

Univerzita Karlova v Praze

Přírodovědecká fakulta

Katedra fyzické geografie a geoekologie

Studijní program: Geografie

Studijní obor: Fyzická geografie a geoinformatika



Daniel Hojovec

**Vliv fyzickogeografických faktorů na extremitu odtoku
(Případová studie: Porovnání malých povodí v oblasti centrální
Šumavy)**

Influence of physiogeographic conditions on runoff extremity
(Case study: Comparison of small catchments in the central area of
Šumava Mountains)

Bakalářská práce

Vedoucí práce: Prof. RNDr. Bohumír Janský, CSc.

Praha 2018

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem svou bakalářskou práci na téma Vliv fyzickogeografických faktorů na extremitu odtoku (Případová studie: Porovnání malých povodí v oblasti centrální Šumavy) vypracoval samostatně a s použitím uvedených zdrojů. Tato práce ani její podstatná část nebyla předložena k získání jiného nebo stejného akademického titulu.

V Praze dne 13. května 2018

.....
Daniel Hojovec

Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat všem, kteří mi pomohli s vypracováním mé bakalářské práce, a to především vedoucímu práce Prof. RNDr. Bohumíru Janskému, CSc. za odborné vedení a cenné rady při přípravě této práce a členům katedry fyzické geografie PřF UK (RNDr. Janu Kocumovi, Ph.D, RNDr., Lukáši Vlčkovi, Ph.D, RNDr. Miroslavu Šobrovi, Ph.D, RNDr. Michalu Jeníčkovi, Ph.D.) za odborné rady při realizaci praktické části. Dále také děkuji katedře fyzické geografie PřF UK za poskytnutí dat, Mgr. Tomáši Kabelkovi za pomoc při sestrojení konsumpčních křivek a mé rodině a přátelům za podporu během celé doby studia.

Abstrakt

V souvislosti se vzrůstajícím výskytem extrémních hydrologických situací se objevují nové možnosti řešení ochrany před povodněmi. Mezi tyto možnosti patří i postupné zvyšování retenční kapacity povodí a zmírnění variability odtoku v pramenné oblasti toků. Tato bakalářská práce se zabývá porovnáním tří fyzicko-geograficky různých povodí v pramenných oblastech Šumavy. Hlavním cílem práce je zkoumání vlivu fyzicko-geografických faktorů na extremitu odtoku v povodí jednotlivých vybraných toků na základě srovnávací analýzy. Extremita odtoku je znázorněna pomocí vybraných povodňových událostí, které byly zpracovány na základě dat z experimentálního monitoringu katedry fyzické geografie a geoekologie PřF UK v Praze. Úvodní část této práce je tvořena literární rešerší a dále fyzicko-geografickými a hydrografickými charakteristikami všech povodí. Hlavní část práce je zaměřena na popis a porovnání extrémních situací ve sledovaných povodích. V závěru práce je uvedeno zhodnocení, spočívající v posouzení vlivu fyzickogeografických faktorů na extremitu odtoku. Ve výsledném hodnocení bylo zjištěno, že reakce Černého potoka, na povodňové události, je odlišná od reakce dvojice Ranklovský potok, Rokyta. Důvodem této odlišnosti je rozdílná plocha rašelinišť na daných povodích.

Klíčová slova: hydrologie, extremita odtoku, povodňové události, Šumava, fyzickogeografická analýza

Abstract

In connection with the increasing occurrence of extreme hydrological situations, new opportunities for flood protection are emerging. Among these options also includes the gradually increase water retention capacity and to reduce runoff variability in headstream areas. This bachelor thesis deals with the comparison of three physical geographical different river basins in the headstream area of Šumava mountains. The main aim of this study is a research influence of physiogeographic conditions on runoff extremity in the catchment of individual selected streams on the basis of a comparative analysis. Extremity runoff is represented by selected flood situations that were processed on the basis of data from the experimental monitoring of Department of Physical Geography and Geoecology, Faculty of Science, Charles University in Prague. The opening part of this thesis consists of literary research, physical geographical and hydrographical characteristics of all catchment areas. The main part of the thesis is focused on description and comparison of extreme situations in the monitored catchments. The conclusion of the thesis is an evaluation, which consists in

the assessment of the influence of physiogeographic conditions on runoff extremity. In the final evaluation it was found that the reaction of Černý brook to the flood events is different from the reaction of the pair of Ranklovsky brook, Rokytka brook. The reason for this difference is the different area of peat bogs in the river basins.

Key words: hydrology, runoff extremity, flood situations, Šumava mountains, physical-geographic analysis

Obsah

1	Úvod	13
1.1	Cíle práce	14
1.2	Struktura práce	14
2	Úvod do problematiky	15
2.1	Srážko-odtokový proces	15
2.2	Odtok a jeho typy	16
2.3	Ovlivnění odtoku	18
2.3.1	Ovlivnění odtoku fyzickogeografickými faktory	19
2.4	Hodnocení extremity odtoku	24
2.4.1	Metody hodnocení extremity odtoku	25
2.4.1.1	Metody hodnocení vysokých průtoků a povodňových událostí	27
3	Fyzickogeografický přehled vybrané oblasti	31
3.1	Lokalizace zájmových území	31
3.1.1	Černý potok	32
3.1.2	Ranklovský potok	32
3.1.3	Rokytká	32
3.2	Fyzickogeografická charakteristika jednotlivých povodí	33
3.2.1	Tvarové vlastnosti	33
3.2.1.1	Hydrografické vlastnosti povodí a říční sítě	33
3.2.1.2	Orientace svahů v povodí	34
3.2.1.3	Sklonitost povodí	35
3.2.1.4	Výškopisné poměry povodí	37
3.3	Klimatická charakteristika území	39
3.3.1	Teplota	39
3.3.2	Srážky	40
3.3.3	Povětrnostní podmínky, oblačnost a sluneční svit	40
3.4	Geologická stavba území	41

3.5	Geomorfologické poměry území	41
3.6	Půdní a vegetační pokryv	43
3.6.1	Půdní pokryv	43
3.6.2	Vegetační pokryv	43
3.7	Krajinný pokryv území	45
3.7.1	Černý potok	45
3.7.2	Ranklovský potok.....	46
3.7.3	Rokytká	46
4	Data a metody.....	49
4.1	Data a metody pro popis fyzickogeografické a hydrologické části.....	49
4.2	Data z automatických hladinoměrů a meteorologických stanic PřF UK a jejich zpracování	49
4.3	Kunsumpční křivky a jejich aplikace na získaná data	50
4.3.1	Černý potok	51
4.3.2	Ranklovský potok.....	52
4.3.3	Rokytká	52
5	Analýza vybraných (extrémních) epizod	55
5.1	Zimní epizoda (19. 1. – 24.1.2012)	55
5.1.1	Obecná charakteristika roku.....	55
5.1.2	Příčina a meteorologický průběh situace	56
5.1.3	Hydrologická situace a průběh průtokové vlny na jednotlivých povodích během epizody.....	58
5.1.3.1	Číselné a statistické vyjádření zimní epizody	60
5.1.3.2	Závěr	62
5.2	Jarní epizoda (16. 4. – 23. 4. 2013)	63
5.2.1	Obecná charakteristika roku.....	63
5.2.2	Příčina a meteorologický průběh situace	63
5.2.3	Vývoj sněhové pokrývky	66

5.2.4	Hydrologická situace a průběh průtokové vlny na jednotlivých povodích během epizody.....	66
5.2.4.1	Číselné a statistické vyjádření jarní epizody.....	69
5.2.4.2	Závěr.....	70
5.3	Letní epizoda (30. 5. – 5. 6. 2013).....	71
5.3.1	Obecná charakteristika roku.....	71
5.3.2	Příčina a meteorologický průběh situace.....	71
5.3.3	Nasycenost povodí.....	74
5.3.4	Hydrologická situace a průběh průtokové vlny na jednotlivých povodích během epizody.....	75
5.3.4.1	Číselné a statistické vyjádření letní epizody.....	77
5.3.4.2	Závěr.....	79
5.4	Podzimní epizoda (22. 10. – 25.10. 2014).....	80
5.4.1	Obecná charakteristika roku.....	80
5.4.2	Příčina a meteorologický průběh situace.....	80
5.4.3	Nasycenost povodí.....	82
5.4.4	Hydrologická situace a průběh průtokové vlny na jednotlivých povodích během epizody.....	82
5.4.4.1	Číselné a statistické vyjádření podzimní epizody.....	85
5.4.4.2	Závěr.....	86
6	Vzájemné porovnání situací a vyplývající výsledky	87
6.1	Vzájemné porovnání situací.....	87
6.1.1	Porovnání dle vypočtených indexů	87
6.1.2	Porovnání dle časových údajů souvisejících s průběhem epizod.....	89
6.1.2.1	Doby trvání jednotlivých částí hydrogramů	90
6.1.2.2	Zvýšení průtoku a doba kulminace.....	92
6.2	Dosažené výsledky srovnávací analýzy mezi studovanými toky	94
6.2.1	Výsledky na základě indexů.....	94
6.2.2	Výsledky na základě analýzy podobnosti povodní	95
6.2.3	Výsledky na základě doby trvání jednotlivých částí hydrogramu.....	96

6.2.4	Výsledky na základě porovnání časů významných událostí během epizod..	98
6.2.5	Celkové dosažené výsledky vzájemného porovnání zkoumaných toků	99
6.3	Vliv fyzickogeografických faktorů na extremitu odtoku	101
6.3.1	Porovnání vlivu fyzickogeografických podmínek jednotlivých povodích .	102
6.3.2	Dosažené výsledky	103
7	Stopovací experiment na Černém potoce	105
8	Diskuze.....	107
8.1	Možné chyby v průběhu práce ovlivňující dosažené výsledky	107
8.2	Diskuze dosažených výsledků	108
8.2.1	Land use zájmových povodích.....	108
8.2.2	Konstrukce měrných křivek průtoku.....	109
8.2.3	Reakce toků na extrémní (povodňové) události	109
8.2.4	Zhodnocení vlivu fyzickogeografických faktorů	110
9	Závěr.....	113
10	Seznam použité literatury	115
11	Seznam obrázků, tabulek a grafů	125
12	Přílohy	129

1 Úvod

Povodně jsou přirozenou součástí krajiny po miliony let a podílejí se na jejím formování a vývoji (Langhammer 2007). Ovšem s růstem světové populace dochází ke stále větším škodám na životě a majetku v důsledku ničivých povodňových událostí. Kromě růstu obyvatelstva a hodnot majetku je současná povodňová situace zesílena odehrávající se klimatickou změnou, mající pravděpodobně za následek vyšší četnost extrémních, neočekávaných meteorologických událostí, které mohou způsobit náhlé zvýšení průtoků a následné povodňové situace. Že tento současný stav problematiky povodní a extrémních vodních stavů nelze podcenit je viditelné i na příkladu území Česka, kdy během posledních dvaceti let došlo k řadě extrémních povodňových událostí zasahujících velkou část území (povodně z let 1997, 2002 či 2013) nebo povodní menších z hlediska zasaženého území, majících ale silný účinek pro postižená, lokální území (1998). Z výše uvedeného popsaného stavu plyne, že řešení je nutností. Během řady posledních let v důsledku popsaných skutečností došlo ke zvýšení počtu opatření, samotných řešení či studií z nejrůznějších oborů lidské činnosti, které se problematikou povodní zabývaly nebo stále zabývají. Opatření mající za následek ochranu před povodňovými událostmi je možno dělit do několika kategorií, přičemž mezi ty hlavní patří opatření technická a přírodě blízká. Ovšem je třeba zmínit, že i přes veškerá prováděná opatření není možná absolutní ochrana území před povodněmi (Janský 2003, Hladný 2007). V posledních letech začal být brán větší zřetel na protipovodňová opatření mající základ v tzv. protipovodňových opatřeních přírodě blízkých. Tato opatření jsou mimo jiné převážně zaměřena na postupné zvyšování retenční kapacity a zpomalování odtoku z povodí (Janský 2006; Kocum, Janský 2008b). Samotným zvyšováním retenční schopnosti v povodí se zabývala a stále zabývá celá řada projektů na katedře fyzické geografie a geoekologie Přírodovědecké fakulty Univerzity Karlovy (dále jen KFGG PřF UK), a to především v souvislosti s funkcí horských vrchovišť v pramenných oblastech (Janský 2006; Janský, Kocum 2007a; Janský, Kocum 2007b; Kocum, Janský 2009). Retence vody v pramenných oblastech Vydry a Křemelné – případová studie povodí Rokytky. Kromě vlivu zrašelinění mají na odtok vody z povodí vliv i ostatní fyzicko-geografické charakteristiky povodí, a právě tímto tématem se zabývá tato bakalářská práce, kdy jsou porovnávány tři zájmová území s rozdílnými fyzicko-geografickými podmínkami, včetně rozdílnosti v zastoupení rašelinišť na jednotlivých povodích, a to na základě ovlivnění povodňovými či zvýšenými vodními stavy. Bakalářská práce volně navazuje na práce Čurdy, Janského a Kocuma (2011).

1.1 Cíle práce

Následující práce se skládá z hlavního a několika dílčích cílů vedoucích k realizaci cíle hlavního, kterým je, jak již je patrné z jejího názvu, posouzení vlivu fyzicko-geografických faktorů na extremitu odtoku, kdy je tento cíl řešen na základě porovnání reakcí tří fyzicko-geograficky heterogenních povodí na události v průběhu ročních období vyznačující se vysokou hodnotou odtoku. Mezi ostatní, dílčí cíle patří:

- 1) Rešeršní zpracování domácí i světové literatury (v souvislosti s řešeným tématem.)
- 2) Analýza fyzicko-geografických a hydrografických podmínek v zájmových povodích (včetně zpracování land use).
- 3) Sestrojení konsumpčních křivek jednotlivých měrných profilů.
- 4) Výběr, analýza a porovnání povodňových (extrémních) situací navzájem

1.2 Struktura práce

Práce je členěna do jednotlivých kapitol, které z části odpovídají výše uvedeným cílům práce. V první části práce je popsáno formou rešerše zhodnocení současného stavu výzkumu jak z domácí, tak i zahraniční literatury se zaměřením na srážko-odtokový proces, ovlivnění odtoku fyzicko-geografickými faktory a v poslední řadě jsou charakterizovány metody hodnocení extremity odtoku. Ve druhé kapitole je proveden fyzicko-geografický a hydrografický rozbor tří zájmových povodí (povodí Černého, Ranklovského potoka a Rokytky), mající vliv na odtokový proces. Následující krátká kapitola je věnována získávání, metodice a zpracování nezbytných dat pro tuto práci. Pátá, nejobsažnější část práce je zaměřena na popis a zhodnocení jednotlivých extrémních průtokových situací v určených šumavských povodích. V téměř závěrečné fázi (šestá kapitola) této práce jsou analyzovány hlavní cíle práce, tedy vzájemné porovnání situací na základě získaných informací z předchozích kapitol a v závěru kapitoly hlavní cíl práce spočívající ve zhodnocení vlivu fyzicko-geografických faktorů na extremitu odtoku. Sedmá kapitola obsahuje nástin praktického terénního experimentu z povodí Černého potoka, který je detailněji popsán na konci práce v kapitole Přílohy. Po sedmé kapitole následuje diskuze nad dosaženými výsledky výzkumu. Závěrečná kapitola patří shrnutí výsledků dosažených v této práci.

2 Úvod do problematiky

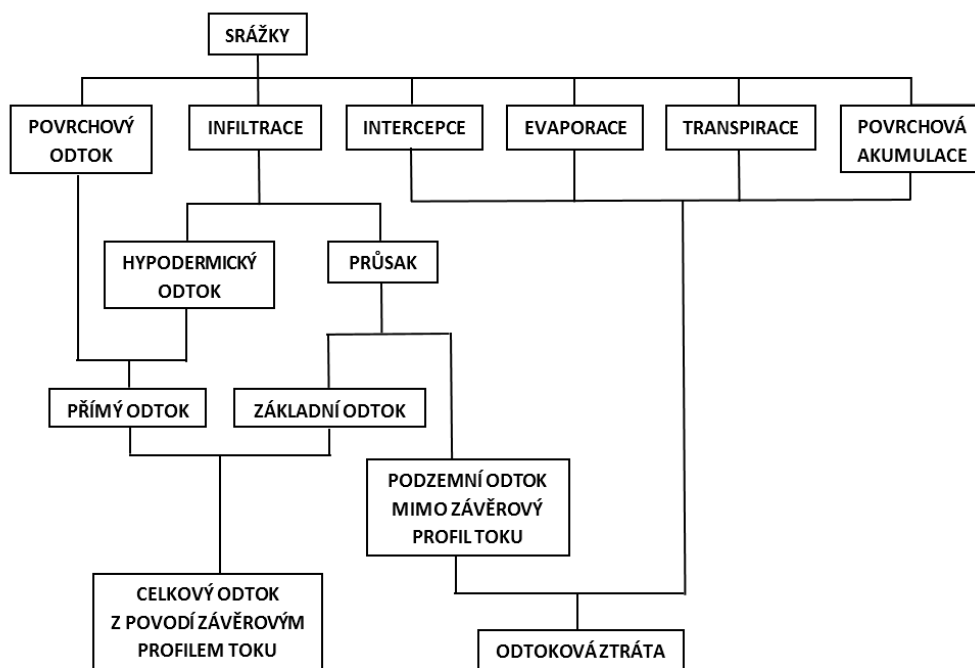
Tato práce si klade za cíl ukázat rozdílný vliv fyzickogeografických faktorů na základě srovnávací analýzy odtoku mezi třemi zájmovými povodími, přičemž toto porovnávání je založeno na výběru vhodných událostí pro hodnocení hydrologických extrémů.

Následující kapitola obsahuje základní fakta o srážko-odtokovém procesu, vzniku odtoku a jeho typech a dále analyzuje faktory ovlivňující povrchový odtok a jeho dynamiku, zejména se jedná o vlivy fyzickogeografické. Na závěr této statě jsou uvedeny metody pro hodnocení hydrologických extrémů.

2.1 Srážko-odtokový proces

Srážko-odtokový proces je komplikovaný děj, kdy dochází k postupné přeměně srážek na odtok vody z plochy povodí, na něž srážky dopadají (viz obr.1). Atmosférická srážka je základním vstupním prvkem srážko-odtokového procesu (Pavelková Chmelová, Frajer 2013) a v přímé závislosti na ní probíhá odtok (Šanda a kol. 2006).

Samotný proces začíná dopadem srážek na zemský povrch. Část srážek na zem ani nedopadne, jelikož může být zachycena vegetací či jinými předměty (intercepce). Zbývající nezachycená část srážek již na zem dopadne a zde může docházet k jejich hromadění (retenci) a následnému výparu (evaporaci) nebo k povrchovému odtoku do vodního toku. Další proces, který po spadlé srážce na zemském povrchu nastává, je její vsak do půdy (infiltrace). V půdě se srážky stanou součástí organické hmoty rostlin a živočichů, nebo se do vodního toku dostanou pomocí podpovrchového či podzemního odtoku (Pavelková Chmelová, Frajer 2013). Tento popis srážko-odtokového procesu je velmi zjednodušený a při jeho průběhu do něj vstupuje celá řada dalších faktorů, kterým je věnována další část této kapitoly.



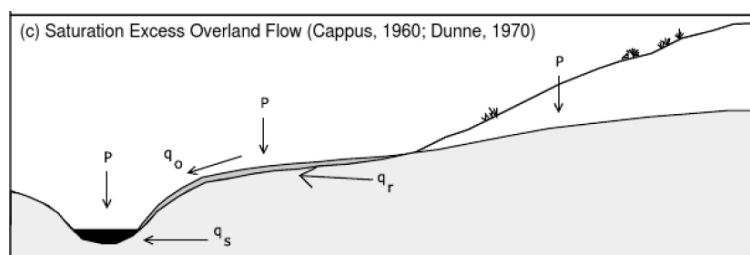
Obrázek 1: Srážko–odtokový proces (zpracování: autor, inspirace: Just et al. 2005)

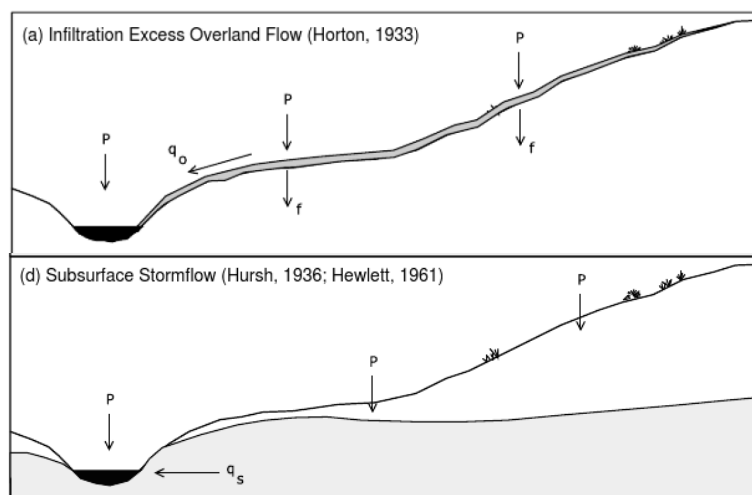
2.2 Odtok a jeho typy

Odtokem označujeme celkové množství vody, které odeteče korytem řeky za vymezený časový úsek a vyjadřuje se v km^3 nebo v m^3 průměrně za rok, měsíc, den či dobu povodně. Výpočet objemu odtoku spočívá ve vynásobení příslušného průtoku počtem vteřin potřebného časového úseku. Podobně jako průtok vyjadřuje vodnost řeky a jeho dlouhodobý průměr může sloužit ke vzájemnému porovnávání řek (Netopil 1970). Odtok jako takový je součástí hydrologické bilance, konkrétně její výstupní fáze a lze ho dále rozdělit na povrchový, podpovrchový a podzemní odtok. Povrchový odtok je nejrychlejší částí odtoku a je jím myšlena voda odtékající plošně po povrchu (Jeníček 2010 online). Tato složka odtoku obecně vzniká v důsledku překročení schopnosti krajiny pojmout vodu ze srážek, které jsou hlavním zdrojem vody tohoto typu odtoku. Povrchový odtok může být soustředěný (tzn. v rámci hydrografické sítě vodních toků) nebo nesoustředěný (tzv. plošný splach – ron). Teorie vzniku povrchového odtoku jsou tři: tzv. hortonovský odtok, při němž dochází k překročení retenční kapacity půdy (infiltration excess), dalším typem je odtok ze zóny saturace (saturation excess) tzv. „dunneho odtok“, vznikající za podmínky překročení retenční kapacity půdy a posledním typem povrchového odtoku je odtok vznikající opětovnou exfiltrací vody v nižších částech svahu tzv. (return flow), kdy se již jednou

infiltrovaná voda vrací zpět na povrch a dále odtéká povrchově (Beven 2012). Na obr. 2 jsou znázorněny mechanismy vzniku povrchového odtoku. Tzv. hortonovský typ odtoku se vyskytuje hlavně v oblastech aridních, s tenkou vrstvou půdy, jenž má nízkou infiltrační kapacitu a v oblastech s vysokou intenzitou srážek. Druhý typ, který lze zařadit mezi způsoby vzniku povrchového odtoku je již výše zmíněný odtok ze zóny saturace neboli tzv. dunneho odtok, jenž závisí na stavu provlhčení půdy před, během a po dešti. Podmínkou pro tento druh odtoku je menší intenzita srážek než u odtoku hortonovského a dále je omezen na menší plochy, na nichž může dojít při dešti k rychlému nasycení půdy (Langhammer 2007 online). Podpovrchový odtok neboli tzv. hypodermický odtok je část vody z celkového odtoku, která protéká pod povrchem terénu. Způsobem vzniku hypodermického odtoku je proudění v mikro a makropórech, a ve vrchní části nenasyceného půdního profilu tvoří laterální pohyb. Tento typ odtoku je pomalejší než povrchový odtok a je tvořen vodou v půdním profilu, jež před odtokem z povodí nedosáhla hladiny podzemní vody (Bumerl, 2003). Podpovrchový odtok má největší zastoupení v přirozeně zalesněných plochách (Ciml, 2011). Poslední složkou celkového odtoku je odtok podzemní, který odtéká jako součást podzemních vod a je to zároveň i nejpomalejší složka odtoku (Bumerl 2003). Podzemní odtok je nejvýznamnější v krasových oblastech a v přirozeně zalesněných vodních předělech (Ciml 2011).

Odtok můžeme dále dělit podle času, za který se srážková voda dostane do povrchových toků, a to na odtok přímý a základní (bazální). Přímý odtok, nastávající v průběhu a krátce po skončení srážky, je tvořen povrchovým a z části podpovrchovým odtokem (tzv. rychlou složkou hypodermického odtoku) (Kříž 1983) a podílí se na přechodném zvýšení vodnosti řek. Za přímý odtok se ale většinou z praktických důvodů považuje jen odtok čistě povrchový. Z výše uvedených faktů tedy plyne, že základní odtok je tvořen odtokem z podzemních vod a z druhé části hypodermického odtoku, tedy odtokem zpožděným. V hydrologii je také často využíván pojem specifický odtok čili poměrný odtok, též jednotková vydatnost.





Obrázek 2: Vznik povrchového odtoku: a) infiltration excess b) saturation excess c) return flow (zdroj: Beven 2012)

Specifický odtok je počítán na základě množství vody, která oteče z jednotky plochy povodí za jednotku času. Tato veličina se nejčastěji udává v litrech za sekundu z jednoho km^2 ($\text{l/s} * \text{km}^2$), někdy i v m^3 ($\text{m}^3/\text{s} * \text{km}^2$). Specifický odtok může být okamžitý, průměrný denní, měsíční, roční nebo dlouhodobý průměrný (Netopil 1970).

2.3 Ovlivnění odtoku

Odtok je ovlivněn mnoha faktory, přičemž tyto faktory jsou ve vzájemné závislosti a mohou se doplňovat nebo také rušit (Němec 1964). Hlavní činitele ovlivňující odtok lze rozdělit do tří kategorií, a to na faktory fyzickogeografické, klimatické a antropogenní.

Antropogenní činnost může ovlivňovat odtok pozitivním i negativním způsobem a vliv člověka na odtok může být nevědomý či cílevědomý (Netopil 1970). Mezi nejvýznamnější negativní způsoby ovlivnění odtoku lidskou činností patří urbanizace a industrializace, jež vedou ke zvýšení povrchového odtoku díky nahrazení přirozeného pokryvu nepropustnou zástavbou, která znemožňuje infiltraci a dále také odlesňování způsobující snížení infiltrační a retenční schopnosti povrchu (Červený et al. 1984; Janeček et al. 2007). Dalším faktorem, který lze zařadit mezi negativní ovlivnění odtoku člověkem, je v posledních letech stále častější osévání zemědělské půdy monokulturními plodinami (Krešl 2001) a celkově nešetrné obhospodařování půdy. Naopak do pozitivních faktorů lze zařadit protierozní a protipovodňová opatření, které zamezují odtoku z povrchu a erozi půdy (Červený et al. 1984; Janeček et al. 2007). Do těchto pozitivních faktorů souvisejících s protierozním a protipovodňovým opatřením lze umístit výstavbu nádrží nebo regulaci řek. Ovšem existují i méně nákladné a jednodušší postupy, které mohou odtokové poměry i

vodnost řek v povodí pozitivně ovlivnit, jedná se zejména o opatření agrotechnická a biologická (Netopil 1970). Srážky a výpar patří mezi jedny z nejdůležitějších klimatických činitelů ovlivňující odtok (Kemel 1996). Srážky ovlivňují odtok na základě jejich typu (dešťové, sněhové), velikosti, intenzity či jejich časového a plošného rozdělení. Odtok je také ovlivněn výše zmíněným výparem, který stoupá s teplotou vzduchu, a naopak klesá se vzrůstající relativní vlhkostí vzduchu. Výpar je také ovlivněn nadmořskou výškou, kontinentalitou klimatu a zeměpisnou šířkou. V globálním měřítku je nejvyšší výpar v oblasti vnějších tropů vlivem převládajícího vysokého tlaku vzduchu a stálých pasátových větrů, které intenzitu výparu podporují. Směrem do vyšších zeměpisných šířek intenzita výparu postupně klesá. Nižší výpar, než v oblasti obratníků je i ve vnitřních stále vlhkých tropech vlivem vysokému nasycení vzduchu vodní párou (Janský 2015).

Mezi neméně důležité klimatické faktory ovlivňující odtok patří podle Kemela (1996) atmosférický tlak, vlhkost vzduchu, rychlost a směr větru.

2.3.1 Ovlivnění odtoku fyzickogeografickými faktory

Na velikost odtoku, jeho časové a plošné rozložení a na vývoj mnoha hydrologických jevů souvisejících s odtokem a odtok doprovázející mají zásadní vliv fyzickogeografické poměry povodí. Mezi nejdůležitější faktory ovlivňující odtok patří morfologie a morfometrie povodí, geologické a půdní poměry, vegetační pokryv (Netopil et al. 1984) nebo výskyt vodních ploch (Kemel 1996). K charakteristikám popisujícím morfologii povodí a ovlivňujícím odtok patří sklonitost, plocha a tvar povodí a dále hustota a uspořádání říční sítě. Pro sklonitost povodí platí ve většině případů následující zákonitost: čím je vyšší sklonitost terénu, tím je rychlejší odtok neboli se zvyšujícím se sklonem povodí se zkracuje doba, za kterou se v závěrovém profilu soustředí odtok z celého povodí (Čurda 2009). Rychlost odtoku ze svahu může být ještě více zvýrazněna, pokud se jedná o svah, jenž není pokrytý vegetací (Kemel 1996). Na sklonitosti terénu závisí i množství dopadajícího slunečního záření, které výsledně ovlivňuje (různou intenzitou) rychlost tání sněhu (Hrušková 2006). S plochou povodí úzce souvisí velikost odtoku. Na malých povodích, zvláště v pramenné části řek, dosahuje specifický odtok obvykle vyšších hodnot nežli na velkých plochách povodí. Tyto rozdíly se obzvláště výrazně projevují při maximálních specifických odtocích, jímž odpovídá doba vrcholení povodňové vlny (Netopil 1970). Tvar povodí a uspořádání říční sítě ovlivňují výsledný tvar povodňové vlny, která vznikne souběhem povodňových vln z jednotlivých částí povodí (Janský 2015). Protáhlá povodí jsou typická jedním dominantním tokem a kratšími přítoky, a z toho důvodu se vrcholové průtoky povodňové vlny postupující po hlavním toku nemusí střetnout s kulminačními průtoky

povodňových vln na přítocích (Šercl 2009). U protáhlých povodí je rovněž důležité, zda jádro intenzivního deště postupuje po proudu nebo proti proudu toku. Při souběhu postupující srážky a vznikající povodňové vlny může povodeň v bráně povodí extrémně narůstat, při postupu srážky proti proudu může být naopak odtok vyrovnanější (Janský 2015). Z hlediska vzniku nebezpečných povodní je významná soustava vějířovitá, charakteristická soutokem několika přibližně stejně dlouhých toků téhož řádu prakticky v jednom místě. V důsledku přibližně stejných dob doběhových na jednotlivých tocích dochází při zasažení celého povodí deštěm ke střetu kulminačních průtoků, a tak ke vzniku extrémně velkých povodní v místě soutoku a pod ním (Kemel, Kolář 1980). S hustotou říční sítě souvisí propustnost půdního pokryvu, kdy při menší hustotě říční sítě dochází k větší propustnosti půdního pokryvu. S tímto faktem je spojen větší procentuální podíl dotace podzemních vod a více vyrovnané průtoky v průběhu roku (Kemel 1996).

Mezi morfometrické faktory koryta mající vztah k odtoku patří tvar příčného profilu, kdy se počítá tzv. hydraulický poloměr, který vyjadřuje odpor tření o dno a břehy. Dále mezi tyto faktory patří sklon čáry energie neboli sklon hladiny a také drsnost dna, kdy je využívána tabulka Manningova koeficientu drsnosti (Langhammer 2008 online).

Geologické poměry ovlivňují převádění na povrch spadlé a po něm odtékající vody do větších hloubek pod zemským povrchem. Míra jejich účinku závisí na stupni propustnosti hornin. Ovšem vlastnosti zóny zvětrávání a zvětralinové pokrývky jsou mnohdy důležitější nežli míra propustnosti matečných hornin. (Netopil 1970). Tvrdé krystalické horniny (žuly, ruly), horniny sopečného původu (bazalty, andezity) jsou v nezvětralém stavu nepropustné a urychlují povrchový odtok. V případě jejich zvětrávání vytvářejí hrubozrnný zvětralinový plášť, který zintenzivňuje infiltraci. Vysokou propustnost vykazují také porézní pískovce, písky, štěrky či hluboko mechanicky zvětralé nebo tektonicky narušené tvrdé horniny (Ruda 2014 online). Geologické poměry mají také zásadní vliv na rozdělení vodnosti v tocích. Toky v oblastech s dobře propustnými vrstvami se v období bohatých srážek vyznačují nižšími kulminačními průtoky, v období sucha naopak vyššími minimálními průtoky, než je tomu u toků odvodňujících oblasti s nepropustným nebo málo propustným podložím (Kemel, Kolář 1980). S problematikou geologických poměrů souvisí úzce půdní poměry, jež rozhodují o možnosti vsaku vody a množství infiltrované vody a tím o velikosti a rozložení odtoku. Infiltraci a propustnost hlavně ovlivňují:

- zrnitostní složení půdního profilu. Infiltrace většinou roste od těžkých půd k lehkým, zrnitostně středně těžké půdy jsou považovány za ideální díky nižší objemové hmotnosti, dobrému provzdušnění a biologické aktivitě, sorpčnímu nasycení; lehké,

písčité až sypké půdy se vyznačují vysokou infiltrační rychlostí a nízkou retenční schopností, zatímco těžké, jílovité půdy jsou charakteristické vysokou retencí a špatnou infiltrací povrchu.

- struktura a hloubka půdy
- mineralogické složení a charakter pórů
- obsah humusu, vápna, případně solí a jejich stavem vlhkosti (Netopil 1970)

Velký vliv na odtok vody z povodí a na režim odtoku má vegetační pokryv. Vliv může být kladný i záporný podle toho, jaký druh vegetace pokrývá povodí nebo jak jsou zastoupeny jednotlivé druhy vegetace. Účinek jednotlivých druhů vegetace je značně proměnlivý a závislý na mnoha jejich vlastnostech (Netopil 1970). Rostlinná pokrývka povodí reguluje množství srážek zachycených na tělech rostlin, množství vsáklé a rychlost stékající vody, velikost ztrát vody výparem a tím pádem rovněž významně ovlivňuje jednotlivé fáze procesu odtoku z povodí (Kemel, Kolář 1980). Ovšem ovlivnění odtoku vegetačním pokryvem v povodí klesá se vzrůstající extremitou vstupních srážek (Jeníček 2007). Vegetace má také vliv na akumulaci a tání sněhu. V období maximální akumulace může být v dobře zapojeném lese až o polovinu méně sněhu, než je tomu na otevřených plochách (Hrušková 2006).

A právě v předchozím odstavci zmíněný les patří mezi jeden z nejdůležitějších vegetačních pokryvů. Všeobecně se hydrology uznává regulující vliv lesa na odtok vody z povodí. Zdravý, smíšený les se správným zastoupením dřevin má dostatečně tlustou vrstvu hrabanky a humusu, a tím pádem je schopen pojmout poměrně značné množství vody ze srážek, vodu vsáknout a s časovým zpožděním postupně tok zásobovat (Kemel, Kolář 1980). Obecně vliv lesních porostů na odtok vody v krajině může být následující (Ruda 2014 online):

- zvyšují intercepci (a to díky zadržování části srážek na povrchu listů, větví a kmenů). Intercepce probíhá během celého roku a její intenzita závisí na druhu porostu, kdy je například v jehličnatých lesích vyšší než v listnatých.
- zvětšují akumulaci vody v povodí. Vyčnívající kořeny stromů zvyšují drsnost povrchu v okolí kmenů a tím zvyšují jeho akumulační schopnost.
- zvyšují intenzitu infiltrace. Kořeny zpevňují půdu a chrání ji proti erozi, mezi kořeny se vytváří prohlubně, kde se hromadí opad, díky jehož rozkladu je tvořen humus, který udržuje větší vlhkost půdy, a tak zvyšuje infiltraci.

- zvětšují retenční schopnost povrchu. Kořeny, lesní hrabanka, větve na zemi a spodní vegetační patra snižují rychlost povrchového stékání vody.
- udržují vyšší vlhkost vzduchu při nižší teplotě vzduchu. Vyšší evapotranspirace je kompenzována menším výparem a menší transpirací nižších vegetačních pater.
- prodlužují období infiltrace. V zimě a v noci se snižuje vyzařování dlouhovlnného záření (tepla). Lesní hrabanka brání hlubšímu promrzání, přičemž tlení hrabanky vytváří teplo, které se spotřebuje na roztání půdy pod sněhovou pokrývkou, která v důsledku zastínění stromy vydrží déle.
- zadržují část srážek na povrchu listů, větví a kmenů, kde srážky podléhají výparu. Intercepce se tak projevuje v celkové roční bilanci oběhu vody, je závislá na druhu a hustotě vegetace a také na druhu, intenzitě a trvání srážek

Účinky lesních porostů zejména tedy vyrovnávají odtok vody. Velikost účinku je dána původem v území, stářím lesa, jeho druhovou skladbou, původní nebo druhovou skladbou, kdy například smrkové lesy, nacházející se v přirozeném (horském) vegetačním stupni mají příznivější účinek na odtok než v oblasti smrkových monokultur v nižších nadmořských výškách. (Ruda 2014 online). Dalším faktorem, který má vliv na vztah mezi lesem a odtokem, je poloha lesa v rámci povodí, pokud není povodí zalesněno celé. Při částečném zalesnění povodí velmi záleží na poloze lesů. Jsou-li totiž zalesněné oblasti například v dolní části povodí, může být v období jarního tání sněhu režim kulminačních průtoků dokonce nepříznivější. Vlivem zastínění sněhu v lesních porostech před slunečním zářením dochází totiž ke zpožděnému tání, takže se mohou za určitých okolností střetávat odtoky z horní nezalesněné a dolní zalesněné části povodí, a tak vznikat vysoké kulminační průtoky v dolním, uzavíracím profilu (Kemel, Kolář 1980). Celkově lze konstatovat, že lesní hospodářství může vhodným managementem a činností zaměřenou na plnění vodohospodářské funkce lesa příznivě ovlivňovat odtokový proces ze zalesněného povodí, jakost vody v tocích a ve vodních nádržích, ale naopak může způsobit i opačný efekt (Čaboun, Mindáš 2003 online).

Naopak krajinným pokryvem s malou infiltrací a velkým povrchovým odtokem jsou především orné půdy. Rychlý odtok je typický pro zemědělské plochy, které nejsou dostatečně pokryté plodinami chránící půdní povrch. Mezi tyto plodiny se řadí kukuřice, chmelnice nebo vinice, a to hlavně díky jejich širokořádkovému uspořádání. Jedním z možných řešení, jak zvýšit infiltrační a retenční kapacitu půdy, je její převedení z orné na louky a trvalé travní porosty (Kvítek 2006). Právě uvedené trvalé travní porosty mají v průměru

o 10 % vyšší pórovitost než orná půda, a tím pádem tedy i lepší půdní strukturu, která umožňuje plynulý odtok a vsak srážkových vod. Další význam, který mají louky, se projevuje hlavně v oblastech chudých na srážky, kdy louky díky své schopnosti snižovat přímý výpar z půdy, zajišťují vodní rezervy v půdě (Šír et al. 2004).

V některých povodích jsou součástí krajinného pokryvu i četná rašeliniště, jako je tomu například v oblasti, kterou zkoumá tato práce. Vliv rašelinišť na odtokový proces není ovšem zatím uspokojivě vyřešen a názory na toto téma se liší (Kocum, Janský 2009). Do 60. let 20. století byla v domácí i světové literatuře uznávána tzv. „houbová teorie“. Tato teorie předpokládala, že rašeliniště zadržují vodu při vysokých srážkách (povodňových průtocích) a naopak v období sucha průtoky nadlepšují a podílejí se tak na vyrovnávání odtoku (Ferda 1960). Ale od 70. let 20. stol. se objevují práce, které retenční funkci rašelinišť zpochybňují a za jedinou možnost zvýšení jejich retenční kapacity doporučují snížení hladiny podzemní vody pomocí odvodnění. Výsledky těchto prací prokázaly, že toky odvodňující rašeliniště se vyznačují značnou rozkolísaností průtoků a význam rašelinišť byl z hlediska vyrovnávání odtokového režimu v minulosti přeceňován. Mezi další zjištěné poznatky z těchto prací patří poměrně malý vliv zimních sněhových srážek při nadlepšování průtoků v letní polovině roku, a naopak výrazné uplatnění letních přívalových dešťů. Při naplnění horských vrchovišť na plnou vodní kapacitu byl přitom registrován rychlý vzestup odtoků. A dále při období déletrvajícího sucha rašeliniště nenapájely vodní toky. Tyto práce nabízejí také řešení pro zlepšení hydrologického režimu toků, přičemž toto řešení spočívá v provedení odvodnění a zkulturnění rašelinišť (Conway, Millar 1960; Burke 1967; McDonald 1973; Baird 1997; Holden et al. 2001; etc.). Obecně lze říci, že problematika hydrologické funkce horských vrchovišť závisí na mnoha faktorech, především typu rašeliniště, jeho zdravotním stavu a míře antropogenního ovlivnění. Na základě současných dosavadních výsledků lze usoudit, že variabilita odtoku je vyšší v případě profilů uzavírajících povodí s významným podílem zrašelinělých a rašeliništních půd než závěrových profilů povodí s minimálním zrašeliněním. Existence rašelinišť má tedy negativní vliv na odtokový proces, zvláště během extrémních hydrologických situací, jako jsou povodně a období sucha. Tento fakt o negativním vlivu rašelinišť na odtokový proces byl dokázán na základě detailní statistické analýzy průměrných denních a měsíčních průtoků a porovnáním odpovídajících si vzestupných a poklesových fází odtoku v experimentálních profilech s různým stupněm zrašelinění (Kocum, Janský 2009). Celkově vzato je využití území jedním z klíčových faktorů ovlivňující odtokové poměry v lokálním, regionálním i globálním měřítku.

Dalším faktorem ovlivňujícím odtok patří existence vodních nádrží v povodí. Vodní

nádrže mají v krajině několik různorodých funkcí, mezi něž patří funkce ochranná, akumulární, asanační, zásobní, čistící, vyrovnávací, rekreační, hospodářská, estetická a vsakovací. Každá nádrž je význačná svou hlavní funkcí a řadou funkcí vedlejších. Celkově vodní nádrže napomáhají k tvorbě a ochraně životního prostředí, ke zlepšení kvality vody, a dále jsou v oblastech s malými vodními toky základním zdrojem vody pro obyvatelstvo, průmysl a zemědělství (Šálek 2000). Vodní nádrže mají také své hydrologické funkce, mezi které patří ochrana před velkými vodami, erozí či nadlepšováním, vyrovnávání nebo kompenzování odtoků z malých povodí. Vodní nádrže můžeme základní charakteristikou rozdělit na umělé nebo přirozené, protékané nebo tokem neprotékané. V souvislosti s výše uvedenými hydrologickými funkcemi lze uvést vliv na odtok u protékaných či neprotékaných vodních nádrží. Protékané nádrže jsou všeobecně známé svým retardačním účinkem na objem odtoku a transformačním účinkem na průtoky povodňové. Neprotékané nádrže se vyznačují tím, že často poměrně značnou část objemu toku zachytí, takže se nemůže uplatnit při tvorbě maximálních odtoků v samotném toku. Celkovým výsledkem obou těchto typů nádrží je regulující účinek na odtok. Velikost regulačního účinku nádrže je přitom dána velikostí nádrže a jejím umístěním, polohou v povodí. Obecně lze toky, které vytékají nebo protékají jezery či nádržemi charakterizovat zpravidla vyrovnanějším režimem odtoku než toky jiné (Kemel, Kolář 1980).

2.4 Hodnocení extremity odtoku

Pojem *extremita* neboli také *krajnost*, pochází z latinského *extremus* (krajní, nejzazší) (Rejzek 2012). Obecně lze *extremitu* považovat za krajní, mezní stav nebo hodnotu, které nebývá dosaženo příliš často, čímž se výrazně odlišuje od běžného stavu. *Extremita* je relativní charakteristika, jež je založená na porovnávání míry pravděpodobnosti výskytu určitého jevu nebo k ohodnocení míry rizika či následků jevu o téže pravděpodobnosti výskytu v určitém regionu v porovnání s mírou rizika či následků jevu o téže pravděpodobnosti výskytu v regionu jiném (Šercl 2009). Hodnoty vyjadřující *extremitu* mohou být oproti normálu buď výrazně vyšší, nebo výrazně nižší. V některých případech může ovšem nastat problém při vymezení *extremity*, jelikož hranice mezi normálním stavem a extrémem může být křehká. Označení *extremita* se nedá slučovat společně s přírodou, jelikož v přírodním prostředí jsou veškeré extrémy i se svými účinky přirozenou součástí vývoje ekosystému. *Extremitou* lze tedy označit až jevy, při nichž dochází k interakci s kulturní krajinou. Při této interakci velmi často dochází k poškození nebo znemožnění lidské činnosti.

V souvislosti s hydrologií se pojmem extremita označuje stav, kdy kterákoliv složka oběhu vody v přírodě vykazuje neobvyklé mezní hodnoty. Z výše uvedeného oběhu vody v přírodě se tato práce věnuje odtoku, a především právě jeho extremitě v souvislosti s fyzickogeografickými faktory. Extremitu odtoku můžeme dělit na abnormálně malý odtok, který se projevuje suchem, nebo na abnormálně velký, projevující se naopak povodní. Jak již bylo uvedeno, extrémní situace nelze spojovat s přírodou, a ne jinak je tomu u extrémních hydrologických procesů. Naopak v kulturní krajině vyznačující se složitou infrastrukturou způsobují extrémní hydrologické procesy velké majtkové škody, a dokonce v některých případech i ztráty na životech (Brázdil 2002).

2.4.1 Metody hodnocení extremity odtoku

Pro hodnocení odtokového režimu se využívají metody statistické či grafické, přičemž v této práci se bude jednat zejména o metody statistické. K samotnému hodnocení extremity odtoku může být přistupováno různými způsoby, které využívají různé ukazatele a indexy. Různorodost používaných přístupů k hodnocení extremity je zapříčiněna tím, že definice extremity události není jednotná. Hodnocení extremity události se většinou týká některého z jejích aspektů, mezi které patří: intenzita, vzácnost či závažnost (Beniston et al. 2007).

Extremita odtoku může být také hodnocena na základě různých ukazatelů variability odtoku. Z nich bývají v hydrologii nejčastěji užívány následující:

Základní statistické metody

Do této skupiny, jak již název napovídá, patří základní charakteristiky popisující určitý soubor dat, přičemž tímto souborem nemusejí být pouze data hydrologická, ale naopak data z nejrozličnějších oborů lidské činnosti. Mezi tyto metody tedy patří *aritmetický průměr*, *medián* a *variační rozpětí*, udávající rozdíl mezi nejnižší a nejvyšší hodnotou v datovém souboru, ovšem tento ukazatel může udávat zkreslené hodnoty a spíše se používá *směrodatná odchylka*.

Variační koeficient (CV)

Variační koeficient (CV) je bezrozměrná veličina, kterou je vyjádřen vztah směrodatné odchylky k průměru. Používá se k porovnání variability souborů s odlišnými hodnotami průměru (Zvára 2003). Variační koeficient patří mezi jedny z nejdůležitějších ukazatelů v hydrologii a pro její potřeby je vyjádřen následujícím vztahem:

$$C_v = \frac{\sqrt{\sum \frac{(Q_d - Q_a)^2}{n}}}{Q_a}$$

kde Q_a je dlouhodobý průměrný průtok, Q_d průměrný denní průtok, a n počet dní v roce. Na základě tohoto vztahu platí, že čím je hodnota koeficientu vyšší, tím vyšší je variabilita dat v souboru, tj. průtoků za sledované období.

Flashiness index (FI)

Flashiness index vyjadřuje krátkodobé oscilace odtoku. Jelikož není v českém jazyce pro překlad tohoto indexu vhodný ekvivalent, popisuje se jako frekvence a rychlost krátkodobých změn průtoků (Holko, Kostka 2008). Tento index byl poprvé použit Bakerem (Kalkus 2012) ve své práci, přičemž byl označován jako Richards - Baker Flashiness Index (R – B Index). Flashiness index je bezrozměrnou veličinou, která může nabývat hodnot od 0 do 2, přičemž hodnota 2 odpovídá absolutně rozkolísanému průtoku (Holko a kol. 2011). Hodnota tohoto indexu nám ve výsledku říká, o kolik se změnil průtok mezi dvěma časovými obdobími, z kterých je index počítán, přičemž nejčastěji se využívá dnů, ale pro detailnější analýzu lze dosadit i data s hodinovým intervalem (Holko a kol. 2011). FI index se nejčastěji počítá na základě rovnice uvedené níže. V této rovnici vystupují koeficienty q (průměrný průtok nebo objem odtoku) a i , které uvádí pořadové číslo dne tehdy, pokud je index počítán z denních průtoků.

$$FI = \frac{\sum_{i=1}^n |q_i - q_{i-1}|}{\sum_{i=1}^n q_i}$$

Součinitel odtoku (odtokový koeficient)

Součinitel odtoku bývá označován $\underline{C}$ a udává, kolik spadlých srážek se přemění v přímý odtok (Merz a kol. 2006). Tento ukazatel se uvádí v procentech, nebo jako index o hodnotě 0 – 1. Odtokový koeficient patří mezi základní způsoby sloužící k porovnání několika povodí mezi sebou a k zjištění jejich odtokových vlastností a je ovlivněn předchozí nasyceností povodí a vegetačním pokryvem. V nejrůznějších studiích: Bulme, Zehe, Brontstert (2007), Latron (2008) jsou na základě zvoleného časového období uváděny dva typy součinitele odtoku: součinitel odtoku za celý rok nebo za jednu srážkovou epizodu, přičemž tento druhý typ je více používán a počítán pro vybrané srážko-odtokové epizody.

2.4.1.1 Metody hodnocení vysokých průtoků a povodňových událostí

Mezi základní postupy při určení extremity patří srovnávání kulminačních průtoků při jednotlivých povodních s aktuálními hydrologickými daty a z odhadu doby opakování kulminačních průtoků. Dalším způsobem, jakým lze orientačně porovnat extremitu povodní (odtoku) s „fyzikálně reálným limitem“, je srovnání maximálních dosažených specifických odtoků při povodních např. s hodnotami dosaženými při extrémní povodni v roce 2002 (Říha, Smelík; Uhmánová 2011). Jiná možnost pro hodnocení vysokých průtoků spočívá v překročení určité hranice, například vybraných násobků hodnoty mediánu (Clausen, Binggs 2000).

Analýzou povodňových situací, jejich vznikem či porovnávání míry extremity se nezabývají pouze zahraniční hydrologové, ale i hydrologové v České republice. Příkladem takovéto analýzy může být studie v oblasti centrální Šumavy v povodí Modravského a Roklanského potoka, která byla provedena Čurdou, Janským a Kocumem (2011). Tato práce si mimo jiné kladla za cíl posoudit extremity povodňových průtoků, přičemž pro tento případ byla využita metoda spočívající ve vzájemném porovnávání variačního koeficientu v období před vzestupem povodňové vlny (Cv1) a během povodně (Cv2). Hodnota (Cv2) tedy představuje míru variability oproti průtoku, jenž by mohl být dosažen bez povodňové události. Díky vzájemnému porovnání těchto dvou variačních koeficientů lze získat informaci o míře extremity povodňové události vzhledem ke stavu před jejím nástupem. Součástí této práce bylo i spočítání tzv. indexu extremity povodňového průtoku (IEKP), který slouží k odstranění vlivu doby trvání kulminačního průtoku a délky povodňové vlny. Výpočet tohoto indexu je roven podílu maximální dosažené hodnoty desetiminutového průtoku v období jednoho dne před kulminací až po den kulminace (KP) a průměrného průtoku v období před vzestupem povodňové vlny (PP).

Další metoda využitelná pro hodnocení povodňových událostí je **analýza podobnosti povodní** (Vlasák 2008). Princip této metody spočívá v porovnávání parametrů charakterizujících povodňovou událost. Každá srážko-odtoková situace je charakterizována stanoveným indexem podobnosti (IP), který představuje míru podobnosti mezi proměnnými dvou porovnávaných povodní. Výpočet indexu podobnosti je dán vztahem:

$$IP = \left| \frac{(A - B)}{\left(\frac{(A + B)}{2}\right)} \right|$$

kde A a B jsou dané charakteristiky pro porovnávání povodně A a B . Index nabývá hodnot v rozmezí 0 (dva naprosto shodné prvky) až 2 (jeden prvek nabývá hodnoty blížíící se 0 – odlišné prvky). Kulminační průtok a objem povodňové vlny jsou parametry popisující povodeň z pohledu její extremity, a právě pro ně byl vypočten index podobnosti. Do příčinných podmínek se zařazuje ukazatel předchozích srážek k prvnímu dni s příčinou srážkou, maximální dvoudenní úhrn srážek a jejich prostorové rozložení v povodí.

Hodnocením extremity povodní se také zabývali Müller et al. (2015), kteří s využitím doby opakování kulminačních průtoků uvedli pro období 1961-2010 padesát největších povodní v České republice, a to na základě tzv. **flood extremity index (FEI)**. Index se počítá podle následujícího vztahu:

$$F_a = \frac{\sum_{j=1}^h (\log(N_j) a_j)}{a_a} * \frac{\sqrt{a_a}}{\sqrt{\pi}}$$

kde N_j je doba opakování kulminačního průtoků, a_j je velikost povodí a a_a odpovídá souhrnné ploše povodí pro h lokalit. Samotný výpočet tohoto indexu spočívá v postupném kumulování hodnot proměnných souvisejících s danou lokalitou, jejichž pořadí je určeno sestupně, a to podle hodnoty N_j .

V zahraničí se podobnou tematikou, tj. hodnocením povodní a jejich extremit, zabývala celá řada autorů. Jedním ze zahraničních indexů využívaných pro tuto tematiku je tzv. **Francou index k** (Francou, Rodier 1967; Rodier, Roche 1984; Herschy 2003), který hodnotí intenzitu povodně pouze na základě konkrétní situace. Zmíněný index je možno určit podle rovnice:

$$k = 10 \left(\frac{1 - [\log(Q) - 6]}{[\log(A) - 8]} \right)$$

kde Q značí maximální průtok a A plochu povodí (Rodier, Roche 1984; Herschy 2003).

Dalším metodou zabývající se výše zmíněnou problematikou, jenž pochází ze zahraničí, konkrétně z Německa (Uhlemann, Thieken, Merz, 2010), je komplexní metoda identifikace a hodnocení velkých povodní. Při této metodě bylo využito 51-leté časové řady průměrných denních průtoků z desítky lokalit, na nichž se hledali současně se vyskytující významné průtoky a tím pádem byla identifikace povodňových situací založena na základě navzájem souvisejících píků (P). Dále byla určena prahová hodnota (10letá povodeň) průměrného denního průtoků (s využitím n -tého kvantilu), jež musí být překročena alespoň na jedné ze stanic. Průtoky, které jsou v této analýze považovány za důležité, se dosti

výrazně odchylojí od 13ti denního klouzavého průměru hodnot dané časové řady. Dále byla stanovena časová prodleva, a to tři dny před a deset dní po výskytu $Q^{P>10}$. Pomocí výše uvedených kritérií se stanovily jednotlivé povodňové události a jejich doba trvání (na základě výskytu $Q^{P>10}$ nebo prvního a posledního významného píku). Takto vybraným událostem byla vypočtena jejich závažnost (**event severity S**):

$$S = \sum_{i \in \Omega} \left\{ \lambda_i * \frac{Q_i^P}{Q_i^2} \right\}$$

kde Q_i^P představuje hodnoty maximálních průměrných denních průtoků na stanicích, kde tyto hodnoty převyšují 2-letý průtok – Q_i^2 , Ω značí všechny lokality i , na nichž se nacházejí uvažované píky a λ_i označující prostorový rozsah povodně, který se dle této metody vypočítá vztahem:

$$\lambda_i = \frac{l_i}{\sum_i l_i}$$

kde veličina l_i odpovídá délce úseku říční sítě přiřazené k určité stanici (Uhlemann, Thieken, Merz 2010; Schröter et al. 2015).

Na základě předchozího indexu byl vytvořen podobný index (Schröter et al. 2015), tzv. **flood severity index S***, který podobně jako předchozí index udává sumu maximálních průtoků (Q_i^P) větších než 5letý průtok (Q_i^5) a váženého poměru délky zasažené říční sítě (λ_i):

$$S^* = \sum_{i \in \Omega} \left\{ \lambda_i * \frac{Q_i^P}{Q_i^5} \right\}$$

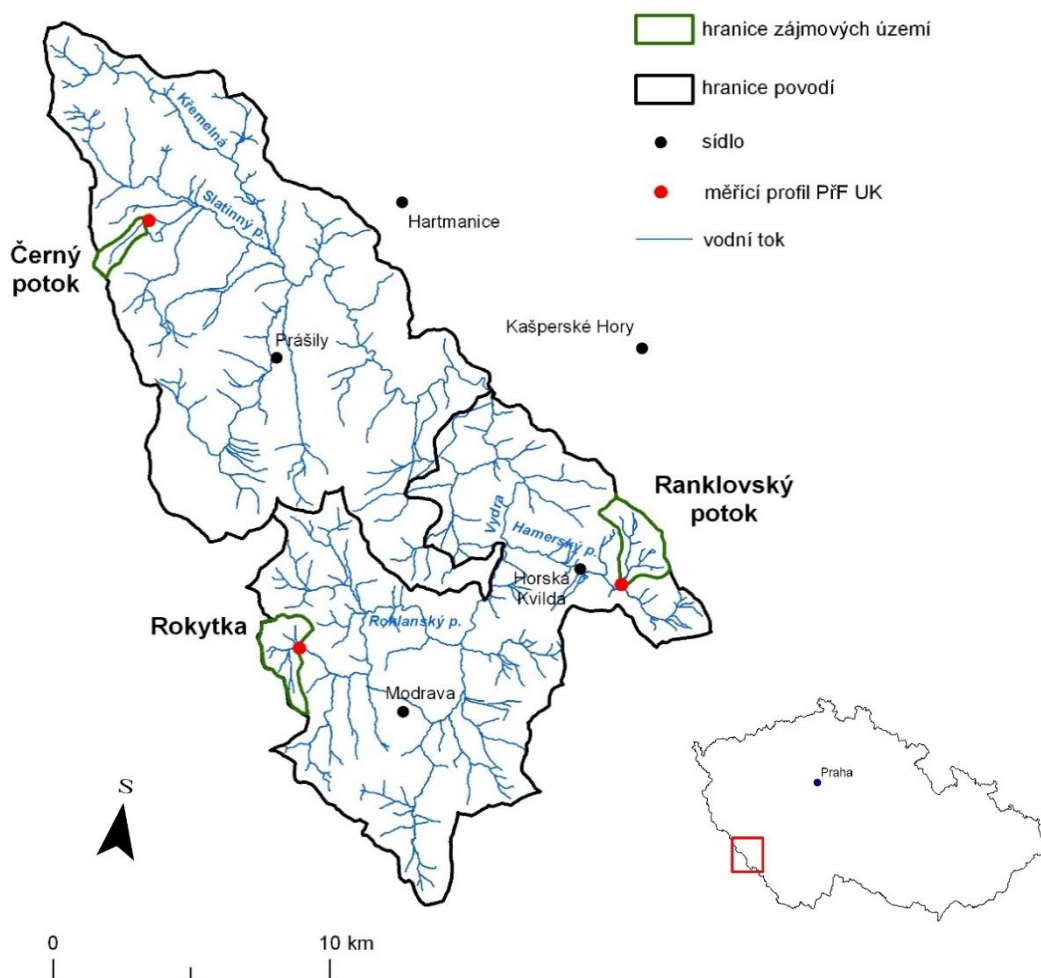
Rozdíl oproti předchozímu indexu je tedy ten, že indexem S^* mohou být hodnoceny pouze ty lokality, kde maximální průměrné denní průtoky dosahují alespoň 5-letého průtoku, nikoliv 2-letého, jako tomu bylo u indexu S .

3 Fyzickogeografický přehled vybrané oblasti

Tato kapitola obsahuje charakteristiku zájmových experimentálních území, které leží v horní části povodí řeky Otavy. V jednotlivých podkapitolách jsou jednotlivá povodí popsána z hlediska obecné hydrografické charakteristiky, a především z pohledu fyzickogeografického.

3.1 Lokalizace zájmových území

Vybraná zájmová území se nacházejí v jihozápadních Čechách, v Plzeňském kraji, v okrese Klatovy. Zájmová území jsou tvořena třemi povodími, a to povodím Černého potoka, Ranklovského potoka a povodím Rokytky. Poloha zájmových území je znázorněna na obr. 3. Tyto oblasti se nacházejí v centrální části Šumavy, konkrétně v Šumavské hornatině a jsou součástí pramenné oblasti řeky Otavy, tím pádem náleží k úmoří Severního moře. Pro tuto práci byla nezbytná existence automatických stanic vlastněných katedrou fyzické geografie a geoekologie na PřF UK v Praze, které jsou umístěné na jednotlivých níže uvedených profilech a jejichž poloha je zobrazena na obr. 3.



Obrázek 3: Lokalizace zájmových území (zpracování: autor)

3.1.1 Černý potok

Povodí Černého potoka se celou svou plochou nachází na území České republiky. Černý potok je pravostranným přítokem Slatinného potoku, který je rovněž pravostranným přítokem řeky Křemelné. Celková plocha povodí odpovídá 4,4 km², ovšem k výzkumu je využívána pouze horní část povodí uzavřená hladinoměrem PřF UK v Praze. Tato horní část má plochu odpovídající zhruba 1,5 km². Zmíněný hladinoměr se nachází na mostě u silnice Prášily – Gerlova huť. Nadmořská výška povodí se pohybuje v rozmezí 912–1295 m n. m.

3.1.2 Ranklovský potok

Povodí Ranklovského potoka leží při hranicích krajů Jihočeského a Plzeňského, ale celou svojí plochou stále ještě leží v Plzeňském kraji. Ze všech tří zkoumaných povodí je tím nejvýchodnějším. Povodí se nachází mezi vesnicemi Zhůří, Horská Kvilda a Vydří Most. Závěrovým profilem pro povodí Ranklovského potoka je v této práci automatický hladinoměr katedry fyzické geografie a geoekologie PřF UK, jenž je umístěn několik desítek metrů nad soutokem s Hamerským potokem, jehož je Ranklovský potok pravostranným přítokem. Samotný Ranklovský potok protéká v horní části povodí Zhůřskými slatěmi a v dolní části jeho přítoky Hornokvildskou slatí. Povodí potoka má plochu přibližně 4,3 km² a nachází se v nadmořských výškách 1049–1156 m n. m.

3.1.3 Rokytka

Zájmové území povodí Rokytky se nachází v jádrové části Šumavy, většina povodí leží na české straně Šumavy a zbylá část na německé. Rokytka protéká tzv. Modravskými pláněmi a je levostranným přítokem Roklanského potoka, který se soutokem s Modravským potokem podílí na vzniku řeky Vydry. Celková plocha povodí Rokytky je 6,2 km², ale zájmové území, se kterým se v této práci pracuje, je ukončeno automatickým hladinoměrem PřF UK v oblasti Weitfallerských slatí, nikoliv až soutokem Rokytky a Roklanského potoka. Poloha této automatické stanice je znázorněna na obr. 3. Tato experimentální část povodí Rokytky zaujímá plochu 3,9 km², která byla zjištěna podle orograficky vymezené rozvodnice (Jelínek 2008). O 5 let později došlo k terénnímu průzkumu, při kterém byla tato část povodí přeměřena s výsledkem plochy povodí 3,78 km² (Vlček 2011). Povodí leží v nadmořské výšce 1090–1223 m n.m.

3.2 Fyzickogeografická charakteristika jednotlivých povodí

Tato podkapitola shrnuje vybrané vlastnosti povodí tří zájmových území z hlediska jejich tvaru, morfologie, morfometrie, sklonitosti, expozice svahů a orografických poměrů. Uvedené vlastnosti hrají důležitou roli v chování jednotlivých toků.

3.2.1 Tvarové vlastnosti

Tvar povodí řek má vliv na tvoření průtoků po spadnutí deště a při tání sněhu. K vzájemnému srovnávání jednotlivých povodí je nutno kvantitativně vyjádřit jejich tvarové vlastnosti (Ruda 2014). Tvarové charakteristiky jsou shrnuty v tabulce 1.

Tabulka 1: Tvarové vlastnosti zkoumaných povodí

	Černý potok	Ranklovský potok	Rokytky
Graveliův koeficient	1,49	1,38	1,46
Charakteristika povodí α	0,21	0,33	0,55
Koef. protáhlosti povodí	0,52	0,65	0,86
Koef. souměrnosti povodí	0,06	0,28	0,35

Pro povodí Černého potoka je charakteristický protáhlý tvar povodí (Vlček 2011), který není z hlediska povodní tak nebezpečný, jelikož vlny postupující po hlavním toku se nemusí střetnout s kulminačními průtoky povodňových vln na přítocích (Šercl 2007). Zatímco tvar povodí Ranklovského potoka a Rokytky lze označit jako vějířovité, přičemž u tohoto typu tvaru je velké riziko vzniku povodní a s ní spojené extremity odtoku díky tomu, že při zasažení celého povodí srážkou se povodňové vlny o podobné velikosti a mohutnosti mohou stýkat v závěrovém profilu povodí.

3.2.1.1 Hydrografické vlastnosti povodí a říční sítě

Tabulka 2: Hydrografické vlastnosti povodí a říční sítě

	Černý potok	Ranklovský potok	Rokytky
Plocha povodí [km²]	1,49	4,29	3,72
Délka toku [km]	2,37	3,03	2,18
Celková délka vodních toků [km]	2,75	9,26	5,45

Hustota říční sítě [[km/km²]	1,85	2,16	1,47
Délka rozvodnice [km]	6,45	10,16	9,99
Délka povodí [km]	2,70	3,62	2,54
Střední šířka povodí [km]	0,63	1,19	1,41
Stupeň vývoje toku	1,08	1,10	1,28

Mezi další charakteristiky říční sítě a povodí patří řádovost vodních toků a uspořádání říční sítě. Řádovost vodních toků je vyjádřením hierarchie vodních toků v rámci říční sítě. V současné době existuje několik způsobů, jak řádovost vodních toků určit. Řádovost toků v zájmovém území jsem určil podle tzv. absolutní řádovosti, podle níž je Černý potok tokem VII. řádu a Ranklovský potok společně s Rokytou jsou tokem VI. řádu.

Uspořádání hlavního toku a jeho přítoků má různé tvary, které se nejvíce odvíjejí od geologické stavby území a stadia vývoje reliéfu. Tvar říční sítě u Černého potoka odpovídá pérovitému typu říční sítě, u Ranklovského potoka a Rokytky stromovitému typu.

3.2.1.2 Orientace svahů v povodí

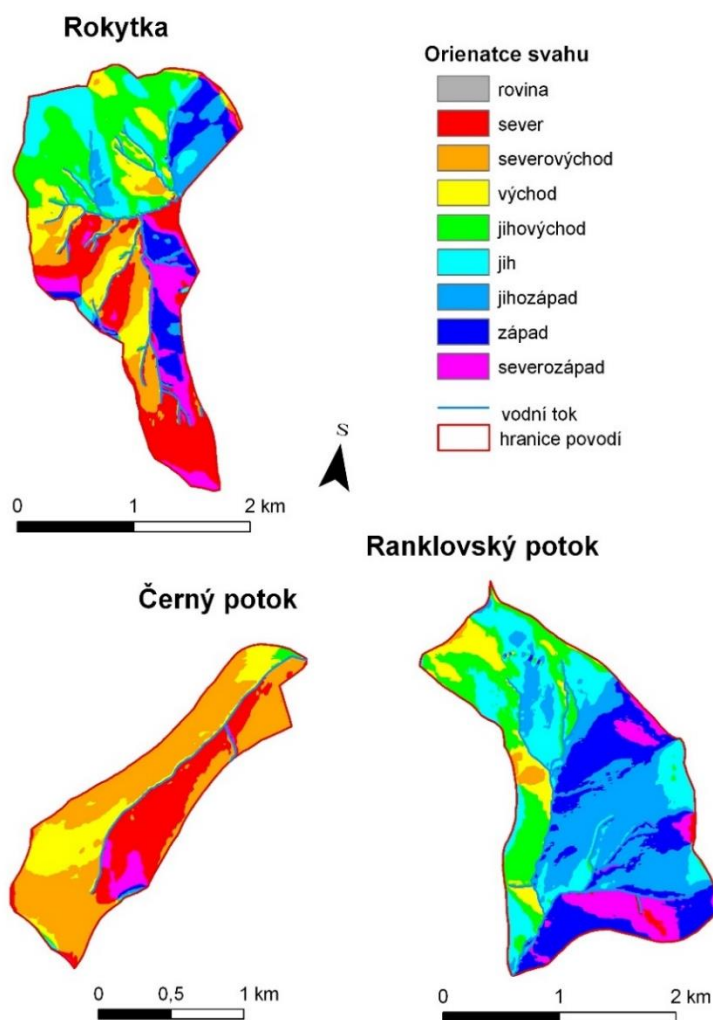
Expozice svahů k jednotlivým světovým stranám hraje důležitou roli z hlediska možného orografického efektu spojeného především s výskytem srážek (Čurda 2009).

V povodí Černého potoka si lze povšimnout, že dominuje orientace svahů severovýchodním směrem (54 % z celkové plochy povodí), následována severním a východním směrem. Tyto tři nejvíce zastoupené směry zaujímají téměř 94 % z celkové plochy povodí. Naopak svahy ukloněné na jih, jihozápad a západ se nevyskytují téměř vůbec.

Povodí Ranklovského potoka je nejvíce zastoupeno svahy orientovanými k jihozápadu (27 % z celkové plochy povodí), tento směr je následován orientací k jihu a západu, přičemž tyto tři uvedené směry zaujímají dohromady kolem 67 % z plochy povodí. Na druhé straně nejméně zastoupenými je severní a severovýchodní směr (dohromady 2 % z plochy povodí).

V experimentálním povodí Rokytky jsou nejvíce zastoupeny svahy směřující na jihovýchod, přičemž za nimi následují svahy ukloněné k severu a východu. Nejméně zastoupeny jsou svahy orientované k jihozápadu a severozápadu. Celkově lze ale toto povodí z hlediska orientace svahů hodnotit jako vyrovnané, kdy žádný směr orientace svahů výrazně

nepřevyšuje ostatní směry, čehož si lze povšimnout i při porovnání mezi nejvíce (jihovýchod – 19 % z plochy povodí) a nejméně (jihozápad – 7 % z plochy povodí) zastoupenou orientací svahu. Orientaci svahů všech tří zájmových území lze sledovat na obr. 4.



Obrázek 4: Orientace svahů v povodích (zpracování: autor)

3.2.1.3 Sklonitost povodí

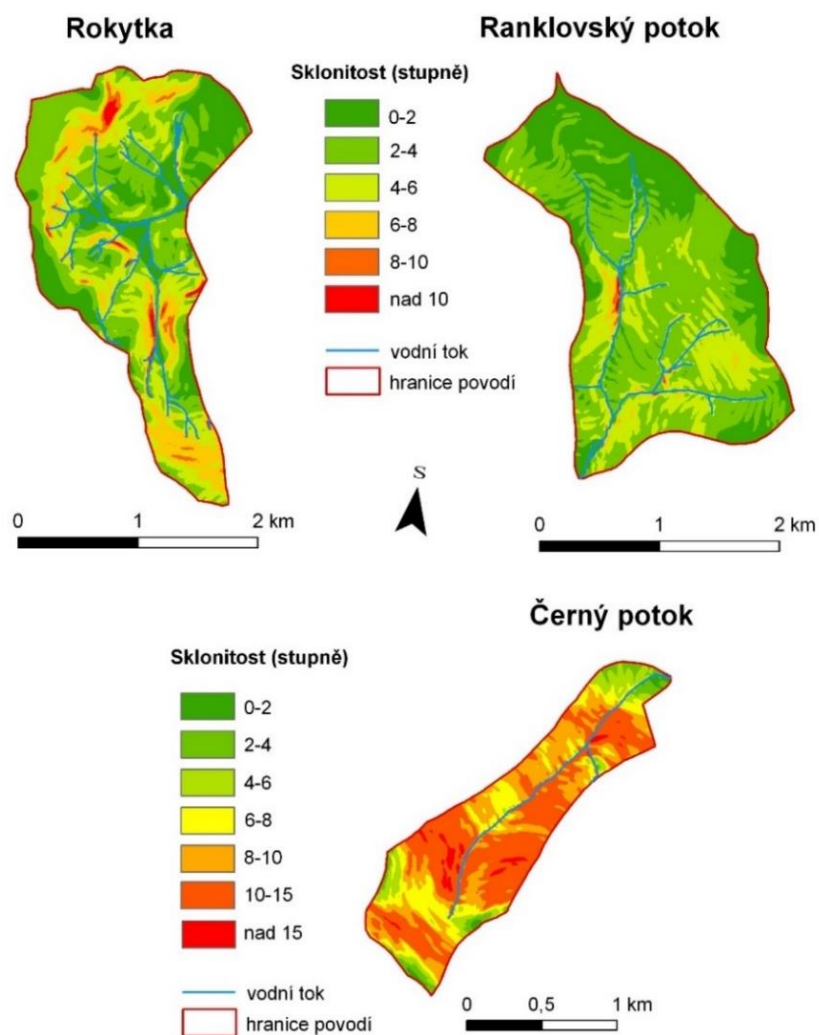
Vliv sklonitosti na odtok vody z povodí je zřejmý a byl popsán v předchozích kapitolách. Základní princip je ten, že při rostoucím sklonu svahu se snižuje schopnost infiltrace vody do půdy a voda v povodí zůstává kratší dobu. Sklonitostí poměry v jednotlivých povodích si lze prohlédnout na obr. 5.

V povodí Černého potoka se vyskytují ze všech tří zkoumaných povodích nejvyšší hodnoty sklonitosti ($19,5^\circ$) i má toto povodí největší průměrný sklon. Maximální sklonitost se vyskytuje ve střední části povodí, kde dosahuje téměř až k 20° , naopak ve spodní a horní

části povodí dosahuje mírného sklonu až roviny. Jak již bylo uvedeno, při porovnání s ostatními zkoumanými povodími, má obecně povodí Černého potoka vyšší sklonitost (sklonitost v rozmezí 8–15° dosahuje 68 % území povodí).

Protikladem oproti povodí Černého potoka je z hlediska sklonitosti povodí Ranklovského potoka, kde průměrný sklon a celkově sklonitost povodí (sklonitost nad 6° zaujímají pouze 2 % z plochy území) dosahuje menších hodnot než u zbylých dvou povodí. Tento fakt může být zapříčiněn polohou samotného povodí, které se nachází téměř na okraji Šumavských plání. Největší hodnoty sklonitosti (13,5°) se nacházejí v linii vodního toku Ranklovského potoka a jeho přítoků, a dále ve spodní a střední části povodí. Naopak v horní a východní části povodí je sklonitost nejmenší, přičemž hodnoty sklonitosti v těchto částech povodí nejčastěji spadají do kategorie sklonitosti svahu 0–2° (tato kategorie zaujímá 28 % z celkové plochy povodí).

Povodí Rokytky dosahuje z hlediska maximální sklonitosti svahů (13,8°) podobných hodnot jako povodí Ranklovského potoka. Tyto nejvyšší hodnoty sklonitosti se převážně vyskytují v severozápadní části povodí. Ačkoliv je Rokytka čistě horským povodím, má díky poloze v zarovnané části Šumavy spíše plošší charakter, což lze vidět na hodnotě průměrného sklonu svahů a dále na procentuálním zastoupení sklonitosti svahů, kdy svahy do 6° zaujímají kolem 84 % území povodí Rokytky. průměrného sklonu svahů a dále procentuálním zastoupení sklonitosti svahů, kdy svahy do 6° zaujímají kolem 84 % území povodí Rokytky



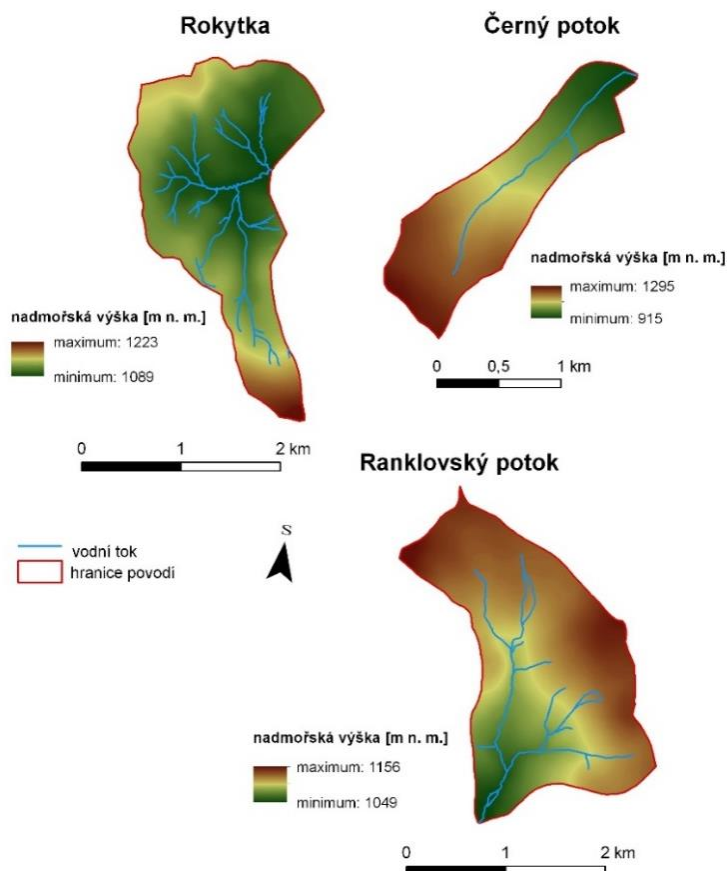
Obrázek 5: Sklonitostní poměry (zpracování: autor)

3.2.1.4 Výškopisné poměry povodí

Jednotlivá povodí se nacházejí ve vyšších částech Šumavy, konkrétně v nadmořských výškách okolo 1000 m n. m., nad kterými se zvedají oblé vrcholy (Čurda 2009). Tato oblast Šumavy je typická tvarem náhorní plošiny, která je tvořena zarovnaným povrchem. Orografické charakteristiky si lze prohlédnout v tabulce 3 a výškové poměry na obr. 6.

Tabulka 3: Orografické poměry

	Černý potok	Ranklovský potok	Rokytky
Nejvyšší bod povodí [m n. m.]	1295	1156	1223
Nejnižší bod povodí [m n. m.]	915	1049	1090
Nejvyšší bod toku [m n. m.]	1213	1133	1145
Nejnižší bod toku [m n. m.]	915	1049	1090
Převýšení povodí [m]	380	107	133
Spád toku [m]	298	84	55
Střední nadm. výška povodí [m n. m.]	1119	1115	1123
Průměrný sklon povodí [‰]	311,73	51,64	68,95
Průměrný sklon toku [‰]	125,74	27,70	25,26
Koeficient reliéfu	0,14	0,03	0,05



Obrázek 6: Výškové poměry povodí (zpracování: autor)

3.3 Klimatická charakteristika území

Klimatické poměry jsou důležitým faktorem při posuzování odtokového režimu a určují jeho velikost a rozložení v čase. Jedná se hlavně o intenzitu, chod a úhrn atmosférických srážek, ovšem pro režim odtoku jsou důležité i další klimatické prvky, jako je teplota vzduchu a její roční chod, ovlivňující tání sněhu a dále sytostní doplněk stanovující velikost výparu (Netopil 1984). Šumavské klima tvoří přechod mezi přímořským a vnitrozemským podnebím, nachází se v oblasti tzv. přechodného středoevropského klimatu (David 2017). Tento typ klimatu se projevuje malými ročními výkyvy teplot a vysokými srážkami, které jsou stejnoměrně rozloženy během celého roku (Chábera 1987). Na základě Atlasu podnebí Česka se oblast zájmového území zařazuje do chladné klimatické oblasti (Tolasz et al. 2007). Podle jiné užívané klimatické klasifikace, tedy klasifikace Köpenovy, se zkoumaná území zařazuje do oblasti boreálního klimatického pásma, s klimatickými typy Dfb a Dfc. Poslední z nejvíce užívaných klimatických klasifikací v Čechách tzv. Quittova, řadí zájmová území nacházející se na povodích Křemelné a Vydry, do třech chladných klimatických oblastí: C4, C6 a C7 (Hladík 2006).

3.3.1 Teplota

Pro oblast Šumavy, ve které se nacházejí i zájmová území, je charakteristický jev související s denní amplitudou teploty vzduchu. Obecně platí, že s nadmořskou výškou amplituda klesá, ovšem na Šumavě dochází k opačnému jevu. V letních měsících je zde amplituda teploty srovnatelná s nížinnými oblastmi a v zimních měsících dosahuje amplituda nejvyšších hodnot z celé České republiky. Tento jev zapříčiněn především díky tzv. Šumavským pláním, na nichž teploty klesají hluboko pod bod mrazu (i přes $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$). Vliv na chod teplot v této oblasti má nadmořská výška, a především konfigurace terénu (Neuhäuslová et al. 2002).

Širší oblast zájmového území (povodí Křemelné a Vydry) udává průměrnou roční teplotu v rozmezí $3\text{--}6\text{ }^{\circ}\text{C}$. Teploty přímo v povodí Černého potoka se pohybují od $3\text{ }^{\circ}\text{C}$ (horní část povodí) do $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ (dolní část povodí) (Vlček 2011). V povodí Ranklovského potoka je situace podobná: v horní části povodí se průměrné teploty pohybují mezi $3\text{--}4\text{ }^{\circ}\text{C}$ a ve střední a dolní části mezi $4\text{--}5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Nejteplejším měsícem je ve všech zájmových územích červenec, kdy průměrné teploty dosahují $13\text{ }^{\circ}\text{C}$, a naopak nejchladnějším měsícem je leden s průměrnou teplotou $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Tolasz et al. 2007).

3.3.2 Srážky

Srážkové poměry mají zásadní vliv v odtokovém procesu. Téměř celá oblast Šumavy a tedy i oblast experimentálních povodí je pod vlivem převládajícího jihozápadního až západního proudění vzduchu, které má za následek vznik návětrného efektu (Brázdil, Štekl 1986). Zájmová území tedy spadají do návětrné části Šumavy a dochází zde ke zvýšeným srážkovým úhrnům a tyto oblasti patří mezi jedny z nejdeštivějších oblastí v ČR. Podle Atlasu podnebí Česka se povodí Černého potoka, Ranklovského potoka (stanice Horská Kvilda) a Rokytky řadí do nejvyššího intervalu srážkových úhrnů, když zde dle ročních průměrů spadne v přes 1200 mm srážek za rok (Tolasz et al. 2007). V blízkosti zájmového území Rokytky se nacházejí jedny z nejdeštivějších oblastí na celé Šumavě: oblast Březníku, kde srážkové úhrny mohou dosahovat až kolem 1600 mm za rok a oblast Modravy s úhrny kolem 1500 mm za rok (Albrecht a kol. 2003). Srážková maxima studované oblasti připadají na červen a červenec, druhotná maxima na prosinec a leden, již většinou ve formě sněžení (Kubíček 2006). Naopak mezi nejsušší měsíce se řadí duben.

3.3.3 Povětrnostní podmínky, oblačnost a sluneční svit

Povětrnostní podmínky také hrají důležitou roli v odtokovém procesu, kdy vítr může přílivem teplého vzduchu ovlivňovat rychlost tání sněhu. V povodích Černého potoka, Ranklovského potoka a Rokytky během celého roku převládá již výše zmíněné jihozápadní a západní proudění. Naopak nejméně jsou zastoupeny větry vanoucí od jihovýchodu. Mezi největrnější měsíce se řadí letní měsíce, druhotně i říjen (Kunský 1968). Dle Atlasu podnebí ČR se průměrná roční rychlost větru ve zkoumaných povodích pohybuje kolem $5\text{--}7\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

Dalšími klimatickými charakteristikami, které mají částečný vliv na odtokový proces jsou spolu související oblačnost a sluneční svit. V oblasti, ve které se nacházejí zájmová území, se oblačnost na základě Atlasu podnebí ČR odhaduje na 60–65 % (Tolasz et al. 2007). Celkově vzato pro vyšší části Šumavy platí, že v zimním období je zde menší oblačnost než v období letním, a to díky déletrvajícím zimním teplotním inverzím (Kubíček 2006), naopak častější letní oblačnost je způsobena výstupem zahřátého vzduchu z nižších nadmořských výšek a následným vznikem oblačnosti. Míru oblačnosti ovšem ovlivňuje i poloha území vůči větru a jelikož zájmová území náleží mezi návětrné oblasti, je zde oblačnost větší. Pro vyšší oblasti Šumavy, a tedy i zájmová povodí, není charakteristická pouze nižší četnost oblačnosti v zimních měsících, ale i výskyt mlh, které se zde vyskytují kolem 100 dnů v roce (Kubíček 2006). Druhou zmíněnou charakteristikou v tomto odstavci je sluneční svit, který se pro všechna tři povodí pohybuje mezi 1600–1700 hodinami za rok (Tolasz et al. 2007).

3.4 Geologická stavba území

Geologický vývoj Šumavy probíhal ve dvou etapách horotvorných procesů: při prvohorním variském a třetihorním alpinském vrásnění. Šumava, a tedy i všechna tři zkoumaná povodí jsou součástí krystalinika, jádra Českého masivu, konkrétně šumavskou větví moldanubika, tedy nejstarším blokem masivu nacházející se zhruba mezi Vltavou a Dunajem (Chábera 1987). Šumavské území z velké části pokrývá centrální moldanubický masiv, který je proterozoického stáří. Tento masiv je tvořen silně přeměněnými horninami (krystalické břidlice, pararuly a migmatidy) a hlubinnými vyvřelinami (granitoidy), které již nebyly metamorfovány, jelikož vznikly v závěru období variské orogeneze (Petránek 1993). Malá, zbývající část Šumavy patří do barrandiensko-železnohorské zóny. Celkově lze Šumavu zařadit mezi jedno z nejstarších pohoří ve střední Evropě, kdy se stáří hornin moldanubika odhaduje na více než 600 miliónů let.

Geologické poměry tři zájmových povodí jsou popsány níže. V povodí Černého potoka jsou nejvíce zastoupeny pararuly a žuly, v linii horní části vodního toku se vyskytují deluviofluviální písčitojílovité až písčité hlíny a v dolní části fluviální písčité hlíny až písčité štěrky. Podloží zájmového území Rokytky je v okrajových částech tvořeno přeměněnými horninami (ortoruly a pararuly) a hlubinnými vyvřelinami v podobě žuly. Hlavní část tohoto území je tvořena organickými sedimenty a rašelinami. V samotných vodních tocích a jejich blízkosti se nacházejí fluviální písčité hlíny, písky a písčité štěrky.

Geologické stavba povodí Roklanského potoka je převážně tvořena migmatity. V blízkosti Roklanského potoka a jeho přítoků se vyskytují organické sedimenty a slatiny a deluviální hlinitokamenité sedimenty. Podloží samotného vodního toku a přítoků je tvořeno fluviálními jílovitopísčitými hlínami až písčitými štěrky, místy s bloky hornin.

3.5 Geomorfologické poměry území

Vývoj šumavského georeliéfu probíhá za proměnlivých podmínek po mnoho milionů let. Tento vývoj se dá rozdělit na dvě období: období do konce druhohor a období poté následující. V prvním, starším zmiňovaném období vznikl v oblasti Šumavy zarovnaný, hluboko zvětralý povrch o nadmořských výškách 150-200 m. Tento zarovnaný povrch se dnes díky deformacím vyskytuje rozpadlý a rozprostřený v téměř všech nadmořských výškách Šumavy (Chábera, 1987). Začátek druhého období, datovaného do konce starších třetihor, je typický vyklenutím staršího zarovnaného povrchu (tzv. šumavská megaantiklinála). Druhé období pokračovalo na konci třetihor a na začátku čtvrtohor, kdy došlo ke vztažení v celé oblasti Šumavy k mladší orogenezi (Chábera 1987).

Zkoumaná povodí Ranklovského potoka a Rokytky lze zařadit do následujících geomorfologických jednotek (Balatka, Kalvoda 2006):

Tabulka 4: Geomorfologické členění

Geomorfologická jednotka	
Systém	Hercynský
Subsystém	Hercynská pohoří
Provincie	Česká vysočina
Subprovincie	Šumavská
Oblast	Šumavská hornatina
Celek	Šumava (<i>IB – 1</i>)
Podcelek	Šumavské pláně (<i>IB – 1A</i>)
Okrsek	Kvildské pláně (<i>IB – 1A – 2</i>)
Podokrsek	Modravské pláně (<i>IB – 1A – 2b</i>)

Obě tato povodí tedy spadají do oblasti tzv. Šumavských plání, které jsou jádrem horské části Šumavy. Šumavské pláně tvoří plochý zarovnaný reliéf v nadmořské výšce kolem 1000 metrů, který nebyl zasažen zpětnou erozí čtvrtohorního systému říční sítě (David 2017). Nad plochý zarovnaný reliéf vystupují oblé vrcholy (suky, odlehlíky) ve výškách kolem 1200 metrů. Samotné zkoumané povodí Rokytky je charakteristické mělkými a otevřenými údolími. Nejvyššími vrcholy tohoto povodí jsou Medvědí Hora (1224 m n. m.) a Medvěd (1137 m n. m.) nacházející se na hranicích tohoto povodí. Území Ranklovského potoka je tedy stejně jako povodí Rokytky řazeno do podokrsku Modravské pláně, mající podobu ploché hornatiny, ve které se v erozně denudačním reliéfu vyskytují zbylé části starého zarovnaného povrchu (Demek a kol. 1987). Zkoumané území Černého potoka má až do geomorfologické jednotky „Celek“ stejné geomorfologické zařazení jako dvě předchozí povodí, poté se zařazení liší a to následovně: Podcelek: Železnorudská hornatina a Okrsek: Debrnická hornatina. Železnorudská hornatina je nejsevernější částí Šumavy a hory a údolí tohoto podcelku vytváří relativně největší výškové rozdíly (více než 600 m) (David 2017). Okrsek Debrnická hornatina, v níž se nachází experimentální povodí Černého potoka, je jižní částí Železnorudské hornatiny a nejvyšším vrcholem tohoto okrsku je Deberník s nadmořskou výškou 1336 m. Zatímco nejvyšším vrcholem povodí Černého potoka je Polom (1295 m n. m.).

3.6 Půdní a vegetační pokryv

3.6.1 Půdní pokryv

Půdní pokryv patří mezi důležité ukazatele ovlivňující srážko-odtokový proces v povodí. Horský charakter Šumavy je typický převahou kyselých půdotvorných substrátů a vyvinutou výškovou půdní zonálností. S nadmořskou výškou také souvisí stupeň podzolizace, který je typický pro horskou oblast Šumavy (Chábera 1987). Hlavními půdními typy v oblasti Šumavy jsou kambizemě (do nadmořské výšky 800 m), kryptopodzoly (výškový stupeň mezi 1000-1200 m n. m.), podzoly (v nadmořských výškách nad 1200 m), rankery, pseudogleje, stagnogleje, glej, fluvizemě a pro Šumavu fenomén v podobě organozemí (Němeček et al. 2001). Zájmové území Černého potoka je z hlediska půdního pokryvu rozděleno následovně: v horní části povodí se nachází humusový podzol, střední a největší část povodí zabírají kryptopodzoly s podzoly a spodní část povodí je tvořena nivní půdou glejovou. Povodí Ranklovského potoka v horní části tvoří z části kryptopodzoly s podzoly a v oblasti Zhůrských slatí organozemě. Oblast kolem vodních toků a rašelinišť ve střední a spodní části povodí je tvořena gleji, přičemž v okolí Horskokvildské a Zhůrské slati se jedná o glej podzolovaný. Území mezi těmito uvedenými slatěmi je tvořeno kryptopodzoly s podzoly. Zbývající spodní část povodí Ranklovského potoka je v oblasti vodních toků tvořena již výše zmíněným glejem a v oblasti Horskokvildské slatě organozemí. Ve spodní úzké části experimentálního povodí Rokytky se nachází humusový podzol, dále v nivě potoka lze místy najít zrašeliněný glej (Vlček 2011). Velké plochy ovšem zaujímá rašelinná půda (organozem) v centrální části povodí Rokytky. V horní části povodí je opět nejvíce zastoupen humusový podzol.

3.6.2 Vegetační pokryv

Jak již bylo uvedeno v předcházejících kapitolách, vegetační pokryv má velký vliv na odtok vody z povodí a na režim odtoku. Rostlinná pokrývka povodí reguluje množství srážek zachycených na tělech rostlin, množství vsáklé, rychlost stékající vody, velikost ztrát vody výparem a tím pádem rovněž významně ovlivňuje jednotlivé fáze procesu odtoku z povodí (Kemel, Kolář 1980). Vegetace také přispívá k zadržování srážkové vody v povodí (Čurda, Janský, Kocum 2011).

V rámci fytogeografického hlediska leží oblast Šumavy ve středoevropské provincii středoevropské květenné oblasti temperátního pásma Evropy. Při dalším fytogeografickém členění v rámci České republiky se horská oblast Šumavy, a tedy i tři zájmových území řadí do fytogeografického obvodu Českého Oreofytika, ve které až na nepatrné výjimky chybí

zastoupení teplomilných druhů. Tato oblast na Šumavě zaujímá vegetační stupeň montánní a supramontánní. (Národní park Šumava ©2007). V horské části Šumavy jsou charakteristické porosty květnatých bučin, horských acidofilních bučin a klimaxových smrčín, jejichž rozložení víceméně odpovídá výškovým vegetačním stupňům. Nicméně v dnešní době je přirozená charakter těchto zonálních společenstev narušen, díky částečnému odlesnění krajiny a přeměně původních lesních společenstev na smrkové monokultury. Kromě těchto zonálních vegetačních jednotek se v oblasti Šumavy nachází celá řada klimaticky azonálních ekosystémů jejichž vznik a vývoj je z velké části podmíněn edaficky, například zvýšenou hladinou podzemní vody, zrašeliněním nebo vyšším obsahem půdního skeletu. Jedná se hlavně o rašeliniště, podmáčené smrčiny, údolní luhy, reliktní bory nebo bezlesá kamenná moře.

Zájmové území Černého potoka je z velké části tvořené lesem. V dolní části povodí se jedná o smrkojedlový les s podrostem borůvky a travin. Horní část povodí byla zasažena kůrovcem a nacházejí se zde holiny, tvořené ojedinělými nízkými smrky a travinami. Dalšími stromy, které se nacházejí v menším zastoupení jsou bříza, buk a javor (Vlček 2011).

Experimentální povodí Rokytky se z hlediska vegetace dá rozdělit na dvě části: lesní a rašeliništní. Lesní vegetace je tvořena horskými smrčinami s příměsí buku a jedle. Dalšími stromy jsou v menší míře zastoupeny jilm a javor (Pospíšil 2009). Bylinné patro je stejné jako v povodí Černého potoka reprezentováno borůvkám, mechy a trávami. Druhá, centrální část povodí je tvořena rašeliništní vegetací, přičemž se jedná o rašeliniště typu horských vrchovišť. Centrální část výše zmíněných vrchovišť je tvořena trávami, mechy, rašeliníkem bodlavým, nebo blatnicí bahenní. Na okraji těchto vrchovišť se nachází borovice rašelinná, a ještě více dále od středu centrální části se nacházejí menší plochy podmáčených smrčín (Bufková 2009).

Část území povodí Ranklovského potoka zaujímají jehličnaté lesy. Z jehličnatých lesů jsou nejvíce zastoupeny smrky, dále lze najít borovici nebo modřín. Listnaté lesy jsou zde místně zastoupeny bukem a javorem. Většina zbývajících částí povodí je pokryta komplexem vrchovišť, přechodových rašelinišť a rašelinných smrčín, jedná se především o oblasti Horskokvildské a Zhůřské slatě. V podrostu vrchovišť jsou nejvíce zastoupeny borůvka, brusinka a vřes.

3.7 Krajinný pokryv území

Pro potřeby této práce bylo potřeba zpracovat novou detailní charakteristiku krajinného pokryvu v zájmových územích. Land use (land cover) determinuje míru intercepce daného území a jeho infiltrační vlastnosti. A tím je výrazně ovlivněna intenzita rychlé složky odtoku (přímý odtok). (Daňhelka 2007).

Vliv vegetace na hydrologickou transformaci v povodí se nechá rozdělit na dvě základní funkce. V první funkci se přímo uplatňuje vegetace v srážko-odtokových vztazích v podobě intercepce a evapotranspirace. Druhá, významnější funkce spočívá v působení vegetace jako ochranného faktoru půdy, ve které se uplatňuje podstatná část přeměny srážkové vody na odtok a faktor drsnosti povrchu pro povrchový odtok (Unucka, Adamec 2008).

Samotné zpracování land use bylo provedeno v programu ArcGIS, na základě detailní vektorizace nad satelitními snímky zájmových oblastí. Použití mapové vrstvy CORINE Land Cover nebylo pro účel této práce příliš vhodné, a to z důvodu malé podrobnosti této vrstvy, která se spíše hodí pro větší celky, než jsou zpracováváná zájmová území.

Z hlediska krajinného pokryvu převládají v zájmových územích jehličnaté lesy a holiny, a to především díky místním (chladným) klimatickým podmínkám a nízké hustotě zalidnění. Naopak v malé míře jsou zde zastoupeny louky a pastviny, a zastavěná území. Zvláštností oproti jiným oblastem je zastoupení rašelinišť ve zvýšené míře. Pro mapování rašelinišť bylo využito databáze VÚMOP, kterou lze oproti lesnické typologii ÚHUL využít pro všechna zájmová území. Porovnání těchto dvou databází je znázorněno ve článku „Influence of peat soils on runoff process: case study of Vydra River headwaters, Czechia“ (Vlček et al. 2006).

3.7.1 Černý potok

Tabulka 5: Krajinný pokryv Černého potoka

Krajinný pokryv	Zastoupení kategorií (%)
Les (jehličnatý)	55,20
Mladý les	7,39
Rašeliniště	2,71
Holiny	34,70

Povodí Černého potoka náleží celou svojí plochou do II. zóny NP Šumava a je tedy hospodářsky využívané. (Vlček 2011). V nejspodnější části povodí v oblasti kolem hladinoměru leží oblast rašelinišť, která je v tomto povodí ze všech tří zájmových území nejmenší (viz. tab. 5). Naopak nad touto oblastí se nachází nejvíce zastoupená kategorie krajinného pokryvu v tomto povodí – jehličnatý les (dospělý), pokrývající převážně dolní a střední část povodí Černého potoka. Horní třetina povodí je poznamenána kůrovcovou kalamitou a následnou těžbou v minulých letech a tvoří ji tedy hlavně holiny v nejvyšších částech povodí, méně poté mladý jehličnatý les či ostrůvky dospělého, smrkového jehličnatého lesa.

3.7.2 Ranklovský potok

V povodí Ranklovského potoka převažuje dosti výrazně kategorie jehličnatých lesů (viz. tab. 6), vyskytujících se téměř rovnoměrně po celé ploše povodí. Oproti povodí Černého potoka je zde dosti výrazně zastoupena kategorie rašelinišť, pokrývajících převážně východní (Horskokvildská slat') a horní (Zhůřské slati) části povodí, a luk a pastvin v nejspodnější části povodí.

Tabulka 6: Krajinný pokryv Ranklovského potoka

Krajinný pokryv	Zastoupení kategorií (%)
Les (jehličnatý)	50,84
Mladý les	6,30
Holiny	18,34
Rašeliniště	17,14
Louky a pastviny	6,73
Zástavba	0,65

3.7.3 Rokytka

Povodí Rokytky náleží téměř celou svojí plochou do I. zóny NP Šumava, a to především díky rašeliništím (Vlček 2011), která zaujímají značnou část krajinného pokryvu povodí (viz. tab.7). Rašeliniště se převážně vyskytují v centrální části povodí Rokytky a částečně také v SV části (Rokytecká slat') a patří mezi jedny z největších na Šumavě. Ovšem nejvíce zastoupenou kategorií krajinného pokryvu jsou holiny, především v horní a pod rašeliništi ve střední části povodí, jejichž plocha se zvětšila na úkor kategorie jehličnatého lesa, který se nachází převážně v jižní a západní části povodí. Oproti předcházejícím dvěma

povodím je v povodí Rokytky výrazněji zastoupena kategorie mající souvislost s holinami, a to kategorie suchého lesa, která je téměř roztroušena po celé ploše povodí.

Tabulka 7: Krajinný pokryv Černého potoka

Krajinný pokryv	Zastoupení kategorií (%)
Les (jehličnatý)	21,65
Mladý les	9,01
Suchý les	6,70
Louky a pastviny	2,85
Holiny	33,77
Rašeliniště	26,02

4 Data a metody

Následující kapitola informuje o jednotlivých zdrojích dat, zpracování, úpravách, metodách a následné práce s nimi v softwarových programech. Kapitola je rozdělena do několika dílčích podkapitol, přičemž mezi ty hlavní patří 1) Data a metody pro popis fyzickogeografické a hydrologické části 2) Data z automatických hladinoměů a meteorologických stanic PřF UK a jejich zpracování 3) Konsumpční křivky a jejich aplikace na získaná data.

4.1 Data a metody pro popis fyzickogeografické a hydrologické části

Data využitá pro kapitolu popisující fyzickogeografické charakteristiky zájmových území, pocházejí z datasetů ArcČR 500_v32 a ze Základní báze geografických dat (ZABAGED). Dataset ArcČR 500_v32 byl především použit pro tvorbu základních mapových výstupů a dále i pro tvarové vlastnosti povodí. Zatímco dataset ZABAGED představuje soubor vrstevnic pro celou ČR, na jejichž základě byl vytvořen DMR pro experimentální povodí, který následně sloužil pro vytvoření map zobrazující sklonitost, orografické charakteristiky nebo orientaci svahů vůči světovým stranám. Data (vrstvy) pro určení samotných hydrografických vlastností povodí pocházejí z vodohospodářské nadstavby ZABAGED, tedy z katalogu DIBAVOD. Veškeré zpracování dat z tří výše uvedených datasetů a výpočty probíhaly v platformě ArcGIS, konkrétně v její aplikaci ArcMap 10.2 a dále také v programu MS Excel. Základem pro vytvoření výše popsáných map a charakteristik, byly obrysové mapy (masky) tří zpracovávaných povodí, kdy dvě (Černý potok a Rokytka) byly poskytnuty členy KFGG PřF UK a mapa povodí Ranklovského potoka byla vytvořena v aplikaci ArcMap pomocí vektorizace nad mapou. Procesu vektorizace bylo rovněž využito při tvorbě map zobrazujících krajinný pokryv jednotlivých zájmových územích, kdy byla vektorizace jednotlivých složek Land use provedena nad ortofotem poskytnutým prohlížečskou službou WMS.

4.2 Data z automatických hladinoměů a meteorologických stanic PřF UK a jejich zpracování

Jak již z názvu celé práce vypovídá, k analýze extrémních odtokových situací bylo třeba získat hydrologická data z jednotlivých povodí. Tato data byla poskytnuta KFGG PřF UK, která spravuje a monitoruje síť automatických hladinoměů a meteorologických stanic v nejrůznějších oblastech ČR, mimo jiné i v experimentálních povodích, z nichž daná data pocházejí. Automatické hladinoměry KFGG PřF UK fungují na systému automatických

zařízení od firmy Fidler-Mágr, kdy samotné měření hladiny vody spočívá ve dvou základních principech propojení mezi měřícím čidlem a záznamovou jednotkou. První metoda spočívá v umístění tlakového čidla přímo do vodního toku, druhá v měření ultrazvukovými čidly, která jsou často instalována na mostní konstrukce (Česák et al. 2008). Dané změřené hodnoty výšky vodních stavů (v mm) si poté lze prohlédnout na serveru stejné firmy, kromě výšky hladiny si lze dále prohlédnout hodnoty: teploty ve 2m, vlhkost ve 2m, teplotu vody, teplotu UZ či Redox/ISE. Ovšem u některých stanic včetně těch v zájmových územích nejsou vždy všechny údaje dostupné především z důvodu chybějících čidel nebo dat v chybách měření. Veškerá naměřená data jsou na výše uvedeném serveru poskytována v desetiminutovém kroku, jelikož v tomto intervalu probíhá i jejich samotné měření. Po vybrání příslušných epizod zvýšených vodních stavů následoval export vybraných dat ve formátu .csv, který je kompatibilní s programem MS Excel, ve kterém probíhalo veškeré zpracování hydrologických dat. Stažená data z hladinoměřů bylo nutné před analýzou a zpracováním částečně upravit. Tyto úpravy spočívaly v odstranění nehomogenit ve stažených datech, jelikož při vynesení do grafu byly pozorovány určité anomálie, kdy se nejčastěji jednalo u neúplné datové řady z důvodu nesprávného fungování hladinoměřů. Po této úpravě dat následovala samotná práce s nimi, která spočívala v převodu desetiminutových hodnot vodních stavů na hodnoty hodinových vodních stavů, a to z důvodu hladšího průběhu zobrazených grafů. Proces transformace desetiminutových vodních stavů na hodinové spočíval ve využití aritmetického průměru, kdy byly hodinové vodní stavy vypočteny jako aritmetický průměr desetiminutových vodních stavů z předcházející hodiny za využití funkce maker v programu MS Excel. Tento proces transformace byl aplikován na všechna stažená, upravená data ze všech tří zkoumaných povodí.

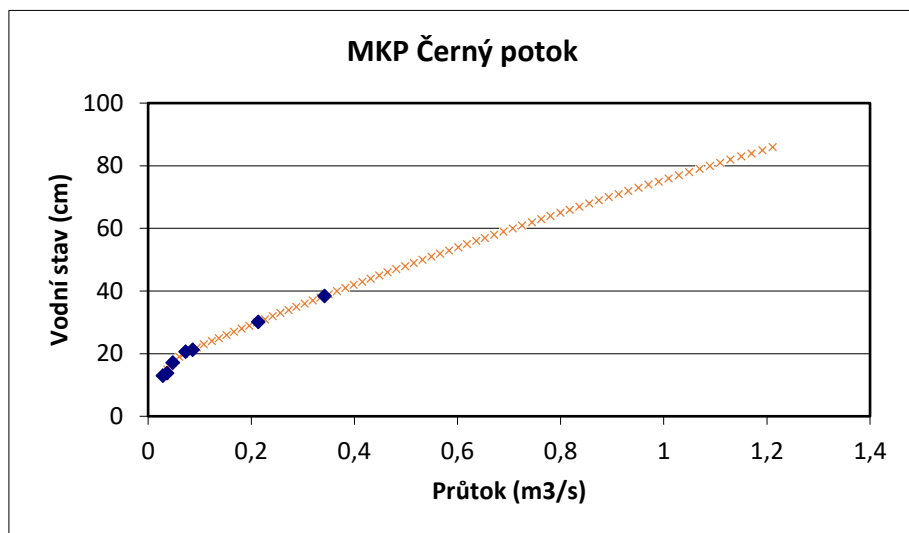
4.3 Konsumpční křivky a jejich aplikace na získaná data

Pro potřeby této práce bylo, kromě výše uvedených hodnot vodních stavů, nutné získat údaje o hodnotách průtoku v závislosti na čase pro sledované epizody. Ke zjištění průtoku jsou využívány tzv. měrné křivky průtoku neboli konsumpční křivky, které určují vztah mezi průtokem a vodním vztahem. Princip této metody spočívá v získání hodnot průtoku při různých vodních stavech přímým měřením v terénu (hydrometrováním). Takto naměřená data jsou poté vynesena do grafu a je nimi proložena měrná křivka průtoku, ze které jsou následně dopočteny na základě známých vodních stavů jim odpovídající průtoky. Data z procesu hydrometrování byla pro daná povodí poskytnuta členy KFGG PřF UK a

poté dále zpracovávána. Pro sestrojení konsumpční křivky bylo nejprve využito programu MS Excel, a to za použití funkce *spojnice trendu*, která byla aplikována na poskytnutá data. Funkce spojnice trendu nabízí několik možností výběru proložení dat, kdy na zpracovávaná data byla nejčastěji aplikována možnost proložení logaritmickou či mocninou funkcí, jejichž koeficienty determinace dosahovaly z nabízených možností funkcí nejvyšších hodnot. Problém ale nastal při přepočtu vyšších hodnot vodních stavů změřených během epizod v této práci na odpovídající průtok. Z důvodu chybějících v terénu naměřených průtoků v blízkosti těchto extrémních vodních stavů vykazovaly přepočtené hodnoty průtoků pro hodnoty kulminací nereálné hodnoty. Z toho důvodu bylo od metody sestrojení konsumpční křivky v programu MS Excel upuštěno. Řešení problému chybějících, změřených vysokých průtoků spočívá v extrapolaci měrné křivky průtoků do oblasti vysokých hodnot průtoků. K výše popsané extrapolaci se nechá přistoupit několika způsoby, mezi něž patří: fyzikální modelování, matematická extrapolace či hydraulický výpočet. Pro extrapolaci a celkové sestrojení konsumpčních křivek bylo v této práci využito programu WinZPV, který je využíváný ČHMÚ pro podobné úlohy. Program umožňuje úpravu vytvořené měrné křivky průtoků tak, aby co nejvíce odpovídala měřeným bodům. Obecně při porovnání oblastí křivek mimo měřené hodnoty (nejčastěji vysoké vodní stavy) dosahují konsumpční křivky vytvořené v programu WinZPV reálnějších hodnot než křivky vytvořené v programu MS Excel.

4.3.1 Černý potok

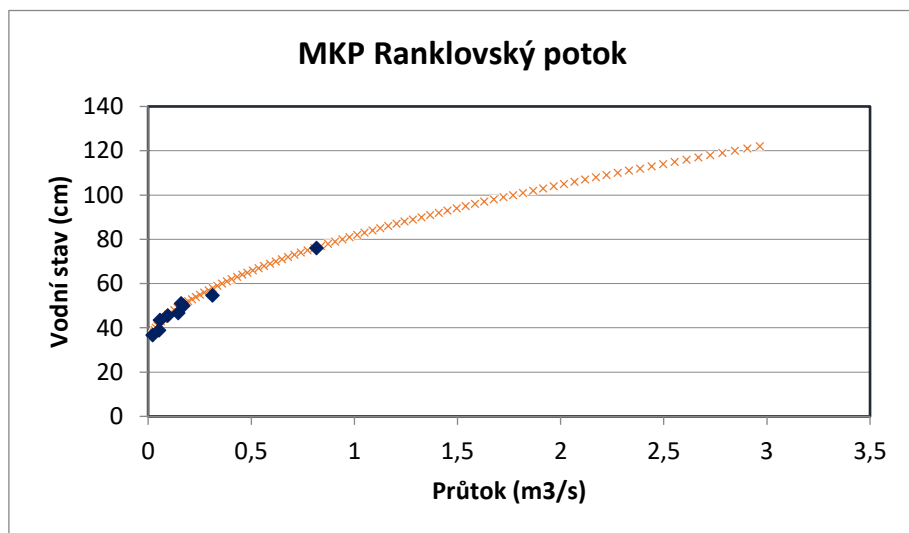
Na Černém potoce bylo doposud provedeno 15 měření průtoků, ale pro sestrojení konsumpční křivky jich bylo použito nejméně (7) ze tří studovaných vodních toků. Důvodem tohoto omezeného výběru je nevyrovnaný průběh datové řady, s množstvím údajů mimo trend (Kabelka 2016). S menším množstvím použitelných dat pro sestrojení měrné křivky souvisí i omezený rozsah pokrytí změřených hodnot průtoků při nejružnějších výškách vodních stavů, kdy je oblast měření nízkých hodnot průtoků dobře pokryta, zatímco v oblasti vysokých vodních stavů odpovídající změřené průtoky chybějí.



Graf 1: Měrná křivka průtoku pro Černý potok (zdroj: data KFGG PřF UK; zpracování autor)

4.3.2 Ranklovský potok

Na Ranklovském potoce bylo dosud provedeno 9 měření průtoku, přičemž pro konstrukci konsumpční křivky byla využita všechna dostupná měření. Naměřená data pokrývají velmi dobře spodní část konsumpční křivky, ale pro oblast vysokých a extrémních průtoků data chybějí stejně jako u Černého potoka a nelze je tedy považovat za úplně spolehlivá.

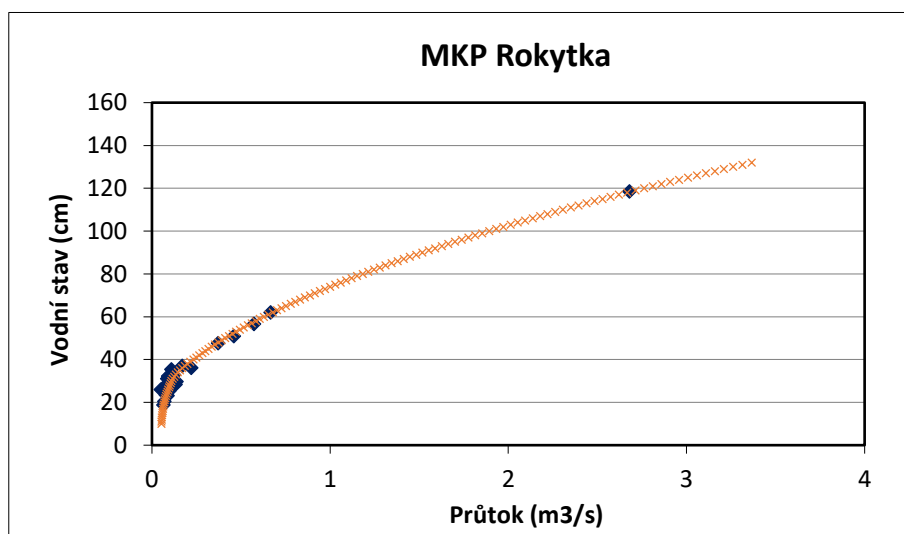


Graf 2: Měrná křivka průtoku pro Ranklovský potok (zdroj: data KFGG PřF UK; zpracování autor)

4.3.3 Rokytka

Data pro vodní tok Rokytka obsahovala údaje o 25 měření průtoků a jim odpovídajícím vodním stavům, kdy většina hodnot pokrývá oblast nízkých hodnot, ovšem je zaznamenána i hodnota z roku 2015 z oblasti vysokého průtoku. Díky této hodnotě je měrná křivka průtoku postižena menší nejistotou, než je tomu o zbývajících zkoumaných

toků. Nejistou ale zůstává oblast středně až středně vysokých vodních stavů tedy oblast mezi dvěma nejvyššími naměřenými hodnotami průtoku.



Graf 3: Měrná křivka průtoku pro Rokytka (zdroj: data KFGG PřF UK; zpracování autor)

5 Analýza vybraných (extrémních) epizod

Tato část práce popisuje extrémní, či zajímavé povodňové situace na třech vybraných zájmových územích. Pro každé roční období byla vybrána jedna situace, a to z důvodu větší variability mezi jednotlivými situacemi vysokého průtoku v průběhu jednotlivých ročních obdobích. Zajímavé průtokové epizody byly vybrány v období od roku 2010 až do současnosti, a to na základě jejich extremity, kdy vodní stavy v níže vybraných událostech dosahují nejvyšších hodnot v rámci sledovaného období, a to pro každé roční období s výjimkou jarní epizody, která zachycuje proces tání sněhové pokrývky na jednotlivých povodích. Každá situace je popsána z hlediska obecné charakteristiky daného roku, ve kterém k ní došlo, dále z hlediska meteorologického, tedy popsání příčinné situace mající za následek danou epizodu. Epizody jsou také doplněny o obrázky znázorňující vývoj meteorologické situace během epizody, a dále při letní a podzimní situaci o výpočet koeficientu API. V závěru každé epizody je uvedena stručná část této kapitoly, a to grafy znázorňující průtoky v průběhu extrémních situací na jednotlivých zájmových tocích, jejich popis, a především vzájemné porovnání jak z hlediska grafického, tak i statistického. Cílem této kapitoly je tedy výše uvedené popsání jednotlivých čtyř epizod v průběhu ročních období z různých hledisek a dále nalezení souvislostí mezi těmito hledisky.

5.1 Zimní epizoda (19. 1. – 24.1.2012)

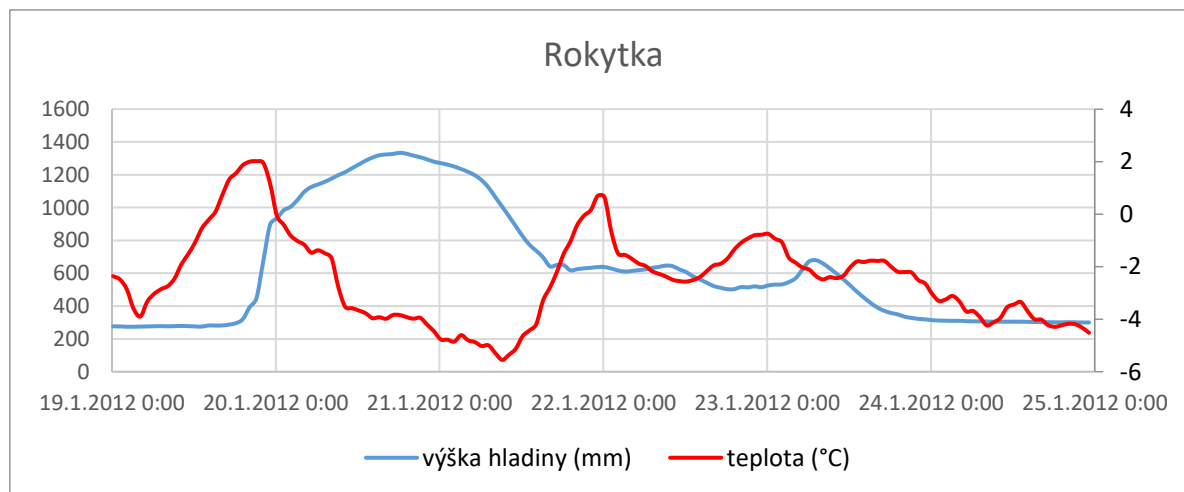
5.1.1 Obecná charakteristika roku

Rok 2012 lze považovat z hlediska průměrné teploty (8,3 °C) za rok normální. Zimní období 2011/2012 bylo jako celek s průměrnou teplotou -1,2 °C slabě nadnormální, a to především díky teplému prosinci a lednu. Naopak po teplotně nadprůměrné první polovině této zimy následoval jeden z nejchladnějších únorů za posledních 40 let. Srážky po většinu měsíců roku 2012 odpovídaly dlouholetým průměrům s výjimkou výraznějších odchylek v období od ledna do května. Nadprůměrné srážky přinesl už na počátku roku velmi vlhký leden, který byl současně relativně nejvlhčím (195% normálu) měsícem roku. Vydatnější srážky způsobující lokální rozvodnění toků anebo větší či menší povodně nebyly v roce 2012 příliš časté. V průběhu roku došlo pouze ke dvěma rozsáhlejšími povodňovými situacím, a to v únoru a v červenci, menší pak také v lednu, březnu a v prosinci. Z hlediska odtoku byly nejvyšší hodnoty zaznamenány v zimním a jarním období, ostatní měsíce roku byly odtokově spíše podprůměrné. Vlivem neobvykle teplého počasí ve srážkově bohatém lednu, kdy docházelo k opakovanému odtávání sněhových zásob, patřil tento měsíc k relativně výrazně průtokově nadprůměrným obdobím se 76 až 220% QI. Kulminační průtoky při třech

významnějších vlnách (5. 1., 20. 1. a 23. 1.) většinou dosahovaly Q60d až Q1, ojediněle se vyskytly Q2 a při třetí povodňové situaci hladiny v řadě profilů, většinou v povodí Labe, dosáhly 1. SPA a ojediněle i 2. SPA (první a druhý povodňový stupeň), (ČHMÚ 2013).

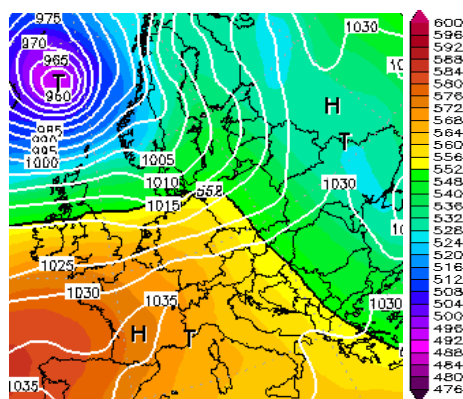
5.1.2 Příčina a meteorologický průběh situace

Na počátku tohoto sledovaného období došlo v severozápadním až západním proudění k postupu frontálních systémů z Atlantiku do střední Evropy a dále poté k východu. Tlaková níže nasouvající se ze severozápadu nad oblast České republiky je viditelná na obr. 7, v jeho horní části. Počasí během této celé epizody přibližně odpovídalo typické západní cyklonální situaci, tedy bylo oblačno až zataženo a na většině území se vyskytovaly srážky ve formě sněhu s deštěm (v oblasti zájmových povodí šlo spíše o srážky sněhové), foukal čerstvý západní až severozápadní vítr, který v horských oblastech dosahoval v nárazech až 25 m/s. Společně se zvyšující se rychlostí větru docházelo také ke zvýšení teploty, což je patrné i z grafu teploty z povodí Rokytka (graf 4). V závislosti na výše uvedených faktech došlo ke zvýšení vodních hladin na zkoumaných vodních tocích (grafy 6, 7, 8) v různé míře. Hlavní příčinnou nárůstu vodní hladiny jsou srážky společně s táním sněhové pokrývky při postupném oteplování, které začalo 18. 1. 2012 a vrcholilo druhý den odpoledne, kdy se teploty dostaly nad bod mrazu.

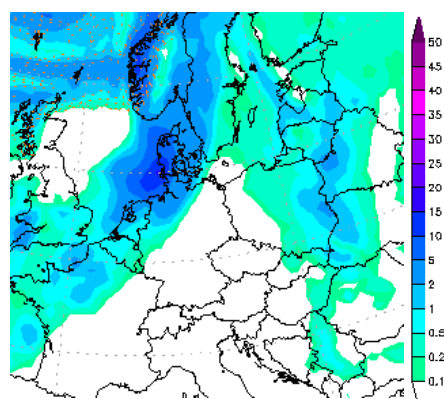


Graf 4: Vývoj teploty a výšky hladiny na potoce Rokytka (zdroj: data KFGG PřF UK; zpracování autor)

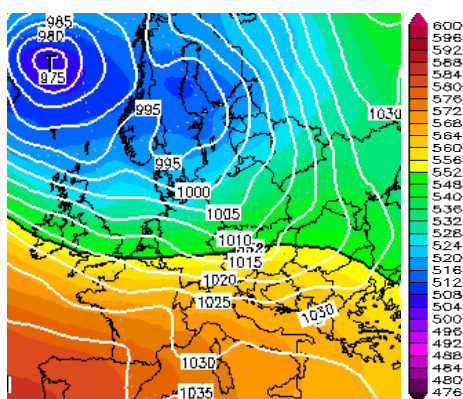
Meteorologický vývoj během zimní situace



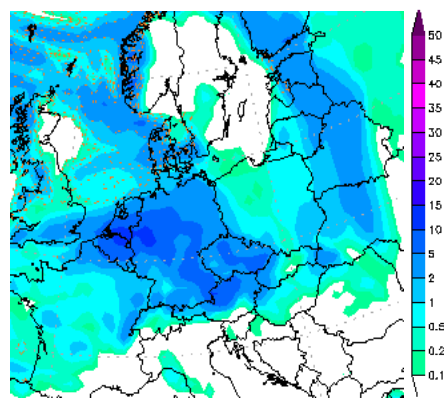
18. 1. 12



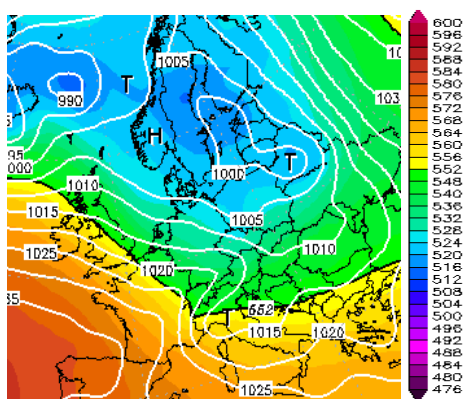
18. 1. 12



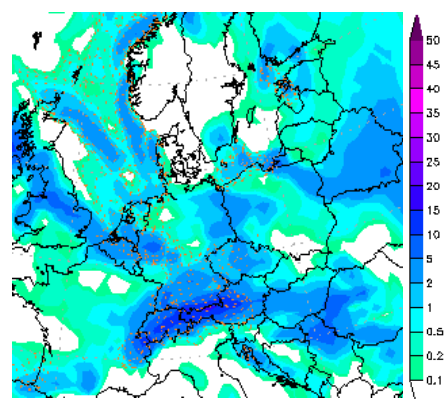
19. 1. 12



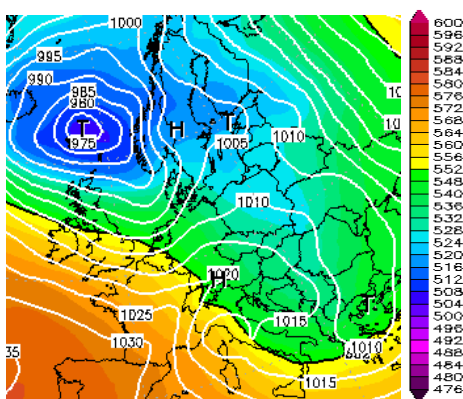
19. 1. 12



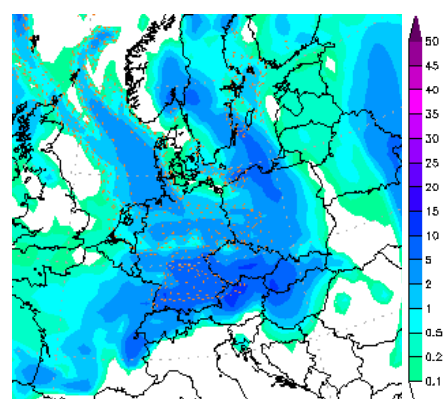
20. 1. 12



20. 1. 12



21. 1. 12

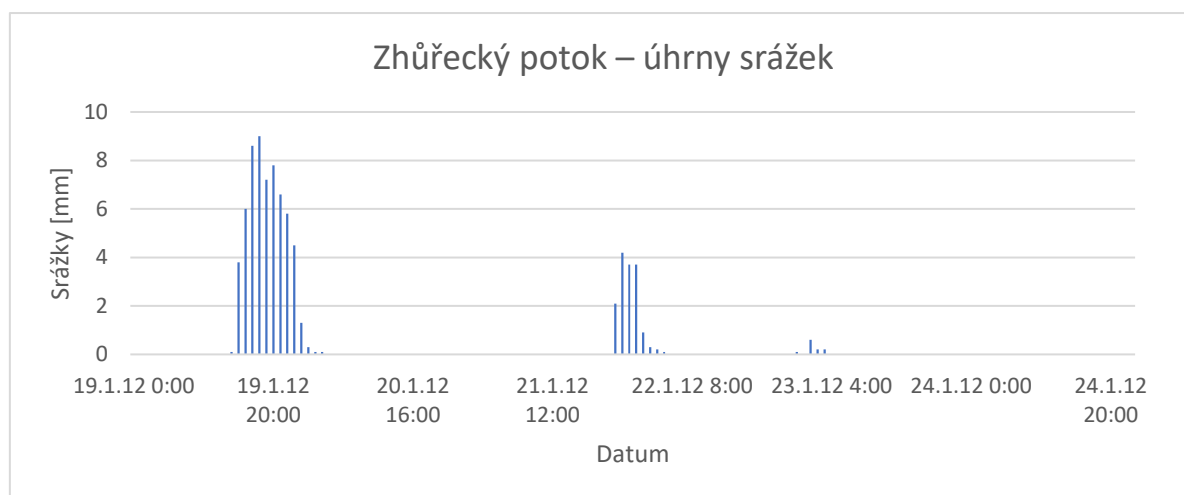


22. 1. 12

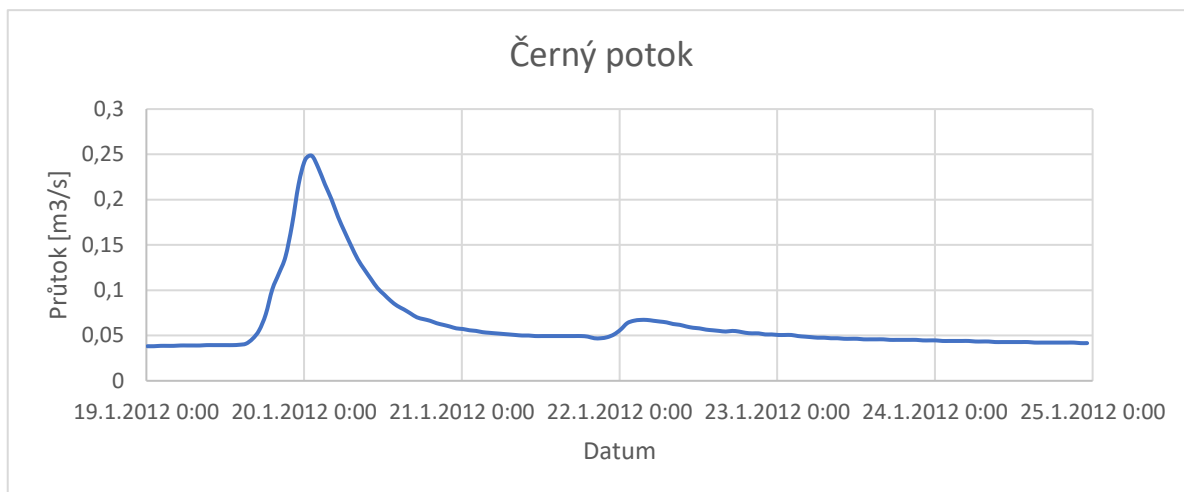
Obrázek 7: Meteorologický vývoj zimní epizody (zdroj: www1.wetter3.de)

5.1.3 Hydrologická situace a průběh průtokové vlny na jednotlivých povodích během epizody

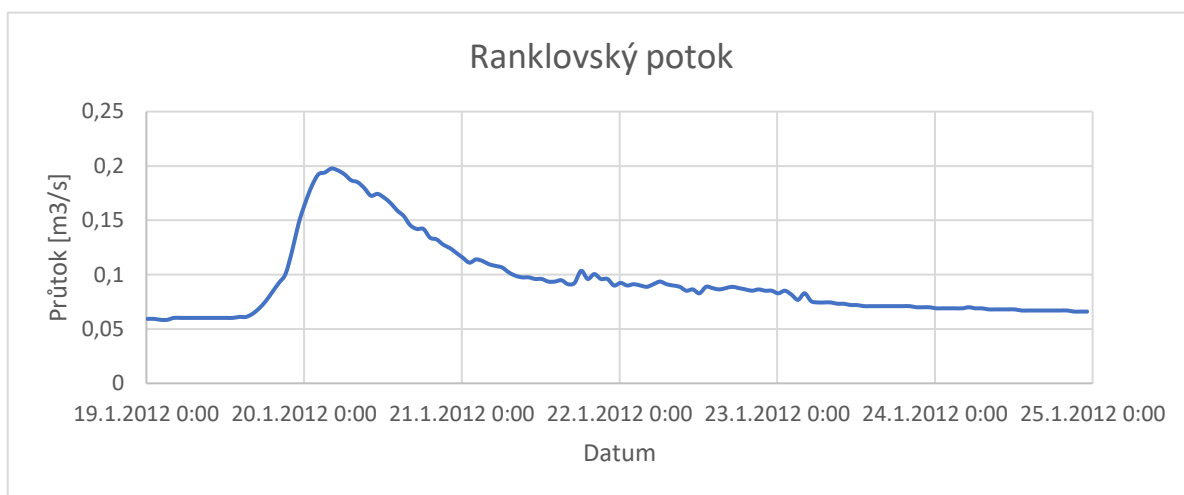
Na níže uvedených grafech (graf 6, 7, 8) je zobrazen průběh na jednotlivých povodích během zimní epizody a to na základě hodnot průtoku v čase. Tato epizoda měla ve všech povodích jednu významnou povodňovou vlnu, která se na zájmových tocích lišila jak z hlediska velikosti (viz. podkapitola 3.1.5) tak i doby trvání. K samotnému zvýšení průtoku došlo nejdříve na Černém a Ranklovském potoce (19. 1. 2012 kolem 16. hodiny) a o něco později i na Rokytce (19.1. 2012 kolem 19. hodiny), v důsledku výše popsanych skutečností, tedy tání sněhu způsobené nárůstem teploty a srážek, jejichž průběh je znázorněn v grafu 4. Pro průběh srážek byla použita měřicí stanice nacházející se v relativní blízkosti zájmových povodí, a to stanice na Zhůreckém potoce, jelikož ostatní stanice byly mimo provoz nebo ještě nebyly v daném časovém intervalu v provozu. Způsob nástupu zvýšených průtoků (vodních stavů) se na jednotlivých povodích mírně lišil, kdy nejstrmější nárůst průtokové vlny odpovídá Černému a Ranklovskému potoku a mírnější nastal na Rokytce. Naopak právě pro Rokytku platí nejdelší doba trvání vysokých průtoků (téměř dva dny), zatímco u dvou zbývajících toků se tato doba pohybovalo kolem dne a půl. Obecně se průtokové vlny na Černém a Ranklovském potoce liší od těch na Rokytce, a to jak z hlediska průběhu tak i dosažené velikosti (viz. 5.1.4.1.).



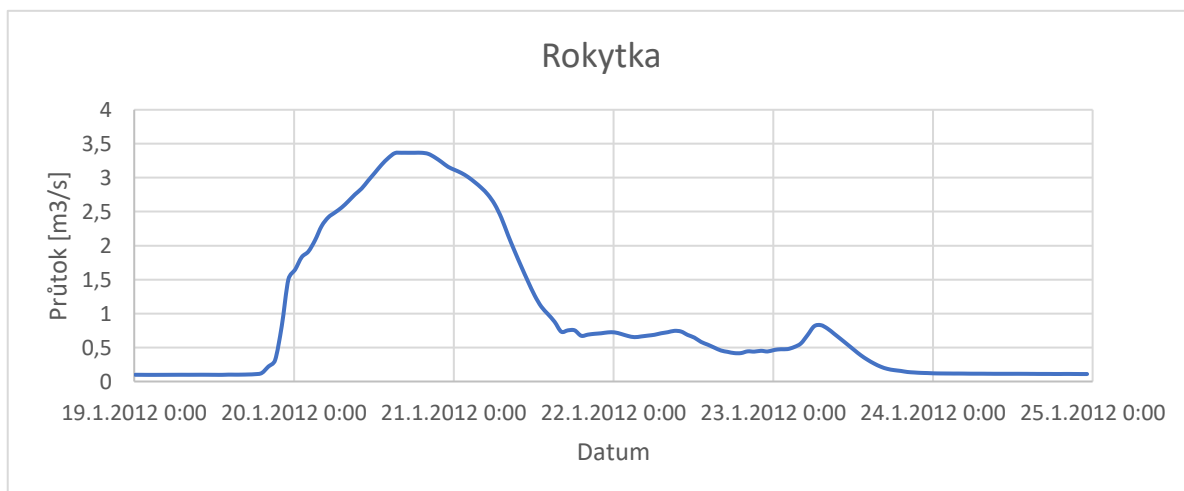
Graf 5: Úhrny srážek během zimní situace (zdroj: data KFGG PřF UK; zpracování autor)



Graf 7: Vývoj průtokového stavu během zimní epizody na Černém potoce (zdroj: data KFGG PřF UK; zpracování autor)



Graf 6: Vývoj průtokového stavu během zimní epizody na Ranklovském potoce (zdroj: data KFGG PřF UK; zpracování autor)



Graf 8: Vývoj průtokového stavu během zimní epizody na Rokytkách (zdroj: data KFGG PřF UK; zpracování autor)

5.1.3.1 Číselné a statistické vyjádření zimní epizody

Pro jednotlivá povodí byly vypočteny ukazatele charakterizující průběh průtokové vlny během zimní situace (tab. 8, 9, 10). Mezi vypočtené ukazatele patří:

Objem celé epizody: tedy veškeré množství vody, které protéklo za celou situaci závěrovým profilem jednotlivých toků.

Objem hlavní průtokové vlny: množství vody, které protéklo od začátku průtokové vlny (pata vlny) po dobu, kdy se rychlý pokles průtoku mění v mírnější, blízký průtoku před vlnou.

Objem průtokové vlny od stavu kulminace po normální stav: velikost objemu vody, která protékla od doby kulminace po dobu, kdy se vodní stav téměř opět rovnal vodnímu stavu na úplném začátku situace (± 10 cm).

Doba od kulminace po normální stav: časové období mezi kulminací vlny a stavem, který byl stejný na začátku situace (± 10 cm).

Doba od paty vlny po nástup kulminace: časové období od paty průtokové vlny po nástup kulminace.

Francou index: index hodnotící epizodu na jednotlivých povodích na základě jejich plochy a kulminačního průtoku (viz. podkapitola 2.4.1.1).

I_{EKP}: index I_{EKP} (index extremity povodňového průtoku) je vypočten jako podíl nejvyšší hodnoty desetiminutového průtoku do doby kulminace a hodnoty průměrného průtoku v období před vzestupem povodňové vlny (viz. podkapitola 2.4.1.1).

Q_{max}/Q_{ep}: výpočet dávající do vztahu podílu maximální dosažený průtok a průměrnou hodnotu průtoku za celou epizodu.

Tabulka 8: Charakteristiky související s průtokovým stavem

	Objem celé epizody [m³]	Objem hlavní průtok. vlny [m³]	Objem od kulminace po norm. stav [m³]	Doba od paty vlny po kulminaci [hod.]	Doba od kulminace po norm. stav [hod.]
Černý potok	33 514.2	14 081.04	24 932.88	9	4 dny, 9 h
Ranklovský p.	48 892.68	19 565.64	34 474.32	12	3 dny, 21 h
Rokytká	502 925.04	383 068.08	336 537	22	4 dny, 8 h

Tabulka 9: Indexy související s průtokovým stavem

	Francou index	I_{EKP}	Q_{max}/Q_{aep.}
Černý potok	0,16	6,06	3,84
Ranklovský potok	0,09	2,95	2,1
Rokytká	0,26	33.67	3,47

Analýza podobnosti povodní

Analýza podobnosti povodní spočívala ve využití indexu podobnosti (IP), (viz. podkapitola 2.4.1.1). IP porovnává povodňové události z hlediska proměnných dvou srovnávaných povodí. Přičemž těmito proměnnými jsou hodnoty kulminačních průtoků a objemy průtokových vln z daných povodí.

Tabulka 10: Index podobnosti

Černý potok x Rokytká	Černý potok x Ranklovský potok	Rokytká x Ranklovský potok
1.16 *10 ⁻⁵	1.24*10 ⁻⁶	1.15*10 ⁻⁵

5.1.3.2 Závěr

Při pohledu na grafy zobrazující průběh průtoku v čase v jednotlivých třech povodích je patrné, že si sobě odpovídají spíše situace na Černém a Ranklovském potoce, a to jak z hlediska velikosti objemu povodňové vlny (v povodí Rokytky je objem vlny řádově větší než na zbývajících dvou povodích), tvaru i doby trvání. Tento fakt potvrzuje i analýza podobnosti povodní při vzájemném porovnání povodích, kdy jsou si nejvíce podobné události na Černém a Ranklovském potoce (čím je výsledek mezi dvěma porovnávanými povodími menší a bližší 0, tím jsou si povodí podobnější z hlediska povodňové situace, která na nich proběhla. Z vypočtených indexů v tabulce 9 je patrné, že na Ranklovském potoce byla tato situace ze všech tří povodí nejmenší, a to jak k vzhledem k velikosti povodí, tak i stavu před touto situací. A naopak průběh povodně byl největší na Rokytce, kde bylo dosaženo až extrémních hodnot. V souvislosti s těmito extrémními hodnotami a zimním obdobím nelze ovšem vyloučit ani fakt, že mohly být způsobeny zamrznutím hladiny.

5.2 Jarní epizoda (16. 4. – 23. 4. 2013)

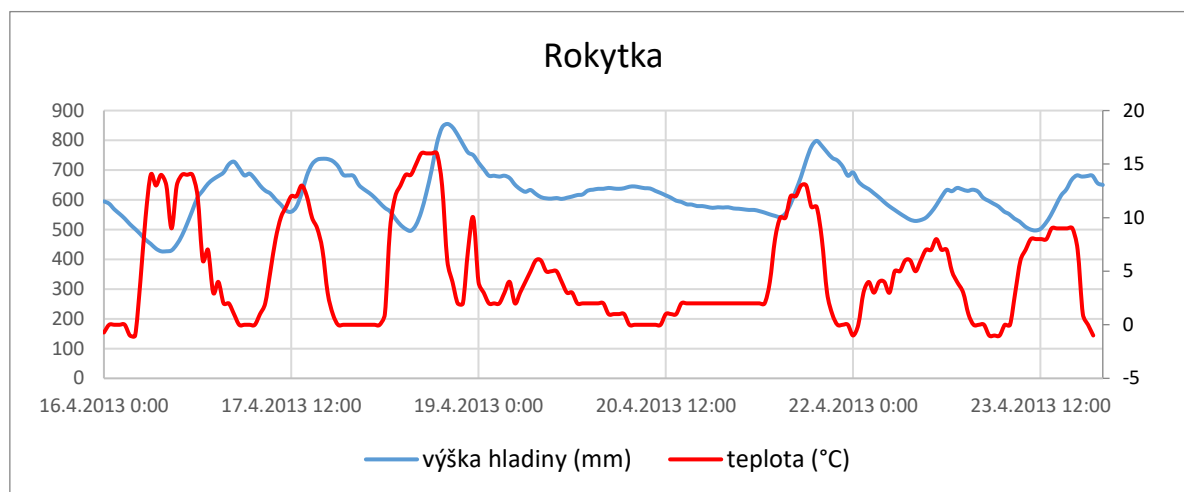
5.2.1 Obecná charakteristika roku

Rok 2013 byl na území České republiky teplotně průměrný. Průměrná teplota vzduchu 7,9 °C odpovídala normálu z let 1981–2010. Většinu měsíců lze hodnotit jako teplotně normálních s výjimkou března, července, srpna a prosince. Jarní období s průměrnou teplotou 6,5 °C bylo v průměru o 1,5 °C chladnější než normál, což především ovlivnil velmi studený březen (druhý nejstudenější za posledních 40 let) s průměrnou teplotou jen –0,7 °C. Další dva měsíce, a tedy i duben, ve kterém se odehrála vybraná situace, již byly opět teplotně normální. Zásoby vody akumulované ve sněhové pokrývce byly ve většině sledovaných povodích počátkem roku 2013 nadprůměrné, zatímco na konci roku byly výrazně podprůměrné. Maximální hodnoty sněhových zásob byly zaznamenány v polovině třetí dekády února, kdy se výška sněhu v zájmových povodích pohybovala kolem 200–500 mm. V porovnání s předchozími zimními obdobími od roku 1970 se jednalo o pátou největší zásobou za posledních 40 let. V důsledku výrazného oteplení v první březnové dekádě docházelo k rychlému odtávání sněhu a z nižších poloh sníh prakticky zmizel. Pozvolný úbytek sněhové pokrývky pokračoval až do konce druhé březnové dekády. Konec března a první dubnová dekáda byly opět ve znamení mírného nárůstu sněhových zásob, avšak od druhé dubnové dekády sníh již rychle ubýval a do konce dubna postupně odtály i zbytky sněhu z nejvyšších horských poloh, vodní toky v průběhu měsíce dubna kolísaly vlivem tání sněhové pokrývky a dešťových srážek. Z hlediska celkového odtoku byl rok 2013 na většině území ČR průměrný až mírně nadprůměrný (ČHMÚ 2014).

5.2.2 Příčina a meteorologický průběh situace

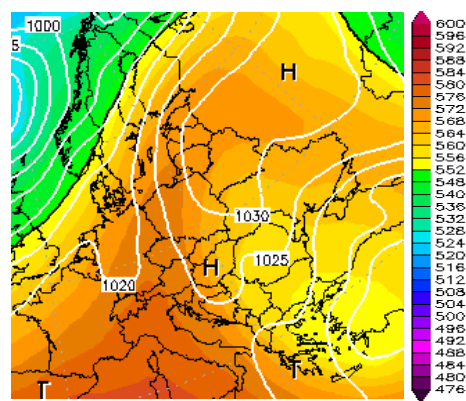
Tato jarní situace nepředstavuje typickou povodňovou událost, ale situaci během jarního tání sněhové pokrývky v zájmových povodích. Hlavní příčinou této situace byla tlaková výše, která se přesouvala přes střední Evropu k SV a po její zadní straně k nám proudil teplý vzduch od jihu, přičemž díky tomu došlo k výraznému oteplení, kdy denní teploty kolem 15. 4. vzrostly téměř trojnásobně vzhledem k období před touto situací a vydržely až do 19. 4. Během tohoto období došlo k jedné srážkové epizodě 16.4. v odpoledních a večerních hodinách, jinak bylo převážně jasno až polojasno. Na začátku druhé části (19.4.–21.4. dopoledne) této situace k nám vrcholil příliv teplého vzduchu, ovšem od západu začala počasí ovlivňovat zvlněná studená fronta, která přinesla zataženo s deštěm v oblasti zájmových území a pokles teplot k hodnotám před touto situací. Naopak v poslední části (21.4.–25.4.) této vybrané situace došlo k opětovnému růstu teplot (graf 9)

zhruba na hodnoty odpovídají teplotám v první části této situace a návratu jasného a polojasného počasí.

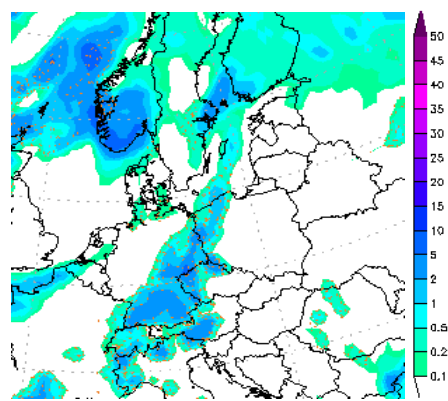


Graf 9: Vývoj teploty a výšky hladiny na potoce Rokytká (zdroj: data KFGG PřF UK; zpracování autor)

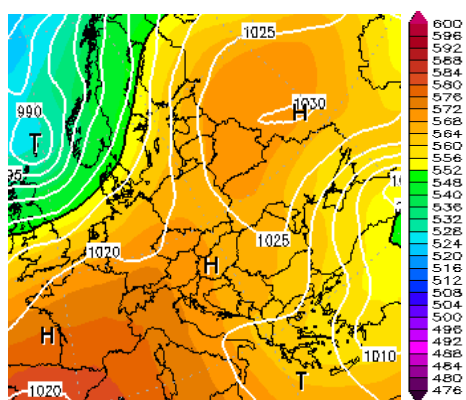
Meteorologický vývoj během jarní situace



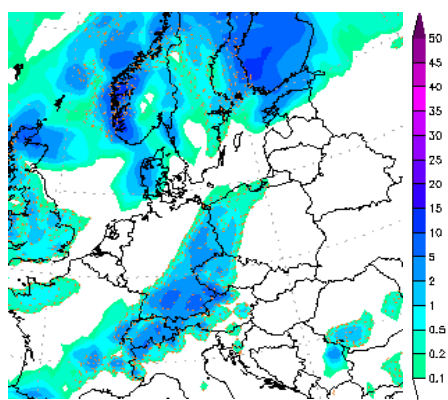
15. 4. 13



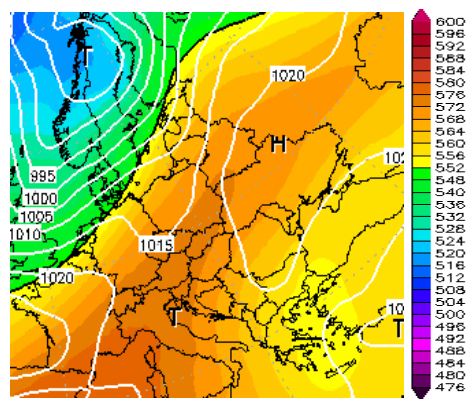
16. 4. 13



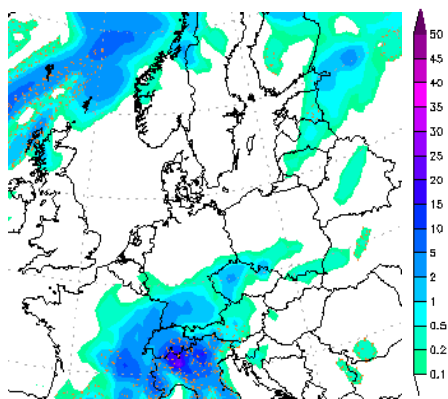
16. 4. 13



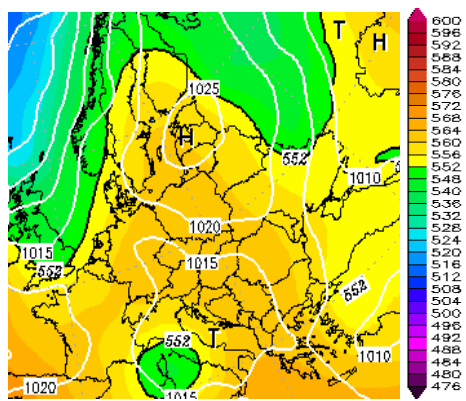
18. 4. 13 18:00



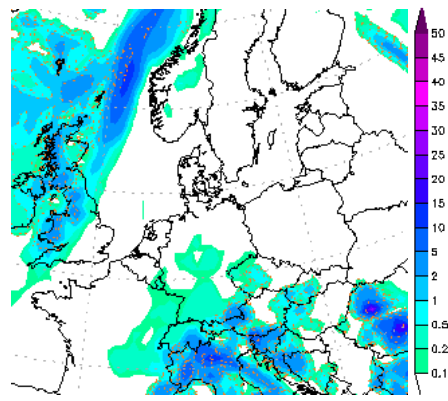
18. 4. 13



20. 4. 13 12:00



21. 4. 13

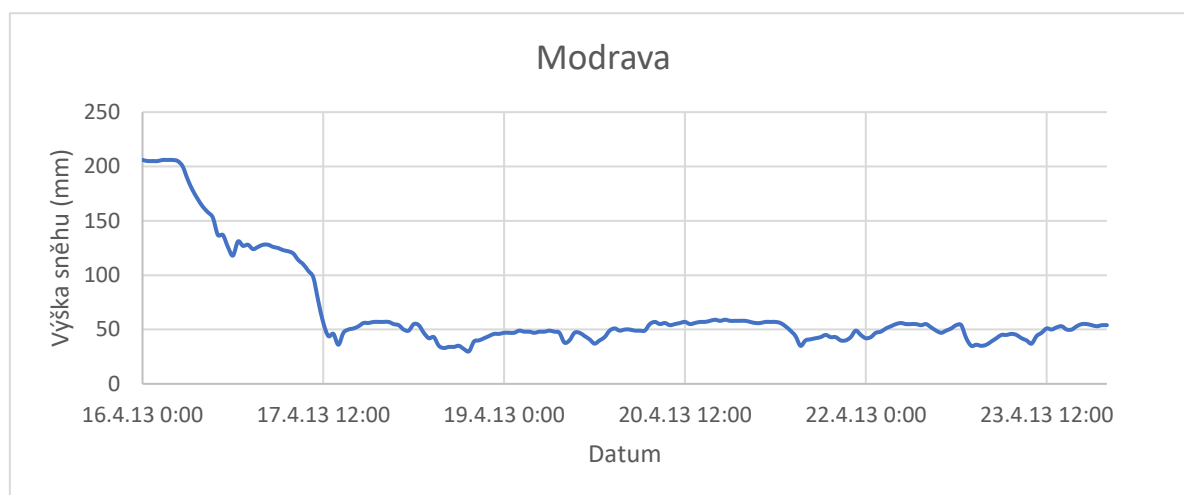


21. 4. 13 18:00

Obrázek 8: Meteorologický vývoj jarní epizody (zdroj: www1.wetter3.de)

5.2.3 Vývoj sněhové pokrývky

Vývoj sněhové pokrývky z vybrané jarní situace z roku 2013 byl analyzován pomocí měření výšky sněhu ze stanice Modrava, nacházející se v relativní blízkosti studovaných povodí, provozované KFGG PřF UK. V ostatních stanicích včetně těch v zájmových územích nebyly dané hodnoty v tomto období měřeny. Z tohoto důvodu je vztažení hodnot o vývoji sněhové pokrývky ze stanice Modrava k zájmovým povodím nutné brát pouze za orientační, nikoliv za totožné. Nicméně při pohledu na graf 10 je patrné, že vývoj výšky sněhu na stanici Modrava odpovídal vývoji v zájmových povodích, kdy je patrný velmi rychlý úbytek sněhu na začátku této situace v souvislosti s prudkým zvýšením teploty a srážkovou činností.



Graf 10: Vývoj výšky sněhové pokrývky (zdroj: data KFGG PřF UK; zpracování autor)

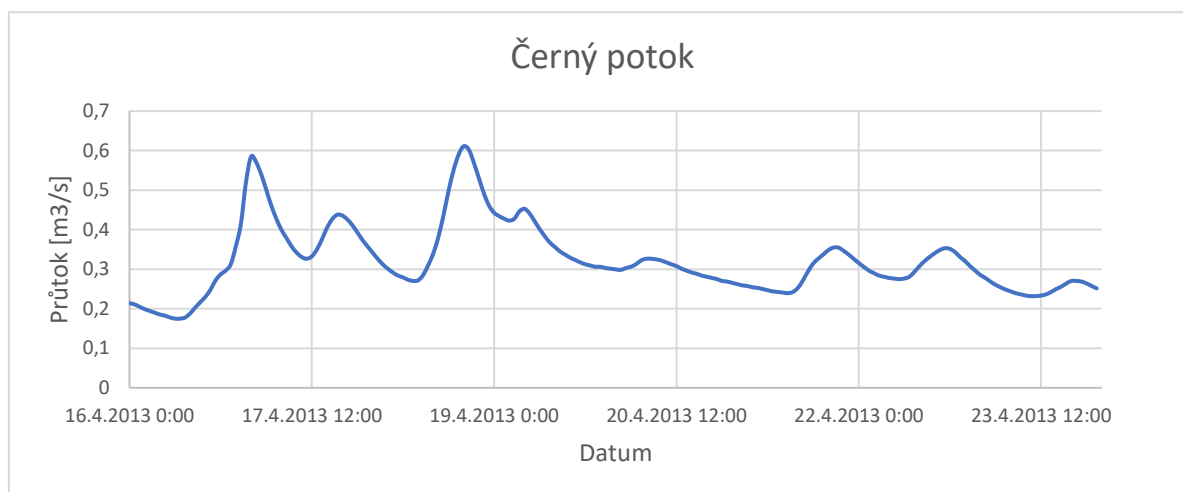
5.2.4 Hydrologická situace a průběh průtokové vlny na jednotlivých povodích během epizody

Na níže uvedených grafech je zobrazen průběh na jednotlivých povodích během jarní situace a to na základě hodnot průtoku v čase. Tato epizoda je oproti ostatním třem specifická tím, že není tvořena jednou či dvěma tzv. povodňovými vlnami, ale sérií několika menších vln, způsobené převážně jarním táním sněhové pokrývky. Epizoda je zajímavá i z hlediska možnosti pohledu na rekace jednotlivých povodí na běžnější událost. Situaci lze z hlediska času a podobného průběhu rozdělit na dvě období: 16. 4. 2013–20. 4. 2013 a 20. 4. 2013–24. 4. 2013. První období lze je pro všechny tři vodní toky charakteristické stejným počtem (3) zvýšení vodních stavů a také víceméně podobným začátkem situace, kdy kulminace prvního zvýšení vodní stavu proběhla na všech sledovaných tocích v podobnou

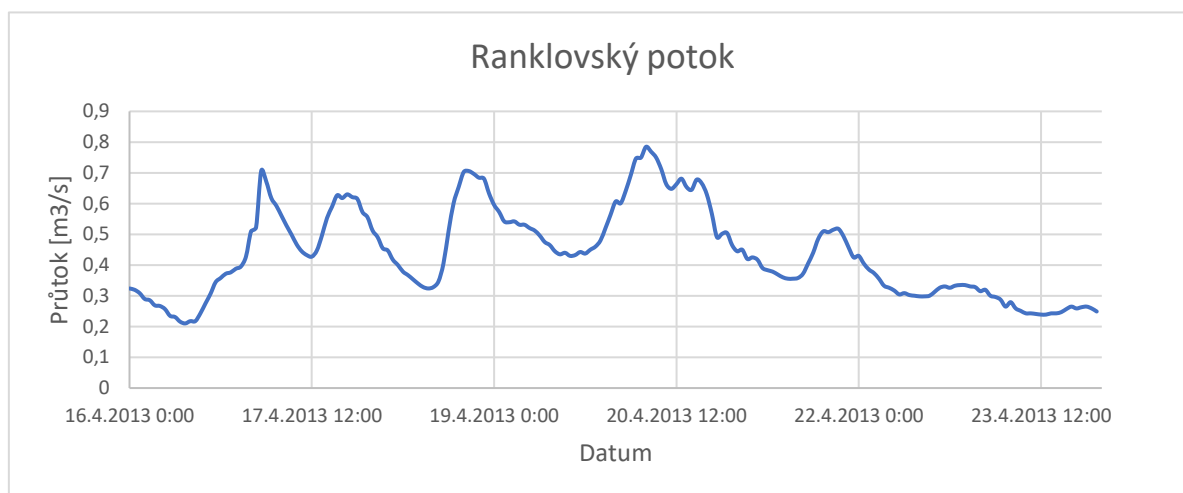
dobu (17. 4. 2013 kolem půlnoci). Celkově všechny proběhlé kulminace v první části období proběhly na všech třech zájmových tocích vždy v podobný čas. Naopak rozdíl mezi jednotlivými povodími spočíval ve vzájemné velikosti výše uvedených tří vln, kdy na Černém a Ranklovském potoce je nejvyšších hodnot průtoku přibližně dosaženo u první a třetí vlny, zatímco na Rokytce až u vlny třetí. Druhou část epizody tedy od 20. 4. do 24. 4. lze na jednotlivých tocích oproti první považovat za více variabilní. Z hlediska podobnosti průtokové křivky v čase si je nejvíce podobný průběh na Černém potoce a Rokytce, kdy po období poklesu a následném zklidnění vodních stavů na přelomu výše zmíněných období došlo k opětovnému zvýšení průtoku (Rokytka zaznamenala oproti Černému potoku mnohem vyšší nárůst), a to kolem poledne 21. 4., zatímco na Ranklovském potoce nedošlo na přelomu těchto dvou období k žádnému výraznému zklidnění vodního stavu, naopak dne 20.4. zde byla zaznamenána nejvyšší hodnota průtoku za celou jarní epizodu. Následně na tomto potoku již měly průtoky sestupnou tendenci. Příčina tohoto faktu může být nalezena ve srážkové činnosti ve druhém období jarní epizody. Pro průběh srážek byla využita stejná stanice jako během zimní epizody, stanice na Zhůreckém potoce (graf 11) a to ze stejných důvodů. Tedy úhrny srážek naměřené na stanici Zhůrecký potok nemusí být dostatečně reprezentativní pro zájmová území a průběh srážek na nich se může lišit. Vzájemné číselné porovnání hodnot všech tří zájmových toků týkající se průtoku a z něj odvozených hodnot je uvedeno v podkapitole 5. 2. 4. 1.



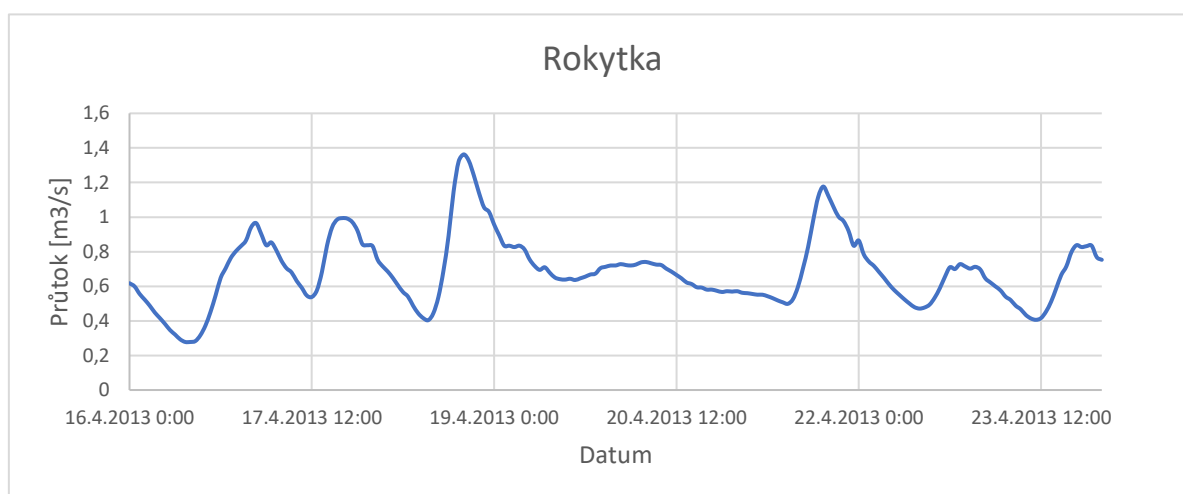
Graf 11: Vývoj a množství srážek v průběhu jarní epizody (zdroj: data KFGG PřF UK; zpracování autor)



Graf 12: Vývoj průtokového stavu během jarní epizody na Černém potoce (zdroj: data KFGG PŘF UK; zpracování autor)



Graf 13: Vývoj průtokového stavu během jarní epizody na Ranklovském potoce (zdroj: data KFGG PŘF UK; zpracování autor)



Graf 14: Vývoj průtokového stavu během jarní epizody na Rokytkce (zdroj: data KFGG PŘF UK; zpracování autor)

5.2.4.1 Číselné a statistické vyjádření jarní epizody

Pro jednotlivá povodí byly vypočteny ukazatele charakterizující průběh průtokové vlny během jarní situace (tab. č. 11, 12, 13). Vypočtené ukazatele jsou pro tuto situaci z důvodu její specifikace odlišné oproti předcházející zimní epizodě. Mezi odlišné ukazatele patří:

Objem tzv. prvního období situace: ukazatel udávající hodnotu objemu vody pro tzv. první období této situace, tedy pro období: 16. 4. 2013–20. 4. 2013.

Objem tzv. druhého období situace : ukazatel udávající hodnotu objemu vody pro tzv. druhé období této situace, tedy pro období: 20. 4. 2013– 24. 4. 2013.

První období:druhé období: výpočet dávající do poměru první období vůči druhému.

Tabulka 11: Charakteristiky související s průtokovým stavem

	Objem celé epizody [m³]	Objem tzv. prvního období situace [m³]	Objem tzv. druhého období situace [m³]	První období:druhé období
Černý potok	222 633	124 619	98 013.6	1.27
Ranklovský p.	302 911.9	160 825.32	142 086.6	1.13
Rokytká	476 991.36	248 431	228 560.4	1.09

Tabulka 12: Indexy související s průtokovým stavem

	Francou index	IEKP	Q_{max}/Q_{aep.}
Černý potok	0.21	7.03	1.9
Ranklovský potok	0.17	10.06	1.79
Rokytká	0.21	10.17	1.99

Analýza podobnosti povodní

Analýza podobnosti byla provedena stejným způsobem jako v předcházející situaci.

Tabulka 13: Index podobnosti

Černý potok x Rokytka	Černý potok x Ranklovský potok	Rokytka x Ranklovský potok
$2.15 \cdot 10^{-6}$	$6.61 \cdot 10^{-7}$	$1.48 \cdot 10^{-6}$

5.2.4.2 Závěr

Obecně tato situace oproti třem ostatním vybočuje z důvodu, že nepopisuje nějakou extrémní povodňovou událost ale situaci, která se na jednotlivých povodích opakuje téměř každý rok, a to situaci během jarního tání sněhové pokrývky.

Jak již bylo výše uvedeno, jarní situaci je možné rozdělit na dvě části, přičemž první část (16. 4. 2013–20. 4. 2013) si je na jednotlivých povodích z hlediska tvaru průtokové křivky více podobná než druhá část epizody (20. 4. 2013– 24. 4. 2013), která zároveň na všech třech povodích vykazuje menší hodnoty objemu vody než je tomu v první části epizody. Při vzájemném porovnání objemu vody mezi prvním a druhým obdobím na jednotlivých povodích je patrné, že k největšímu poklesu oproti prvnímu období došlo na Černém potoce a naopak k nejmenšímu na Rokytce. Celkově se ale objemy za celou epizodu v jednotlivých povodích pohybují v podobných velikostech (řádech). Z hlediska podobnosti mezi porovnávanými povodími jsou si nejvíce podobné povodí Černého a Ranklovského potoka (tab. 13). Z hlediska ostatních vypočtených indexů (tab. 12) si jsou povodí velmi podobná, s pouze menším rozdílem u Černého potoka, kde tato situace měla vzhledem ke stavu před ní nejmírnější průběh (index I_{EKP}).

5.3 Letní epizoda (30. 5. – 5. 6. 2013)

5.3.1 Obecná charakteristika roku

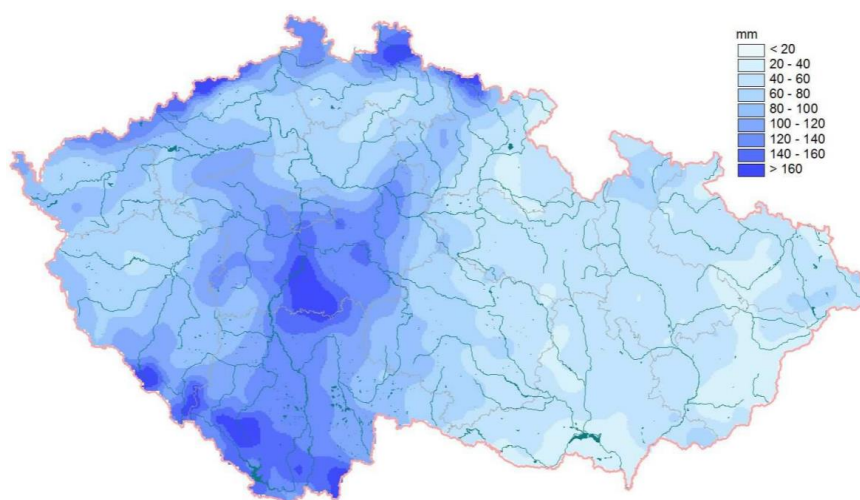
Pro tuto situaci platí stejné hydrologické obecné charakteristiky roku 2013 jako pro jarní epizodu výše. Tato epizoda patří do povodňové situace v červnu 2013, která se svými důsledky řadí ke katastrofickým povodním na přelomu 20. a 21. století, hned za povodně v letech 1997 a 2002.

5.3.2 Příčina a meteorologický průběh situace

V první polovině roku 2013 převládal v širším okolí střední Evropy neobvyklý průběh počasí. Období bylo, kromě výrazných změn v teplotách, charakterizováno i velkou rozmanitostí srážkového režimu. Byly zaznamenávány jak teplotní extrémy, tak na četných místech vydatné srážky působící sněhové kalamity a na jaře a začátkem léta i povodně. Příčinu této povodně lze hledat v intenzivní srážkové činnosti, zejména v druhé polovině května, která velmi silně nasýtila půdu ve střední a západní Evropě. Nasycení půdy k 1. červnu 2013 je znázorněno na obr. 12 pomocí ukazatele nasycení (UN), kdy se vzrůstající hodnotou UN klesá schopnost půdy absorbovat dlouhodoběji srážkovou vodu a roste podíl vody, která z následných srážek odtéká. Květen obecně byl jako celek teplotně podnormální a srážkově silně nadnormální. Na území celé ČR byl naměřen průměrný měsíční úhrn srážek 113 mm, což představuje 152 % dlouhodobého průměru za období 1961–1990. V průběhu června byly významné srážky seskupeny do tří hlavních srážkových epizod, které vyvolaly tři vlny povodní, přičemž pro tuto práci je stěžejní první epizoda. Tato epizoda se tedy odehrávala v samotném závěru května a na počátku června, kdy se nad větší částí evropského kontinentu udržovala rozsáhlá oblast nízkého tlaku vzduchu se středem postupujícím z jihozápadní Evropy na severozápad. Epizoda významných srážek 1. a 2. června byla způsobena tlakovou níží, která se vytvořila 30. května na frontální vlně východně od ČR a zvolna postupovala nad naše území. Nad severní Evropou se v tomto období udržovala tlaková výše a zároveň nad západní Evropou mohutněl výběžek azorské tlakové výše. Obě tlakové výše postupně zablokovaly postup níže dále na sever a západ, což způsobilo její setrvání nad centrální částí evropské pevniny. Nad naším územím se vlnilo frontální rozhraní a bylo téměř 20 hodin bez výraznějšího pohybu. V dalších dnech se tlaková níže nad východní Evropou začala zvolna vyplňovat, její vliv však přetrvával až do 5. června, kdy ovlivňovala východ ČR. Nad naše území se poté rozšířil nevýrazný výběžek vyššího tlaku vzduchu a v následujících dnech se nad střední Evropou udržovalo už jen nevýrazné tlakové

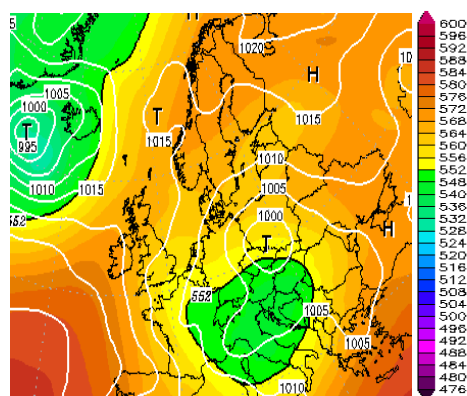
pole, kdy došlo k ustání srážek a k výraznému zvýšení teplot, které byly před, ale i po celou dobu situace velmi nízké (ČHMÚ 2014).

Pětidenní srážková epizoda, která přetrvávala od 29. května do 3. června, zasáhla téměř výlučně Čechy. Dne 29. května překonaly nejvyšší srážkové úhrny 30 mm, 30. května dosáhly na některých stanicích 40 mm. Dne 31. května byly srážky výrazně nižší, na většině stanic byl denní úhrn do 15 mm, s výjimkou několika stanic na západě Čech. (Ovšem v zájmových povodích se spadlé srážky v těchto popisovaných dnech neprojeví nijak výrazně na růstu hladin). Naopak srážky spadlé na samém začátku června se již projeví na hladinách toků v zájmových územích velmi výrazně, kdy úhrny srážek za 1. červen (tj. srážky vypadlé od 1. 6. 2013 8:00 SELČ do 2. 6. 2013 8:00 SELČ) dosáhly místy na Šumavě více než 80 mm (Zhůrecký potok 60 mm). Podobná situace pokračovala i následující den 2. června (od 2. 6. 2013 8:00 SELČ do 3. 6. 2013 8:00 SELČ), kdy byly na stanicích nacházejících se nedaleko zájmových územích naměřeny srážkové úhrny kolem 70 mm, například na stanici Železná Ruda – Špičák 73 mm. V průběhu této srážkové epizody vypadlo nejvíce srážek ve dnech 1. a 2. června, z toho nejintenzivnější srážky byly zaznamenány během 24 hodin od 1. června 15:00 do 2. června 15:00 SELČ. Celkové množství spadlých srážek za celou tuto epizodu je znázorněno na obrázku 10, na kterém je vidět, že množství srážek v zájmových územích bylo vůbec jedno z největších (120–160 mm) v celé zemi (ČHMÚ 2014).

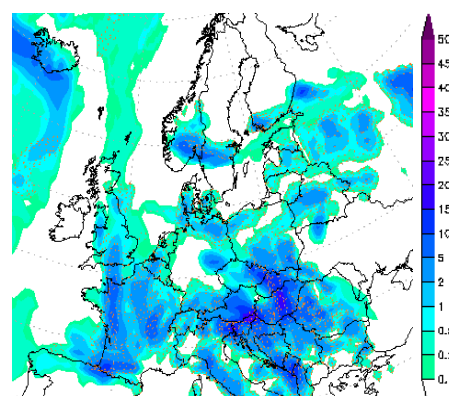


Obrázek 9: Úhrn srážek od 29. 5. do 3. 6. 2013 (zdroj: Povodně v České republice 2013 2014)

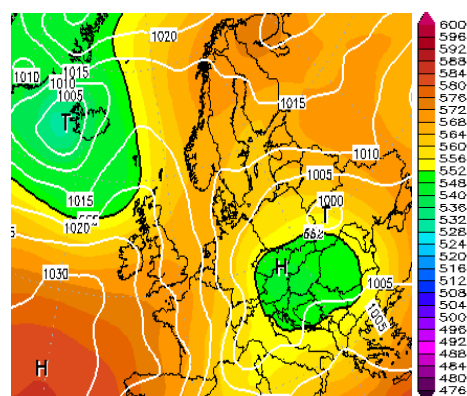
Meteorologický vývoj během letní situace



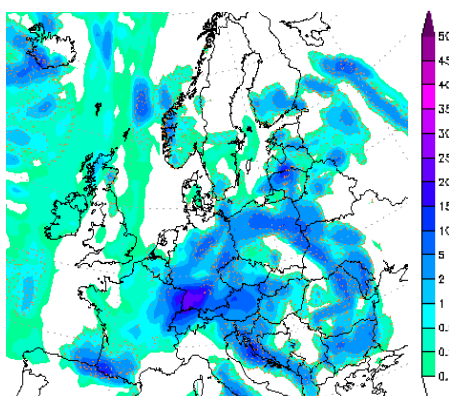
30. 5. 13



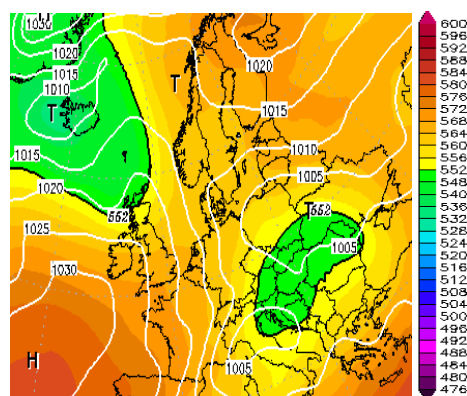
30. 5. 13



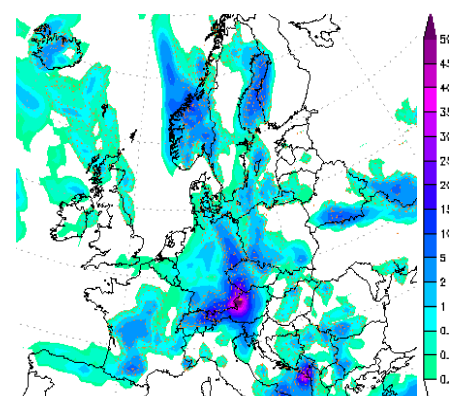
31. 5. 13



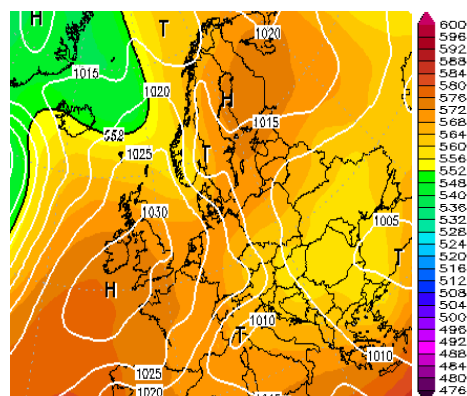
31. 5. 13



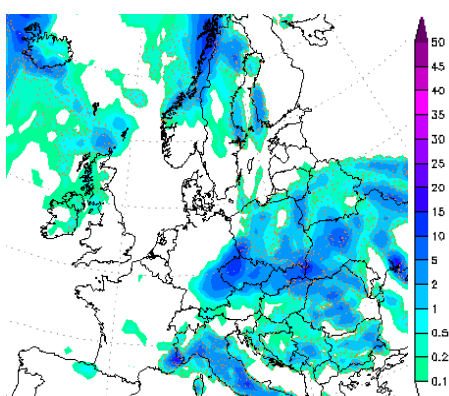
1. 6. 13



2. 6. 13 00:00



3. 6. 13



3. 6. 13 12:00

Obrázek 10: Meteorologický vývoj letní epizody (zdroj: www1.wetter3.de)

5.3.3 Nasycenost povodí

Důležitou součástí charakteristiky povodňových situací je faktor nasycenosti povodí. Kombinace vysoké nasycenosti povodí před situací a současných vysokých srážkových úhrnů může znamenat velké riziko zvýšeného povrchového odtoku. Pro tuto práci byl použit index předchozích srážek tzv. Index API (Antecedent Precipitation Index). Výpočet spočívá v sumaci denních úhrnů srážek za sledované období s klesající vahou směrem do minulosti (eMS 2014 online).

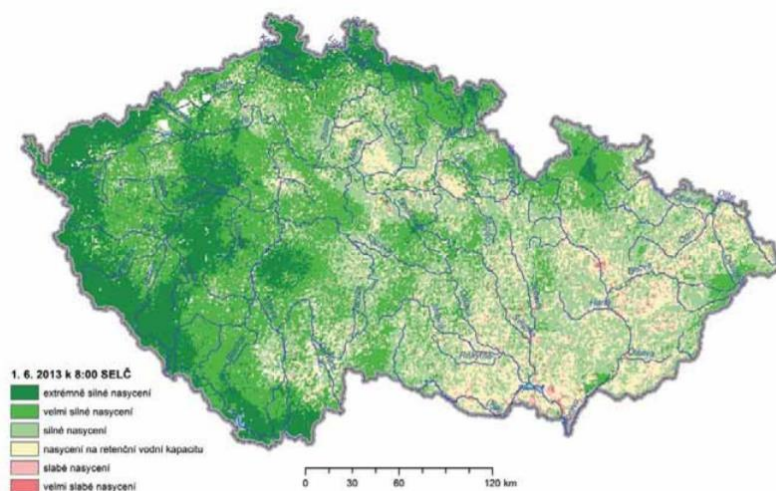
$$API_n = \sum_{i=1}^n R_i * k^i$$

kde R je denní úhrn srážek v i -tém dni sledovaného období, a zároveň $i = 1$ pro předchozí den a směrem do minulosti roste, n je počet dní, pro který je index počítán (nejčastěji pro 30 dní) a k odpovídá tzv. evapotranspirační konstantě, která odráží vlastnosti daného povodí (pro ČR se nejvíce používá průměrná hodnota 0,93, jenž byla použita i pro výpočty v této práci. (eMS 2014 online).

Index API pro tuto situaci byl vypočten s využitím dat o denních úhrnech srážek na stanici Zhůrecký potok (tab. 14), a to vzhledem k výpadku či neexistenci srážkoměrů v zájmových území či ve zbývajících monitorovaných povodích. Z toho důvodu nelze vypočtené hodnoty vztáhnout k hodnotám v zájmových územích se 100% jistotou. Výpočet API byl proveden pro $n=5,15$ a 30.

Tabulka 14: Index API

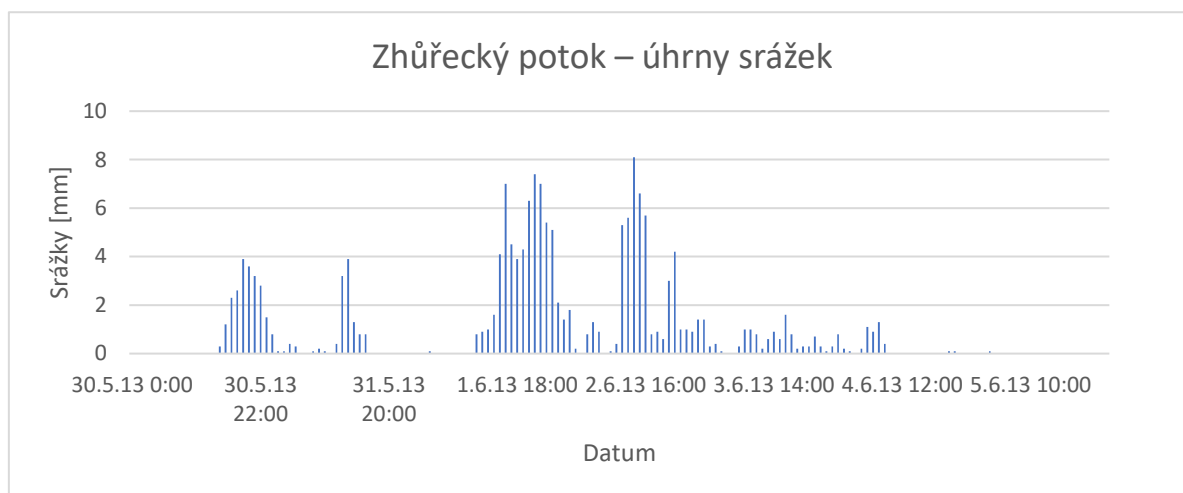
	API 5		API 15	API 30
Zhůrecký potok	19,96	32,65	44,74	



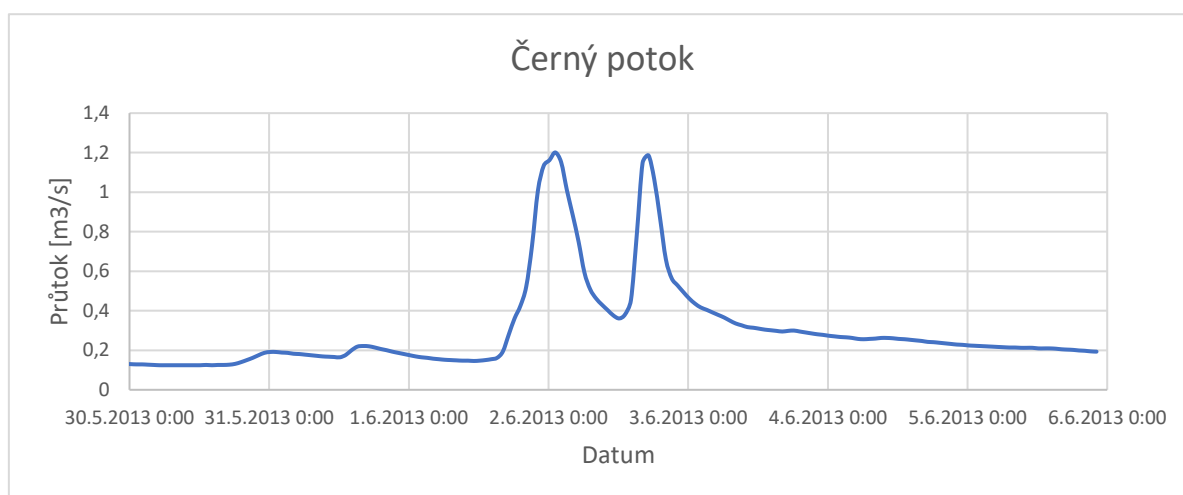
Obrázek 11: Ukazatel nasycení území k 1. 6. 2013 8:00 SELČ (zdroj: Povodně v České republice 2013 2014)

5.3.4 Hydrologická situace a průběh průtokové vlny na jednotlivých povodích během epizody

Průběh průtoků během letní epizody je pro zájmová území zobrazen na konci této podkapitoly (grafy 16, 17, 18). Tvar průběhu povodňových vln je pro jednotlivá povodí velmi podobný, jedním z rozdílů mezi pozorovanými toky je průběh povodňové vlny na Ranklovském potoce, kde je období nejvyšších průtoků tvořeno třemi průtokovými vlnami, nikoliv dvěma jako je tomu u ostatních dvou toků. Druhým, drobnějším rozdílem, mezi pozorovanými toky, je doba (30. 5. 2013-1. 6. 2013) před hlavním nárůstem vodních stavů, ve které došlo k mírnému zvýšení průtoku na všech pozorovaných tocích, přičemž během této doby byla největší oscilace průtoku na vodním toku Rokytka. Samotné zvýšení vodního stavu na tocích před hlavní epizodou má pravděpodobně příčinu ve srážkové činnosti (kolem 20 mm srážek) ke konci dne 30. 5. 2013. Změřená hodnota srážek pochází stejně jako v předchozích případech ze srážkoměru na Zhůreckém potoce (graf 15), a to i na základě stejných důvodů. Nástup první povodňové vlny odpovídá pro všechny toky víceméně podobnému časovému údaji (tedy kolem 16. hodiny 1. 6. 2013 na Rokytce a přibližně po 17. hodině na zbývajících dvou tocích). Následná kulminace první povodňové vlny proběhla nejdříve na Rokytce, a to téměř o tři hodiny dříve než na dvou ostatních tocích. Poté následoval pokles vodních stavů, pravděpodobně v důsledku ustávání srážek, který byl nejmenší, na již výše zmíněném Ranklovském potoce z důvodu opětovného nárůstu výšky vodní hladiny, zatímco na Černém potoce a Rokytce stále pokračoval pokles zhruba až do 12.-13. hodiny dne 2. 6. Pokles byl téměř okamžitě vystřídán opětovným růstem vodních stavů, a to opět v závislosti na sílící srážkové intenzitě. Nástup druhé, respektive třetí (Ranklovský potok) průtokové vlny byl pro všechna tři experimentální povodí z hlediska času podobný. A i doba kulminace vodních stavů proběhla pro všechny vodní toky v podobných časech (na Ranklovském potoce o hodinu dříve). Z hlediska průběhu křivky zobrazující průtok si více odpovídají Černý potok a Rokytka, zatímco z pohledu času dosažení kulminace jsou si bližší Černý a Ranklovský potok. Statistické charakteristiky a indexy popisující tuto epizodu jsou uvedeny v podkapitole 3. 3. 4. 1.



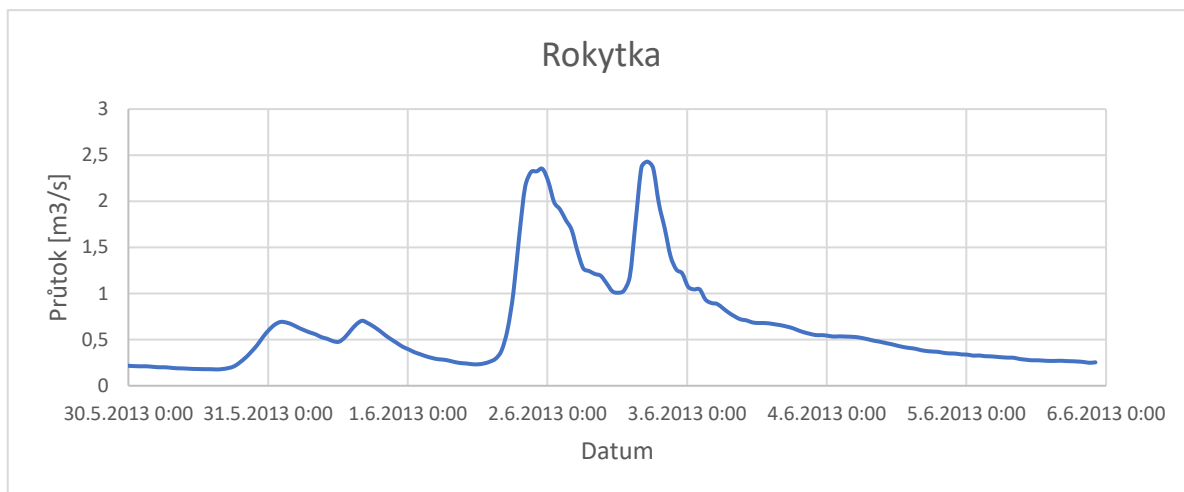
Graf 15: Vývoj a množství srážek v průběhu letní epizody (zdroj: data KFGG PřF UK; zpracování autor)



Graf 16: Vývoj průtokového stavu během letní epizody na Černém potoce (zdroj: data KFGG PřF UK; zpracování autor)



Graf 17: Vývoj průtokového stavu během letní epizody na Ranklovském potoce (zdroj: data KFGG PřF UK; zpracování autor)



Graf 18: Vývoj průtokového stavu během letní epizody na Rokytkce (zdroj: data KFGG PřF UK; zpracování autor)

5.3.4.1 Číselné a statistické vyjádření letní epizody

Pro zájmová povodí byly vypočteny ukazatele charakterizující průběh průtoku a povodňových vln během letní situace (tab. 15, 16, 17). Vypočtené ukazatele jsou pro tuto situaci z důvodu její specifikace odlišné oproti dvěma předcházejícím. Mezi odlišné ukazatele patří:

Objem hlavní části epizody: ukazatel udávající množství vody, za období s nejvyššími hodnotami průtoků, tedy od nástupu první povodňové vlny po hodnotu vodních stavů, kdy se vodní stav opět téměř rovnal vodnímu stavu na úplném začátku situace (± 10 cm).

Objem první povodňové vlny: ukazatel představující množství vody od nástupu první povodňové vlny po patu druhé, následující povodňové vlny (u Ranklovského potoka byly první dvě vlny pro tento výpočet sloučeny do jedné, a to z důvodu jejich trvání, které bylo obdobné jako trvání první povodňové vlny na Černém potoce a Rokytkce).

Objem druhé povodňové vlny: ukazatel představující množství vody od paty druhé povodňové vlny po hodnotu vodního stavu, kdy se vodní stav opět téměř rovnal vodnímu stavu na úplném začátku situace (± 10 cm).

Doba trvání hlavní části epizody: časové období od paty první povodňové vlny po vodní stav, jehož hodnota byla podobná hodnotě na začátku celé epizody (± 10 cm).

Doba trvání první povodňové vlny: časové období od paty první povodňové vlny po patu druhé povodňové vlny.

Doba trvání druhé povodňové vlny: časové období od paty druhé povodňové vlny po vodní stav, jehož hodnota byla podobná hodnotě na začátku celé epizody (± 10 cm)

Doba mezi kulminacemi: časové období mezi kulminacemi dvou nejvyšších hodnot průtoků povodňových vln za celou situaci

Tabulka 15: Indexy související s průtokovým stavem

	Francou index	I_{EKP}	Q_{max}/Q_{aep.}
Černý potok	0.24	9.93	3.93
Ranklovský potok	0.25	32.16	4.3
Rokytká	0.24	13.14	3.71

Tabulka 16: Charakteristiky související s průtokovým stavem

	Objem celé epizody [m³]	Objem hlavní části epizody [m³]	Objem první povod. vlny [m³]	Objem druhé povod. vlny [m³]	Doba trvání hlavní části epizody [hod.]	Doba trvání první povod. vlny [hod.]	Doba trvání druhé povod. vlny [hod.]	Doba mezi kulminacemi [hod.]
Černý potok	184 960.4	108 407.5	50 187.6	58 219.9	56	21	35	17
Ranklovský p.	416 041.2	334 343.9	149 433.5	184 910.4	87	21	66	16
Rokytká	396 692.6	275 551.92	115 959.6	159 592.32	73	22	51	20

Analýza podobnosti povodní

Analýza podobnosti byla provedena stejným způsobem jako v předcházejících situacích.

Tabulka 17: Index podobnosti

Černý potok x Rokytka	Černý potok x Ranklovský potok	Rokytka x Ranklovský potok
$4.23 \cdot 10^{-6}$	$6.59 \cdot 10^{-6}$	$1.42 \cdot 10^{-6}$

5.3.4.2 Závěr

Vývoj povodňové situace byl na všech srovnávaných povodích podobný (viz. 5. 3. 4.). Týká se to zejména celkového objemu proteklé vody během epizody vzhledem k jejich velikosti. Epizodu lze rozdělit na dvě části či povodňové vlny. Na všech třech povodích je objem vody první vlny menší než objem vody vlny druhé, přičemž na Černém potoce je tato změna nejmenší, zatímco u zbylých dvou povodí je tato změna ve velikosti vln markantnější. S tímto faktem souvisí i doby trvání první a druhé povodňové vlny, kdy první vlna trvala na všech povodích kratší dobu a také přibližně stejně dlouho dobu, zatímco druhá trvala déle a na povodích Ranklovského potoka a Rokytka byla tato trvání výrazně delší než doba trvání první povodňové vlny. Zřejmě i z tohoto důvodu jsou si dle Indexu podobnosti nejvíce blízké povodí Ranklovského potoka a Rokytka, ovšem rozdíly při porovnání těchto vodních toků s Černým potokem jsou malé. Při porovnání vodních toků dle indexů z tabulky 15 je patrná určitá vyrovnanost (především u Francou indexu), která je narušena I_{EKP} indexem především pro povodí Ranklovského potoka, kdy je dosaženo téměř trojnásobné hodnoty oproti zbývajícím vodním tokům. Větší rozkolísanost je patrná i u Rokytka než u Černého potoka.

5.4 Podzimní epizoda (22. 10. – 25.10. 2014)

5.4.1 Obecná charakteristika roku

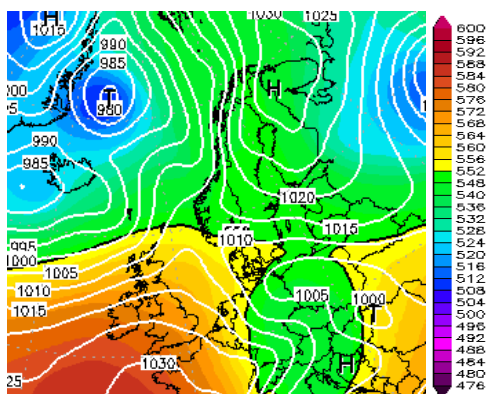
Rok 2014 byl na území České republiky teplotně výrazně nadnormální a o 1,5 °C teplejší než teplotně průměrný rok předchozí. Průměrná roční teplota vzduchu 9,4 °C přesáhla hodnotu dlouhodobého normálu (N1981–2010) o 1,5 °C, což znamenalo největší kladnou odchylku v období posledních 50 let. Jen o něco méně teplé byly též roky 2007 a 2000 s průměrnou teplotou 9,1 °C a odchylkou 1,2 °C. Období podzimu s průměrnou teplotou 10,0 °C bylo opět teplotně nadnormální, a to vlivem teplého října s průměrnou teplotou 10,0 °C (1,9 °C nad normálem) a zejména rekordně teplého listopadu s průměrnou teplotou 6 °C (3,1 °C nad normálem). Oproti předchozímu roku byla tentokrát na srážky relativně bohatší východní polovina ČR a na území Moravy a Slezska tak spadlo asi o 5% normálu více než na území Čech. V průběhu roku se vyskytlo 5 srážkově normálních měsíců (IV., VII., VIII., X., XII.), které se střídaly s 5 suchými (I., II., III., VI., XI.) a 2 vlhkými měsíci (V., IX.). Celkově sušší byla první polovina roku, zejména pak již zimní období 2013/2014, kdy spadlo pouze 42% obvyklého množství srážek, což se projevilo při velmi teplém počasí i mimořádně malou akumulací vody ve sněhové pokrývce. V měsících vegetačního období (duben až říjen) byl srážkový úhrn mírně nadnormální a odpovídal, podobně jako v loňském roce, asi 115% normálu. Odtokově byl rok 2014 na většině území ČR podprůměrný. K významnějším povodňovým událostem došlo v průběhu května, na přelomu července a srpna, a dále v září a říjnu. Průtoky na rozvodněných tocích dosahovaly většinou Q2–5, během září dokonce i Q10–20. Co se týče obecné tendence stavů hladin v říjnu, do kterého patří tato situace, tak byla zpočátku setrvalá, poté převažovaly vzestupy hladin, především v povodí Vltavy. Po vydatných srážkách 22. 10. v oblasti Šumavy a Novohradských hor byl krátkodobě překročen 3. SPA na Otavě a Černé. Vodnosti na těchto tocích dosáhly Q2-5, který byl zaznamenán také na tocích Teplá Vltava, Vydra, Otava, Skalice a Bradava. Významnější povodňové vlny se vyskytly v povodí Vltavy po vydatných srážkách 22. 10. v oblasti Šumavy a Novohradských hor (v průměru napršelo 20 až 50 mm srážek) (ČHMÚ 2015).

5.4.2 Příčina a meteorologický průběh situace

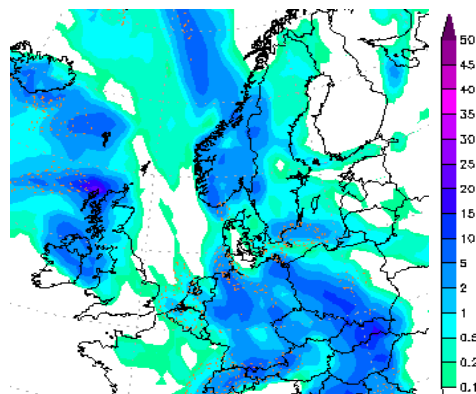
Na začátku této situace (22. 10. 2014) přes nás přecházela studená fronta od SZ, za kterou k nám pronikal chladný a vlhký vzduch od SZ. Bylo zataženo a během dne se vyskytoval slabší déšť. Na počátku následujícího dne (23. 10. 2014) k nám opět proudil chladný a vlhký vzduch, který hlavně během brzkého rána a dopoledne přinesl výrazné

srážky, které v relativní blízkosti (stanice Modrava, Zhůrecký potok) zájmových územích dosahovaly až 70 mm (graf 17, 18). Následující dny, kdy nad naše území od SV zasahoval výběžek tlakové výše, byly již beze srážek a došlo k poklesu hladin řek na hodnoty před touto situací.

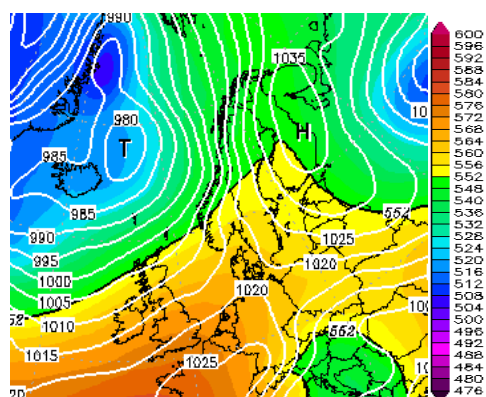
Meteorologický vývoj během podzimní situace



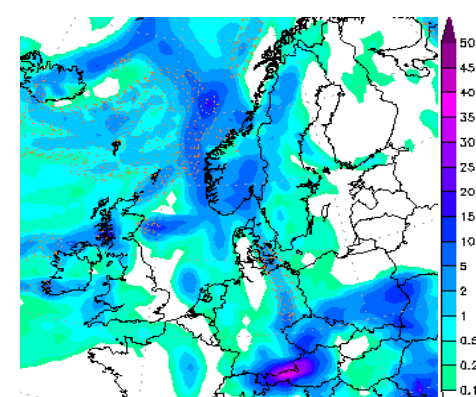
22. 10. 14



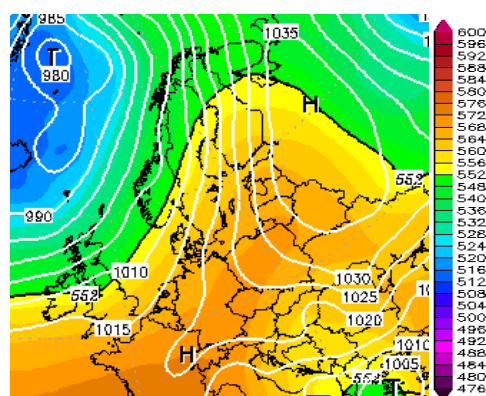
22. 10. 14



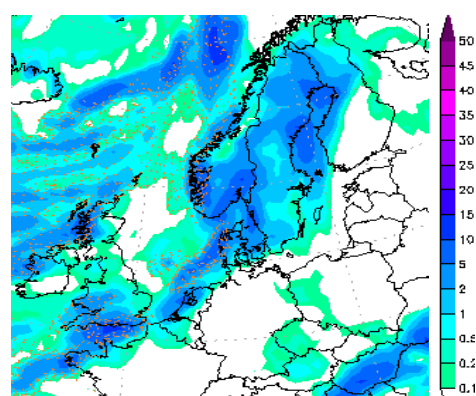
23. 10. 14



23. 10. 14



24. 10. 14



24. 10. 14

Obrázek 12: Meteorologický vývoj podzimní epizody (zdroj: www1.wetter3.de)

5.4.3 Nasycenost povodí

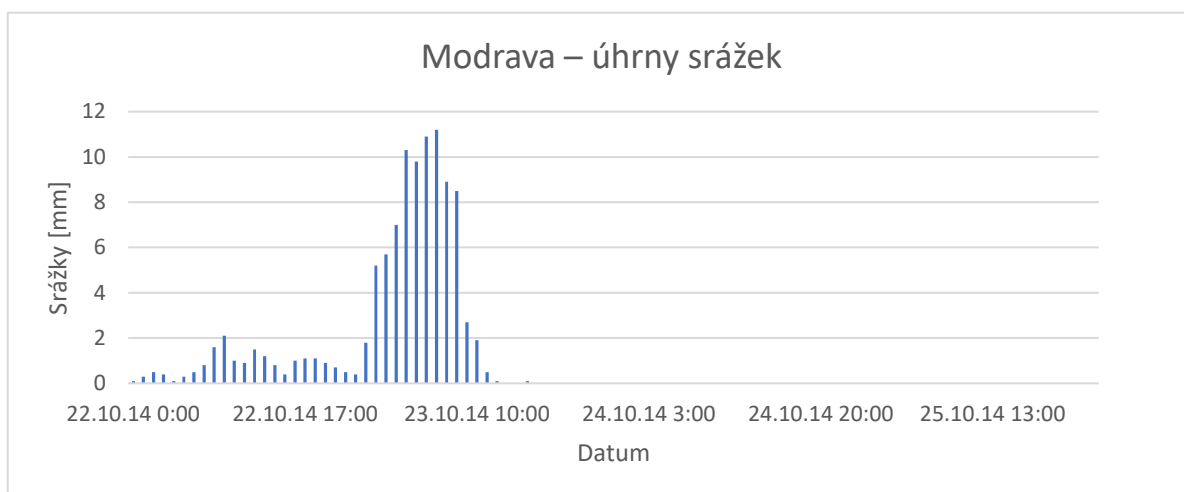
Nasycenost povodí byla stejně jako v předchozí letní epizodě vypočtena pomocí Indexu API. Výpočet tohoto indexu pro podzimní situaci spočíval ve využití dat denních úhrnů srážek ze stanic KFGG PřF UK, konkrétně se jednalo o stanice Modrava a Zhůrecký potok. Tyto stanice byly použity ze stejného důvodu jako v předchozí epizodě a vypočtené hodnoty tedy přesně neodpovídají zkoumaným povodím. Samotný výpočet indexu API byl opět proveden pro $n=5$, 15 a 30.

Tabulka 18: Index API

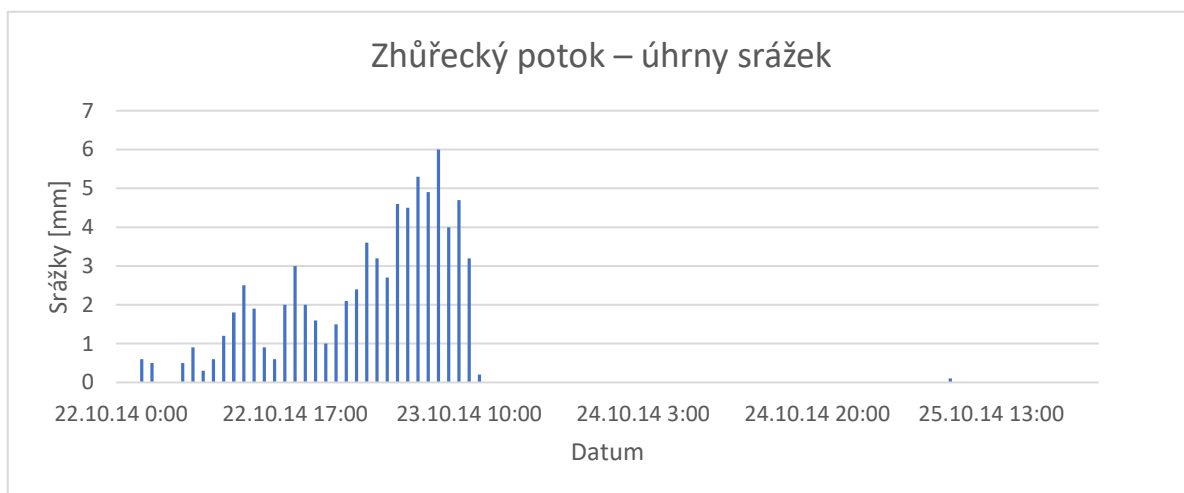
	API 5	API 15	API 30
Modrava	21,76	30,01	35,67
Zhůrecký potok	23,27	32,91	37,76

5.4.4 Hydrologická situace a průběh průtokové vlny na jednotlivých povodích během epizody

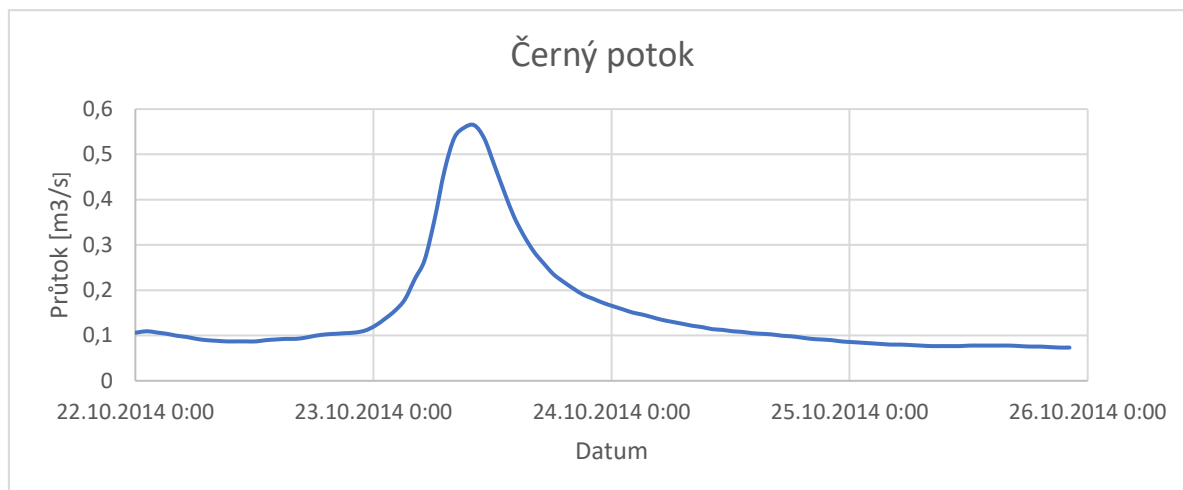
Průběh průtoku v závislosti na čase během podzimní epizody je pro experimentální území zobrazen na konci této podkapitoly (graf 21, 22, 23). Danou situaci lze charakterizovat jednou, hlavní povodňovou vlnou na všech pozorovaných tocích. Toto výrazné zvýšení vodního stavu bylo způsobeno srážkovou činností ve dnech 22. 10. 2014-23. 10. 2014 (graf 19, 20). Tvar povodňových vln na jednotlivých tocích je relativně podobný s rozdílem průběhu povodňové vlny na Rokytce, kde nebylo dosaženo jedné hlavní kulminace jako u Černého a Ranklovského potoka, ale dvou o téměř stejných hodnotách v krátkém čase po sobě (v rozmezí 5 hodin). Mezi další odlišnosti lze zařadit dobu nástupu zvýšení průtoku a také opačný chod, tedy pokles kulminačního stavu vodní hladiny na obvyklé hodnoty pro danou roční dobu. Nástup průtokové vlny byl nejdříve pozorován na Černém potoce (kolem půlnoci 23. 10. 2014), na Ranklovském potoce a Rokytce byl zaznamenán přibližně o dvě hodiny později. Nicméně ke kulminaci na těchto dvou tocích došlo dříve než Černém potoce, na Ranklovském potoce o 2 hodiny dříve a na Rokytce dokonce o 3. Při pohledu na grafy ze tří experimentálních povodí mají potoky Černý a Ranklovský vyrovnanější průběh vodních stavů během této situace, kdy je doba nástupu a poklesu povodně v relativní rovnováze, zatímco Rokytka lze charakterizovat rychlým nárůstem kulminace a naopak delší dobou poklesu vodního stavu na běžné hodnoty před epizodou.



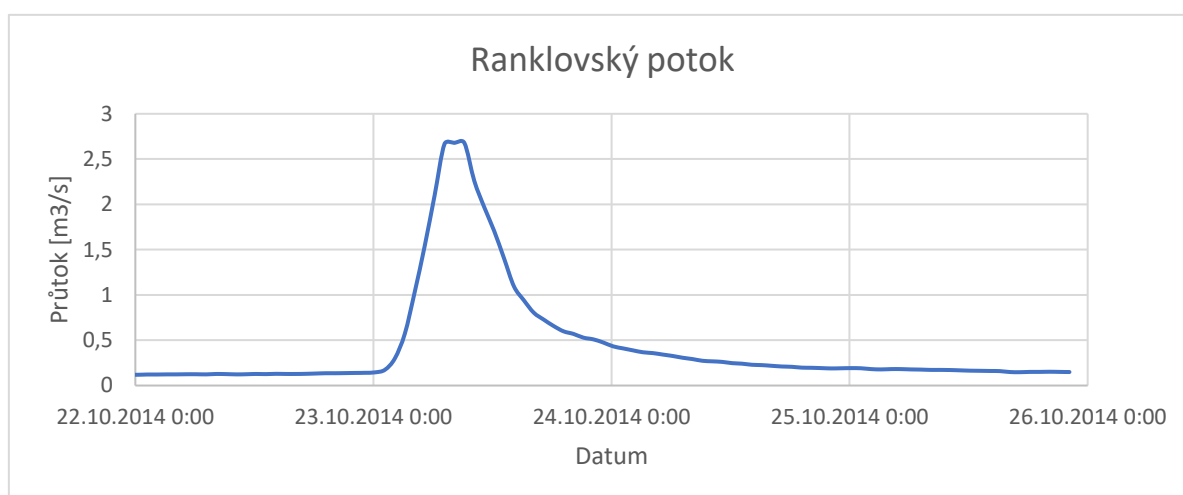
Graf 19: Vývoj a množství srážek v průběhu podzimní epizody (zdroj: data KFGG PřF UK; zpracování autor)



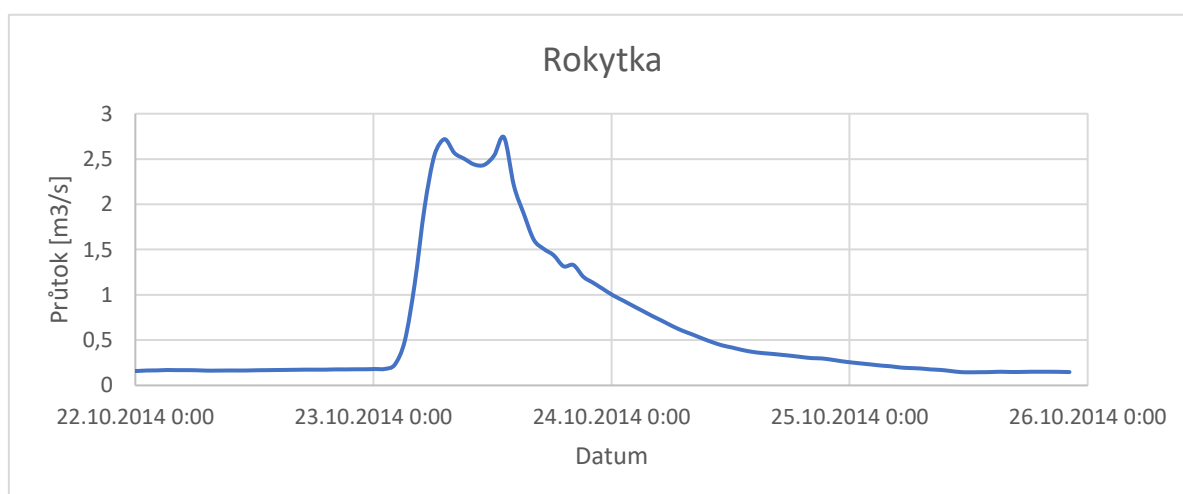
Graf 20: Vývoj a množství srážek v průběhu podzimní epizody (zdroj: data KFGG PřF UK; zpracování autor)



Graf 22: Vývoj průtokového stavu během podzimní epizody na Černém potoce (zdroj: data KFGG PŘF UK; zpracování autor)



Graf 21: Vývoj průtokového stavu během podzimní epizody na Ranklovském potoce (zdroj: data KFGG PŘF UK; zpracování autor)



Graf 23: Vývoj průtokového stavu během podzimní epizody na Rokytce (zdroj: data KFGG PŘF UK; zpracování autor)

5.4.4.1 Číselné a statistické vyjádření podzimní epizody

Pro jednotlivá povodí byly vypočteny ukazatele charakterizující průběh průtokové vlny během podzimní situace (tab. 19, 20, 21). Ukazatele vypočtené pro tuto epizodu jsou podobné jako pro epizodu zimní s výjimkou objemu hlavní průtokové vlny, kdy je tento ukazatel počítán pro období od paty vlny po stav před průtokovou vlnou (± 10 cm).

Tabulka 19: Charakteristiky související s průtokovým stavem

	Objem celé epizody [m ³]	Objem hlavní průtok. vlny [m ³]	Objem od kulminace po norm. stav [m ³]	Doba od paty vlny po kulminaci [hod.]	Doba od kulminace po norm. stav [hod.]
Černý potok	52 034.4	33 326.64	20 490.84	11	27
Ranklovský p.	150 210	137 577.6	88 736.4	7	61
Rokytká	215 982.72	191 838.96	159 112.08	6	49

Tabulka 20: Indexy související s průtokovým stavem

	Francou index	IEKP	$Q_{\max}/Q_{\text{aep.}}$
Černý potok	0.2	9.41	3.75
Ranklovský potok	0.24	25.76	6.16
Rokytká	0.24	20.75	4.38

Analýza podobnosti povodní

Analýza podobnosti byla provedena stejným způsobem jako v předcházejících situacích.

Tabulka 21: Index podobnosti

Černý potok x Rokytká	Černý potok x Ranklovský potok	Rokytká x Ranklovský potok
$1.42 \cdot 10^{-5}$	$2.09 \cdot 10^{-5}$	$1.12 \cdot 10^{-6}$

5.4.4.2 Závěr

Při pohledu na hodnoty API indexů z letní (tab. 14) a této podzimní situace (tab. 18) je patrné, že hodnoty pro API 5 a API 15 jsou dosti podobné, pro API 30 jsou již hodnoty před letní situací vyšší než před situací podzimní. Nicméně hodnoty objemu vody za podzimní epizodu jsou výrazně menší než pro letní. Z porovnání na základě vypočtených indexů a ukazatelů plyne, že rychlost dosažení kulminace byla nejrychlejší u Ranklovského potoka a Rokytky, zatímco u Černého potoka tomu tak bylo až o 4 hodiny déle. A naopak doba trvání od kulminace po normální stav byla pro Černý potok nejkratší a u dvou zbývajících povodí dvakrát tak dlouhá (tab. 19), u Ranklovského potoka ještě delší. Index podobnosti pro tuto situaci (tab. 21) ukazuje, že průběh této situace si byl nejvíce podobný u Ranklovského a Černého potoka, což je patrné jak z výše popsání tabulky 19 tak i z tabulky 20, ve které jsou sice hodnoty Francou indexu téměř stejné a hodnoty $Q_{\max}/Q_{\text{aep}}$ podobné, ale pro index I_{EKP} jsou vypočtené hodnoty pro tato dvě povodí velmi podobné.

6 Vzájemné porovnání situací a vyplývající výsledky

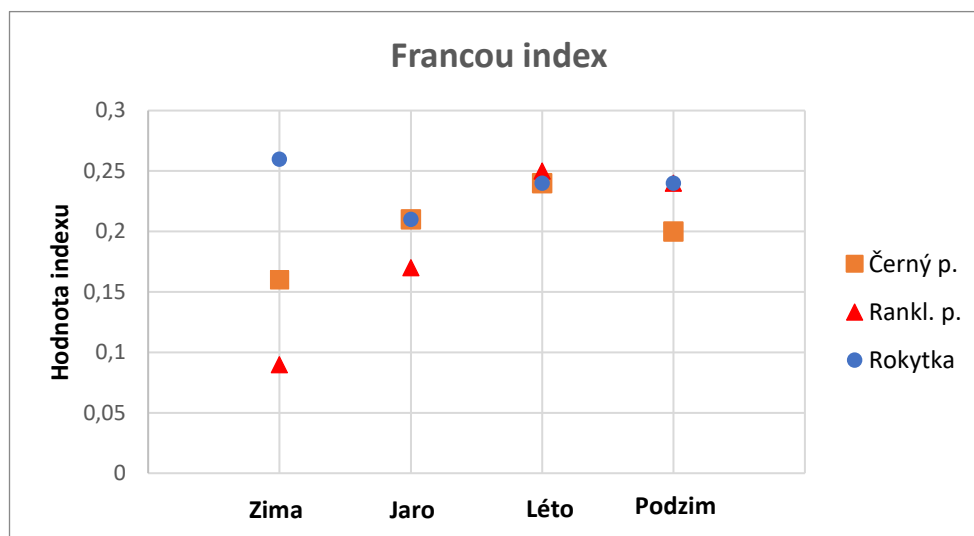
V první části této kapitoly jsou porovnávány výše popsané čtyři epizody, a to především na základě vypočtených indexů souvisejících s velikostmi těchto událostí a dále pomocí časových charakteristik. Cílem porovnání je nalezení vzájemné (ne)podobnosti mezi zkoumanými povodími z hlediska jejich reakcí na příčinnou událost.

Na první část této kapitoly navazuje část druhá, která popisuje prozatímní výsledky a zároveň se snaží o nalezení hlavního cíle práce, tedy posouzení vlivu fyzickogeografických faktorů na extremitu odtoku.

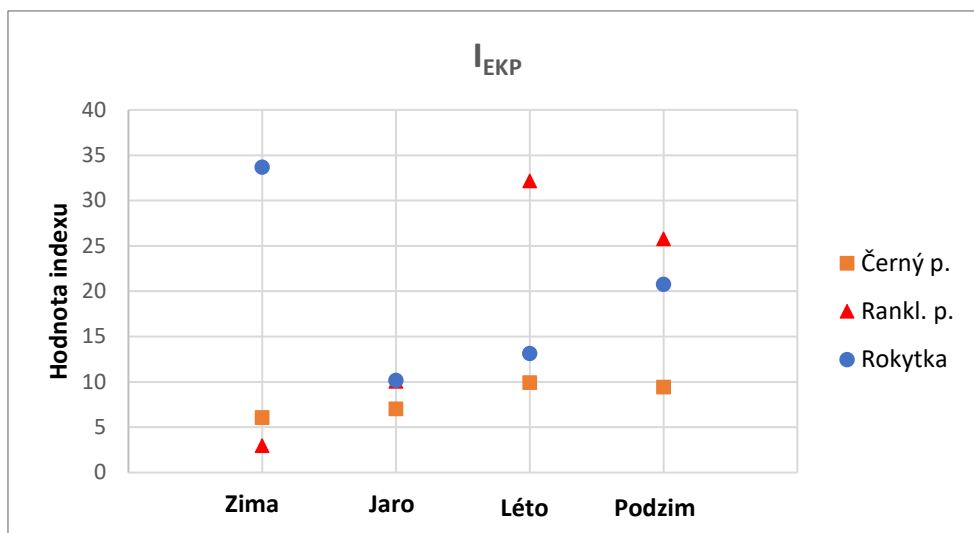
6.1 Vzájemné porovnání situací

K porovnání výše popsaných situací bylo využito indexů, které byly vypočteny v rámci popisu epizod. Porovnávanými indexy jsou: Francou index, I_{EKP} a Q_{max}/Q_{aep} . (grafy 24–26). A dále také podle časových údajů mající spojitost s průběhem epizod na jednotlivých povodích. Mezi tyto časové údaje patří: trvání hlavního období zvýšených průtoků (trvání povodňové vlny), doba od výrazného zvýšení průtoku (od paty povodňové vlny) po kulminaci, doba od kulminace po pokles průtoku na podobné hodnoty jako před situací (± 10 cm) a dále časy výrazného zvýšení průtoku a kulminací na jednotlivých tocích.

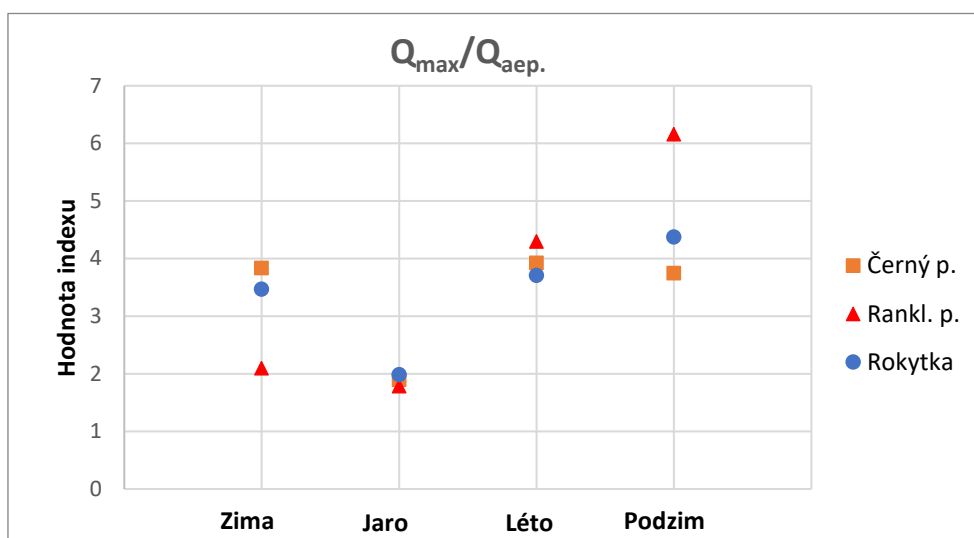
6.1.1 Porovnání dle vypočtených indexů



Graf 24: Hodnoty indexu v jednotlivých povodích během epizod v průběhu roku



Graf 25: Hodnoty indexu v jednotlivých povodích během epizod v průběhu roku



Graf 26: Hodnoty indexu v jednotlivých povodích během epizod v průběhu roku

Zhodnocení: Francou index

Hodnoty jednotlivých povodích jsou pro tento index nejméně rozkolísané ze všech počítaných indexů (graf 24), kdy je rozdíl mezi nejnižší a nejvyšší vypočtenou hodnotou velmi malý a často bylo dokonce i dosaženo úplně stejných hodnot (překryv hodnot v grafu). Z hlediska ročních období je nejvíce rozkolísaná zima, a naopak nejméně léto. Průměrně nejvyšších hodnot je dosaženo na povodí Rokytka, ovšem nejvíce rozkolísaný je z hlediska vypočtených hodnot v průběhu roku Ranklovský potok (nízké hodnoty v zimě a vysoké v létě).

Zhodnocení: I_{EKP}

Tento index je opakem proti Fracou indexu z hlediska rozkolísanosti vypočtených hodnot ale především i z hlediska rozdílu mezi nejnižší a nejvyšší spočtenou hodnotou. Z hlediska popsaných situací v průběhu roku je nejméně rozkolísaným obdobím mezi studovanými toky jaro, a naopak nejvíce zima díky Rokytcce, ale i léto díky Ranklovskému potoku. Při porovnání hodnot indexu mezi třemi zájmovými povodími (toky), odpovídají nevyrovnanější hodnoty v průběhu roku Černému potoku, zatímco u zbylých dvou toků jsou vypočtené hodnoty v průběhu roku velmi variabilní.

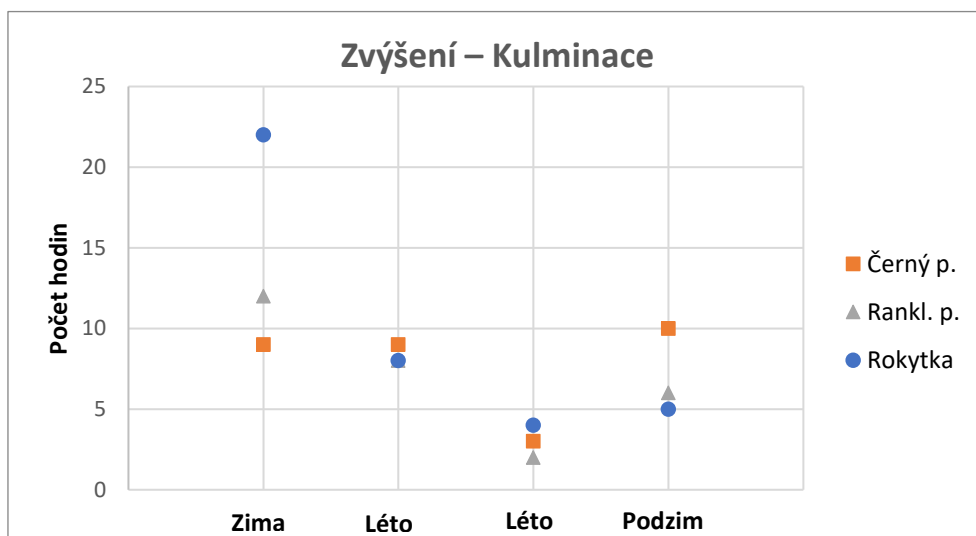
Zhodnocení: Q_{max}/Q_{aep}

Při srovnání minimální a maximální hodnoty dosažené pomocí tohoto indexu se tento index nachází mezi dvěma výše popsanými indexy. Ročním obdobím s nejmenší rozkolísaností vypočtených hodnot je opět jaro následované létem. Na druhé straně se nachází zima a podzim (Ranklovský potok). Z pohledu na graf č.26 je patrné, že nejvariabilnějších hodnot bylo z porovnávaných povodí dosaženo na Ranklovském potoce, zatímco na Černém potoce a Rokytcce byly v průběhu jednotlivých epizod dosaženy velmi podobné hodnoty tohoto indexu.

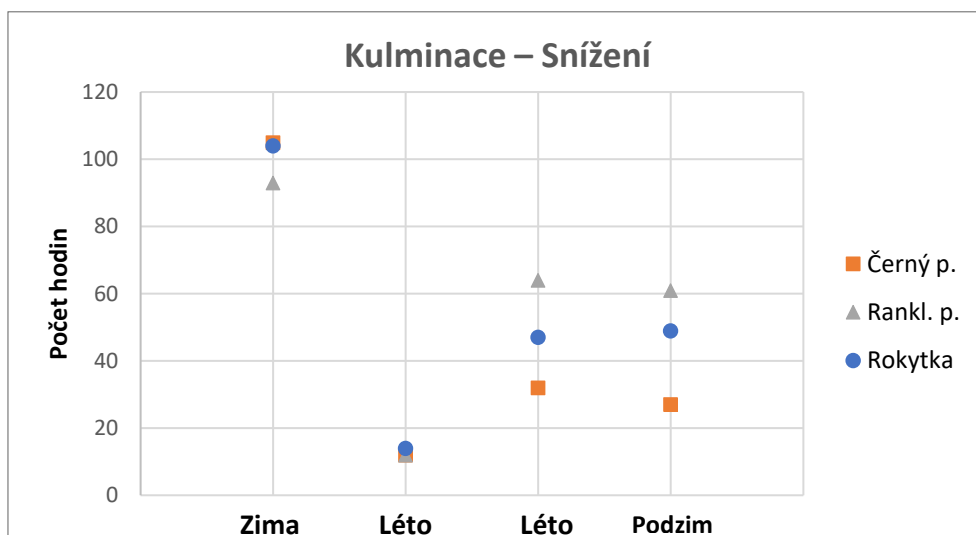
6.1.2 Porovnání dle časových údajů souvisejících s průběhem epizod

Tato podkapitola porovnává, jak jednotlivá povodí reagují na nastalé situace vysokých průtoků (povodní) v průběhu roku z hlediska časových charakteristik, které je možno rozdělit na dvě části. První část charakterizuje doby trvání (grafy 27–29) jednotlivých částí hydrogramů zkoumaných toků. Mezi tyto doby trvání patří: **trvání hlavní epizody** (trvání hlavní povodňové vlny či vln), **zvýšení – kulminace** (doba od zvýšení vodního stavu po kulminaci), **kulminace – snížení** (doba od kulminace po snížení na hodnoty vodních stavů před hlavní situací (± 10 cm)). Ve druhé části jsou přímo porovnávány časy významných událostí během epizod. Těmito časovými ukazateli jsou: **zvýšení průtoku** (časový okamžik, kdy došlo k nástupu povodně, tj. výraznému zvýšení průtoku) a **doba kulminace**.

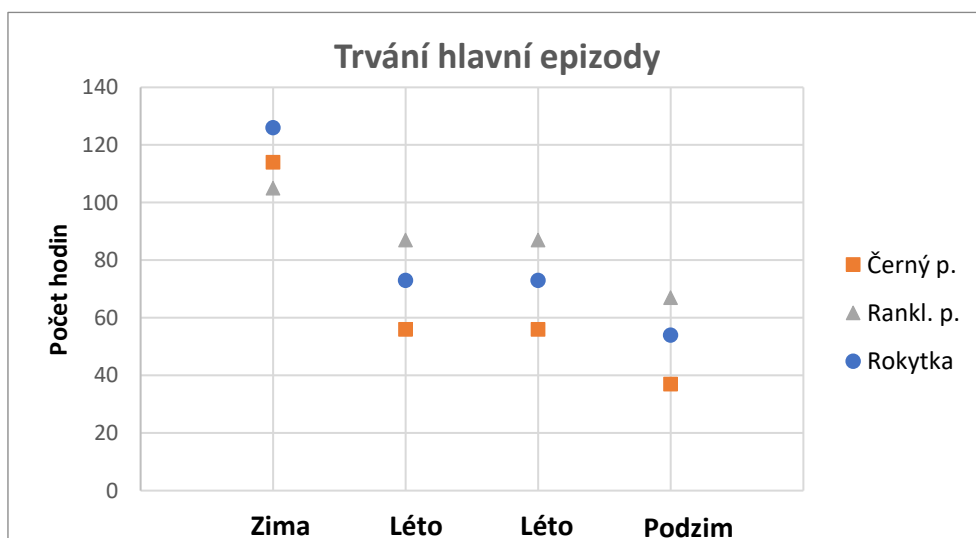
6.1.2.1 Doby trvání jednotlivých částí hydrogramů



Graf 27: Doba trvání k dosažení kulminace



Graf 28: Doba mezi kulminací a snížením na jednotlivých pozorovaných tocích



Graf 29: Doba trvání hlavní epizody na jednotlivých pozorovaných tocích v průběhu roku

Z porovnávání byla z grafů vyřazena jarní epizoda, a to z důvodů absence jedné či dvou vysokých průtokových (povodňových) vln, a naopak z velkého počtu menších vln, jejichž porovnávání by bylo složité a zavádějící. Z těchto příčin je tato jarní epizoda zhodnocena pouze na základě níže uvedeného grafu (graf 31). Na druhé straně pro letní epizodu byly určeny dvojce hodnoty časových údajů, jelikož letní epizoda je tvořena dvěma velkými povodňovými událostmi.

Zhodnocení: zvýšení – kulminace (graf 27)

Z hlediska ročních období je nejvíce rozkolísaná zima, a to především díky extrémní situaci na Rokytce. Ovšem i na dvou zbývajících povodích trvalo během zimní epizody dosažení kulminace delší dobu (u Ranklovského potoku nejdelší doba ze všech epizod). Na druhé straně se nachází dosažení kulminace během letní druhé povodňové vlny, které trvalo ve všech povodích nejkratší dobu. Celkově lze obě doby dosažení kulminací v letních měsících považovat za krátké a na všech třech povodích za velmi vyrovnané, kdy se trvání dosažení kulminace lišilo pouze v jedné či dvou hodinách. Po zimě je druhou nejvíce variabilnější situace z podzimu, kdy doba mezi zvýšením vodního stavu a kulminace trvala na Černém potoce dvakrát tak dlouhou dobu než na Ranklovském potoce a Rokytce.

Zhodnocení: kulminace – snížení (graf 28)

Nejdelší trvání mezi dobou kulminace a snížením vodních stavů odpovídá zimní epizodě, při které tato popisovaná doba trvala výrazně déle než u ostatních situací v jiných ročních obdobích. Opakem je opět letní epizoda, konkrétně, její první část, kdy doba mezi kulminací a snížením trvala ze všech popisovaných situací nejkratší časový úsek a zároveň byla na všech třech pozorovaných tocích téměř stejná. Při porovnávání doby trvání mezi kulminací a snížením je největší rozkolísanost mezi pozorovanými toky patrná během druhé části letní epizody a také během epizody podzimní.

Zhodnocení: trvání hlavní epizody (graf 29)

Trvání hlavní povodňové epizody trvalo nejdéle během zimní situace, a naopak nejkratší dobu během té podzimní, a to na všech tocích. Rozdíly v trvání hlavní epizody mezi zájmovými toky jsou během všech situací velmi podobné s výjimkou zimní.

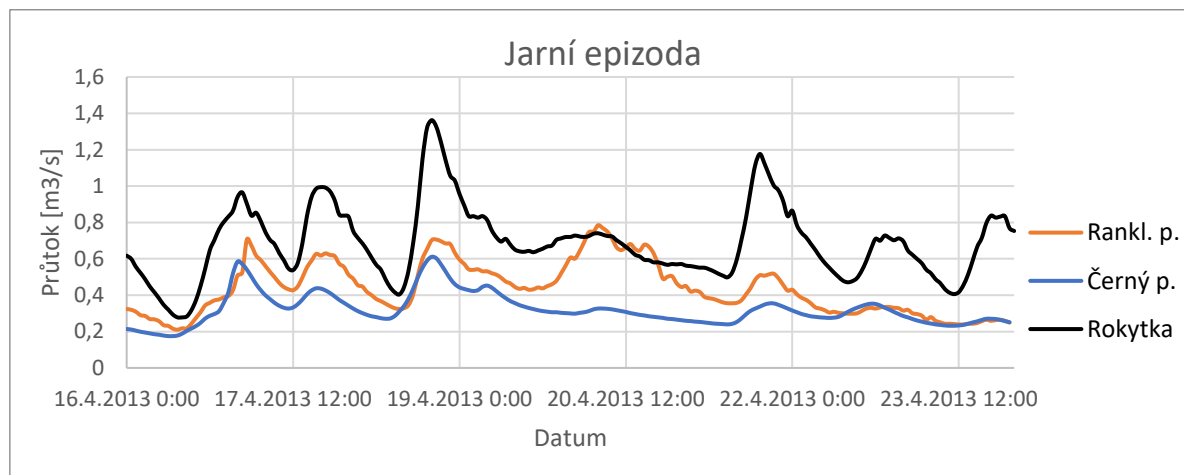
6.1.2.2 Zvýšení průtoku a doba kulminace

Tabulka 22: Časové ukazatele během zimní epizody

	Černý potok	Rankl. potok	Rokytká
Zvýšení průtoku	19.1. 16:00	19.1. 16:00	19.1. 19:00
Doba kulminace	20.1. 1:00	20.1. 4:00	20.1. 16:00



Graf 30: Porovnání průtoku na jednotlivých tocích v průběhu zimní epizody (zdroj: data KFGG PřF UK; zpracování autor)



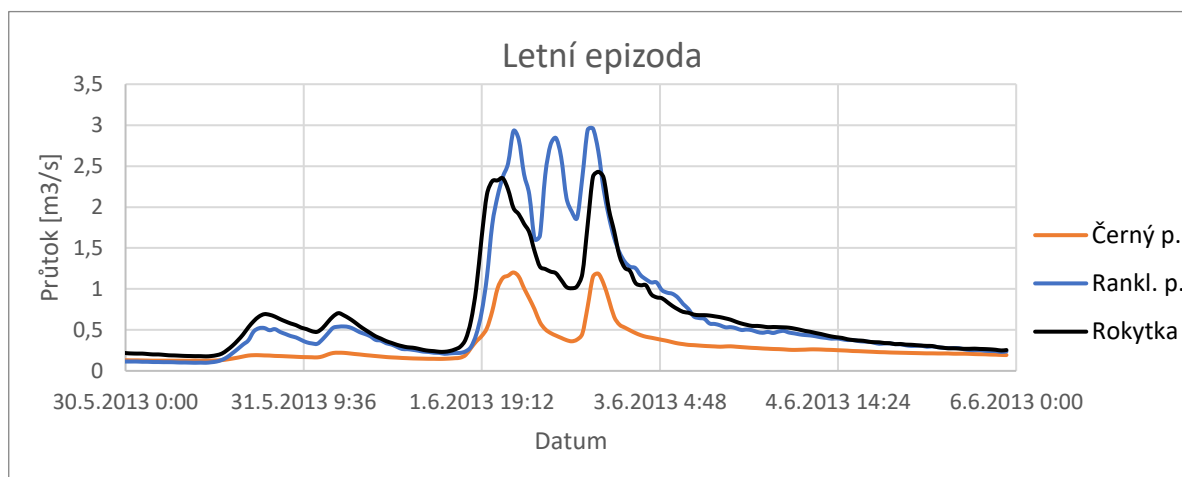
Graf 31: Porovnání průtoku na jednotlivých tocích v průběhu jarní epizody (zdroj: data KFGG PřF UK; zpracování autor)

Na grafu č. 31 je zobrazen průtok během jarní epizody na všech popisovaných tocích. Jak již bylo uvedeno, pro jarní situaci nebyly analyzovány časové charakteristiky z výše popsanych důvodů. Nicméně při pohledu na grafu č. 31 jsou patrné rozdíly mezi časovými charakteristikami na jednotlivých tocích. Ke zvýšení průtoku dochází u jednotlivých vln téměř vždy nejdříve na Černém potoce, ovšem způsoby nástupu zvýšení průtoku jsou pozvolnější oproti Ranklovskému potoku a především Rokytce. Kulminací bylo dosaženo na všech tocích v podobných časech (maximální rozdíl 3 hodin mezi toky). Poklesová fáze

vln byla nejkřidnější opět na Černém potoce, opak se vyskytoval na Rokytce. Celkově byl průběh průtoku na Rokytce během jarní epizody nejvíce rozkolísaný.

Tabulka 23: Časové ukazatele během letní epizody

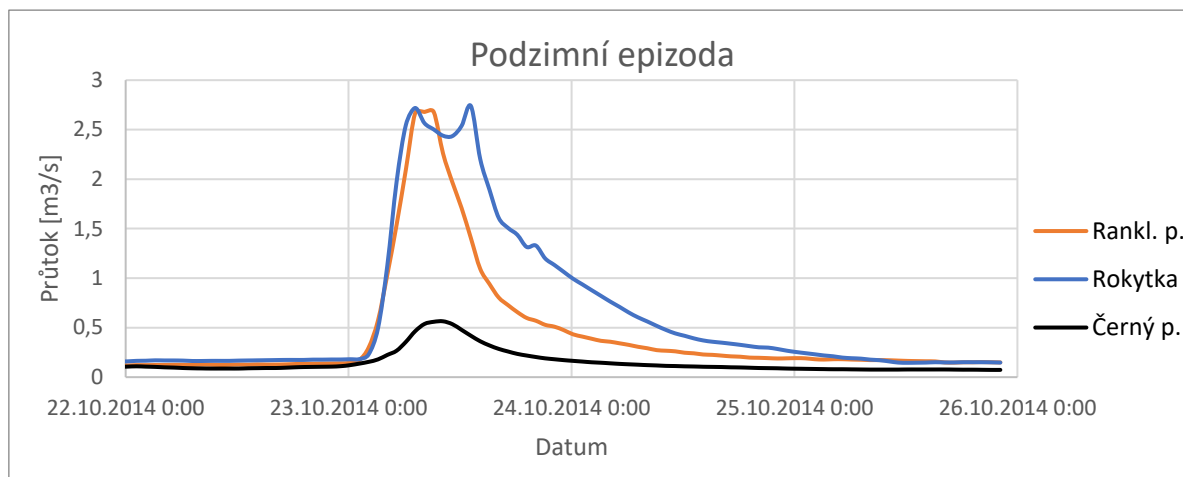
	Černý potok	Rankl. potok	Rokytka
Zvýšení průtoku (1)	1.6. 16:00	1. 6. 17:00	1.6. 15:00
Doba kulminace (1)	2.6. 1:00	2.6 1:00	1.6. 23:00
Zvýšení průtoku (2)	2.6. 14:00	2.6. 14:00	2.6. 13:00
Doba kulminace (2)	2.6. 17:00	2.6. 16:00	2.6. 17:00



Graf 32: Porovnání průtoku na jednotlivých tocích v průběhu letní epizody (zdroj: data KFGG PŘF UK; zpracování autor)

Tabulka 24: Časové ukazatele během podzimní epizody

	Černý potok	Rankl. potok	Rokytka
Zvýšení průtoku	23. 10. 0:00	23. 10. 2:00	23.10 2:00
Doba kulminace	23. 10. 10:00	23. 10. 8:00	23. 10. 7:00



Graf 33: Porovnání průtoků na jednotlivých tocích v průběhu podzimní epizody (zdroj: data KFGG PřF UK; zpracování autor)

Zhodnocení ukazatelů: zvýšení průtoků a doba kulminace

Tyto dva ukazatele neukázaly významný trend v reakci zájmových povodích na dané události. To znamená, že například na daném vodním toku nastane kulminace během zimní epizody jako první z porovnávaných toků, ale při ostatních epizodách nastane kulminace oproti ostatním tokům později. Z tabulek (22–24) je patrné, že časy zvýšení průtoků a kulminací jsou na všech povodích relativně podobné (kromě zimní epizody), lišící se maximálně v rámci tří hodin.

6.2 Dosažené výsledky srovnávací analýzy mezi studovanými toky

6.2.1 Výsledky na základě indexů

Z výše vypočtených a popsanych indexů (Francou index, index I_{EKP} , $Q_{max}/Q_{aep.}$) a dále ze sestavených tabulek (25–27) vyplývají následující závěry:

Při porovnávání indexu dávající do vztahu velikost plochy povodí a kulminační průtok (**Francou index**) byla zaznamenány nejmenší rozdíly mezi porovnávanými vodními toky a povodími. Přičemž nejvyšších hodnot tohoto indexu bylo nejčastěji dosaženo na Rokytce (3x) a naopak nejméně na Černém potoce (1x) (tab. 25).

Tabulka 25: Četnosti související s Francou indexem

	Černý potok	Rankl. potok	Rokytka
Francou index (počet max. hodnot)	1x	2x	3x
Francou index (počet min. hodnot)	2x	2x	1x

Druhý porovnávaný index, vypočtený na základě kulminačního průtoku a průměrného průtoku před epizodou (I_{EKP}) dosahuje naopak vysokých hodnot a také vysokých rozdílů na jednotlivých tocích. Tyto vysoké hodnoty byly nejvíce shodně dosaženy na Ranklovském potoce a Rokytce (obě dvě povodí 2x) (tab. 26), zatímco na Černém potoce dominuje počet (3x) vypočtených hodnot indexu s nejmenší hodnotou při porovnání s ostatními toky.

Tabulka 26: Četnosti související s I_{EKP} indexem

	Černý potok	Rankl. potok	Rokytka
I_{EKP} index (počet max. hodnot)	0x	2x	2x
I_{EKP} index (počet min. hodnot)	3x	1x	0x

Posledním indexem z této kategorie je index vypočtený pomocí hodnot kulminačního průtoku a průměrné hodnoty průtoku za celou epizodu, tedy index Q_{max}/Q_{aep} . Jak již bylo uvedeno, výsledky tohoto indexu se svou velikostí nacházejí mezi předchozími indexy. Při komparaci hodnot toho indexu mezi zájmovými povodími je patrné, že nevyšší variabilita odpovídá Ranklovskému potoku, kde bylo shodně dosaženo dvou nejvyšších hodnot tohoto indexu, ale zároveň i dvou nejnižších (tab. 27). Tato rozkolísanost ovšem nebyla až tak veliká, jelikož na Černém potoce a Rokytce bylo dosaženo o jednu událost méně v obou ukazatelích.

Tabulka 27: Četnosti související s Q_{max}/Q_{aep} .

	Černý potok	Rankl. potok	Rokytka
Q_{max}/Q_{aep} (počet max. hodnot)	1x	2x	1x
Q_{max}/Q_{aep} (počet min. hodnot)	1x	2x	1x

6.2.2 Výsledky na základě analýzy podobnosti povodní

Analýza podobnosti povodní byla provedena pro všechny epizody a její výsledky jsou vždy uvedeny na konci každé epizody v páté kapitole. Tato analýza využívá indexu podobnosti, který v případě této práce porovnává povodňové události z hlediska kulminačního průtoku a objemu vody celé epizody. Toto porovnání je vždy provedeno pro

dvojici vodních toků. Výsledkem této analýzy je, že v průběhu letní a podzimní epizody si byly nejpodobnější Ranklovský potok a Rokytka, zatímco pro zimní a jarní epizody Černý a Ranklovský potok. Podobnost Černého a Ranklovského potoku během zimní epizody je způsoben extrémní situací na Rokytce. Při této analýze tedy bylo dosaženo stejných hodnot počtu podobnosti pro dvě dvojice toků. Nicméně při pohledu do výsledků této analýzy ze zimní a jarní epizody, ve kterých jsou si nejvíce podobné Černý a Ranklovský potok, jsou si druhou nejvíce podobnou dvojicí Ranklovský potok a Rokytka, a to v obou epizodách. Zatímco pro letní a podzimní epizody, ve které jsou si nejvíce z uvedeného hlediska Ranklovský potok a Rokytka, jsou druhou nejvíce podobnou dvojicí vodních toků Černý potok a Rokytka, nikoliv Černý a Ranklovský potok.

6.2.3 Výsledky na základě doby trvání jednotlivých částí hydrogramu

Podkapitola informuje o dosažených výsledcích z hlediska porovnání doby trvání jednotlivých částí hydrogramu zájmových vodních toků v rámci popisovaných situací. Porovnávanými ukazateli související s dobou trvání jsou výše popsane: **1) zvýšení – kulminace 2) kulminace – snížení, 3) trvání hlavní epizody**

- 1) Doba mezi zvýšením průtoku a jeho následnou kulminací je v rámci popisovaných situací různorodá, a to jak z hlediska doby trvání při jednotlivých situacích, tak i při vzájemném porovnání mezi toky v rámci jedné epizody (například zimní (Rokytka) a podzimní (Černý potok)). Spíše kratší trvání tohoto ukazatele je charakteristické pro Ranklovský potok a Rokytka (2x) (tab. 28). Na druhé straně nejdéle tato doba odpovídá Černému potoku a rovněž Rokytce (na obou tocích 2x). Pro Rokytka a částečně i Ranklovský potok jsou charakteristické strmější začátky povodňových (průtokových) vln, kdežto Černému potoku odpovídají spíše pozvolnější nástupy povodňových vln.

Tabulka 28: Četnosti související s dobou trvání Zvýšení – Kulminace

	Černý potok	Rankl. potok	Rokytka
Zvýšení – Kulminace (nejkratší trvání)	1x	2x	2x
Zvýšení – Kulminace (nejdelší trvání)	2x	0x	2x

- 2) Pomocí druhé časové charakteristiky byla zkoumána doba trvání mezi kulminací a snížením vodního stavu na velikost před hlavní průtokovou událostí. Stejně jako

v předchozí hodnocené době trvání se i v tomto hodnoceném ukazateli objevovaly různé doby trvání v rámci jednotlivých epizod, ale i mezi vodními toky v rámci jedné situace (s výjimkou první povodňové vlny v letním období). Nejkratšího doby trvání této charakteristiky je v rámci zkoumaných epizod nejčastěji dosaženo na Černém potoce (3x) (tab. 29) a naopak nikdy v rámci této analýzy na Rokytce (0x). Nejdelší trvání je nejčastěji pozorováno na Ranklovském potoce, čehož si lze povšimnout i v průběhu jarní epizody (graf 29), která nebyla v rámci této podkapitoly řešena. Z hlediska míry poklesu povodňové vlny od hodnoty kulminace je opět patrné, že především pokles na Rokytce je v některých případech strmější než na Černém potoce.

Tabulka 29: Četnosti související s dobou trvání Kulminace – Snížení

	Černý potok	Rankl. potok	Rokytka
Kulminace –Snížení (nejkratší trvání)	3x	2x	0x
Kulminace –Snížení (nejdelší trvání)	1x	2x	1x

- 3) Posledním ukazatelem z této kategorie (zkoumání doby jednotlivých částí hydrogramu) je samotná doba průběhu hlavní povodňové vlny v rámci epizody. Jako v předešlých dvou případech platí, že tato doba trvání je při popisovaných situacích v průběhu roku různá a stejně tak jsou i různé doby trvání při vzájemné porovnávání vodních toků mezi sebou v rámci daných epizod. Nejkratší trvání hlavní epizody se nejčastěji vyskytuje na Černém potoce (3x) (tab. 30), na druhé straně nejméně často na Rokytce (0x). Opačným ukazatelem je nejdelší trvání hlavní epizody, který je nejvíce charakteristický pro Ranklovský potok (3x) a nejméně pro Černý potok (0x).

Tabulka 30: Četnosti související s dobou Trvání hlavní epizody

	Černý potok	Rankl. potok	Rokytka
Trvání hlavní epizody (nejkratší trvání)	3x	1x	0x
Trvání hlavní epizody (nejdelší trvání)	0x	3x	1x

6.2.4 Výsledky na základě porovnání časů významných událostí během epizod

Následující podkapitola popisuje srovnání časů významných událostí během popisovaných situací mezi zájmovými vodními toky. Mezi tyto časy patří: **1) zvýšení průtoku 2) doba kulminace.**

- 1) Doby nástupu zvýšení průtoku jsou při porovnání mezi zájmovými toky podobné, a to v rámci všech epizod (maximální rozdíl mezi dobou zvýšení průtoku mezi pozorovanými toky jsou 3 hodiny). Zvýšení průtoku nastává dříve častěji (na základě porovnání z tab. 31) na Černém potoce (potvrzeno i v rámci jarní epizody) a Rokytce (2x) než na Ranklovském potoce (1x), nicméně rozdíl v četnosti je malý. Protikladem této charakteristiky je časový okamžik, při kterém dojde ke zvýšení průtoku z porovnávaných vodních toků nejpozději. Tohoto okamžiku je nejčastěji dosaženo na Ranklovském potoce (3x) a nejméně na Černém potoce (1).

Tabulka 31: Četnosti související se Zvýšením průtoku

	Černý potok	Rankl. potok	Rokytka
Nejdřívejší zvýšení průtoku (počet)	2x	1x	2x
Nejpozdější zvýšení průtoku (počet)	1x	3x	2x

- 2) Stejně jako v předchozím popisovaném bodě je i kulminace na jednotlivých pozorovaných vodních tocích dosahováno v podobných časech (maximální rozdíl mezi toky, v rámci jedné epizody, při dosažení doby kulminace jsou tři hodiny). Tento fakt podtrhuje i porovnání kulminací během jarní epizody. Jediným velkým rozdílem v časech mezi dosaženými kulminacemi na porovnávaných tocích je dosažení kulminace na Rokytce během zimní epizody, kdy nastala kulminace o více než 10 hodin později než u ostatních toků (tab. 22). Toto výrazné zpoždění kulminace je možné vysvětlit celkovou extrémní situací na Rokytce během této epizody. Kulminace je nejdříve z hlediska četnosti dosahováno na Rokytce (2x) (tab. 32), naopak nejpozději ze stejného hlediska na Černém potoce (3x), zatímco na Ranklovském potoce byl nejpozdější okamžik kulminace při porovnání s ostatními vodními toky pozorován pouze v jednom případě (tab. 23).

Tabulka 32: Četnosti související s Dobou kulminace

	Černý potok	Rankl. potok	Rokytky
Nejdřívější doba kulminace (počet)	1x	1x	2x
Nejpozdější doba kulminace (počet)	3x	1x	2x

6.2.5 Celkové dosažené výsledky vzájemného porovnání zkoumaných toků

Z výše uvedených výsledků plynou následující závěry:

Vypočtené indexy (Francou index, index I_{EKP} , Q_{max}/Q_{aep}):

Výsledky tří vypočtených indexů ukazují, že nejvyšších hodnot bylo nejčastěji dosaženo na Ranklovském potoce nebo Rokytkce, zatímco těch nižších spíše na Černém a rovněž i na Ranklovském potoce. Nicméně nejnižší hodnoty dosažené na Ranklovském potoce jsou velmi blízké hodnotám z ostatních dvou toků, zatímco nejvyšší hodnoty pocházející z Rokytky nebo Ranklovského potoka jsou ve velkém případě extrémní.

Výsledky analýzy podobnosti (IP):

Na základě této analýzy podobnosti povodní, která porovnává dvojice vodních toků na základě kulminačního průtoku a objemu celé epizody, jsou si nejvíce podobné Ranklovský potok a Rokytky. Druhou nejpodobnější dvojicí na základě této analýzy je Černý a Ranklovský potok.

Výsledky související s dobou trvání:

Zvýšení – Kulminace: Celkově je tato doba trvání v rámci zkoumaných situací na jednotlivých tocích relativně vyrovnaná. Kratší doba trvání dosažení kulminace spíše odpovídá Ranklovskému potoku a Rokytkce, u které je ale stejně početně zastoupena i delší doba trvání dosažení kulminace, společně s Černým potokem.

Kulminace – Snížení: Nejkratší doba trvání tohoto ukazatele se nejčastěji vyskytuje na Černém potoce a nejméně na Rokytkce. Nejdelší doba trvání se naopak nejčastěji vyskytuje na Ranklovském potoce, ovšem nijak výrazně oproti ostatním dvěma tokům.

Trvání hlavní epizody: Nejkratší dobu trvají hlavní epizody nejčastěji na Černém potoce, naopak na Ranklovském potoce a Rokytkce téměř vůbec. Oproti tomu dlouhé trvání hlavní epizody je nejvíce typické pro Ranklovský potok, zatímco pro Černý vůbec.

Výsledky související s porovnáním významných časů v rámci epizod:

Zvýšení průtoku: Ke zvýšení průtoku dochází nejdříve nejčastěji na Černém potoce a Rokytce. Naopak nejpozději na Ranklovském potoce. Ovšem časové rozdíly v době nástupu zvýšení průtoku nejsou až tak velké.

Doba kulminace: Časového okamžiku kulminace je nejčastěji nejdříve dosahováno na Rokytce, ale tato četnost není oproti Černému a Ranklovskému potoku výrazná. Největší počet kulminací, kterých bylo dosaženo nejpozději, odpovídá Černému potoku.

Celkový závěr této kapitoly:

Na základě výpočtů, porovnání a analýzy indexů vyplývá, že se podobněji chovají Ranklovský potok a Rokytka. Na těchto tocích je zároveň dosaženo i více extrémnějších hodnot indexů (tab. 25–27), zatímco na Černém potoce jsou tyto hodnoty vyrovnanější a menší. Tento fakt je potvrzen i na základě analýzy podobnosti povodní (IP), z které plyne nejsilnější podobnost mezi Ranklovským potokem a Rokytkou.

Z analýzy zkoumající doby trvání jednotlivých částí hydrogramu plyne následující: Z hlediska nejkratší doby trvání mezi zvýšením průtoku a jeho následnou kulminací si spolu spíše odpovídá Ranklovský potok a Rokytka. Z opačného hlediska, tedy nejdelší doby trvání mezi zvýšením průtoku a kulminací, jsou si více podobný Černý potok a Rokytka. Druhou hodnocenou dobou trvání, byla doba mezi kulminací a snížením průtoku. Nejkratší doba trvání nejčastěji odpovídá Černému potoku společně s Rokytkou, ovšem nejdelší doba trvání této časové charakteristiky je mezi porovnávanými povodími vyrovnaná a nelze tedy nalézt nějaké silnější vztahy mezi studovanými povodími. Třetím ukazatelem, hodnotící dobu trvání některé z částí hydrogramu, byla celková doba trvání hlavní epizody, z které vyplývá, že nejkratší události odpovídají Černému potoku, a naopak nejdelší Ranklovskému potoku. Ve vzájemné korelaci tedy pro nejkratší trvání jsou Ranklovský potok a Rokytka (výskyt malého počtu krátkých epizod), a pro nejdelší trvání Černý potok a Rokytka (výskyt malého počtu dlouhých epizod).

Posledními porovnávanými charakteristikami byly časy zvýšení průtoku a kulminace. Dřívější zvýšení průtoku je častější pro Černý potok a Rokytku, ovšem nikoliv výrazně. Pozdější zvýšení průtoku je typičtější Ranklovský potok a Rokytka. Z hlediska dosažení času kulminace nelze najít silné vztahy mezi některou dvojicí ze zkoumaných toků, jelikož jsou počty dřívějších pozdějších dob vyrovnané.

Z výše uvedeného plyne, že hlavní rozdíly mezi povodími byly nalezeny především v analýze indexů, kde se liší Černý potok od dvojice Ranklovský potok, Rokytka. Naopak u

analýz souvisejících s dobou trvání jednotlivých částí hydrogramu či významných časových událostí povodňové vlny se spojitosti mezi jednotlivými povodími nepovedlo úplně prokázat kromě třech ukazatelů: nejkratší trvání doby mezi kulminací a snížením (u Černého a Ranklovského potoka dosaženo podobných četností), nejkratší trvání hlavní epizody (u Ranklovského potoka a Rokytky obdobně nízké hodnoty četnosti dosažení této doby trvání) a nejdelší trvání hlavní epizody (u Černého potoka a Rokytky obdobně nízké hodnoty četnosti dosažení této doby trvání). Ovšem i z těchto třech silnějších vztahů mezi danou dvojicí vodních toků je patrné, že obecně nějaká dvojice vodních toků spolu nekoreluje více než jiná.

Další možností vzájemného porovnání chování zkoumaných vodních toků v rámci jednotlivých epizod je vizuální popis a porovnání. Z toho srovnání je viditelné následující. Křivka průtoku má u Černého potoka obecně hladší průběh než u dvojice Ranklovský potok, Rokytka, tedy že vzestupy či poklesy průtoku jsou u Černého potoka přímočařejší. Na Ranklovském potoce a Rokytce se oproti Černému potoku objevuje řada odlišností v průběhu průtokové křivky, například celá zimní epizoda na povodí Rokytky, větší počet průtokových vln na Rokytce a Ranklovském potoce během jarní epizody, chování Ranklovského potoka a Rokytky na začátku letní epizody (dvě výraznější vlny, oproti téměř žádnému zvýšení průtoku na Černém potoce), tři průtokové vlny na Ranklovském potoce během hlavní povodňové epizody v létě nebo dvoje zvýšení průtoku na Rokytce v oblasti nejvyšších průtoků při podzimní epizodě. Mezi další pozorovanou odlišností mezi Černým potokem a dvojicí Ranklovský potok, Rokytka je způsob nárůstu povodňových vln, který je u Černého potoka mírnější a pozvolnější než u zmiňované dvojice, kde je často zaznamenán prudší a strmější nárůst průtoku (především v průběhu letní a podzimní epizody). Podobný rozdíl je možné najít i v poklesové fázi průtoku, která je opět pozvolnější u Černého potoka než u Ranklovského potoka a Rokytky. Z tohoto porovnání je patrné, že Černý potok reaguje na vzniklé události klidněji než Ranklovský potok a Rokytka. Tento fakt potvrzuje výsledky analýzy indexů a analýzy podobnosti povodní tedy, že reakce Černého potoka na povodňové situace jsou odlišné od reakce dvojice Ranklovský potok, Rokytka.

6.3 Vliv fyzickogeografických faktorů na extremitu odtoku

Cílem této podkapitoly a celé práce je zjištění vlivu fyzickogeografických podmínek daných povodí na extrémními průtokové události (povodně či vysoké hodnoty průtoku). Z předchozí podkapitoly (6.1, 6.2) vyplývá, že dané toky (povodí) reagují na extrémní průtokové situace různě, ovšem byly také nalezeny silné podobnosti v chování mezi

zkoumanými toky, konkrétně chování dvojice Ranklovský potok, Rokytka je v určitých aspektech odlišné od Černého potoka. Cílem tedy je objevení důvodu a příčin tohoto odlišného chování daných vodních toků. Způsob tohoto poznání je spolu s výsledky uveden níže.

6.3.1 Porovnání vlivu fyzickogeografických podmínek jednotlivých povodích

Jedním ze způsobů, jak nalézt příčiny rozdílných reakcí vodních toků a jejich povodích na extrémní průtokové situace je porovnání jejich specifických fyzickogeografických podmínek. Z porovnání těchto podmínek, popsanych v kapitole č. 3, vyplývají rozdíly uvedené v tabulce 33. Z tabulky je patrné, že mezi povodími byly nalezeny značné rozdíly ve fyzickogeografických podmínkách. Rozdíly jsou především patrné mezi Černým potokem a zbývajících dvojicí, která spolu spíše koreluje v rámci povodňových epizod (Ranklovský potok, Rokytka). Hlavní rozdíly spočívají ve sklonitostních poměrech (průměrný sklon povodí a toku, spád toku, koeficient reliéfu), orientaci svahů a land use (zastoupení rašelinišť a lesů). Další rozdíl mezi Černým potokem a dvojicí Ranklovský potok, Rokytka je ve tvaru povodí, kdy povodí Černého potoka má protáhlý tvar a uvedená dvojice spíše vějířovitý. Dalšími fyzickogeografickými faktory majícími vliv na odtok vody z povodí jsou charakteristiky týkající se půdních poměrů, které rozhodují o možnosti vsaku vody a o množství infiltrované vody. Do těchto charakteristik se řadí zrnitostní složení půdního profilu, struktura a hloubka půdy, plná vodní kapacita, charakter pórů, doba zdržení vody v půdě či samotná retence vody v půdě. Pro tyto charakteristiky ovšem nebyla v rámci této práce zpracována samostatná analýza, ale informace pocházejí z diplomové práce Vlčka (2011). V této práci jsou mimo jiné srovnávány některé z výše uvedených půdních charakteristik pro povodí Černého potoka a Rokytky. Na zájmovém povodí Ranklovského potoka nebyl dosud proveden či zveřejněn podobný výzkum, nicméně je pravděpodobné, že zde budou platit podobné výsledky jako na Rokytce, díky relativně podobným fyzickogeografickým podmínkám. Z této práce plyne velmi patrný vliv organozemí (Ranklovský potok a Rokytka) na celkovou retenci v krajině a také vliv na rozkolísanost průtoku. Podrobnější výsledky z výše uvedené diplomové práce jsou uvedeny v následující kapitole „Diskuze“.

Tabulka 33: Rozdíly ve fyzickogeografických podmínkách jednotlivých vodních toků a povodích

FG. faktor	Černý potok	Ranklovský p.	Rokytká
Prům. sklon povodí [‰]	311,73	51,64	68,95
Prům. sklon toku [‰]	125,74	27,70	25,26
Spád toku [m]	298	84	55
Koef. reliéfu	0,14	0,03	0,05
Charakteristika povodí α	0,21	0,33	0,55
Orientace svahů [%], převažující směr	54, SV	27, JZ	19, JV
Podíl rašelinišť [%]	2,7	17,14	26,02
Podíl celkové zalesněnosti [%]	62,5	56	37

6.3.2 Dosažené výsledky

Na základě předchozího kapitoly bylo zjištěno, že odlišná reakce Černého potoka na extrémní průtokové (povodňové) oproti dvojici Ranklovský potok, Rokytká je pravděpodobně způsobena rozdíly ve fyzickogeografických podmínkách daných povodí. Těmito rozdíly jsou: sklonitostní poměry, orientace svahů, půdní charakteristiky (organozem), samotná retenční kapacita zájmových území a land use území (zastoupení rašelinišť a lesů).

7 Stopovací experiment na Černém potoce

Následná kapitola popisuje terénní experiment (*Sledování formování odtoku na svazích Šumavy pomocí stopovacích experimentů*) na jednom ze studovaných povodíh zpracovávaných v této bakalářské práci, konkrétně z povodí Černého potoka. Terénní výzkum byl proveden na začátku září loňského roku (2.9–6.9. 2017) na základě spolupráce mezi institucemi PřF UK (Prof. RNDr. Bohumír Janský, CSc., RNDr., Lukáš Vlček, Ph.D) a VUV T.G. Masaryka (ING. Alena Kulasová, ING. Šárka Blažková, DrSc.). Důvody pro zařazení experimentu do této práce jsou téma, lokalizace a také samotná možnost osobní účasti na tomto experimentu. Průběh a popis experimentu je uveden v kapitole Přílohy na konci práce. Na tento experiment by měl v blízké budoucnosti navazovat stejný experiment, kterému by měly předcházet jiné meteorologické podmínky (silnější srážkové úhrny) než v případě prvního experimentu. Celkové výsledky a zhodnocení obou dvou experimentů bude pravděpodobně analyzováno v mé navazující diplomové práci.

8 Diskuze

Následující kapitola je rozdělena na dvě části. První část se zabývá popisem možných chyb a nedostatků této práce. Cílem druhé části je shrnutí dosažených výsledků této bakalářské práce, a především jejich porovnání s poznatky a závěry uvedenými v rešeršní části práce, či v jiných výzkumných dílech, které se zabývají podobnou tematikou.

8.1 Možné chyby v průběhu práce ovlivňující dosažené výsledky

Na začátku této bakalářské práce bylo vytyčeno několik cílů, které měly být v rámci práce dosaženy. Při plnění hlavních či dílčích cílů se objevila řada překážek či komplikací, které jejich dosažení znesnadňovaly. Z důvodu těchto různých komplikací mohlo dojít k chybám či nepřesnostem, které mohly ovlivnit dosažené výsledky práce. Tyto možné chyby a nepřesnosti se týkají praktické části bakalářské práce.

Veškeré zpracování dat týkající se kapitoly fyzickogeografických charakteristik daných vodních toků a povodí, bylo prováděno na platformě ArcGIS, konkrétně v její aplikaci ArcMap 10.2. Výsledky tohoto zpracování tedy mohou podléhat určitým chybám, převážně z důvodu lidského pochybení, ale není vyloučeno ani pochybení způsobené daným programem. Ke stejným pochybením s ještě větším akcentem na lidský faktor mohlo dojít při zpracovávání Land use zkoumaných povodí nad ortofotem daných území, jelikož posouzení některých prvků krajinného pokryvu může být při této metodě částečně subjektivní. V souvislosti s tímto zpracováním chybí potvrzení v podobě vlastního terénního výzkumu, který byl původně plánován. Vzhledem k tomu, že téma práce bylo školitelem v průběhu zpracování upřesněno, nebylo dosud provedeno podrobné zmapování využití ploch. Za další možný nedostatek lze považovat určení povodí Ranklovského potoka, které bylo určeno podle mapového podkladu a následně vektorizováno místo kombinace mapy a terénního průzkumu.

K dalším nepřesnostem mohlo dojít zejména v dalších částech práce, které obsahují zpracování poskytnutých dat a jejich následnou interpretaci. Poskytnutá data byla dvojího typu: data z hladinoměřů či srážkoměrů umístěných na zájmových povodích (případně v blízkých povodí v případě srážek) a data pro sestrojení kosumpčních křivek. Data ze srážkoměrů ale hlavně z hladinoměřů mohou být zatížena určitou nejistotou především z důvodu technické stránky věci (zobrazená data neodpovídají reálným terénním datům z důvodu poruchy či poškození hladinoměru či srážkoměru), nicméně byla snaha o výběr dat, která se zdála býti nepoškozená a odpovídající. Druhá poskytnutá skupina dat, jak je uvedeno výše, souvisí s daty pro vytvoření měrných křivek odtoku na třech zájmových

tocích. Tato data mohou být postižena nepřesnostmi spojenými s jejich měřením, a to jak z hlediska lidských chyb, tak i chyb přístrojů nebo nepřesnostmi způsobenými změnami v korytě toku v důsledku antropogenních či přírodních faktorů. Nicméně byla snaha o vybrání dat, která by těmito chybami zatížena být neměla. Následně sestrojené měrné křivky průtoku vykazují chybovost hlavně v oblasti vysokých vodních stavů a průtoků, jejichž hodnoty převážně chybějí a bylo by vhodné je doplnit. Bohužel měření těchto vysokých vodních stavů a průtoku je značně složité a těžko proveditelné.

Kombinací výše uvedené sady dvojice dat byly poté určeny průtoky pro jednotlivé, vybrané epizody, které byly následně popisovány a srovnávány pomocí určitých kritérií, včetně výpočtu různých indexů. Uvedený popis vybraných epizod byl doplněn o srážkové úhrny v průběhu situace a o úhrny před epizodami (Index API). Problémy, který při tomto srážkovém doplnění nastaly, spočívaly v absenci srážkoměru na povodí (Ranklovský potok), v absenci srážkoměru v dřívějších letech nebo v omezené funkčnosti srážkoměru během zkoumaných epizod. Tento problém byl vyřešen využitím srážkoměrů z jiných povodí (Modrava, Zhůrecký potok), které se nacházejí v relativní blízkosti zájmových povodí. Ovšem tato aproximace na zájmová povodí může být nepřesná a není tedy úplně jisté, kolik srážek během epizod, či před nimi dopadlo na experimentální povodí.

V závěrečné fázi praktické části práce je posuzován hlavní cíl práce, tedy vliv fyzickogeografických faktorů na extremitu odtoku. Posuzování probíhá pomocí předcházejících dosažených výsledků a srovnávací analýzy mezi povodněmi, nicméně pro lepší vypovídací hodnotu práce by bylo lepší zahrnout i další analýzy, případně větší terénní průzkum.

8.2 Diskuze dosažených výsledků

8.2.1 Land use zájmových povodích

Jedním z dílčích cílů práce bylo zpracování Land use zájmových povodí. Podobné detailní zmapování krajinného pokryvu nebylo dosud pro tato povodí provedeno. Ve většině předchozích prací z těchto území byly převážně řešeny pouze podíly ploch rašelinišť a zalesněnosti. Výsledky z analýzy krajinného pokryvu v této práci ukazují, že podíl rašelinišť v povodí Černého potoka je zanedbatelný, což odpovídá závěrům v práci Vlčka (2011), pro povodí Rokytky je tento podíl přibližně 26 %. Kocum (2012) ve své práci uvádí obdobné hodnoty kolem 25 %. Rozdílné výsledky v zastoupení rašelinišť byly dosaženy na Ranklovském potoce. V bakalářské práci uvádím hodnotu 17 %, zatímco podle Prokše (2010) je tato plocha rovna 28 %. Druhým typem krajinného pokryvu, který je také zkoumán

v ostatních výzkumech, je zalesněnost v zájmových povodích Černého potoka a Rokytky. Podíl (zdravých) lesů je na základě průzkumu v této práci pro Černý potok roven zhruba 63 % a pro Rokytku 31 %, zatímco ve výsledcích jiné práce (Fialová 2012) z tohoto území je uvedeno, že podíl zdravého lesa pro Černý potok je téměř stejný (62 %) a pro Rokytku se mírně liší (36 %).

8.2.2 Konstrukce měrných křivek průtoků

Pro potřeby dalších částí práce bylo nutné sestrojení měrných křivek průtoků. Sestrojením křivek pro zadané vodní toky se již v minulosti zabývala celá řada autorů (Čurda 2009; Prokš 2010; Fialová 2012; Kaiglová, Langhammer 2014; Kabelka 2016). Problém, který při sestrojení konsumpčních křivek nastal, se ve většině případů týkal sestrojení mimo interval naměřených hodnot, tedy převážně v oblasti vysokých průtoků, které je problematické změřit. Měrné křivky průtoků uvedené v této práci byly i z výše popsané příčiny sestrojeny v programu WinZPV (program využívaný ČHMÚ pro podobné úlohy), který umožňuje úpravu vytvořené měrné křivky průtoků tak, aby co nejvíce odpovídala měřeným bodům. Problém s oblastí chybějících dat v oblasti vysokých průtoků a samotné vytvoření celých křivek může být řešeno i dalšími způsoby a metodami. Kabelka (2015) ve své práci kombinuje metody hydrologického modelování na základě 1D modelu MIKE11 a proložení změřených hodnot křivkou s nejvyšší mírou spolehlivosti. Tuto druhou metodu ve své práci využívá i Prokš (2010), a to konkrétně pro Ranklovský potok. Dalšími hojně využívanými způsoby jsou metody matematické extrapolace, využívající proložení existujících křivek polynomem n -tého stupně (Čurda 2009) či extrapolace konsumpčních křivek do zóny vysokých průtoků pomocí hydraulického výpočtu (Fialová 2012). Měrné křivky průtoků použité pro tuto práci (graf 1–3) na všech třech tocích postihují i oblasti vyšších či vysokých průtoků a z hlediska tvaru křivky i dosažených hodnot se nejvíce podobají konsumpčním křivkám v práci Fialové (2012), ve které jsou tyto křivky zpracovány pro Černý potok a Rokytku. Naopak měrná křivka průtoků pro Ranklovský potok se od předchozích výsledků (Prokš 2010; Kabelka 2016) liší.

8.2.3 Reakce toků na extrémní (povodňové) události

Jedním ze stěžejních cílů práce byl výběr a analýza situací s vysokým průtokem a následné porovnání reakcí zájmových vodních toků na dané epizody. Analýza a porovnání odezvy toků na dané situace bylo provedeno na základě různých metod, včetně povodňových indexů, analýzy podobnosti či časových charakteristik souvisejících s průtokovými vlnami. Výsledky na základě indexů ukázaly, že na Ranklovském potoce a Rokytce bylo dosaženo

vyšších hodnot, tedy extremit. Podobných extrémních výsledků dosáhl pro Rokytka ve své práci i Čurda (2009), kdy porovnával extrémní povodňové události mezi Rokytka a dalšími šumavskými toky. S dosaženými výsledky souvisí i analýza podobnosti, při které spolu spíše koreluje Ranklovský potok a Rokytka.

Další srovnání reakcí toků na extrémní situace se týkalo dob trvání a konkrétních časových údajů jednotlivých částí hydrogramů daných vodních toků. Výsledek této analýzy neprokázal podobně silnou závislost mezi některými povodími či mezi daným tokem a některou z hodnocených časových charakteristik jako v předchozích případech (indexy, analýza podobnosti). Nicméně některé dosažené výsledky mají silnější vztahy než jiné. Například, nejkratší doby trvání mezi zvýšením průtoku a kulminací odpovídá nejčastěji Ranklovskému potoku a Rokytce, stejně tak i časové doby kulminace je nejdříve s nejčastější četností dosahováno na Rokytce, následované Ranklovským potokem, a naopak nejpozději na Černém potoce. Uvedené zkoumané toky nebyly pravděpodobně nikdy vzájemně porovnávány, nicméně z výzkumů (Kocum, Janský 2009; Kocum 2012), vyplynula podobná zjištění jako v této práci, tedy že na profilu Rokytka docházelo k dřívější kulminaci a povodňové vlny měly rychlejší nástup oproti jiným šumavským tokům (Černý potok, Zhůrecký potok), což ukazuje na menší schopnost retence vody v povodí Rokytka či Ranklovského potoka. Z hlediska doby trvání mezi kulminací a snížením byly oproti práci Čurdy (2009) zjištěny jiné výsledky, které uváděly, že pokles průtoku nebyl nejrychlejší na Rokytce, ale na Černém potoce, a naopak nejpomalejší byl nejčastěji na potoce Ranklovském. Nicméně další zjištěné informace o reakcích vodních toků na dané epizody již souhlasí s výsledky jiných autorů, tedy že průtokové vlny pro profil Rokytka odpovídají výrazněji špičatým tvarům (Čurda 2009) a Rokytka (Janský, Kocum 2009) spolu s Ranklovským potokem (Prokš 2010) dosahují vyšší variability odtoku než jiné, s nimi porovnávané vodní toky.

8.2.4 Zhodnocení vlivu fyzickogeografických faktorů

Hlavním cílem práce bylo zjištění vlivu fyzickogeografických faktorů na extremitu odtoku. Čermák (1968) ve práci uvádí, že mezi nejdůležitějšími činiteli ovlivňující průběh povodně či vysokého průtoku patří: sklon a nadmořská výška povodí, retenční prostory, tvar povodí, vegetace, krajinný pokryv a půdní, geologické či klimatické poměry. Na základě předchozího porovnání reakcí vodních toků byla zjištěna rozdílná chování mezi Černým potokem a dvojicí Ranklovský potok, Rokytka. Z provedené srovnávací analýzy mezi fyzickogeografickými podmínkami jednotlivých toků a povodí vyplynulo, že příčina

různého chování porovnávaných toků je pravděpodobně kombinací několika faktorů: sklonitostní poměry, orientace svahů, půdní charakteristiky, samotná retenční kapacita zájmových území a využití území (zastoupení rašelinišť a lesů). V rámci výzkumu na podobné téma byly zjištěny podobné výsledky, kdy například Duffek (2015) řadí průměrný sklon svahů a využití krajiny mezi fyzickogeografické faktory, které nejvíce ovlivňují povodňové riziko. Menší vliv má poté dle jeho práce zastoupení půd, tvar a velikost povodí. Přímo výše uvedené, zjištěné fyzickogeografické faktory, které mají vliv na chování zájmových vodních toků jsou potvrzeny či vyvráceny v dalších studiích. Vlach (2016) ve své studii uvádí, že výsledky ukazatelů extremity povodní souvisejí se sklonem povodí řešených v jeho studii, nicméně ukazatele extremity povodní pro Černý potok, na kterém je dosaženo největších sklonitostí ze zájmových povodí, toto zjištění nepotvrdily a spíše vyloučily tento faktor, jako ten, který způsobuje rozdílné reakce vodních toků na povodňové události. Naopak v této práci byla potvrzena jiná myšlenka související se sklonitostí povodí, kdy Čurda (2009) uvádí, že čím je vyšší sklonitost terénu tím je rychlejší odtok vody z povodí, což je viditelné na příkladu povodí Černého potoka, kde vybrané povodňové události trvaly téměř vždy nejkratší dobu. Další možné faktory, které byly určeny jako rizikové, odpovídají výsledkům z jiných studií, tedy například tvar povodí považuje Kocum (2012) jako jeden z významných faktorů ovlivňujících extrému povodně. Dále Fialová (2012) považuje za jeden z rozhodujících faktorů orientaci svahů v povodí. Tento fakt uvádí na příkladu Černého potoka, kde jsem došel k podobným závěrům a výsledkům, tedy že se zde převážně vyskytuje orientace svahů na SV, a nikoliv na jih, což může hrát roli v menším přísunu sluneční radiace a následném pomalejším odtávání sněhové pokrývky z toho povodí oproti rychlejšímu tání z povodí Ranklovského potoka a Rokytky, kde je zastoupení jižních svahů výraznější. Jiným f-g faktorem, u kterého byly zjištěny odlišnosti mezi zájmovými povodími je půdní pokryv, který pro povodí Černého potoka odpovídal spíše glejovým a podzolovým půdám, zatímco u dvojice Ranklovský potok, Rokytky spíše organozemím. Půdní typy zastoupené na Černém potoce tedy mají jiné vlastnosti než u zbývajících dvou povodí, například je pro ně typická nižší hodnota plné vodní kapacity půdy než u zmíněné organozemě (Vlček 2011).

Za rozhodující fyzickogeografické faktory, které mají vliv na chování vodních toků zasažených povodněmi, jsou v této práci považovány především faktory, u kterých bylo při srovnávací analýze dosaženo největších rozdílů, tedy sklonitostní charakteristiky, a především podíl lesů a rašelinišť na celkové ploše daných povodí. Charakteristiky spojené se sklonem lze z předchozích popsáních důvodů spíše vyloučit. Všeobecně se hydrology

uznává regulující vliv lesa na odtok vody z povodí (Kemel, Kolář 1980; Ruda 2014 online) a naopak negativní vliv odlesnění, který se projevuje na odtokovém režimu větší rozkolísaností a vyššími kulminačními průtoky (Kocum 2012; Pekárová et al. 2005). S těmito závěry koreluje chování Černého potoka, který se vyznačuje nejvyšším stupněm zalesněnosti (přes 62 % plochy povodí) a zároveň je zde i zaznamenána nižší četnost extremit a celkově nižší rozkolísanost odtoku. Tento fakt dosažený na Černém potoce nelze ovšem potvrdit na potoce Ranklovském. Ranklovský potok sice dosahuje podobných hodnot zalesněnosti (56 %) jako Černý potok, ale četnost dosažených extrémních hodnot je zde daleko vyšší, což platí i pro celkovou rozkolísanost toku. Z tohoto důvodu tedy není možné brát zalesněnost jako jediný rozhodující faktor. Mimořádně důležitým faktorem, který má vliv na chování daných vodních toků při vysokých průtokových událostech, je tedy celkový podíl plochy rašelinišť v zájmových povodích, kdy je tento podíl na povodích Ranklovského toku, a především Rokytky oproti Černému potoku velmi výrazný a vysvětluje právě i podobné reakce Rokytky a Ranklovského potoku, či jejich větší rozkolísanost. V historii byl výzkum chování rašelinišť podroben zkoumání, ovšem názory na tento výzkum se lišily a stále liší (Kocum, Janský 2009). V průběhu první poloviny 20. století byla v domácí i světové literatuře uznávána tzv. „houbová teorie“, která předpokládala, že rašeliniště zadržují vodu při vysokých srážkách (povodňových průtocích) a naopak v období sucha průtoky nadlepšují a podílejí se tak na vyrovnávání odtoku (Ferda 1960). Nicméně od 70. let 20. stol. se objevují práce, které retenční funkci rašelinišť zpochybňují a za jedinou možnost zvýšení jejich retenční kapacity doporučují snížení hladiny podzemní vody pomocí odvodnění (Kocum 2012). Z výsledků těchto prací plyne, že toky odvodňující rašeliniště se vyznačují značnou rozkolísaností průtoků a význam rašelinišť byl z hlediska vyrovnávání odtokového režimu v minulosti přeceňován. Závěry z těchto prací byly potvrzeny i v nedávné minulosti, kdy například výsledky výzkumů (Biard 1997; Kocum, Janský 2008) ukázaly neschopnost rašelinišť regulovat odtok při povodňových událostech. Podobných výsledků bylo dosaženo i v práci Čurdy (2009), ve které byla na základě korelační analýzy potvrzena značná vzájemná závislost mezi extremitou povodňových průtoků a podílu plochy rašelinišť v povodí Rokytky a Cikánského potoka, které se v obou dvou případech vyznačují vysokým stupněm zrašelinění. Negativní vliv rašelinišť na odtokový proces byl dokázán i pomocí jiných metod, například na základě detailní statistické analýzy průměrných denních a měsíčních průtoků a porovnáním odpovídajících si vzestupných a poklesových fází odtoku v experimentálních profilech s různým stupněm zrašelinění (Kocum, Janský 2009).

9 Závěr

Tato bakalářská práce se zabývá posouzením vlivu fyzickogeografických faktorů na extremitu odtoku v centrální části Šumavy, a to na základě porovnávání malých povodí, které tvoří pramenné oblasti toků Křemelné (Černý potok) a Vydry (Ranklovský potok, Rokytky). Určená povodí byla vybrána z důvodů podobných velikostních poměrů a dále díky částečně rozdílným fyzickogeografickým podmínkám. Srovnávací analýza jednotlivých povodí probíhala na základě dat z hladinoměřů poskytnutých Katedrou fyzické geografie a geoekologie na Přírodovědecké fakultě Univerzity Karlovy v Praze.

V úvodní, převážně teoretické části práce byl pomocí české i zahraniční literatury zhodnocen srážko-odtokový proces se zaměřením na odtok, dále ovlivnění odtoku s důrazem na ovlivnění fyzickogeografickými faktory a na závěr možnosti hodnocení extrémních povodňových událostí. Na tuto část navazovalo zpracování fyzickogeografických podmínek zájmových povodí pomocí literatury či vlastního výzkumu, který se v této části především týkal zpracování Land use daných povodí.

Pro potřeby praktické části práce bylo nutností sestrojení měrných křivek průtoku. Konsumpční křivky byly pro účely této práce vytvořeny v programu WinZPV, tedy programu používaném institucí ČHMÚ. Takto vytvořené konsumpční křivky dosahují v oblasti vysokých průtoků, které nejsou u většiny zájmových toků kromě Rokytky změřeny, vyšší spolehlivosti a reálnějších hodnot. Nicméně nejlepším řešením by bylo získání extrémních hodnot přímým měřením v terénu. Pomocí takto vytvořených měrných křivek průtoku mohly být později porovnávány velikosti průtoků či povodňových vln mezi jednotlivými vodními toky v rámci vybraných čtyř epizod, které se odehrávaly v různých ročních obdobích. Výsledky této srovnávací analýzy mezi zájmovými toky ukázaly následující:

- Na tocích Ranklovského potoka a Rokytky bylo dosaženo častěji extrémnějších hodnot vypočtených indexů než na profilu Černý potok;
- Doba trvání mezi zvýšením průtoku a následnou kulminací byla nejčastěji nejkratší na Ranklovském potoce a Rokytkce, stejně jako doba kulminace, která byla nejdříve s největší četností zaznamenávána na Rokytkce a nejpozději na Černém potoce;
- Doba trvání mezi kulminací a snížením průtoku na obvyklé hodnoty má nejčastěji nejkratší trvání na Černém potoce, podobně jako trvání hlavních povodňových vln;
- Průběh vodních stavů na Ranklovském potoce a Rokytkce je celkově rozkolísanější než průběh na Černém potoce.

Z výše uvedených závěrů vyplynulo, že reakce dvojice Ranklovský potok, Rokytká na extrémní odtokové události jsou si více podobné než reakce Černého potoka, což potvrzuje i provedená analýza podobnosti povodní. A dále, že je tato dvojice charakteristická větší variabilitou odtoku, s čímž souvisí i vyšší extremita proběhlých epizod na těchto dvou tocích. Nicméně pro silnější potvrzení tohoto závěru by bylo dle mého názoru nutné analyzovat větší množství extrémních průtokových událostí.

V závěrečné fázi práce bylo provedeno porovnání fyzickogeografických podmínek mezi dvojicí, která reaguje podobně na velké průtokové události, tedy Ranklovský potok, Rokytká a tokem, který není postihnut takovou rozkolísaností, tedy Černý potok. Porovnání ukázalo, že hlavními fyzickogeografickými faktory, které pravděpodobně způsobují rozdílné chování daných vodních toků jsou sklonitostní poměry, orientace svahů, půdní charakteristiky, retenční kapacita zájmových území a využití území (zastoupení rašelinišť a lesů). Při bližším pohledu na tyto faktory a odezvy daných toků byly jako nejdůležitější faktory určeny rozdílná plocha rašelinišť mezi dvojicí Ranklovský potok (17%), Rokytká (26%) a Černým potokem (méně než 3%) a s nimi související převažující půdní pokryv – Ranklovský potok, Rokytká (organozem), Černý potok (glej, podzol). Na základě výsledků této analýzy je možné konstatovat, že některé f-g podmínky (především míra zrašelinění povodí) mohou výrazným způsobem ovlivňovat chování vodních toků při povodňových situacích. Výsledky této práce potvrdily předchozí výzkumy, tedy negativní vliv rašelinišť na odtokový proces.

Celkově, na základě výše uvedených informací, lze říci, že všechny vytýčené cíle práce se podařilo splnit. Nicméně porovnávání povodňových událostí by mohlo být doplněno o vyšší počet událostí pro potvrzení získaných výsledků a dále samotná analýza fyzickogeografických faktorů by v sobě mohla zahrnovat hlubší terénní výzkum, zaměřený převážně na půdní vlastnosti daných povodí, což je patrné i z experimentu z povodí Černého potoka (viz. popis projektu v příloze této práce), kde je prokázán odtok vody ze svahu především pomocí preferenčních cest, kdy voda spíše proudí do hlubších vrstev.

10 Seznam použité literatury

ALBRECHT, J. a kol. (2003): Chráněná území ČR VIII., Českobudějovicko. Praha: AOPK ČR, 807 s.

ARCDATA PRAHA: ArcČR 500 - Digitální geografická databáze, verze 3.2 [online]. [cit. 22. 4. 2015]. Dostupné z: <http://www.arcddata.cz/produkty-a-sluzby/geograficka-data/arccr-500>

BAIRD, A. J. (1997): Field estimation of macropore functioning and surface hydraulic conductivity in a fen peat. *Hydrological Processes*, roč. 11, č. 3, s. 287–295.

BALATKA, B., KALVODA, J. (2006): Geomorfologické členění reliéfu Čech. Praha: Kartografie, 79 s. ISBN: 80-7011-913-6

BENISTON, M., et al. (2007): Future extreme events in European climate: an exploration of regional climate model projections. *Climatic Change*, roč. 81, s. 71–95.

BEVEN, K. (2012): *Rainfall-Runoff Modelling: The Primer*. 2. vyd. Chichester: Wiley-Blackwell, 488 s. ISBN 978-0-470-71459-1.

BLUME, T., ZEHE, E., BRONSTERT, A. (2007): Rainfall runoff response, event-based runoff coefficients and hydrograph separation. *Hydrological Sciences Journal*, roč. 52, č. 5, s. 843–862.

BRÁZDIL, R., ŠTEKL, J. (1986): Cirkulační procesy a atmosférické srážky v ČSSR In: JELÍNEK, J.: Akumulace a tání sněhové pokrývky v povodí Rokytky v hydrologických letech 2007 a 2008. Diplomová práce. Praha: Univerzita Karlova. Přírodovědecká fakulta. Katedra fyzické geografie a geoekologie, 85 s. Vedoucí diplomové práce prof. RNDr. Bohumír Janský, CSc.

BRÁZDIL, R. (2002): Meteorologické extrémy a povodně v České republice – přirozený trend nebo následek globálního oteplování? *Geografie – Sborník České geografické společnosti*, Praha: Česká geografická společnost, roč. 107, č. 4, s. 349–370. ISSN 1212-0014.

BUFKOVÁ, I. (2009): Ochrana rašelinišť na Šumavě: aneb byly Rokytecké slatě první? In: ČERNÝ, D. DVOŘÁK, L.: Weitfällerské slatě: Sborník výzkumu na Šumavě. 2. Vimperk: Správa NP a CHKO Šumava. 103 s.

- BUMERL, M. (2003): Hydrologie. [online]. Veselí nad Lužnicí, 56 s. [cit. 2017-05-08]. Dostupné z: http://www.sos-veseli.cz/download/hydrologie_ucebni%20_text.pdf
- BURKE, W. (1967): Principles of drainage with special reference to peat. Irish Forestry, roč. 24, s. 1-7.
- CIML, J. (2011): Vliv využití území na složky odtoku vody. Bakalářská práce. České Budějovice: Jihočeská univerzita. Zemědělská fakulta. Katedra krajinného managementu, 72 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Pavel Žlábek, Ph.D.
- CLAUSEN, B., BIGGS, B. J. F. (2000): Flow variables for ecological studies in temperate streams: groupings based on covariance. Journal of Hydrology, roč. 237, č. 3–4, s. 184–197.
- CONWAY, V. M., MILLAR, A. (1960): The hydrology of some small peat-covered catchments in the northern Pennines. Journal of the Institute of Water Engineers, roč. 14, s. 415-424.
- ČABOUN, V., MINDÁŠ J. (2003): Vodní bilance a hydrické funkce lesních ekosystémů v krajině. In: Funkce energetické a vodní bilance v bioklimatických ekosystémech: seminář 2-4. 9. 2003, Račková dolina [online]. Nitra: SPU, 7 s. [cit. 2017-04-04]. Dostupné z: <http://www.cbks.cz/sbornikRackova03/sections/4/Caboun.pdf>
- ČESKÝ HYDROMETEOROLOGICKÝ ÚSTAV (2013): Hydrologická ročenka České republiky 2012. 1. vyd. Praha: Český hydrometeorologický ústav, 156 s. ISBN 978-80-87577-25-7
- ČESKÝ HYDROMETEOROLOGICKÝ ÚSTAV (2014): Hydrologická ročenka České republiky 2013. 1. vyd. Praha: Český hydrometeorologický ústav, 164 s. ISBN 978-80-87577-43-1
- ČESKÝ HYDROMETEOROLOGICKÝ ÚSTAV (2014): Povodně v České republice v červnu 2013. 1. vyd. Praha: Český hydrometeorologický ústav, 86 s. ISBN 978-80-87577-41-7
- ČESKÝ HYDROMETEOROLOGICKÝ ÚSTAV (2015): Hydrologická ročenka České republiky 2014. 1. vyd. Praha: Český hydrometeorologický ústav, 172 s. ISBN 978-80-87577-57-8
- ČERMÁK, M. (1968): Základní činitele ovlivňující odtok velkých vod. Sborník prací HMÚ ČSSR 12, Praha, s. 5-42.

ČERVENÝ, J. (1984): Podnebí a vodní režim ČSSR. Praha: Státní zemědělské nakladatelství. Lesnictví, myslivost a vodní hospodářství.

ČESÁK J., KOCUM, J., KLIMENT Z., JENÍČEK M. (2008): Monitoring odtokového režimu v pramenných oblastech toků. In LANGHAMMER, J (Ed.), Změny v krajině a povodňové riziko. Sborník příspěvků semináře Povodně a změny v krajině. PřF UK, Praha, s. 80-85.

ČESKÝ ÚŘAD ZEMĚMĚŘIČSKÝ A KATASTRÁLNÍ (2017): Prohlížeč služba WMS - Ortofoto. [online]. [cit. 28. 8. 2017]. Dostupné z: http://geoportal.cuzk.cz/WMS_ORTOFOTO_PUB/WMSservice.aspx

ČESKÝ ÚŘAD ZEMĚMĚŘIČSKÝ A KATASTRÁLNÍ (2017): Základní báze geografických dat ZABAGED. [online]. [cit. 24. 6. 2017]. Dostupné z: <http://www.cuzk.cz>

ČURDA, J. (2009): Odtokový režim v pramenné oblasti Vydry se zaměřením na hodnocení povodňových epizod. Diplomová práce. Praha: Univerzita Karlova. Přírodovědecká fakulta. Katedra fyzické geografie a geoekologie, 149 s. Vedoucí diplomové práce Prof. RNDr. Bohumír Janský, CSc.

ČURDA, J., JANSKÝ, B., KOCUM, J. (2011): Vliv fyzickogeografických faktorů na extremitu povodní v povodí Vydry. Geografie – Sborník České geografické společnosti, Praha: Česká geografická společnost, roč. 116, č. 3, s. 335–353.

DAVIES, J., BEVEN, K., NYBERG, L., RODHE, A. (2011): A discrete particle representation of hillslope hydrology: Hypothesis testing in reproducing a tracer experiment at Gårdsjön, Sweden. Hydrological Processes, č. 25(23), s. 3602–3612

DAVID, R. (2017): Podnebí Šumavy [online]. [cit. 2017-12-12]. Dostupné z: <http://www.sumavainfo.cz/Podnebi>

DAŇHELKA, J. (2007): Operativní hydrologie: hydrologické modely a nejistota předpovědí. Praha: Český hydrometeorologický ústav, 104 s. ISBN 978-80-86690-48-3.

DEMEK, J. a kol. (1987): Hory a nížiny. Praha: Academia, 584 s.

DUFFEK, V. (2015): Vliv fyzickogeografických podmínek na povodňové riziko v povodí Horní Radbuzy. Bakalářská práce. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni. Pedagogická fakulta. Centrum biologie, geověd a envigogiky, 80 s. Vedoucí bakalářské práce RNDr. Jan Kopp, Ph.D.

FERDA, J. (1960): Hydrologický význam horských vrchovištních rašelinišť. In Sborník ČSAZV – Lesnictví. Praha. č. 10, s. 835-856.

FIALOVÁ, P. (2012): Srovnávací analýza odtoku v experimentálních povodích horní Otavy. Bakalářská práce. Praha: Univerzita Karlova. Přírodovědecká fakulta. Katedra Fyzické geografie a geoekologie, 71 s. Vedoucí bakalářské práce Prof. RNDr. Bohumír Janský, CSc.

FRANCOU, J., RODIER, J. A. (1967): Essai de classification des crues maximales observées dans le monde. Cahiers ORSTOM, série Hydrologie, č. 4(3), s. 19–46.

HERSCHY, R. W. (2003): World catalogue of maximum observed floods. Wallingford: IAHS Publication 284, 320 s.

HLADÍK, P. (2006): Hydrografie a odtokové poměry v povodí Křemelné. Bakalářská práce. Praha: Univerzita Karlova. Přírodovědecká fakulta. Katedra Fyzické geografie a geoekologie, 64 s. Vedoucí bakalářské práce Prof. RNDr. Bohumír Janský, CSc.

HLADNÝ, J. (2007): Fakta a mýty o povodních. In: Langhammer, J.: Povodně a změny v krajině. PřF UK, KFGG, Praha, s. 41-50.

HOLDEN, J., CHAPMAN, P. J., LABADZ, J. C. (2004): Artificial drainage of peatlands: hydrological and hydrochemical process and wetland restoration. Progress in Physical Geography, roč. 28, č. 1, s. 95–123.

HOLKO, L., KOSTKA, Z. (2008): Analýza režimu odtoku pomocou indexu prívalovosti. Acta Hydrologica Slovaca, roč. 9, č. 2, s. 262–268.

HOLKO, L. a kol. (2011): Flashiness of mountain streams in Slovakia and Austria. Journal of Hydrology, roč. 405, č. 3–4, s. 392–401.

HRUŠKOVÁ, K. (2006): Modelování odtoku z tajícího sněhu v povodí Horního Hronu. Disertační práce. Brno: Masarykova univerzita. Přírodovědecká fakulta, 106 s. Vedoucí disertační práce Prof. RNDr. Rudolf Brázdil, DrSc.

CHÁBERA, S. (1987): Příroda na Šumavě: přírodovědný průvodce. České Budějovice: Jihočeské nakladatelství, 182 s.

JANEČEK, M., et al. (2007): Ochrana zemědělské půdy před erozí: metodika. Praha: VÚMOP. ISBN 978-80-254-0973-2.

JANSKÝ, B. (2003): Water Retention in River Basin. Acta Universitatis Carolinae – Geographica, Praha, 38, č. 2, s. 173–183.

JANSKÝ, B. (2006): Water Retention in River Basins. Acta Universitatis Carolinae Geographica, Praha, 38, č. 2, s. 173–183.

JANSKÝ, B., KOCUM, J. (2007): Retenční potenciál v pramenných oblastech toků. In: Langhammer, J. (ed.): Povodně a změny v krajině. MŽP ČR a PřF UK, Praha, 350 s.

JANSKÝ, B., KOCUM, J. (2007a): Hydrologická funkce rašelinišť. In: LANGHAMMER, J (Ed.), Změny v krajině a povodňové riziko. Sborník příspěvků semináře Povodně a změny v krajině. PřF UK a MŽP ČR, Praha, s. 173-182.

JANSKÝ, B., KOCUM, J. (2007b): Retenční potenciál v pramenných oblastech toků. In: LANGHAMMER, J (Ed.), Povodně a změny v krajině. MŽP ČR a PřF UK, Praha, s. 307-316.

JANSKÝ, B. (2015): Hydrologie [přednáška]. Praha: Univerzita Karlova v Praze. Přírodovědecká fakulta. Katedra fyzické geografie a geoekologie.

JELÍNEK, J. (2008): Akumulace a tání sněhové pokrývky v povodí Rokytky hydrologických letech 2007 a 2008. Diplomová práce. Praha: Univerzita Karlova. Přírodovědecká fakulta. Katedra fyzické geografie a geoekologie, 85 s. Vedoucí diplomové práce prof. RNDr. Bohumír Janský, CSc.

JENÍČEK, M. (2007): Modelování vlivu krajinného pokryvu na srážko-odtokové procesy metodou CN křivek. In Změny v krajině a povodňové riziko: sborník příspěvků semináře Povodně a změny v krajině: PřF UK, Praha, 5.6.2007. Editor Jakub LANGHAMMER. Praha: Univerzita Karlova v Praze. Přírodovědecká fakulta. s. 41–50. ISBN 978-80-86561-87-5.

JENÍČEK, M. (2010): Modelování hydrologických procesů I [online prezentace]. Praha: Univerzita Karlova v Praze. Přírodovědecká fakulta. Katedra Fyzické geografie a geoekologie, [cit. 2017-04-04]. Dostupný z WWW: <http://hydro.natur.cuni.cz/jenicek/download.php?akce=dokumenty&cislo=44>

KABELKA, T. (2016): Stanovení konsumpčních křivek na vybraných hydrologických profilech KFGG. Diplomová práce. Praha: Univerzita Karlova. Přírodovědecká fakulta. Katedra Fyzické geografie a geoekologie, 100 s. Vedoucí diplomové práce: RNDr. Miroslav Šobr, Ph.D.

KAIGLOVÁ, J., LANGHAMMER, J. (2014): Numerical modelling of gravel remobilization competence in mountain stream. In: Hudec, M., Csáky, A., 2014. *Scienica Iuvenis*, UKF, Nitra, s. 208-216.

KALKUS, J. (2012): Možnosti hodnocení variability odtoku v experimentálních povodích na Šumavě. Bakalářská práce. Praha: Univerzita Karlova. Přírodovědecká fakulta. Katedra fyzické geografie a geoekologie, 69 s. Vedoucí bakalářské práce Doc. RNDr. Zdeněk Kliment, CSc.

KEMEL, M. (1996): *Klimatologie, meteorologie, hydrologie*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 289 s. ISBN 80-01-01456-8.

KEMEL, M., KOLÁŘ, V. (1980): *Hydrologie*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 292 s.

KFFG PřF UK – Katedra fyzické geografie a geoekologie Přírodovědecké fakulty Univerzity Karlovy v Praze

KOCUM, J., JANSKÝ, B. (2008b): Dynamika hydrologického režimu v pramenných oblastech vodních toků. In: LANGHAMMER, J. (Ed.), *Údolní niva jako prostor ovlivňující průběh a následky povodní*. PřF UK, Praha, s. 72-82.

KOCUM, J., JANSKÝ, B. (2009): Retence vody v pramenných oblastech Vydry a Křemelné – případová studie povodí Rokytky. Katedra fyzické geografie a geoekologie PřF UK, Praha, 23 s.

KOCUM, J. (2012): Tvorba odtoku a jeho dynamika v pramenné oblasti Otavy. Disertační práce. Praha: Univerzita Karlova. Přírodovědecká fakulta. Katedra Fyzické geografie a geoekologie, 203 s. Vedoucí bakalářské práce Prof. RNDr. Bohumír Janský, CSc.

KREŠL, J. (2001): *Hydrologie*. 1. vyd. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita. ISBN 80-7157-513-5.

KŘÍŽ, H. (1983): *Hydrologie podzemních vod*. Praha: Academia, 292 s.

KVÍTEK, T. (2006): *Zemědělské meliorace*. České Budějovice: Jihočeská univerzita, Zemědělská fakulta. ISBN 80-7040-858-8

KUBÍČEK, J. (2006): Analýza srážkových dat z centrální Šumavy. Diplomová práce. Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze, 83 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Jiří Pavlásek, Ph.D.

KULASOVÁ, A., BLAŽKOVÁ, Š., VLČEK, L., JANSKÝ, B. (2017): Sledování formování odtoku na svazích Šumavy pomocí stopovacích experimentů. VÚV T.G.Masaryka, PřF UK, Katedra Fyzické geografie a geoekologie. Praha.

KUNSKÝ, J. (1968): Fyzický zeměpis Československa. Praha: Státní pedagogické nakladatelství, 537 s.

LANGHAMMER, J. (2007): Odtokový proces [online prezentace]. Praha: Univerzita Karlova v Praze. Přírodovědecká fakulta. Katedra Fyzické geografie a geoekologie, [cit. 2017-04-04]. Dostupné z: https://web.natur.cuni.cz/~langhamr/lectures/hydro/pdf/Hydrologie_1_Langhammer_odtok_proces.pdf

LANGHAMMER, J. (2007): Povodně a změny v krajině. PřF UK, Katedra Fyzické geografie a geoekologie. Praha, 396 s.

LANGHAMMER, J. (2008): Ekologie tekoucích vod [online prezentace]. Praha: Univerzita Karlova v Praze. Přírodovědecká fakulta. Katedra Fyzické geografie a geoekologie, [cit. 2017-04-04]. Dostupné z: <https://web.natur.cuni.cz/ekologie/vyuka/tekouci-vody/2%20Hydrografie%20Langhammer.pdf>

LATRON, J. (2008): Spatial and temporal variability of the hydrological response in a small Mediterranean research catchment (Vallcebre, Eastern Pyrenees). Hydrological Processes, roč. 22, č. 6, s. 775–778.

MCDONALD, A. (1973): Some views on the effects of peat drainage. Scottish Forestry, roč. 27, č. 4, s. 315-327.

METEOROLOGICKÝ SLOVNÍK VÝKLADOVÝ A TERMINOLOGICKÝ (2014): Elektronický meteorologický slovník [online]. [cit: 10. 4. 2018]. Dostupné z: <http://slovník.cmes.cz>

MERZ, R. a kol. (2006): Spatio-temporal variability of event runoff coefficients. Journal of Hydrology, roč. 331, č. 3–4, s. 591–604.

MÜLLER, M., et al. (2015): Evaluation of precipitation extremes and floods and comparison between their temporal distributions. Hydrology and Earth System Sciences Discussions, č. 12, s. 281–310.

- NÁRODNÍ PARK ŠUMAVA (2007): Flóra a vegetace. [online]. [cit. 2017-12-12]. Dostupné z: http://www.cittadella.cz/europarc/index.php?p=flora&site=NP_sumava_cz
- NETOPIL, R. (1970): Základy hydrologie povrchových a podpovrchových vod. Praha: SPN, 223 s. Učební texty vysokých škol.
- NETOPIL, R., et al. (1984): Fyzická geografie I. Praha: SPN, 272 s.
- NEUHÄUSLOVÁ, Z. et al. (2002): Mapa potenciální přirozené vegetace NP Šumava. Textová část. Silva Gabreta, Suppl. 1.
- NĚMEC, J. (1964): Inženýrská hydrologie. 1. vyd. Praha: SNTL, 236 s.
- NĚMEČEK, J. et al. (2001): Taxonomický klasifikační systém půd České republiky. Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze, 78 s.
- PAVELKOVÁ CHMELOVÁ, R., FRAJER, J. (2013): Základy fyzické geografie 1. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 131 s. Studijní opory. ISBN 978-80-244-3843-6.
- PEKÁROVÁ, P., KONÍČEK, A., MIKLÁNEK, P. (2005): Influence of landuse on runoff regime in experimental microcatchments of the Institute of hydrology SAS. Veda, Bratislava, 216 s.
- PETRÁNEK, J. (1993): Malá encyklopedie geologie. České Budějovice: Jih, 246 s. ISBN: 80-900351-2-4
- POSPÍŠIL, J. (2009): Formování odtoku ze sněhové pokrývky v pramenné oblasti Otavy. Praha, 119 s. Diplomová práce. Univerzita Karlova v Praze. Přírodovědecká fakulta. Katedra fyzické geografie a geoekologie. Vedoucí diplomové práce RNDr. Jan Kocum, Ph.D.
- PROKŠ, M. (2010): Odtokový režim v povodí Hamerského potoka se zaměřením na reakci pH vody ve vybraných povodňových epizodách. Diplomová práce. Praha: Univerzita Karlova. Přírodovědecká fakulta. Katedra Fyzické geografie a geoekologie, 143 s. Vedoucí bakalářské práce Prof. RNDr. Bohumír Janský, CSc.
- REJZEK, J. (2012): Český etymologický slovník. 2., nezměn. vyd. Voznice: Leda. ISBN 978-80-7335-296-7.
- RODIER, J. A., ROCHE, M. (1984): World catalogue of maximum observed floods. Wallingford: IAHS Publication 143, 350 s.

RUDA, A. (2014): Hydrografie vodních toků | Klimatologie a hydrogeografie pro učitele | Pedagogická fakulta Masarykovy univerzity [online]. [cit. 2017-04-03]. Dostupné z: https://is.muni.cz/do/rect/el/estud/pedf/ps14/fyz_geogr/web/pages/08-hydrografie.html

ŘÍHA, J., Smelík, L., Uhmánová, H. (2011): Příspěvek k povodňové problematice vybraných obcí ve správním území státního podniku Povodí Ohře. Vodní hospodářství, č. 11, s. 406–409.

SCHRÖTER, K., et al. (2015): What made the June 2013 flood in Germany an exceptional event? A hydro-meteorological evaluation. Hydrology and Earth System Sciences, č. 19, s. 309–327.

ŠANDA, M., et al., (2006): Vliv půdního profilu na srážkoodtokový proces. Journal of Hydrology and Hydromechanics, roč. 54, č.2, s. 183–191.

ŠÁLEK, J. (2000): Malé vodní nádrže v zemědělské krajině: (studijní zpráva). Praha: Ústav zemědělských a potravinářských informací, 70 s. Studijní informace. ISBN 80-7271-051-6.

ŠÍR, M., et al. (2004): Vegetační porost krajiny a vodní hospodářství. Vodní hospodářství, roč. 54, č. 8, s. 234–237.

ŠERCL, P. (2007): Vliv fyzickogeografických faktorů na charakteristiky teoretických návrhových povodňových vln. Disertační práce. Praha: Univerzita Karlova. Přírodovědecká fakulta. Katedra fyzické geografie a geoekologie, 157 s. Vedoucí disertační práce: Ing. Josef Hladný, Csc.

TOLASZ, R. et al. (2007): Atlas podnebí Česka. ČHMÚ a UP Olomouc, Praha, 256 s.

UHLEMANN, S., THIEKEN, A. H., MERZ, B. (2010): A consistent set of trans-basin floods in Germany between 1952–2002. Hydrology and Earth System Sciences, č. 14, s. 1277–1295.

UNUCKA, J., ADAMEC, M. (2008): Modelování vlivu krajinného pokryvu na srážkoodtokové vztahy v povodí Olše. Journal of Hydrology and Hydromechanics, č. 56(4), s. 257–271.

VLACH, V. (2016): Extrémní hydrologické jevy v povodí Rolavy. Bakalářská práce. Praha: Univerzita Karlova. Přírodovědecká fakulta. Katedra Fyzické geografie a geoekologie, 62 s. Vedoucí bakalářské práce RNDr. Milada Matoušková, Ph.D.

VLASÁK, T. (2008): Návrh databanky povodní Otavy a její využití v protipovodňové ochraně. Disertační práce. Praha: Univerzita Karlova. Přírodovědecká fakulta. Katedra Fyzické geografie a geoekologie, 98 s. Vedoucí disertační práce Ing. Josef Hladný, CSc.

VLČEK, L. (2011): Retence vody půdou v experimentálních povodích se zaměřením na organozemě. Diplomová práce. Praha: Univerzita Karlova v Praze. Přírodovědecká fakulta. Katedra fyzické geografie a geoekologie, 92 s. Vedoucí diplomové práce RNDr. Luděk Šefrna, CSc.

VLČEK, L., KOCUM, J., JANSKÝ, B., ŠEFRNA, L., BLAŽKOVÁ, Š. (2016): Influence of peat soils on runoff process: case study of Vydra River headwaters, Czechia. Geografie, č. 121(2), s. 235-253.

VÝZKUMNÝ ÚSTAV VODOHOSPODÁŘSKÝ T. G. MASARYKA (2017): Digitální báze vodohospodářských dat DIBAVOD. [online]. [cit. 20. 5. 2017] Dostupné z: <http://www.dibavod.cz>

ZVÁRA, K. (2003): Biostatistika. 2. vyd. Praha: Karolinum. Učební texty Univerzity Karlovy v Praze. ISBN 80-246-0739-5.

11 Seznam obrázků, tabulek a grafů

Obrázek 1: <i>Srážko–odtokový proces (zpracování: autor, inspirace: Just et al. 2005)</i>	16
Obrázek 2: Vznik povrchového odtoku: a) infiltration excess b) saturation excess c) return flow (zdroj: Beven 2012).....	18
Obrázek 3: Lokalizace zájmových území (zpracování: autor)	31
Obrázek 4: Orientace svahů v povodích (zpracování: autor).....	35
Obrázek 5: Sklonitostní poměry (zpracování: autor).....	37
Obrázek 6: Výškové poměry povodí (zpracování: autor).....	38
Obrázek 7: Meteorologický vývoj zimní epizody (zdroj: www1.wetter3.de)	57
Obrázek 8: Meteorologický vývoj jarní epizody (zdroj: www1.wetter3.de).....	65
Obrázek 9: Úhrn srážek od 29. 5. do 3. 6. 2013 (zdroj: Povodně v České republice 2013 2014).....	72
Obrázek 10: Meteorologický vývoj letní epizody (zdroj: www1.wetter3.de)	73
Obrázek 11: Ukazatel nasycení území k 1. 6. 2013 8:00 2013 (zdroj: Povodně v České republice 2013 2014)	74
Obrázek 12: Meteorologický vývoj podzimní epizody (zdroj: www1.wetter3.de)	81
Tabulka 1: Tvarové vlastnosti zkoumaných povodí	33
Tabulka 2: Hydrografické vlastnosti povodí a říční sítě	33
Tabulka 3: Orografické poměry	38
Tabulka 4: Geomorfologické členění.....	42
Tabulka 5: Krajinný pokryv Černého potoka	45
Tabulka 6: Krajinný pokryv Ranklovského potoka	46
Tabulka 7: Krajinný pokryv Černého potoka	47
Tabulka 8: Charakteristiky související s průtokovým stavem	61
Tabulka 9: Indexy související s průtokovým stavem.....	61
Tabulka 10: Index podobnosti	61
Tabulka 11: Charakteristiky související s průtokovým stavem	69
Tabulka 12: Indexy související s průtokovým stavem.....	69
Tabulka 13: Index podobnosti	70
Tabulka 14: Index API.....	74
Tabulka 15: Indexy související s průtokovým stavem.....	78
Tabulka 16: Charakteristiky související s průtokovým stavem	78

Tabulka 17: Index podobnosti	79
Tabulka 18: Index API.....	82
Tabulka 19: Charakteristiky související s průtokovým stavem.....	85
Tabulka 20: Indexy související s průtokovým stavem	85
Tabulka 21: Index podobnosti	85
Tabulka 22: Časové ukazatele během zimní epizody	92
Tabulka 23: Časové ukazatele během letní epizody	93
Tabulka 24: Časové ukazatele během podzimní epizody.....	93
Tabulka 25: Četnosti související s Francou indexem	94
Tabulka 26: Četnosti související s I_{EKP} indexem	95
Tabulka 27: Četnosti související s Q_{max}/aep	95
Tabulka 28: Četnosti související s dobou trvání Zvýšení – Kulminace	96
Tabulka 29: Četnosti související s dobou trvání Kulminace – Snížení	97
Tabulka 30: Četnosti související s dobou Trvání hlavní epizody.....	97
Tabulka 31: Četnosti související se Zvýšením průtoku.....	98
Tabulka 32: Četnosti související s Dobou kulminace.....	99
Tabulka 33: Rozdíly ve fyzickogeografických podmínkách jednotlivých vodních toků a povodích.....	103

Graf 1: Měrná křivka průtoku pro Černý potok (zdroj: data KFGG PřF UK; zpracování autor)	52
Graf 2: Měrná křivka průtoku pro Ranklovský potok (zdroj: data KFGG PřF UK; zpracování autor)	52
Graf 3: Měrná křivka průtoku pro Rokytka (zdroj: data KFGG PřF UK; zpracování autor)	53
Graf 4: Vývoj teploty a výšky hladiny na potoce Rokytka (zdroj: data KFGG PřF UK; zpracování autor).....	56
Graf 5: Úhrny srážek během zimní situace (zdroj: data KFGG PřF UK; zpracování autor)	58
Graf 6: Vývoj průtokového stavu během zimní epizody na Černém potoce (zdroj: data KFGG PřF UK; zpracování autor)	59
Graf 7: Vývoj průtokového stavu během zimní epizody na Ranklovském potoce (zdroj: data KFGG PřF UK; zpracování autor)	59

Graf 8: Vývoj průtokového stu během zimní epizody na Rokytce (zdroj: data KFGG PřF UK; zpracování autor)	59
Graf 9: Vývoj teploty a výšky hladiny na potoce Rokytka (zdroj: data KFGG PřF UK; zpracování autor)	64
Graf 10: Vývoj výšky sněhové pokrývky (zdroj: data KFGG PřF UK; zpracování autor)	66
Graf 11: Vývoj a množství srážek v průběhu jarní epizody (zdroj: data KFGG PřF UK; zpracování autor)	67
Graf 12: Vývoj průtokového stavu během jarní epizody na Černém potoce (zdroj: data KFGG PřF UK; zpracování autor)	68
Graf 13: Vývoj průtokového stavu během jarní epizody na Ranklovském potoce (zdroj: data KFGG PřF UK; zpracování autor)	68
Graf 14: Vývoj průtokového stavu během jarní epizody na Rokytce (zdroj: data KFGG PřF UK; zpracování autor)	68
Graf 15: Vývoj a množství srážek v průběhu letní epizody (zdroj: data KFGG PřF UK; zpracování autor)	76
Graf 16: Vývoj průtokového stavu během letní epizody na Černém potoce (zdroj: data KFGG PřF UK; zpracování autor)	76
Graf 17: Vývoj průtokového stavu během letní epizody na Ranklovském potoce (zdroj: data KFGG PřF UK; zpracování autor)	76
Graf 18: Vývoj průtokového stavu během letní epizody na Rokytce (zdroj: data KFGG PřF UK; zpracování autor)	77
Graf 19: Vývoj a množství srážek v průběhu podzimní epizody (zdroj: data KFGG PřF UK; zpracování autor)	83
Graf 20: Vývoj a množství srážek v průběhu podzimní epizody (zdroj: data KFGG PřF UK; zpracování autor)	83
Graf 21: Vývoj průtokového stavu během podzimní epizody na Černém potoce (zdroj: data KFGG PřF UK; zpracování autor)	84
Graf 22: Vývoj průtokového stavu během podzimní epizody na Ranklovském potoce (zdroj: data KFGG PřF UK; zpracování autor)	84
Graf 23: Vývoj průtokového stavu během podzimní epizody na Rokytce (zdroj: data KFGG PřF UK; zpracování autor)	84
Graf 24: Hodnoty indexu v jednotlivých povodích během epizod v průběhu roku	87
Graf 25: Hodnoty indexu v jednotlivých povodích během epizod v průběhu roku	88
Graf 26: Hodnoty indexu v jednotlivých povodích během epizod v průběhu roku	88

Graf 27: Doba trvání k dosažení kulminace.....	90
Graf 28: Doba mezi kulminací a snížením na jednotlivých pozorovaných tocích	90
Graf 29: Doba trvání hlavní epizody na jednotlivých pozorovaných tocích v průběhu roku	90
Graf 30: Porovnání průtoku na jednotlivých tocích v průběhu zimní epizody (zdroj: data KFGG PřF UK; zpracování autor)	92
Graf 31: Porovnání průtoku na jednotlivých tocích v průběhu jarní epizody (zdroj: data KFGG PřF UK; zpracování autor)	92
Graf 32: Porovnání průtoku na jednotlivých tocích v průběhu letní epizody (zdroj: data KFGG PřF UK; zpracování autor)	93
Graf 33: Porovnání průtoku na jednotlivých tocích v průběhu podzimní epizody (zdroj: data KFGG PřF UK; zpracování autor)	94

12 Přílohy

Příloha 1: Průběh a popis stopovacího experimentu na Černém potoce

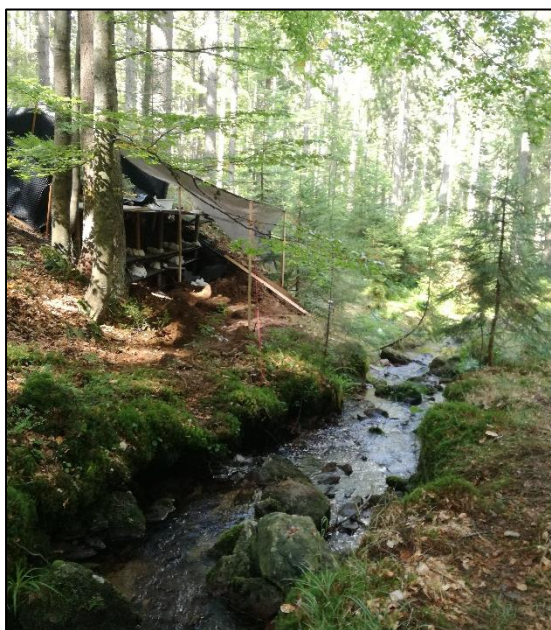
Následující text je převzat a upraven na základě zprávy: Sledování formování odtoku na svazích Jizerských hor a Šumavy pomocí stopovacích experimentů (Kulasová et al. 2017) o provedeném experimentu.

Úvod

Při posuzování hydrogramu odtoku není ve většině případů možné určit podstatu procesů odehrávající se ve svahu nebo v povodí. Ke zjištění cest odtoku látek z povodí je tedy nutné zjištění preferenčních cest. Jednou z metod používaných k tomuto zjištění je použití modelu Multiple Integrated Pathways (Davies et al. 2011). Pro fungování tohoto modelu jsou nutná vstupní data ve formě tzv. tracerových dat, která je možné získat terénními experimenty v nichž mohou být za pomoci skrápění simulované extrémní srážky na plochu a zároveň i povodeň.

Lokalita

Lokalita pro výzkum sledování formování odtoku se nacházela v horní části povodí Černého potoka ve vzrostlém lese (buk, javor, smrk ztepilý). Z hlediska půdních poměrů v povodí převažují kryptopodzoly s různými podtypy, podzoly, rankery či gleje. Obecně se hloubky půd v povodí pohybují kolem 40–50 cm s větším množstvím skeletu a jsou ovlivňovány převážně vegetací a sklonitostí (Vlček 2011).



Lokalita výzkumu (zdroj: autor)



Pohled na experimentální svah (zdroj: autor)

Materiál a metody provádění experimentu

Popis automatického rozstřikovacího systému

Na základě výzkumu z předchozích let byl zkonstruován automatický rozstřikovací systém pro simulaci deště a v souvislosti s ním navržena sestava pro použití v terénu. Použití a aplikaci celé sestavy pro výzkum lze popsat následovně. Na vytyčenou plochu o 25 m² se umístí do čtverce devět trysek postřikovače a dále čidlo pro měření vlhkosti půdy, které je instalováno v hloubce 50 cm a údaje z něj jsou zaznamenávány pomocí připojeného dataloggeru. Celá vytyčená plocha je ohraničena vyšším plůtkem. Voda je do trysek postřikovače přiváděna pomocí čerpadla na základě blízkého zdroje vody

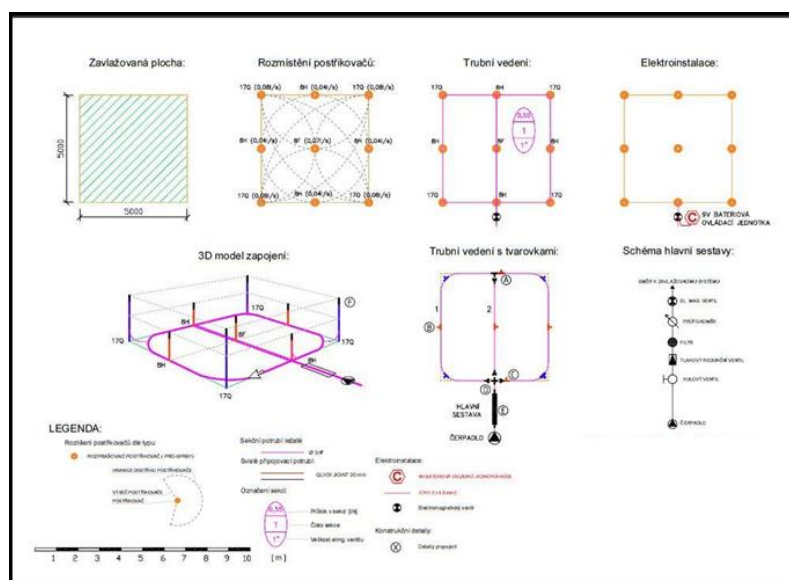


Schéma rozmístění postřikovačů (zdroj: Kulasová et al. 2017)

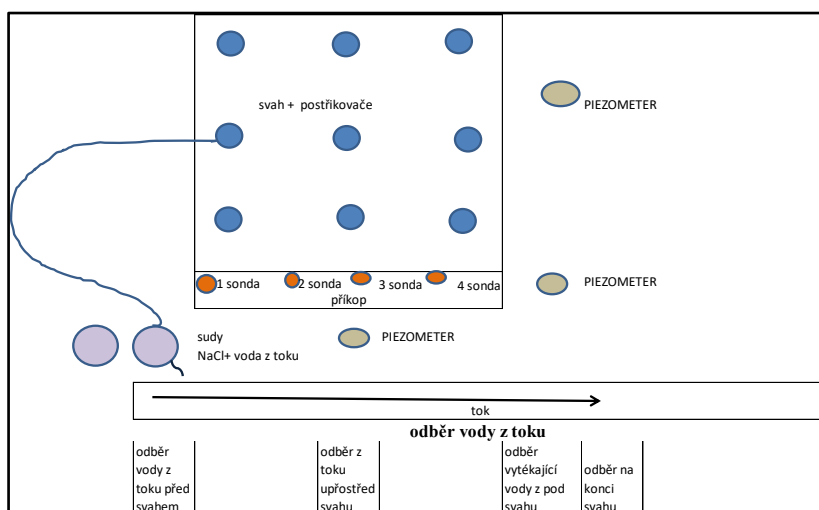


Schéma pokusu v lese v povodí Černého potoka (zdroj: Kulasová et al. 2017)

Popis experimentu

Ve výše pospané lokalitě byl vystavěn experimentální zaříznutý svah, ležící na konci plochy ohraničené plůtkem a zároveň 1,5 m od toku, jehož výška odpovídala 120 cm. Přičemž drážky byly instalované v zářezu svahu ve výšce 15 cm a 50 cm od rostlinného pokryvu. Případná voda stékající z těchto drážek měla být za pomoci okapů odváděna do připravených, velkých překlápěčů (tipping bucketů). Samotný začátek experimentu (skrápění plochy nad svahem) začal 2. 9. 2017, kdy byl svah skrápěn pouze čistou vodou z toku spolu s občasným deštěm. V pozdější fázi pokusu bylo pro zjištění cesty odtoku využíváno jako značkovače NaCl, rozpuštěné v sudech v koncentraci 5 mg/l (průměrná vodivost se pohybovala kolem 9,8 mS/cm) a právě tohoto roztoku bylo následně využíváno pro skrápění pokusné plochy.



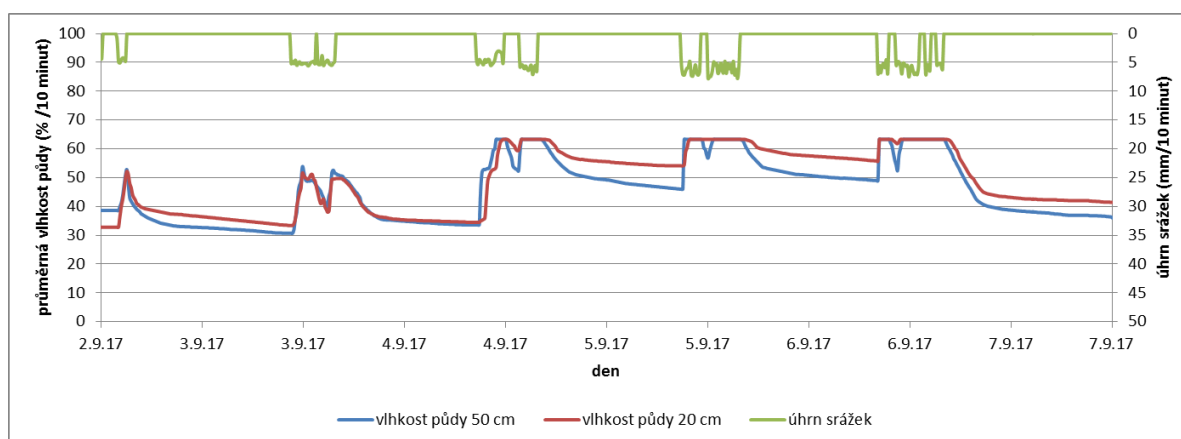
Experimentální svah a jeho popis (zdroj: autor)

Údaje o skrápění

lokalita	období	celková spotřeba vody (l)		počet hodin skrápění		průměrný hodinový úhrn srážek mm/m ²	
		H ₂ O	H ₂ O+NaCl	H ₂ O	H ₂ O+NaCl	H ₂ O	H ₂ O+NaCl
Les – 2017	2.9.–6. 9. 2017	8505	19991	9:54	11:37	35,66	48,9

Naměřené vlhkosti půdy

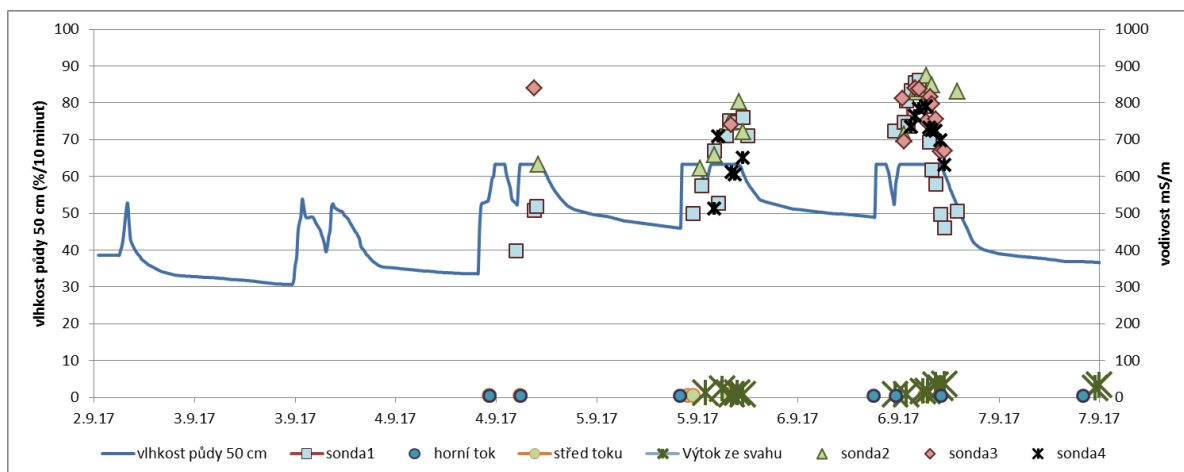
lokalita	období	vlhkost půdy 50cm (%)	den s dosaženým maximem	vlhkost půdy 20cm (%)	den s dosaženým maximem
Šumava – les 2017	2.9.–6. 9. 2017	30,7–63,3 (94 x)	5.,6. 9. v době skrápění	32,8–63,3 (104 x)	4.,5.,6. 9. v době skrápění



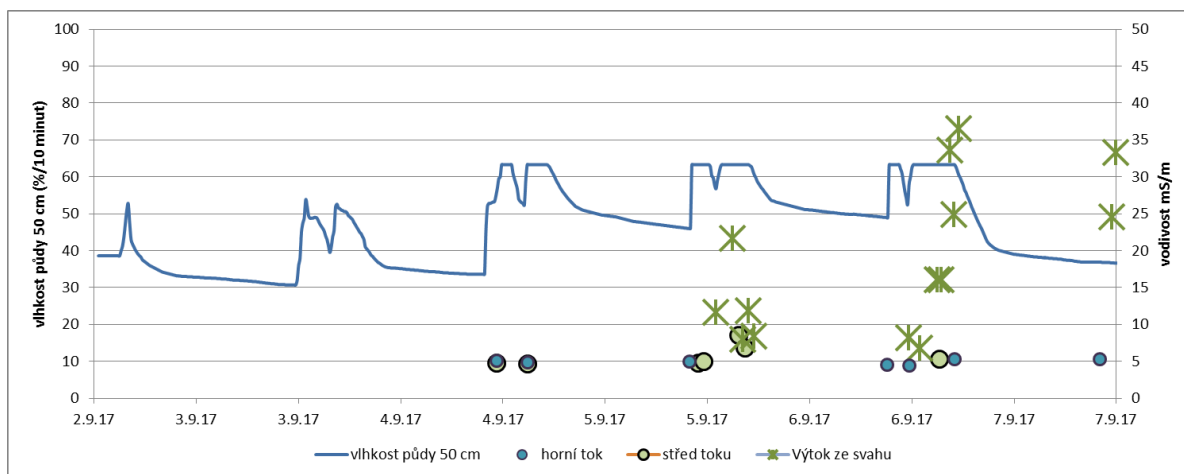
Průběh skrápění a vlhkosti půdy (zdroj: Kulasová et al. 2017)

Výsledky

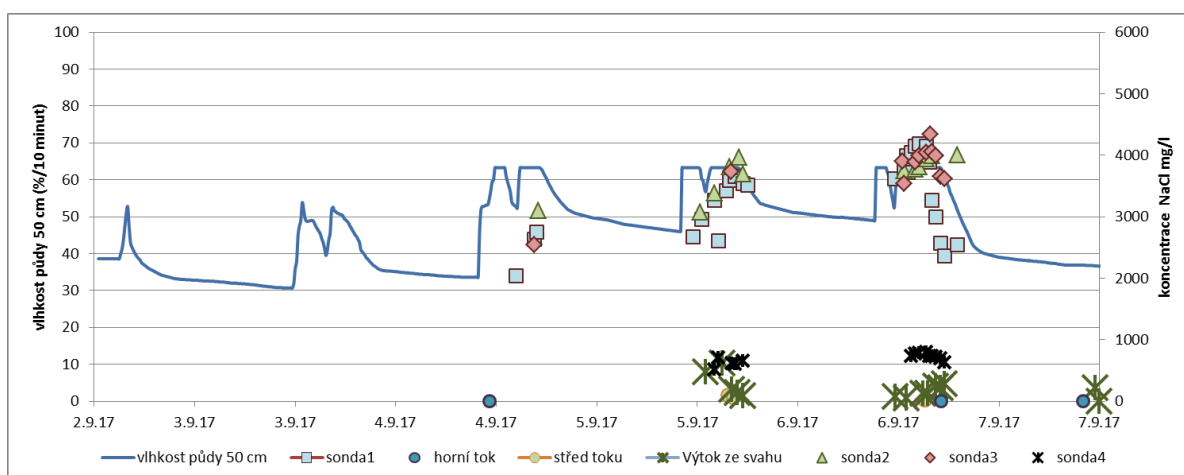
V průběhu druhého dne experimentu se začala objevovat voda v sondách pod svahem. Následující den i v průseku v dolním levém rohu svahu, kde voda stékala relativně velkou rychlostí po kameni dolů. S přibývajícím časem voda vyvěrala i v dalších průsakách (sondách). Ovšem prostřednictvím drážek se voda do tipping bucketů nedostala, jelikož se objevovala ve větších hloubkách svahu, než byly připravené drážky. V průběhu pokusu (na středu, za svahem a z výtoku ze svahu) ale i před pokusem (z toku) byly prováděny odběry vzorků vody. Ve vzorcích vody a v toku byla průběžně měřena elektrická vodivost a následně byla v laboratoři provedena analýza vzorků vody na množství NaCl.



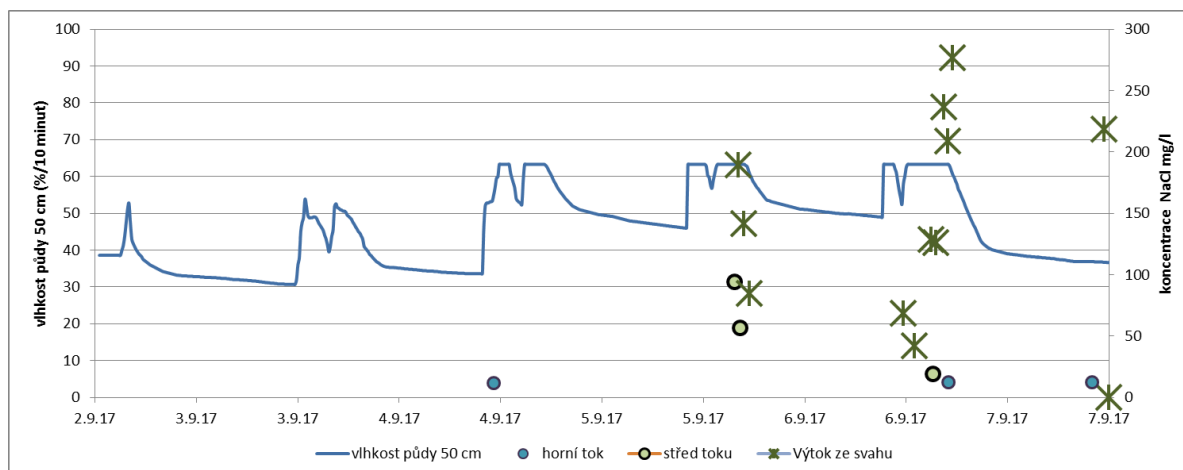
Průběh vodivosti v toku a sondách (zdroj: Kulasová et al. 2017)



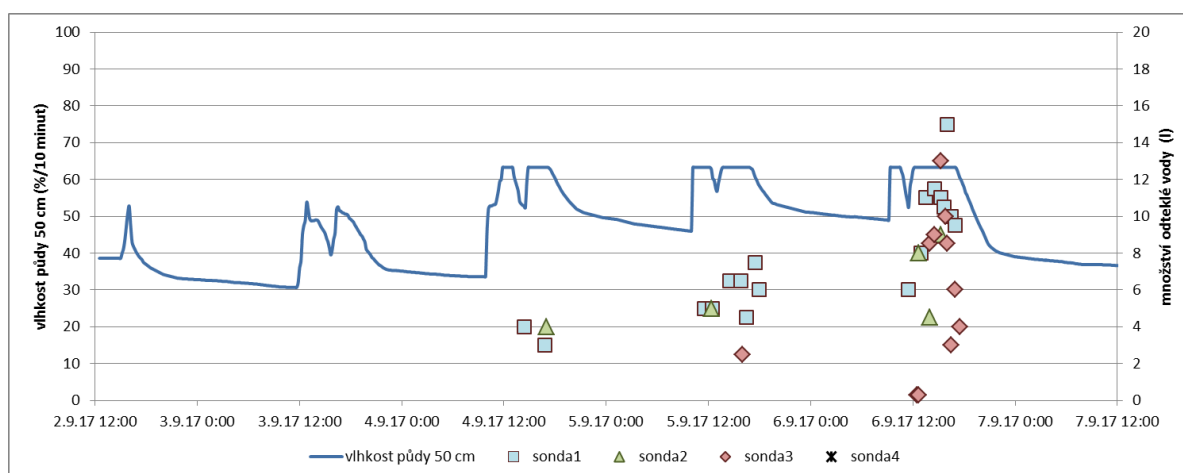
Průběh vodivosti v toku (zdroj: Kulasová et al. 2017)



Průběh koncentrace NaCl v sondách a v toku (zdroj: Kulasová et al. 2017)



Průběh koncentrace NaCl v toku (zdroj: Kulasová et al. 2017)



Množství proteklé vody ze svahu do sond (zdroj: Kulasová et al. 2017)

Dosažené maximální hodnoty vodivosti

lokalita	období	Vodivost mS/m			
		Tipping bucket	sonda	tok	výtok ze svahu
Šumava – les 2017	2.9.–6. 9. 2017	0	862 (6. 9. 14:30)	5,3 (6. 9. 17:00)	36,5 (6. 9. 17:30)

Dosažené maximální hodnoty koncentrace NaCl

lokalita	období	koncentrace NaCl mg/l			
		Tipping bucket	sonda	tok	výtok ze svahu
Šumava – les 2017	2.9.–6. 9. 2017	0	4338 (6. 9. 15:50)	12,2 (6. 9. 17:00)	681 (5. 9. 15:00)

Zhodnocení

Z uvedených dosažených výsledků vyplývají následné závěry:

Vlhkost půdy a odtok vody

Vlhkost půdy se v tomto experimentu zvyšovala v závislosti na délce skrápění. Jak již bylo výše uvedeno i přes delší období skrápění voda do překlápěčů neodtékala, ale vyvěrala těsně pod zářezem svahu. Z důvodů sledování vodivosti a koncentrace NaCl bylo v místech vývěru vody vyhloubeno několik sond o velikosti cca 30-40 cm. Ovšem k povrchovému odtoku v lese i přes velké úhrny srážek v průběhu experimentu nedocházelo.

Výsledky vodivosti vody

Během experimentu byly několikrát za den odebírány vzorky z toku před pokusným svahem. Hodnoty těchto vzorků se pohybovaly kolem 5 mS/m. Během skrápění docházelo k zřetelnému výtoku v blízkosti svahu, kde vodivost začala stoupat 3-4 den skrápění až k hodnotě 36,5 mS/m v závěru experimentu. Vodivost v odebraných vzorcích ze sond postupně stoupala a nejvyšších hodnot bylo dosaženo v posledním dni skrápění roztokem NaCl (862 mS/m). Později začala klesat.

Výsledky koncentrace NaCl

Výsledky koncentrací NaCl kopírují výsledky vodivosti. Hodnoty koncentrace NaCl z jednotlivých odebíraných míst jsou zobrazeny v tabulce č. 25, kde si lze povšimnout vysokých naměřených hodnot ze sond, a především u výtoku ze svahu.

Závěr

Odtok vody ze svahu v lesním prostředí závisí především na preferenčních cestách, kdy je v lesním porostu značné množství cest po kořenech či kamení. Voda tedy spíše proudí do spodních vrstev a nezůstává stát na povrchu jako na loukách. Faktorem, který též hraje roli v této problematice je sklon terénu.