemědělské meliorace*. 1. vyd. České Budějovice: Jihočeská univerzita, Zemědělská fakulta, 2006, 165 s.
- [50] MATOUŠEK, V. *Poznávání odtokových vlastností malých povodí za regionálních deštů*. 1. vyd. Praha: Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, 2010, 103 s.
- [51] MONTAGNE, D., CORNU, S., LE FORESTIER, L., COUSIN, I. *Soil Drainage as an Active Agent of Recent Soil*. Pedosphere, 2009, č. 19, s. 1-13.
- [52] NATHAN, R., J., MCMAHON, T., A. *Evaluation of automated techniques for base flow and recession analyses*. Water Resources Research. 1990, roč. 26, č. 7, s. 1465-1473.
- [53] NĚMEC, J. *Trubková drenáž s regulovaným odtokem*. Vodní hospodářství. 1982, roč. 32, č. 6., s. 165-168.
- [54] NOVÁK, P. *Pozitivní a negativní dopady odvodňovacích a rekultivačních uprav*. 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, 2004, 224 s.

- [55] OLMER, M., KESSL, J. 1990. *Hydrogeologické rajóny*. Práce a studie. Sešit 176., 154 s.
- [56] PODHRÁZSKÁ, J., KARÁSEK, P. *Systém analýzy území a návrhu opatření k ochraně půdy a vody v krajině: podklad pro územní plánování a pozemkové úpravy*. Brno: VÚMOP, 2014, 51 s.
- [57] POELS, D., J. *Encyclopedic dictionary of hydrogeology*. Amsterdam: Academic press, 2009, 517 s.
- [58] PRAX, A., HYBLER, V. *Odvodňování hydromorfních půd ČR drenáží v druhé polovině dvacátého století*. Vodní hospodářství. 2012, roč. 62, č. 3, s. 102-105.
- [59] QUITT, E. *Klimatické oblasti Československa*. Brno: Československá akademie věd, 1971, 73 s.
- [60] RADČENKO, I., NĚMEC, J. *Regulační drenáž*. Praha: Ústav vědeckotechnických informací pro zemědělství, 1980, 64 s.
- [61] ŘÍHA, J. *Využívání vody v zemědělských soustavách*. 1. vyd. Praha: Státní zemědělské nakladatelství, 1982, 272 s.
- [62] SANETRŇÍK, J., FILIP, J. *Meliorace*. 1. vyd. Brno: Vysoká škola zemědělská v Brně, 1991, 177 s.
- [63] SERRANO, E., S. *Hydrology for Engineers, Geologists and Environmental Professionals*. Kentucky: Hydro Science Inc. Lexington, 1997, 468 s.
- [64] SCHEPPER, G., THERRIEN, R., REFSGAARD, J., CH., HANSEN, A., L. *Simulating coupled surface and subsurface water flow in a tile-drained agricultural catchment*. Journal of Hydrology, 2015, č. 521, s. 374-388.
- [65] SCHILLING, K., E., JINDAL, P., BASU, N., B., HELMERS, M., J. *Impact of artificial subsurface drainage on groundwater travel times and baseflow discharge in an agricultural watershed*. Hydrological Processes, 2012, roč. 26, č. 20, s. 3092–3100.

- [66] SOUKUP, M. *Drainage Systems and their Water Management Function with regard to Probable Climatic and Hydrological Changes*. Soil and Water, 2006, č. 1, s. 32-38.
- [67] SOUKUP, M., DOLEŽAL, F., ČMELIK, M. *Zemědělské odvodnění drenáží: racionalizace využívání, údržby a oprav: uživatelsky vystup projektu QF3095 Národního programu výzkumu TP3-DP6 priority 6*. 1. vyd. Praha: VÚMOP, 2007, 85 s.
- [68] SOUKUP, M., KULHAVÝ, Z., KURÁŽ, V., MAXOVÁ, J., VOPRAVIL, J. *Doporučené postupy hodnocení vlivu melioračních opatření na půdní a hydrologické režimy a hodnocení hydrofyzikálních vlastností vybraných půdních představitelů*. Praha: VÚMOP, 2003, str. 42.
- [69] SOUKUP M., KULHAVÝ Z., PILNÁ E. *Funkce zemědělských odvodňovacích systémů v současných a budoucích hospodářských a klimatických podmínkách*. Vodní hospodářství. 2005a, č. 7, s. 120-123.
- [70] SOUKUP M., KULHAVÝ, Z., PILNÁ E., MAXOVÁ J. *Vláhový režim odvodněné půdy s regulací drenážního odtoku*. Soil and Water. 2005b, č. 4, s. 79-84.
- [71] ŠÁLEK, J. *Vodní hospodářství krajiny*. 1. vyd. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 1997, 152 s.
- [72] ŠILAR, J. *Hydrologie v životním prostředí*. Ostrava: Vysoká škola báňská Technická univerzita Ostrava, 1996, 136 s.
- [73] ŠTAMBEROVÁ, M., MICHALOVÁ, M., MIKŠOVSKÝ J., PRCHALOVÁ, H. *Vodní zdroje v České Republice*. Brno: Výzkumný úřad vodohospodářský TGM Brno, 1998, 89 s.
- [74] ŠTIBINGER, J., KULHAVÝ, Z. *Úpravy vodního režimu půd odvodněním: monografie: uživatelsky vystup projektu 2B06022*. 1. vyd. Praha: VÚMOP, 2010, 108 s.

[75] ŠVIHLA, V. *Regulace vodního režimu v povodí jako požadavek zemědělské soustavy*. In: Regulace oběhu vody v zemědělských soustavách. 136. vyd., Praha: Československá akademie zemědělská, 1990, s. 96-125.

[76] TLAPÁK, V. *Specifický drenážní odtok*. Praha: Ústav vědeckotechnických informací, 1974, 40 s.

[77] VAŠKŮ, Z. *Influkčně infiltrační schopnost půdy*. Praha: VÚMOP Praha, 2000, č. 11. s. 149-158.

[78] VOPRAVIL, J., KHEL, T., VOPLAKAL, K., ČERMÁKOVÁ, M. *The Impact of Artificial Drainage on Water Quality in Two Model Areas in the Bohemian Forest Foothills*. Soil and Water. 2008, roč. 3, č. 3, s. 138-154.

[79] ŽLÁBEK, P. *Vliv uspořádání krajinné matrice na složky odtoku*. České Budějovice, 2009. Disertační práce, Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, 130 s.

Autorizovaný software

KULHAVÝ, Z., ČERNOHOUS, V. *Rozčlenění složek odtoku numerickými metodami*. Autorizovaný software: <http://www.hydrmeliorace.cz/separace>, 2013, VÚMOP, v.v.i., VÚLHM, v.v.i.

8. Seznam zkratek

BPEJ	Bonitovaná půdně ekologická jednotka
C	Uhlík
cm	Centimetr
ČR	Česká republika
ČSN	Česká technická norma
DMT	Digitální model terénu
ha	Hektar
HPJ	Hlavní půdní jednotka
IP	Inflexní bod
IPS	Index předchozích srážek
km	Kilometr
l	Litr
m	Metr
mm	Milimetr
m.n.m.	Metrů nad mořem
N	Dusík
P	Fosfor
PVC	Polyvinylchlorid
Q _C	Odtok celkový
Q _H	Odtok hypotermický
Q _P	Odtok přímý
Q _Z	Odtok základní
s	Sekunda
SW	Software
t	Teplota
TTP	Trvalý travní porost
VÚMOP	Výzkumný ústav meliorací a ochrany půd

9. Přílohy

Seznam příloh

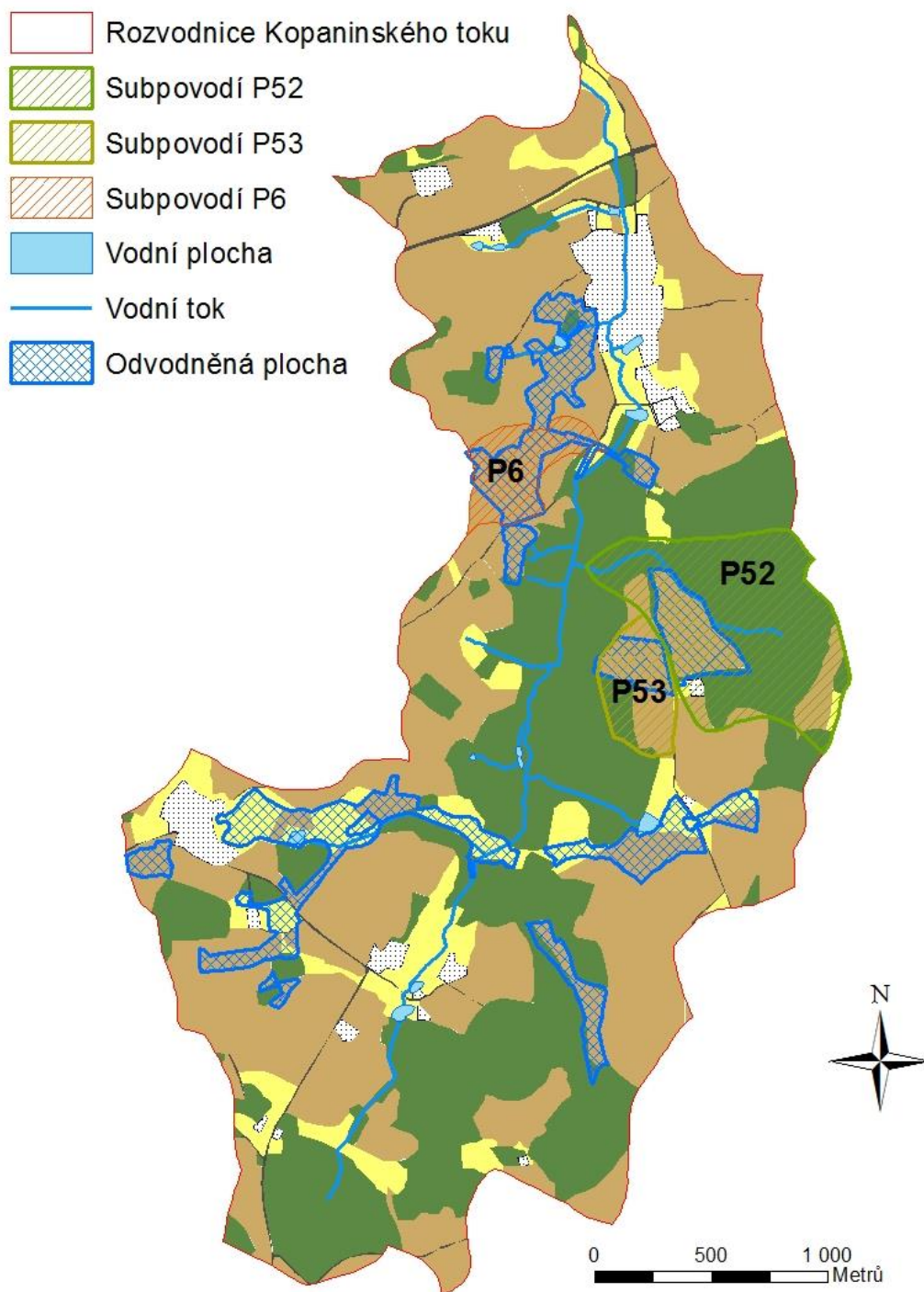
Příloha č. 1. Povodí Kopaninského toku- plocha odvodnění (*autor, 2015*);

Příloha č. 2. Povodí Kopaninského toku- DMT (*autor, 2015*);

Příloha č. 3. Zastavovací plán (*Agroprojekt, 1983*).

Příloha č. 1

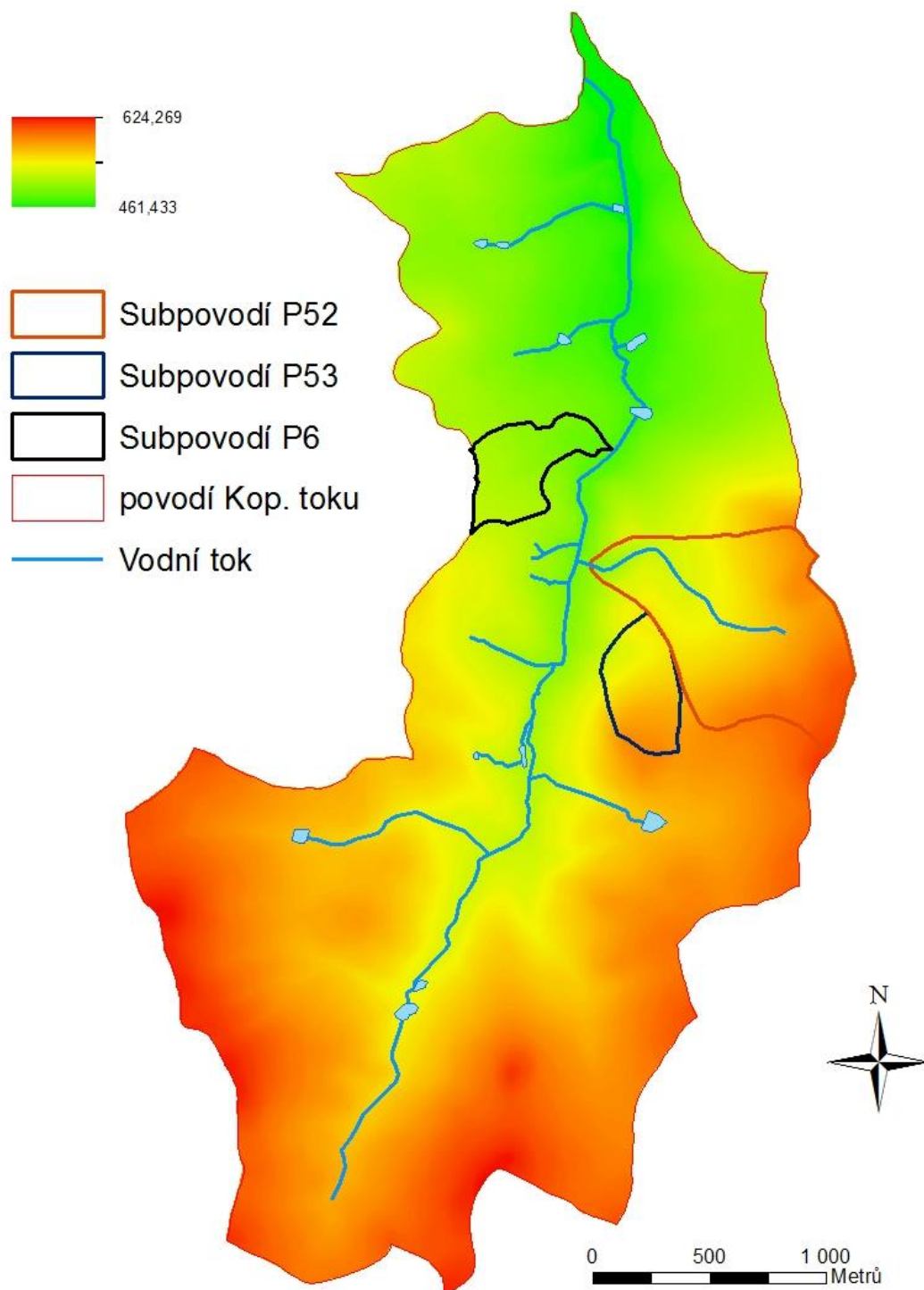
POVODÍ KOPANINSKÉHO TOKU- PLOCHA ODVODNĚNÍ



Příloha č. 1. Povodí Kopaninského toku- plocha odvodnění (autor, 2015)

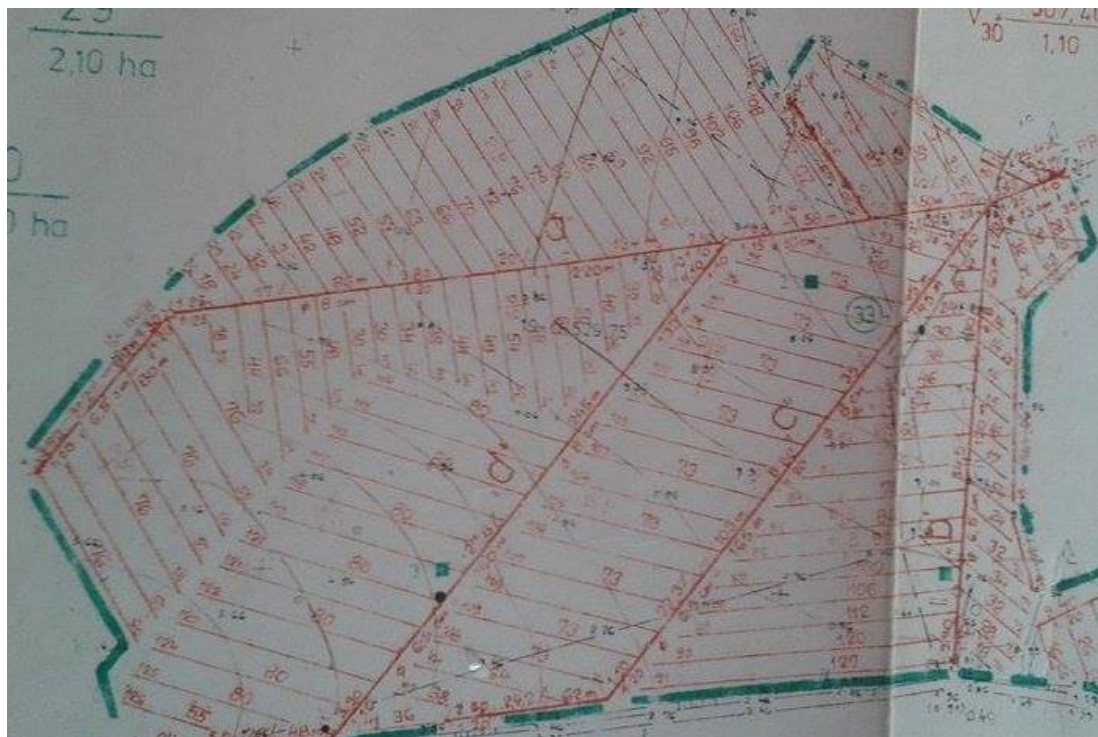
Příloha č. 2

POVODÍ KOPANINSKÉHO TOKU- DMT



Příloha č. 2. Povodí Kopaninského toku- DMT (autor, 2015)

Příloha č. 3



Příloha č. 3. Příklad zastavovacího plánu (Agroprojekt, 1983)