

Univerzita Karlova v Praze

Přírodovědecká fakulta

Studijní program: Geografie

Studijní obor: Geografie a kartografie



Markéta Součková

DYNAMIKA ODTOKU V POVODÍ HORNÍ KŘEMELNÉ

STREAMFLOW DYNAMICS IN THE UPPER KŘEMELNÁ RIVER BASIN

Bakalářská práce

Vedoucí závěrečné práce: RNDr. Jan Kocum, Ph.D.

Praha, 2014

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem závěrečnou práci zpracovala samostatně a že jsem uvedla všechny použité informační zdroje a literaturu. Tato práce ani její podstatná část nebyla předložena k získání jiného nebo stejného akademického titulu.

V Praze, 21. 5. 2014

Podpis

Poděkování:

Tímto bych chtěla poděkovat všem, kteří mi pomohli s vypracováním mé bakalářské práce. Dík patří RNDr. Janu Kocumovi, Ph.D. za vedení práce, RNDr. Michalu Jeníčkovi, Ph.D. za odborné rady při realizaci praktické části a Ing. Milanu Sůvovi za konzultaci statistických metod. Také děkuji Českému hydrometeorologickému ústavu za poskytnutí dat, při jejichž obstarávání mi pomohla pí. Helena Příbylová. Nesmírně vděčím za podporu, již mi poskytla má rodina a mí nejbližší a vytvořili mi tak příhodné prostředí pro zpracování.

Abstrakt

Práce analyzuje a shrnuje poznatky o dynamice odtoku v povodí horní Křemelné (JZ Čechy - Šumava). Teoretická část práce popisuje dosavadní poznatky o hydrologických extrémech v kontextu probíhající klimatické změny v regionu střední Evropy. Rovněž se věnuje retenci vody v pramenných oblastech, fyzickogeografickým faktorům ovlivňujícím odtok a přístupům k hodnocení odtoku. V rámci praktické části práce byl důraz kladen na korektní sestavení konzumpčních křivek a očištění časových řad. Prostřednictvím základní hydrologické statistiky byl poté zhodnocen denní, měsíční a roční režim průtoků ve státním profilu Stodůlky a ve vybraných experimentálních povodích Katedry fyzické geografie a geoekologie PřF UK v Praze. Výsledky poukazují na mírně nevyrovnaný režim průtoků v povodí horní Křemelné. Nejvyšší vodnost je typická pro jarní období během tání sněhové pokrývky a zřetelné jsou také zvýšené průtoky v době zimních povodní. Zvýšené průtoky v letním období se projevují v denním, nikoliv v měsíčním chodu průtoků, a to z důvodu krátké doby jejich projevu.

Klíčová slova: dynamika odtoku, hydrologické extrémy, pramenné oblasti, Křemelná, Šumava

Abstract

Submitted thesis analyses and summarizes findings about runoff dynamics in the upper Křemelná River basin (SW Czechia, Šumava Mountains). A theoretical part of the thesis describes existing findings about hydrological extremes related to ongoing climatic change in the Central Europe region. It is also focused on water retention in headwaters, physical-geographic factors influencing runoff and runoff assessment approaches. Within the practical part of the thesis the accent was put on correct construction of discharge curves and on time series cleansing. Using basic hydrological statistics the daily, monthly and annual runoff regime in Stodůlky state profile and in chosen experimental catchments of the Department of Physical Geography and Geoecology, Faculty of Science, Charles University in Prague, were assessed. Results show slightly unbalanced runoff in the upper Křemelná River basin. The highest rate of discharge is typical for spring period during snowmelt and increased discharges are significant also within winter floods. Increased summer discharges are reflected in daily, but not in monthly mode, due to their short time of duration.

Keywords: streamflow dynamics, hydrological extremes, headwaters, Křemelná River, Šumava Mts.

ZADÁNÍ PRÁCE

Název práce:

Dynamika odtoku v povodí horní Křemelné (Streamflow dynamics in the upper Křemelná River basin)

Cíle práce:

- 1) sestavení konsumpčních křivek pro experimentální profily v povodí horní Křemelné a očištění časových řad průtoků ve sledovaných profilech,
- 2) zhodnocení dynamiky odtoku v povodí horní Křemelné prostřednictvím základní hydrologické statistiky, analýzy chodu odtoku (denního, měsíčního a ročního režimu průtoků), čar překročení průměrných denních průtoků.

Zájmové území:

povodí horní Křemelné, Šumava

Metody:

rešerše tuzemské a zahraniční literatury, hydrometrování, sestavení konsumpčních křivek pro vybrané profily, očištění časových řad, aplikace vybraných statistických metod hodnocení odtokového režimu a variability odtoku

Datové zdroje:

- 1) odborná literatura,
- 2) průměrné denní průtoky (profil Křemelná-Stodůlky) a úhrny srážek (stanice Prášily) z databáze ČHMÚ a 10ti minutové záznamy vodních stavů z automatických stanic v experimentálních profilech PřF UK v Praze,
- 3) ArcGIS Desktop verze 10.2, MS Office, Matlab a Statistica 12 - zpracování a analýza dat, Digitální báze vodohospodářských dat (DIBAVOD) - vizualizace a tvorba mapových výstupů, Základní báze geografických dat (ZABAGED) - výškopis.

Jméno řešitele: Markéta Součková

Jméno vedoucího práce: RNDr. Jan Kocum, Ph.D.

OBSAH

PŘEHLED POUŽITÝCH ZKRATEK A TERMÍNŮ	8
1 ÚVOD.....	9
1.1 CÍLE A STRUKTURA PRÁCE	10
2 SOUČASNÝ STAV POZNÁNÍ.....	12
2.1 EXTRÉMNI ODTOKOVÉ SITUACE VE VAZBĚ NA KLIMATICKÉ ZMĚNY	12
2.2 RETENCE VODY V KRAJINĚ	16
2.3 DYNAMIKA ODTOKU V PRAMENNÝCH OBLASTECH.....	19
2.4 PŘÍSTUPY K HODNOCENÍ DYNAMIKY ODTOKU	27
2.4.1 <i>Statistické přístupy</i>	27
2.4.2 <i>Fyzikálně - chemické přístupy</i>	30
2.4.3 <i>Geochemické přístupy</i>	31
3 FYZICKO-GEOGRAFICKÁ CHARAKTERISTIKA.....	33
3.1 VYMEZENÍ ZÁJMOVÉHO ÚZEMÍ	33
3.2 GEOLOGICKÉ POMĚRY	35
3.3 GEOMORFOLOGICKÉ POMĚRY	36
3.4 PŮDNÍ POKRYV	40
3.5 BIOGEOGRAFICKÉ POMĚRY	41
3.6 KRAJINNÝ POKRYV	43
3.7 KLIMATICKÉ PODMÍNKY	44
3.7.1 <i>Teplota</i>	44
3.7.2 <i>Srážky</i>	44
3.7.3 <i>Povětrnostní podmínky, oblačnost a sluneční svit, sněhová pokrývka</i>	45
3.8 HYDROLOGICKÉ POMĚRY	45
4 MATERIÁL A METODY	50
4.1 DATOVÉ ZDROJE.....	50
4.2 CHYBY MĚŘENÍ	51
4.3 METODIKA PRÁCE	52
5 VÝSLEDKY.....	55
5.1 SESTAVENÍ KONSUMPČNÍCH KŘIVEK EXPERIMENTÁLNÍCH POVODÍ.....	55
5.2 ANALÝZA ODTOKU V POVODÍ HORNÍ KŘEMELNÉ	57
5.2.1 <i>Režim denních průtoků</i>	58

5.2.2	<i>Režim měsíčních průtoků</i>	60
5.2.3	<i>Režim ročních průtoků</i>	61
5.3	ANALÝZA ODTOKU V EXPERIMENTÁLNÍCH POVODÍCH HORNÍ KŘEMELNÉ A SLATINNÉHO POTOKA	62
5.3.1	<i>Režim denních průtoků</i>	63
5.3.2	<i>Režim měsíčních průtoků</i>	66
5.3.3	<i>Režim ročních průtoků</i>	68
5.3.4	<i>Analýza hodinových průtoků za letní povodně a v době tání sněhu</i>	69
6	DISKUZE	71
7	ZÁVĚR	74
8	LITERATURA	75
8.1	POUŽITÉ ZDROJE.....	75
8.2	DATOVÉ ZDROJE.....	81
	SEZNAM OBRÁZKŮ	82
	SEZNAM TABULEK	84
	SEZNAM PŘÍLOH	85

PŘEHLED POUŽITÝCH ZKRATEK A TERMÍNŮ

AVČR – Akademie věd České republiky

CENIA - Česká informační agentura životního prostředí

ČHMÚ – Český hydrometeorologický ústav

ČVVS – Česká vědeckotechnická vodohospodářská společnost

EEA – Evropská environmentální agentura

ECE – Economic Commission for Europe

IAEA – International Atomic Energy Agency, Mezinárodní agentura pro atomovou energii

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change

GNIP – Global Network of Isotopes in Precipitation

GNIR – Global Network of Isotopes in Rivers

KFGG – Katedra fyzické geografie a geoekologie

PřF UK – Přírodovědecká fakulta Univerzity Karlovy

V-SMOW – Standard Mean Ocean Water

VÚV T. G. M. – Výzkumný ústav vodohospodářský Tomáše Garrigua Masaryka

WMO – World Meteorological Organization, Světová meteorologická organizace

ZABAGED – Základní Báze Geografických Dat

1 ÚVOD

V kontextu klimatických změn, které aktuálně potvrzuje páté vydání hodnotící zprávy IPCC, pozorujeme v posledních letech častější výskyt extrémních hydrologických jevů, jejichž vzniku nedokážeme zabránit. Katastrofální povodně a extrémně suchá období mají velký dopad na značnou část populace a způsobují nemalé škody nejen ekonomického charakteru. Aby bylo možné vliv těchto událostí minimalizovat, je nezbytné zavést účinná preventivní opatření snižující dopady zmíněných hydrologických extrémů. Součástí opatření by se měly stát postupy realizované v pramenných oblastech řek, kde tyto události z velké části vznikají. Za vhodná opatření, jak uvádí Janský a Kocum (2007), se považují ta navyšující retenci vody v krajině. Provádějí se tedy opatření, která jsou zcela proti těm, která se aplikovala v 60. a později 80. letech minulého století, kdy se pod záminkou tzv. náhradních rekultivací provádělo zatrubnění, narovnání a prohloubení mnoha vodních toků. V důsledku toho docházelo k rychlejšímu odtoku vody z povodí a následnému kumulování povodňové vlny níže po proudu řeky. Naopak retenční opatření by měla vodu v horních částech povodí co nejvíce zadržet a snížit tak kulminační průtok níže po proudu. Retenční opatření by rovněž měla významně napomoci v obdobích hydrologického sucha, kdy je v krajinném prostředí nedostatek vody. Aplikací navrhovaných opatření by mělo dojít k zadržení vody v krajině a tedy k navýšení odtoku během suchých period. Velmi vhodným územím pro výzkum efektivnosti těchto opatření je pramenná oblast Otavy v centrální části Šumavy. Proto i KFGG PřF UK v Praze směřuje již několik let své aktivity právě do této oblasti, představující ideální terénní laboratoř.

Pro efektivní zvýšení retence vody je potřeba analyzovat vliv jednotlivých fyzicko-geografických a antropogenních faktorů na formování odtoku a jeho dynamiku. Existence sítě automatických hladinoměrných zařízení Přírodovědecké fakulty, vodoměrných a srážkoměrných stanic ČHMÚ, vytvořila vhodné podmínky pro sledování dynamiky odtokového režimu v povodí horní Křemelné, jež je předmětem předkládané práce. Právě pramenná oblast povodí horní Otavy představuje jednu z oblastí charakteristickou vznikem

extrémních odtokových událostí. V minulosti zaujímaný centralizovaný přístup k ochraně před hydrologickými extrémy spočíval v implementaci izolovaných strukturálních opatření především technického rázu. Moderní doba však vyžaduje komplexní pohled na danou problematiku a klade důraz na detailní vyhodnocení jednotlivých složek.

Aktuálnost a potřebu řešení tématu dokládá nejen již zmíněná hodnotící zpráva IPCC ale i mnohé projekty řešené Katedrou fyzické geografie a geoekologie Přírodovědecké fakulty Univerzity Karlovy, VÚV TGM a ČHMÚ. V pramenné oblasti Otavy se Katedra fyzické geografie a geoekologie (dále jen KFGG) věnuje od roku 2005 výzkumu zabývajícím se hodnocením retenční schopnosti zdejší krajiny a hodnocením jednotlivých faktorů a složek odtoku. Soustavný výzkum v pramenné oblasti Otavy začal na KFGG v roce 2006, instalací automatických hladinoměrů na vybraných tocích. V současné době je KFGG PřF UK řešitelem projektu: *Retenční potenciál pramenných oblastí ve vztahu k hydrologickým extrémům (GAČR 13-32133S)*, jehož hlavním řešitelem je prof. RNDr. Bohumír Janský, CSc. (období řešení 2013-2017). V oblasti Šumavy je také KFGG řešen projekt: *Vliv disturbancí horské krajiny na dynamiku fluviálních procesů (GAČR P209/12/0997)*, hlavním řešitelem je doc. RNDr. Jakub Langhammer, Ph.D. (období řešení 2012-2014). Specifické poměry povodí horní Křemelné, představující malé horské povodí s velmi rychlým odtokovým procesem, dokládají nutnost znalosti chodu odtokového režimu. Právě znalost režimu odtoku představuje jakýsi odrazový můstek a může napomoci k aplikování správných protipovodňových opatření a taktéž opatření zlepšujících retenci vody v území.

1.1 Cíle a struktura práce

Hlavním cílem předkládané práce je zhodnocení dynamiky odtoku v povodí horní Křemelné prostřednictvím hydrologické statistiky, analýzy chodu odtoku - denního, měsíčního a ročního režimu průtoků. Pro dosažení hlavního cíle práce byly stanoveny i dílčí cíle. Prvním z nich, klíčovým pro korektní využití principu hydrologické statistiky, bylo sestavení konsumpčních křivek, druhým pak očištění časových řad průtoků od chyb v jednotlivých experimentálních profilech.

Předložená práce je logicky strukturována do teoretické a praktické části. V teoretické části je provedena rešerše zmíněné problematiky beroucí v potaz vliv klimatické změny řešené pomocí retence, faktory ovlivňující dynamiku odtoku, metody hodnocení dynamiky odtoku, fyzicko-geografickou charakteristiku zájmového území a použité datové zdroje, chyby měření a metodické přístupy. Praktická část zahrnuje vlastní práci v terénu, konstrukci konsumpčních křivek a očištění časových řad od výpadků v experimentálních povodích. Dále je provedena

analýza odtoku v závěrovém profilu Stodůlky a analýza odtoku vybraných dvou experimentálních povodí.

Poslední část této práce představuje diskuze shrnující získané poznatky s poznatky obsaženými v tuzemské a zahraniční literatuře, reprezentativnost období a jednotlivých profilů z hlediska používaných dat, možnosti a limity hodnocení hydrologických extrémů. V úplném závěru jsou shrnuty klady a nedostatky celé práce a možnosti, na které je možné dále navazovat.

2 SOUČASNÝ STAV POZNÁNÍ

Tato kapitola obsahuje rešerši tuzemské a zahraniční literatury zabývající se vlivem klimatické změny na odtokové poměry, dopady hydrologických extrémů a možnými adaptačními opatřeními. V souvislosti s tím rovněž řeší retenční potenciál krajiny a pramenných oblastí. Následně jsou popsány jednotlivé odtokové složky, fyzicko-geografické faktory ovlivňující odtok a jeho dynamiku. V závěru kapitoly jsou představeny základní metody hodnocení variability odtoku.

2.1 Extrémní odtokové situace ve vazbě na klimatické změny

Znalost vývoje klimatu přes veškeré výzkumné snahy je doposud omezená. Přesto se však většina vědců shoduje na tom, že hydrologický cyklus bude, z důvodu klimatických změn, intenzivnější a rychlejší (Šachová 2013). Výskyt hydrologických extrémů v podobě povodní a sucha proto bude častější. Klimatická změna může negativně působit na hydrologické režimy obou extrémů (Pretel et al. 2011).

Povodně jsou spojené s extrémní srážek, o suchu mluvíme v souvislosti s nedostatkem srážek, extrémně vysokými teplotami přispívajícími k vysušování. Povodně se vyvíjejí za krátkou dobu a projevují se poměrně místně, na rozdíl od sucha, které se vytváří měsíce až roky a je plošně rozsáhlé (Trenberth 2005). Dle dosud provedených výzkumů je s vyšší pravděpodobností očekáván výskyt sušších období než zvětšení intenzity a četnosti přívalových srážek způsobující povodně (Pretel et al. 2011).

Povodeň z fyzicko-geografického pohledu je definována jako situace, při níž množství protékající vody překročí z různých příčin průtočnou kapacitu koryta toku (Langhammer 2007). Z obecného pohledu povodeň popisujeme jako situaci extrémního odtoku, kdy jsou ohroženy lidské životy, majetek a infrastruktura (Estrela 2001). Podle ČSN 750110 povodeň je „výrazné stoupnutí hladiny řeky způsobené náhlým zvětšením průtoků nebo zmenšením průtočnosti koryta (ledovou zácpou, ucpáním mostních otvorů)“. Jak uvádí Hladík (2009) dle Vodního

zákona č. 245/2001 Sb. se povodní rozumí „přechodné významné zvýšení hladiny vodních toků nebo jiných povrchových vod, při kterém již voda zaplavuje území mimo koryto vodního toku a může způsobit škody tím, že z určitého území nemůže dočasně přirozeným způsobem odtékat nebo její odtok je nedostatečný, případně dochází k zaplavení území při soustředěném odtoku srážkových vod“.

Přestože sucho je fenomén snadno v přírodě rozpoznatelný, obecná definice sucha je poměrně složitá, neboť sucho je jevem komplexním a je potřeba znát chod atmosférických činitelů a klimatický režim oblastí (Fiala 2011 a Šachová 2013). Období sucha Beran a Rodier (1985) charakterizují jako pokles v dostupnosti vody v určitý čas či v určitém místě. Při hodnocení fáze sucha projevující se nedostatkem srážek sledujeme zásoby vody ve vodních nádržích, zaklesnutí podzemních vod a také velikost odtoku z povodí (Němec a Hladný 2006). Hydrologické sucho je tedy charakterizováno poklesem průtoků v tocích, poklesem hladiny podzemní vody a následným zmenšením podzemního odtoku a rovněž poklesem vydatnosti pramenů (Fiala 2011). Pro povrchové toky hydrologické sucho definujeme počtem za sebou jdoucích dnů, týdnů, měsíců, roků s výskytem velmi malých průtoků vzhledem k dlouhodobým průměrům. V České republice se k tomu používají průtoky v průměru menší než 355 dní v roce. V souvislosti s tím se zavedl termín suchá období – alespoň tři po sobě jdoucí dny, jejichž průměrný průtok je menší nebo roven Q_{355} . Vodohospodáři hodnotu 355 denního průtoky pokládají za horní hranici možného odběru vody bez technických opatření v korytě (Němec a Hladný 2006).

Klimatická změna je definována jako změna stavu klimatu, kterou lze zjistit (např. pomocí statistických testů). Příkladem mohou být změny ve středních hodnotách anebo změny proměnlivosti parametrů klimatu přetrvávající delší dobu, obvykle několik desetiletí nebo i déle. Změna klimatu může být způsobena buď přírodními procesy uvnitř klimatického systému, extrémními radiačními působeními či trvalými antropogenními změnami ve složení atmosféry nebo ve využití krajiny (IPCC 2012).

Vlivem povodní může docházet k usazování kalů, erozivní činnosti proudění, znehodnocení zdrojů pitné vody např. ve studnách, devastaci hospodářských i obytných objektů, materiálními škodám a poškození kulturní krajiny. Velké povodně způsobují ekonomické ztráty a ztráty na životech. Negativní dopady povodní v České republice vedly k důkladnému přehodnocení celého systému a prevenci (Němec a Hladný 2006).

Dopady sucha se projevují v mnoha oblastech lidské společnosti i přírodního prostředí. Nedostatek vody zvyšuje její náchylnost ke kontaminaci. Při malých průtocích poté může dojít

k snížení kvality vody kvůli nedostatečnému zředění do ní vypouštěných odpadních vod, což vede k omezení nebo úplnému zastavení dodávek pitné vody (Fiala 2011). Z hlediska dopadů na zemědělství dochází k omezení dodávek závlahové vody, snížení množství půdní vláhy a uvadání rostlin a snížení doживosti zvířat atd. Problémy mohou nastat i v dodávkách energie z vodních elektráren, odběru vody na chlazení pro tepelné a jaderné elektrárny. Suché a horké počasí podmiňuje výskyt požárů. Pro malé průtoky je typická zvýšená koncentrace fosforu vedoucí k vytvoření vodního květu, což snižuje obsah kyslíku ve vodě. Snížení obsahu kyslíku ve vodě ohrožuje mnohé vodní živočichy.

Jelikož nevíme, kdy sucho nastane či jak dlouho bude trvat, je podle Finfrlové (2013) nutné začít se důkladně připravovat, tj. zpracovat plány konkrétních limitů a opatření na zadržení vody v krajíně orgány s příslušnými pravomocemi. Tato nutnost je ještě zdůrazněná geografickou polohou našeho území na hlavním evropském rozvodí.

Klimatické změny spojené s globálním oteplováním mají přímý vliv na změny v množství srážek. Zvýšením teplot dochází k vyšší evaporaci ze zemského povrchu. Dochází tak k vysušování povrchu, což má za následek zvýšení intenzity a doby trvání sucha. Sucho je zapříčiněno snížením vlhkosti půdy a zvýšenou evapotranspirací (Bates et al. 2008). Kapacita objemu vody ve vzduchu se totiž zvyšuje o 7 % se vzestupem teploty o 1 °C, což vede k zvýšení obsahu vodní páry v atmosféře. Větší vlhkost vzduchu má pravděpodobně největší vliv na srážky. Dochází tak k intenzivnějším lokálním srážkám a jejich nerovnoměrnému rozložení v prostoru a čase. Zvýšením frekvence přívalových dešťů se zvýší riziko výskytu povodní. V důsledku zvýšených teplot zaznamenáváme také více dešťových srážek namísto sněhových a dřívějšímu tání sněhu. Doba tání a s ní spojený zvýšený odtok a tedy i riziko povodní se proto posouvá do brzkého jara. Zvýšené riziko období sucha nastává v létě, zejména v kontinentálních oblastech (Trenberth 2005).

Základní podstata možných změn hydrologické bilance v České republice vyplývá z projekcí srážek a teplot pro Evropu, tj. teploty se budou zvyšovat během celého roku, srážky letní se sníží, zimní zvýší a stagnovat budou roční srážky (Christensen 2007). K úbytku srážek v letním období dochází v důsledku úbytku zásob vody, tudíž dojde k poklesu odtoku z povodí. Nemůže tak docházet ani k výraznému výparu. Se zvýšenými teplotami je spojený posun doby tání, jež se odhaduje z dubna na leden-únor. Pozorujeme tak zvýšený odtok v těchto měsících. Obecně lze shrnout, že v důsledku odlišné dynamiky sněhové pokrývky se projevují změny odtoku v období od ledna do května (Pretel et al. 2011).

Pretel et al. (2011) také uvádí, že je třeba zaměřit se na integrovaný výzkum dopadů změn regionálního klimatu na nejvíce zranitelné sektory, jimiž jsou vodní hospodářství (nejvíce ovlivněný sektor klimatické změny), zemědělství a lesnictví. Tyto změny působí na kvantitu i kvalitu vodních zdrojů, na dostupnost a spotřebu vody. Zvyšováním průtoků dochází k nárůstům rizik povodní a záplav, jejich snižování vede k výskytu suchých období.

Stěžejním cílem je předejít a zmenšit negativní dopady změn klimatu. Proto byla vypracována řada adaptačních opatření. Ta jsou založena buď na zmenšování požadavků (na vodní zdroje, zábor půdy) nebo na zmenšování účinků (kompenzace nedostatku vodních zdrojů, protipovodňová opatření). Zásadní adaptační opatření aplikovatelné na území České republiky:

- 1) opatření v krajině – organizační (podpora zalesnění a zatravnění, omezení plodin vytvářející nepropustné krusty jako například kukuřice, podpora plošné rozmanitosti v rámci komplexních pozemkových úprav, agrotechnická (osevní postupy podporující infiltraci), biotechnická (průlehy)
- 2) opatření na tocích a v nivě – revitalizace toků, uvolnění nivy pro rozlivy
- 3) opatření v urbanizovaných územích – zvýšení infiltrace dešťové vody (retenční a vsakovací objekty), jímání a využívání srážkových vod
- 4) obnova starých a zřízení nových vodních nádrží
- 5) zefektivnění hospodaření s vodními zdroji – vícenásobné využití vody, zhodnocení a přerozdělení kapacit vodních zdrojů
- 6) zmenšení spotřeby vody – minimalizace ztrát ve vodárenských soustavách, stanovení priorit pro kritické situace nedostatku vody
- 7) dokonalejší čištění odpadních vod.

Význam opatření v krajině spočívá ve zlepšení vodního režimu krajiny a zmenšení povodňového odtoku z přívalových povodní a s nimi spojenými negativními vlivy. Na druhou stranu lepší uplatnění vody v krajině vede k zvětšení územní evapotranspirace, tudíž na odtok vody ze srážek v období sucha zůstane méně vody. Z hlediska opatření vedoucích ke zmírnění dopadů hydrologického sucha nemají opatření v krajině ani opatření na toku a v nivě znatelný význam. Velký potenciál mají zejména vodohospodářská opatření již využívaná (využití vodních nádrží, převody vody), tak opatření, jejichž efekt zatím nebyl kvantifikován (recyklace průtoků, řízené vícenásobné využití vody). Realizovatelnost adaptačních opatření bohužel naráží na problémy spojené s přírodními podmínkami (srážko-odtokové poměry, hydrogeologie), nevhodnou morfologií koryta, velikostí plochy, kde je možné realizovat adaptační opatření či na majetkoprávních vztazích, jedinečnosti každého řešení a v neposlední

řadě také ekonomické náročnosti. Simulace klimatických modelů naznačují, že poklesy odtoků budou vyšší a pravděpodobnější v jižní části republiky a spíše v Čechách než na Moravě (ČHMÚ 2011).

Hanel et al. (2011) tvrdí, že v současnosti se pozornost v oblasti výzkumu změny klimatu odvrací od samostatných projekcí a jejich zpřesňování k odhadu dopadů na extrémní hydrologické jevy a návrhům adaptačních opatření eliminujících nebo zmírňujících dopady klimatických změn. Důkazem zmíněné teze jsou publikace mezinárodních strategických dokumentů z roku 2009: ECE, White Paper, Guidance i projekty aplikovaného výzkumu zaměřené na adaptační opatření viz projekt „Zpřesnění dosavadních odhadů dopadů klimatické změny v sektorech vodního hospodářství, zemědělství a lesnictví a návrhy adaptačního opatření“ či projekt „Výzkum adaptačních opatření pro eliminaci klimatické změny v regionech ČR“.

Snížení dopadů hydrologických extrémů spočívá v hledání adaptačních opatření. Mezi preventivní opatření řadíme technická = strukturální opatření, nicméně v rámci snahy o trvale udržitelný rozvoj se stále více do popředí dostávají přírodně blízká opatření. Jak uvádí Dumbrovský a Šindlar (2010) základním principem přírodně blízkých opatření (povodňových a protierozních) je zpomalení povrchového odtoku v povodí a zpomalení odtoku vody v korytech a v nivách vodních toků ve volné krajině. Adaptační opatření mají zadržet více vody v přírodním prostředí, což je podmíněno hydrologickou retenční schopností krajiny a jejích složek. Kocum (2012) upozorňuje, že zmíněná opatření nelze podceňovat, jsou významnou složkou protipovodňové ochrany a pozitivně působí v krajině, ale nelze je ani přeceňovat, jejich účinnost je totiž řádově v procentech. Existující retenční prostory se zejména uplatňují při ochraně před hydrologickými extrémy. Je třeba tyto prostory zachovat či v mnohých případech obnovit, což platí zejména pro revitalizaci mokřadů nebo obnovu a realizaci retenčních prostor.

V povodí horní Otavy vzhledem ke své specifčnosti a jeho přísné ekologické ochraně nemáme široký výběr aplikovatelných opatření, mezi efektivní se však například řadí tzv. suché retenční nádrže.

2.2 Retence vody v krajině

Aktuální téma řešené mnoha hydrology a krajináři je, jak zadržet a zpomalit odtok vody z daného povodí, a zmírnit tak dopady hydrologických extrémů. Tyto situace můžeme řešit buď klasickými – inženýrskými metodami (stavba přehradních nádrží, úprava koryt vodních toků či výstavba ochranných hrází) nebo novými metodami zvyšování retenční kapacity povodí a to

včetně pramenných oblastí (Janský a Kocum 2009). Pramenné oblasti představují území, kde se formují hydrologické situace a vytvářejí podmínky pro míru jejich budoucí extremity (Kocum 2012). Tudíž je vhodné zavádět opatření a realizovat postupy již v pramenných oblastech řek a zlepšit tak retenci vody v krajině.

Dle ČSN 75 0110 je retenční schopnost povodí dočasně zadržet vodu na povrchu, v půdě a v korytě. Retenční schopnost povodí je dynamická charakteristika závislá na přírodních, organizačně hospodářských a klimatických podmínkách (Kulhavý 1999). Retence vody je významná při hodnocení vlivu na vývoj povodňových situací a popisu režimu minimálních průtoků ve vodních tocích, při využití vody jako krajinnotvorného prvku i v programech účelného zadržetí vody v krajině (Hrádek, Kovář 2001). V ČSN 75 0110 je popsáno, že zvyšující se nasycenost povodí předchozími srážkami se retenční schopnost snižuje a zároveň se zkracuje doba zdržení vody v povodí – retardace. Retenční kapacita půdy je rozdíl mezi horní a dolní hodnotou objemu vody v půdě. Půda je nádrž o značném retenčním objemu a hraje důležitou roli v hydrologickém cyklu pevnin a převyšuje objem vody v nádržích a vodních tocích v celostátním měřítku (Kutílek 1978). Retenční kapacita ovlivňuje vodní režim půd a tvorbu odtoku z povodí (Tesař 2004). Vodní režim půd v průběhu vegetační sezóny se skládá ze střídajících se fází a to akumulární a perkolační (Tesař 2001). V průběhu akumulární fáze (trvající několik týdnů) se voda v půdním profilu akumuluje a je transpirována rostlinami. Pokud odběr vody na transpiraci převyšuje srážkový přítok, nedostatek vody v půdě způsobí zastavení transpirace. Převyšuje-li však srážkové vody její odběr na transpiraci, zaplňuje infiltrující voda půdu až do okamžiku, dokud nepřekročí určitou horní hranici. Poté dojde k náhlému odtoku velkého množství vody do podloží. Tím se nastartuje perkolační – promyvná fáze, při čemž většina srážkové vody proteče půdou do podloží, aniž by byla v půdě zdržena. Trvání perkolační fáze je závislé na srážkové činnosti a na objemu vody v půdě, může trvat od několika hodin po několik dnů či týdnů. Perkolační fáze ustane v okamžiku poklesu objemu vody v půdě pod horní hranici (Tesař 2004).

Postupné zvyšování retenčního potenciálu krajiny je klíčovým prostředkem protipovodňových opatření (tzv. integrované protipovodňové ochrany) a zároveň i prostředkem řešení problému sucha. Jak již bylo zmíněno výše, v současnosti chceme vodu v krajině zadržet a odtokový proces mimo intravilány zpomalit. Je tedy patrné, že současná opatření se zcela liší od těch ze 70. a 80. let, kdy docházelo k rozsáhlým melioračním úpravám lesních i zemědělských pozemků, vysušování mokřadů v říčních nivách na středních a dolních tocích, zhoršení zdravotního stavu lesních porostů a zhoršení retenční kapacity půdy vlivem řady agrotechnických opatření. Proto je důležité zavést nové legislativní nástroje, jež dají rámec

rozmanitým krajinným úpravám a taktéž ovlivní způsob hospodaření na zemědělské a lesní půdě. Přes veškerá sanační opatření je však dobré mít na paměti, že povodňové události vždy byly a budou přirozenými součástmi říční dynamiky, tudíž úplná protipovodňová ochrana není možná a to především při mimořádných situacích (Janský a Kocum 2007b). Klíčové je vypracování stupňovité protipovodňové ochrany, která bude v jednotlivých povodích zapracovaná do místních územních plánů rozvoje zobrazujících ohrožené plochy při určitém stupni protipovodňové ochrany. Sanační opatření mají vést k zachování či zlepšení současné říční dynamiky. Můžeme rozlišit tři hlavní směry protipovodňové ochrany – pasivní protipovodňovou ochranu, výstavbu ochranných hrází či výstavbu a obnovu retenčních nádrží, především obnovu klauz a výstavbu suchých poldrů (Janský 2004).

Opatření nejvíce přispívající k zachování přirozené retence vody v krajině, nazýváme pasivní protipovodňovou ochranou, jak uvádí Janský (2004). Z celé škály možností se nabízí:

- 1) ponechání říčních niv v nejvyšší možné míře jejich přírodnímu vývoji a pohlížet na tato území jako přirozená zátopová území
- 2) využití zátopových území musí brát v úvahu povodňové události
- 3) přemístění či úplné odstranění sídelních a výrobních prostor ohrožovaných povodněmi ze zátopových oblastí
- 4) omezení využití zátopového území pro stavební a hospodářské aktivity úpravou existující legislativy
- 5) udržování zásobních prostor rybníků a rybníčních soustav či obnova zaniklých rybníků.

Značný význam v pasivní protipovodňové ochraně mají velkoplošná ekologická opatření přispívající ke zvýšení retence krajiny a zpomalují povrchový odtok. Jde o nástroje protierozní ochrany zemědělské půdy, změny struktury využití půdy – nahrazení orné půdy loukami a pastvinami, vysazování rychle rostoucích dřevin a zvyšování podílu lesů charakteristických pro určitý krajinný typ – nahrazení smrkových monokultur smíšeným lesem (Janský 2004).

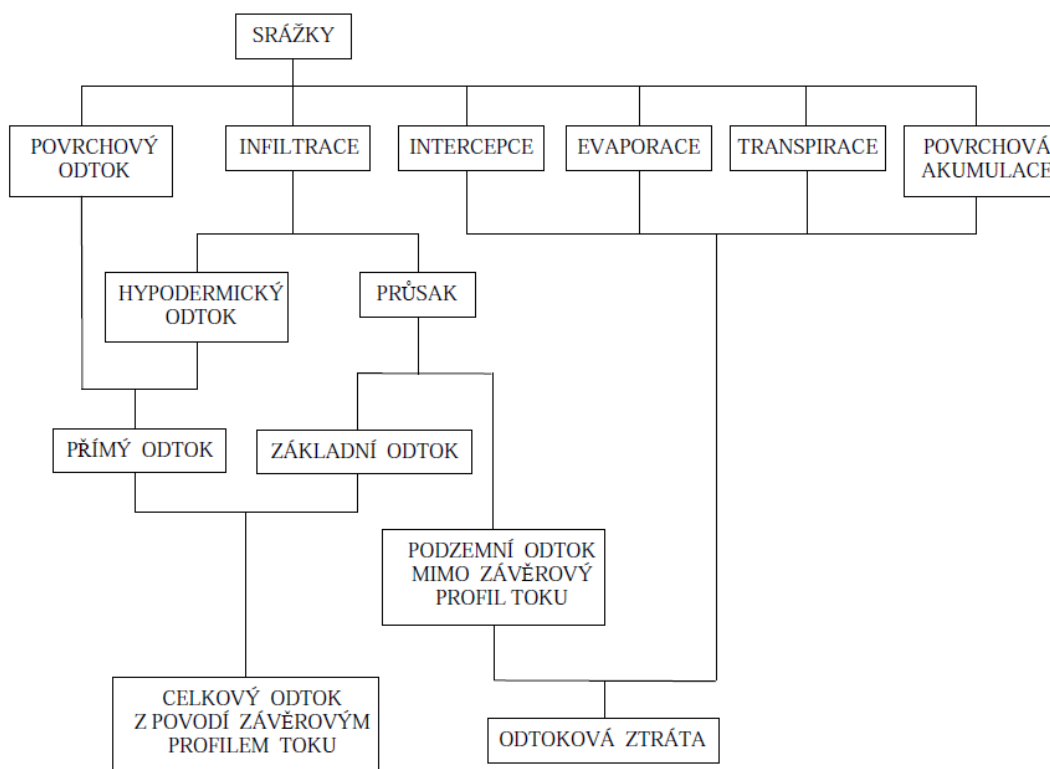
Co se týče zvyšování retenční kapacity v pramenných oblastech, měla by se věnovat pozornost zlepšení zdravotního stavu porostů, hrazení koryt původních odvodňovacích rýh, hrazení bystřin vyjma odtokových kanálů z rašelinných ložisek, obnova akumulčních nádrží tzv. klauz, jež by mohly plnit funkci suchých poldrů, a tím se podílet na snížení kulminačních povodňových událostí a retardaci vody v krajině v suchých obdobích, tedy zkrácení období extrémních průtoků (Janský 2006) a zároveň by zachycovaly splavené dřevo (Janský

a Kocum 2007). V prostředí horní Otavy se jedná o opatření týkající se zdravotního stavu lesních porostů či revitalizací vrchovišť (Kocum 2012). Efektivnost opatření při retenci vody ve zdrojových oblastech řek je možno simulovat aplikací hydrologických modelů (Kocum a Janský 2009).

Kocum a Janský (2009) dále ve své práci na základě provedeného rozboru a reakce na příčinný úhrn srážek v povodí Vydry a Křemelné potvrdili, že rašeliniště negativně ovlivňují odtokový režim v pramenných oblastech zdejších toků. V povodí s menším zastoupením zrašeliněných a rašeliništních půd byla pozorována delší doba reakce, což poukazuje na lepší zadržení příčinné srážky, tedy vyšší schopnost retence. Tudíž analýza popřela tzv. houbovou teorii uznávanou do 60. let 20. století, která předpokládala zadržení vody rašeliništěm při vysokých srážkách a nadlepšení průtoků v období sucha (Kocum a Janský 2008). Potvrdila výsledky pozdějších prací prokazujících, že toky odvodňující rašeliniště mají značnou rozkolísanost průtoků. Byl zjištěn poměrně malý vliv zimních sněhových srážek při nadlepšování průtoků v letní polovině roku a naopak výrazné uplatnění letních přívalových dešťů. Při plné vodní kapacitě vrchovišť byl zaznamenán rychlý vzestup odtoků. Rašeliniště taktéž nenapájí vodní toky při déletrvajících obdobích sucha. Dále byl také zjištěn jednoznačně negativní vliv rašelinišť na kvalitu vody v tocích, v suchých obdobích klesá odtok vody z rašelinišť projevující se zlepšením jakosti vody, naopak ke zhoršení jakosti vody dochází za letních dešťů nebo jarního tání sněhu, kdy jsou rašeliniště plně saturována vodou a voda z nich přetéká do koryt toků (Kocum a Janský 2009).

2.3 Dynamika odtoku v pramenných oblastech

Přeměna srážek na odtok je předmětem zájmu mnoha hydrologů. Některé srážky spadnou přímo na povrch půdy, některé však jsou zadrženy vegetací a podléhají intercepci (Obr. 1). Vypařují se tak z povrchu vegetace zpátky do atmosféry (Beven 2012). Kromě intercepce hraje významnou roli retence v mikrodepresích zemského povrchu tzv. detence či evaporace a transpirace, jež se nepodílí na odtoku (Kocum 2012).



Obr. 1: Schéma srážko-odtokového procesu. Zdroj: Kulhavý a Kovář 2000.

Intercepci rozumíme nejen zachycení vody v korunách stromů, ale také na listech travního porostu, mechu a ve vrstvě odumřelé biomasy, akumulované na povrchu půdy. Je to proces projevující se zejména na počátku deště a při srážkách menších celkových úhrnů, jenž velmi významně ovlivňuje odtok z povodí (Daňhelka 2007). Vegetace často zapříčiní změnu intenzity a distribuci padajících srážek na či skrz vegetaci prostřednictvím svých listů a struktury větví. Proto srážky nepodléhající intercepci mohou být ovlivněny procesem tzv. stemflow řídicím stékání srážek dolů po větvích a stoncích či kmenech. Množství stemflow je podmíněno tvarem listů a stonků a uspořádáním větví. Dalším procesem je tzv. canopy drip, neboť některá struktura rostlin způsobí vedení dešťové či sněhové srážky podél okraje – např. korun stromů. Poslední proces tzv. throughfall, kdy srážky procházejí skrz vegetaci, závisí na hustotě listů a stonků, typu, intenzitě a trvání srážek (Beven 2012).

Po dopadu srážek na povrch půdy tzv. efektivních srážek či po tom, co začne sníh tát, se začne voda infiltrovat do půdy s výjimkou oblastí nepropustných povrchů, holých povrchů, kompletně zmrzlých půd či umělých povrchů, kde dochází téměř okamžitě k povrchovému odtoku. Jak velká infiltrace nastane, závisí na intenzitě srážek a na infiltrační kapacitě půdy. Při překročení infiltrační kapacity půdy vznikne povrchový odtok (Beven 2012). Srážko-odtokový proces, zkoumaný hydrology, lze vyjádřit základní bilanční rovnicí oběhu vody. Ve zmíněné

rovnici platí, že výška srážek se rovná součtu výšky územního výparu a výšky celkového odtoku a rozdílu či součtu výšky odtokové ztráty (zvýšení či snížení zásob povrchové a podpovrchové vody). Jak uvádí Kulhavý a Kovář (2000) výška *celkového odtoku* je součtem výšek *odtoku povrchového* a *podpovrchového*. Podpovrchový odtok rozlišujeme na *hypodermický* (půdní) a *podzemní*. Povrchový a hypodermický odtok je v součtu označován jako *odtok přímý*, podzemní odtok jako *odtok základní*.

Povrchový odtok je voda, která plošně odtéká po povrchu, vzniká:

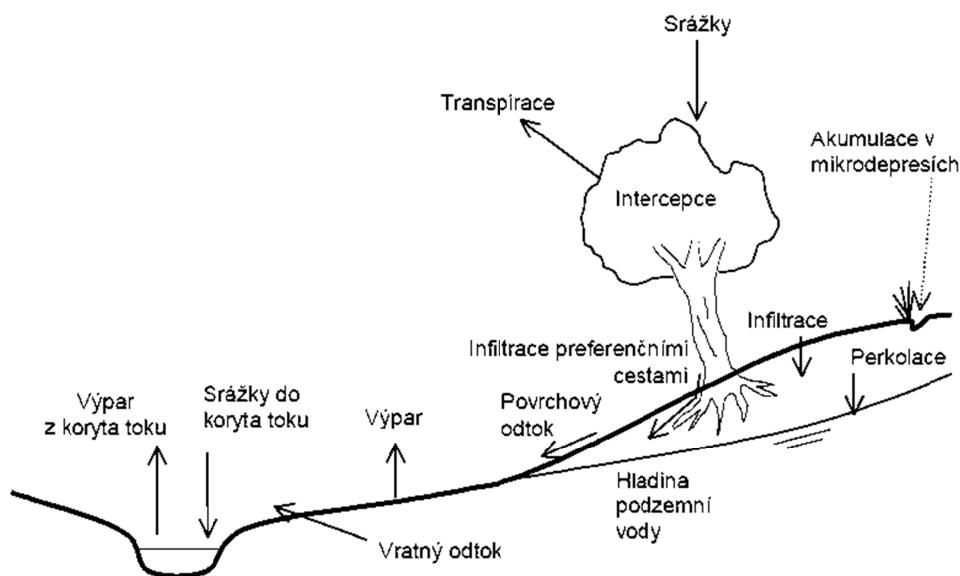
- 1) překročením infiltrační rychlosti (infiltration excess), tzv. Hortonův odtok
- 2) překročením retenční kapacity (saturation excess), tzv. Dunneho odtok
- 3) zpětným tokem (return flow), exfiltrace v nižší části svahu.

Plošný povrchový odtok - ron je jev nazýván dle tvůrce koncepce – *Hortonovský povrchový odtok*. Jiná koncepce vychází z představy, že obě složky přímého odtoku (povrchová a hypodermická) vznikají na nepropustných či vodou nasycených ploškách. Tyto plochy se nazývají *zdrojové plochy*. Tato teorie je pojmenovaná po svém tvůrci a to *Dunneho povrchový odtok*.

Zmíněné koncepce se shodují, že se povrchový odtok z ronů či ze zdrojových ploch důsledkem geomorfologické diverzity zemského povrchu soustřeďuje do sítě stružek. Sítě stružek jsou základem pro hydrografickou síť, v níž dochází k soustředěnému a následně korytovému odtoku. V malých povodích probíhá povrchový odtok s malým časovým zpožděním za příčinným deštěm.

V nenasyčené zóně - v horní vrstvě půdy dochází k hypodermickému odtoku. Ten zásobuje povrchový odtok, aniž by dosáhl hladiny podzemní vody. Jeho vznik je zapříčiněn méně propustnými nakloněnými vrstvami půdy nebo propojením podpovrchových systémů kořenů a chodbiček živočichů, tzv. *privilegovaných cest* (Obr. 2) hypodermického odtoku (Kulhavý, Kovář 2000). Daňhelka (2007) tyto cesty nazývá preferenční cesty, což jsou struktury narušující kompaktní povrch půdy, umožňující snadnější a rychlejší proudění většího množství vody do půdy. Ke klasické plošné infiltraci dochází při dostatečné intenzitě deště. Dle Kulhavého a Kováře (2000) jinou příčinou vzniku hypodermického odtoku je laterální gradient půdní vlhkosti. Hypodermický odtok je v porovnání s povrchovým odtokem pomalejší. Obě odtokové formy se často prolínají a během odtokové fáze v povodí dochází ke změně odtokové formy i několikrát (Beven 1986). Hypodermický odtok tvoří podstatnou část povodňových průtoků i odtoku za průměrných vodních stavů a po infiltraci půdou (zónou aerace) odtéká do povrchových vodních toků, jak již bylo zmíněno výše, bez kontaktu s hladinou podzemní vody

(Němec a Hladný 2006). Druhá část infiltrované vody, tj. *hlubší filtrace* také nazývaná jako *perkolace*, přispívá ke zvýšení zásob podzemní vody. Voda se do hlubších horizontů dostává díky gravitaci (Daňhelka 2007). Ve formě podzemního odtoku z této nasycené zóny s určitým časovým zpožděním napájí hydrografickou síť. Klasifikace tří odtokových složek je schématická, a proto nemůže věrně postihnout složitost odtokového procesu, nicméně většina fyzikálních odtokových modelů schéma využívá (Kulhavý a Kovář 2000).



Obr. 2: Zjednodušené schéma procesů v povodí. Zdroj: Daňhelka 2007.

Mindáš (2001) za hlavní faktory ovlivňující objem odtoku a jeho dynamiku považuje:

- 1) geomorfologickou charakteristiku reliéfu jako například sklonitost, členitost reliéfu
- 2) hydrogeologickou stavbu povodí (charakter propustnosti hornin, přítomnost zvodnělých vrstev)
- 3) meteorologické podmínky (intenzita a délka trvání srážek)
- 4) vodní bilanci lesních porostů (intercepce, zásoby spodní vody)
- 5) celkovou lesnatost a strukturu nelesní krajiny v povodí.

Dle Kemela (1996) mají na dynamiku odtoku vliv jednotlivé geomorfologické podmínky – plocha a tvar povodí, hustota říční sítě a její uspořádání.

Plocha povodí nám poskytuje první představu o významu řeky odvodňující dané povodí. Obecně na velkém povodí jsou pestřejší přírodní poměry, z toho důvodu je odtok rozdílný na jeho dílčích plochách, jak kvantitativně, tak z hlediska časového rozložení. Daňhelka (2007)

tvrdí, že s rostoucí plochou povodí obvykle roste hodnota kulminačního průtoku, zároveň je však tvar povodňové vlny výrazně plošší.

Tvar povodí a uspořádání říční sítě ovlivňuje tvar povodňové vlny vzniklé souběhem povodňových vln z jednotlivých částí povodí (Daňhelka 2007). Například Šercl (2009) dokumentuje, že protáhlá povodí se vyznačují jedním dominantním tokem a kratšími přítoky, a proto se vrcholové průtoky povodňové vlny postupující po hlavním toku nemusí střetnout s kulminačními průtoky povodňových vln na přítocích. Naopak při vějířovitém uspořádání vodních toků se v povodí zpravidla vyskytuje více toků s relativně stejnou délkou údolnice. Proto se při střetávání povodňových vln z dílčích povodí při zasažení celého povodí intenzivními srážkami v místě soutoku mohou tvořit povodňové vlny s velkým kulminačním průtokem. Nepravidelná říční síť se může projevit více vrcholovou povodňovou vlnou (Daňhelka 2007, Šercl 2009). Další charakteristika, jež ovlivňuje odtokový režim, je hustota říční sítě. Menší hustota říční sítě indikuje větší propustnost půdního pokryvu za jinak stejných podmínek. S tím souvisí větší procentuální podíl dotace podzemních vod a více vyrovnané průtoky v průběhu roku (Kemel 1996).

Jeniček (2011) uvádí, že fyzicko-geografické vlastnosti povodí mají rozhodující vliv na velikost odtoku, jeho časové a plošné rozložení a také na vývoj mnoha hydrologických jevů spojených s odtokem. F-G charakteristiky můžeme rozdělit na předběžné faktory (nasycenost povodí předchozími srážkami, stav sněhové pokrývky – jeho vodní hodnota, výška sněhu, struktura), příčinné faktory (synoptická situace, srážky – úhrn, intenzita, prostorové rozložení) a ovlivňující faktory jako geologie (puklinový versus průlinový systém), reliéf (sklonitost a expozice), land use, land cover (typ vegetace, propustné a nepropustné plochy), půdní vlastnosti (zrnitost, retenční kapacita, infiltrační schopnost, preferenční cesty), antropogenní vlivy (upravenost koryt, meliorace, vodní díla, zavlažování).

Klimatické poměry povodí určují velikost odtoku a jeho rozložení v čase. Jde především o úhrn srážek za určitý časový úsek, jejich roční chod a intenzitu. Také rozhodují o tom, který zdroj vodnosti určuje charakter odtokového režimu. Zdrojem vodnosti toků může být voda z deště, voda ze sněhu, z výronů podzemních vod, voda z ledovců či z dlouhodobé sněhové pokrývky. Pro vláhovou bilanci povodí a režim odtoku jsou důležitými klimatickými prvky teplota vzduchu, její roční rozdělení a sytostní doplněk stanovující velikost výparu (Netopil 1984).

Orografické poměry (výškové a sklonitostí) a expozice hlavních svahů ovlivňují kromě klimatologických činitelů výrazně i proces odtoku vody z povodí (Kemel 1996). Ve většině

případů platí zákonitost: čím vyšší sklon, tím rychlejší odtok. Nemusí ovšem platit, že hustěji rozčleněný a sklonitější povrch má rychlejší a vyšší odtok (Netopil 1984). Rychlejší odtok je ještě výraznější, pokud daný svah není pokryt vegetací (Kemel 1996). Nicméně Netopil (1984) tvrdí, že i na zalesněných svazích bez četnějších depresí dochází k vysokému povrchovému odtoku. Velikost a rychlost odtoku v horských oblastech dále závisí na drsnosti povrchu svahů. Daňhelka (2007) uvádí, že expozice vůči Slunci ovlivňuje intenzitu evapotranspirace a tání sněhové pokrývky díky intenzivnějšímu přísunu energie na exponované plochy. Expozice a sklon ovlivňují množství srážek dopadající na povrch vzhledem ke směru větru a podmínky pro akumulaci sněhu. Sklon má jednoznačný vliv na rychlost odtoku z povodí díky většímu gravitačnímu potenciálu povodí.

Geologické poměry nepřímo ovlivňují proces odtoku vody z povodí, určují množství infiltrující se vody do spodních horizontů, významně se podílí na rozdělení vodnosti v tocích. Toky v oblastech dobře propustných hornin se vyznačují sníženými kulminačními průtoky v období zvýšené srážkové činnosti, naopak v období sucha mají zvýšené minimální průtoky (Kemel 1996).

Velikost a intenzitu vsakování vody určují *půdní podmínky* a tím i velikost časového a plošného rozdělení odtoku. Při hodnocení podmínek povrchového odtoku je třeba uvážit i míru propustnosti půd. Šefrna (2004) tvrdí, že schopnost půdy zachytit extrémní srážky závisí na její infiltraci a jímavosti (retenci). Infiltraci a propustnost (resp. pohyb vody v půdním prostředí) zejména ovlivňuje:

- a) zrnitostní složení půdního profilu – infiltrace obecně roste od těžkých půd k lehkým, zrnitostně středně těžké půdy jsou považovány za optimální díky nižší objemové hmotnosti, dobrému provzdušnění a biologické aktivitě, sorpčnímu nasycení; písčité půdy se vyznačují vysokou infiltrační rychlostí a nízkou retenční schopností; jílovité půdy vysokou retencí a špatnou infiltrací povrchu
- b) struktura – stabilní agregátová stavba epipedonů eliminuje špatné infiltrační schopnosti těžkých půd
- c) hloubka půdy
- d) mineralogické složení
- e) charakter pórů
- f) obsah humusu a jeho vlastnosti.

Komplexní charakteristika definující vliv půd na tvorbu odtoku je hodnota tzv. CN křivky, jež slouží k odhadu odtoku pomocí poměru aktuální a maximální retenční kapacity půdy.

Land use označuje typ pokryvu zemského povrchu determinujícího míru intercepce daného území a jeho rychlost infiltrace (Daňhelka 2007).

Účinky vegetačního krytu mohou být kladné i záporné, závisí na druhu vegetace pokrývající povodí, procentuálním zastoupení jednotlivých druhů a jejich rozmístění. Významně ovlivňuje odtok vody a režim průtoků (Netopil 1984). *Rostlinný pokryv* v povodí reguluje množství srážek zachycených na povrchu rostlin, množství infiltrované vody, rychlost povrchového odtoku, velikost ztrát způsobených výparem. Kromě přírodních faktorů i *antropogenní faktory* ovlivňují hydrologický režim. Antropogenní činnost má negativní vliv na odtok způsobem obhospodařováním pozemků, odlesňováním či těžbou dřeva (Kemel 1996). V minulosti došlo na našem území ke zhoršení odtokových poměrů z důvodu přeměny lesních komplexů v horách a vrchovinách na pastviny a ornou půdu. Antropogenním faktorem ovlivnění odtoku jsou agrotechnická opatření, pěstování kulturních plodin, lesní management, poškozování lesa, těžba nerostných surovin a výstavba sídlišť a dopravních sítí (Netopil 1984).

Kemel (1996) uvádí, že hydrologové všeobecně uznávají vliv lesa na odtokové poměry. Tvrdí, že zdravý, vyspělý smíšený les se správným zastoupením dřevin má mocnou vrstvu hrabanky a humusu a tudíž zachytí značné množství vody ze srážek, také je schopen vodu infiltrovat a s časovým zpožděním zásobovat tok. Již první výsledky získané počátkem 20. století z výzkumu zkoumajícího vztah mezi lesem a odtokem vody z povodí potvrdily příznivý vliv lesa na odtok vody projevující se vyrovnáním odtokových extrémů zejména při snižování extrémních povodňových průtoků (Čaboun a Mindáš 2003). Kříž (2001) tvrdí, že povodňový režim formuje zejména lesnatost povodí. Poznatky Kantora a Krečmera (2003) ukazují, že lesní půda je rozhodující složkou působení lesa na srážko-odtokové procesy. Lesní půda totiž může snižovat objem povodní na malých tocích až na jednu čtvrtinu. Převažujícím druhem odtoku vody ze srážek pro lesní půdy je podpovrchový odtok půdou. Zmíněný odtok odvádí vodu s určitou retardací do toků za stálého udržování infiltrace srážkové vody do půdy, což zmírňuje povrchový odtok. Podle Duba a Němce (1969) nemusí les snižovat specifické odtoky, ale může působit na zvýšení i snížení průměrného odtoku. V současné době převažuje názor, že lesní hospodářství může vhodným managementem a cílenou činností zaměřenou na plnění vodohospodářské funkce lesa příznivě ovlivňovat odtokový proces ze zalesněného povodí, jakost vody v tocích a ve vodních nádržích, ale může zapříčinit i opačný efekt (Čaboun a Mindáš 2003).

N-leté průtoky jsou zpravidla nižší v zalesněných povodích než v oblastech nezalesněných za jinak stejných podmínek. Při částečném zalesnění však závisí na poloze lesů. Pokud jsou lesy

situovány v dolní části povodí, může být v období jarního tání režim kulminačních průtoků nepříznivý. I za jinak příznivějších okolností se vlivem střetu odtoků z horní nezalesněné části a dolní zalesněné části, kde jsou sněhové zásoby zastíněny lesním porostem a neumožňují průchod slunečního záření a dochází tak ke zpožděnému tání, kulminují průtoky v profilech na toku pod těmito oblastmi (Kemel 1996).

Netopil (1984) ve své práci shrnuje vliv lesních porostů na odtok tak, že lesní porosty:

- 1) 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
- 2) kořeny stromů vyčnívající na povrch zvyšují drsnost povrchu v okolí kmenů, a tím zvyšují jeho akumulární schopnost
- 3) kořeny zpevňují půdu a chrání ji proti erozi, mezi kořeny se tvoří prohlubně, kde se hromadí opad, jehož rozkladem vzniká humus, humus udržuje větší vlhkost půdy, a tak zvyšuje infiltraci
- 4) kořeny, lesní hrabanka, suché kmeny i větve a spodní vegetační patro snižuje rychlost povrchového odtoku a zvyšuje tak retenční schopnost povrchu
- 5) evapotranspirací dřevin je spotřebovávána voda, jež je kompenzována menším výparem z lesní půdy a menší transpirací nižších rostlinných pater, je to dáno zastíněným povrchem i udržováním vyšší vlhkosti vzduchu v prostorách lesa při nižší teplotě vzduchu
- 6) lesní hrabanka působí jako ochranný faktor proti promrzání v zimě. Pod vrstvou sněhu vzniká teplo z důvodu tlení hrabanky, teplo se spotřebovuje na rozmrznutí půdy pod sněhem. Při tání sněhu se tak voda může vsakovat.

Ve výsledku lesní porosty přispívají k vyrovnání odtoku. Míra účinku je podmíněná stářím porostu, zakmeněním, skladbou a také na tom, zda je skladba původní nebo druhotná a pozměněná. Uměle vysázené smrkové monokultury nižších poloh nemají tak příznivý účinek jako tytéž lesy v přirozeném smrkovém stupni v horách.

Využití území je jedním z klíčových faktorů ovlivňující odtokové poměry v lokálním, regionálním i globálním měřítku. Významnou změnou krajinného krytu je odlesnění. Na Šumavě byl zkoumán vliv odlesnění na snížení retenční kapacity a následný vznik povodní. Šonka (2004) na základě historických záznamů povodní popisuje značné zvýšení frekvence

povodní na Otavě v 19. století, jež dává do souvislosti s intenzivním využíváním lesů a spalováním dříví. Výše popsané studie se zabývaly přímým vlivem odlesnění na odtokové poměry – snížením retenční schopnosti krajiny. Můžeme však uvažovat ještě vliv nepřímý. Podstata nepřímého vlivu spočívá v tom, že odlesněním či obecně odstraněním vegetačního krytu dochází na těchto plochách k přehřívání povrchu během slunečních dnů. Přehřátí povrchu může vést ke změně mikroklimatu či s rostoucí velikostí ploch i mezoklimatu, což má rovněž vliv na hydrologický cyklus. Za podmínek bezvětrného počasí se ohřívá vzduch, který je tak schopen pojmout více vodní páry. Při náhlém ochlazení může dojít k přívalovým dešťům a negativním důsledkům včetně povodní (Trenberth 1999). Práce Haise (2006) se zabývá zvyšujícími se teplotami krajinného krytu vlivem odlesnění a rozpadu horské smrčiny vlivem kůrovce popsaného pro oblast centrální Šumavy.

2.4 Přístupy k hodnocení dynamiky odtoku

Existuje velké množství metodických přístupů, jak hodnotit dynamiku odtoku. Mezi ty hlavní patří: základní hydrologická statistika, fyzikálně-chemické či geochemické přístupy.

2.4.1 Statistické přístupy

Základní hydrologická statistika v sobě obsahuje jednoduchou popisnou statistiku

- charakteristiky polohy
 - modus
 - medián
 - aritmetický průměr, vážený průměr
- charakteristiky rozptylu
 - variační rozpětí
 - průměrná odchylka od průměru
 - směrodatná odchylka
 - koeficient variace
- charakteristiky šikmosti
 - koeficient asymetrie (Dub a Němec 1969)

K zjištění odtokového režimu slouží grafické a statistické metody. Netopil (1984) uvádí, že absolutní a relativní měrné jednotky odtoku se používají k vystižení režimu řek a k vzájemnému porovnání odtokových poměrů jednotlivých řek. Základní jednotkou je průtok – množství vody protékající za jednu vteřinu příčným průřezem koryta řeky. Vodnost řeky se může vyjádřit několika typy průtoků. Jedním z nich je dlouhodobý průměrný průtok (Q_a). Dlouhodobý průměrný průtok charakterizuje průměrnou vodnost toku v daném profilu a umožňuje tak vzájemné porovnání toků. Určuje se jako průměr všech hodnot denních průtoků za referenční období.

Celkové množství vody, jež odeče za určitý čas, je objem odtoku (O). Vystihuje vodnost řek, a proto je vhodný k jejich vzájemnému porovnávání.

$$O = Q_a \cdot 31,536 \cdot 10^6 [m^3/rok]$$

Specifický odtok vyjadřuje množství vody odtékající za jednotku času z jednotky plochy (P) povodí. Je to však pouze orientační údaj, neboť nepostihuje složité rozložení odtoku na ploše.

$$q = \frac{1000 \cdot Q_a [m^3/s]}{P [km^2]} = [l/s \cdot km^2]$$

Odtoková výška (H_o) představuje vrstvu vody rovnoměrně rozloženou na ploše povodí, která odeče za určité období.

$$H_o = \frac{Q_a [m^3/s] \cdot 31,5 \cdot 10^6}{P [km^2] \cdot 10^3} = [mm]$$

Součinitel odtoku (φ) je číselná hodnota udávající poměr mezi výškou odtoku a srážkami či objemu odtoku a srážkami spadlými na plochu povodí.

$$\varphi = \frac{H_o [mm]}{H_s [mm]} = \frac{O [km^3]}{S [km^3]} = [\%]$$

Nejlépe představu o proměnlivosti průměrných denních průtoků (Q_d) dávají čáry průměrných denních průtoků poskytující informaci o velikosti jejich změn, jejich rychlosti a četnosti výskytu naznačující i míru rozkolísanosti denních vodností řeky. Rozkolísanost denních průtoků vyjadřují i tvary čar překročení. Absolutní hodnoty překročení se nazývají M-denními průtoky tj. hodnoty dosažené či překročené M dní v roce. Informují nás o celkovém trvání daného průtoku a průtoků vyšších či nižších. Tvary čar překročení mohou vystihnout rozdílnou míru rozkolísanosti denních průtoků srovnávaných řek, pouze pokud jsou průtoky v relativních hodnotách podílu průměrného průtoku. Nevýhoda metody spočívá, že nebere ohled na rozdílnou vodnost řeky, proto jsou vhodnější některé statistické míry variability. Statistickými mírami variability Q_d jsou decilová odchylka D , variační koeficient a poměr odchylky k mediánu. Decilová odchylka je průměr odchylek jednotlivých sousedních decilů, tj. hodnot průtoků, které rozdělují uspořádanou řadu denních průtoků na deset skupin o stejném počtu členů:

$$D = \frac{Q_{30} - Q_{330}}{10}$$

Čím je hodnota D vyšší, tím je variabilita vyšší. S ohledem na rozdílnou vodnost řek je třeba použít relativní variaci V :

$$V = \frac{D}{Q_a}$$

D – absolutní variace, Q_a – dlouhodobý průměrný průtok

Nejvýhodnější je použít míru variace měřící současně variaci všech hodnot denních průtoků, tak variaci denních průtoků řady od jejího průměru Q_a . Bere tedy ohled na rozdílnou průměrnou vodnost řek a je jím variační koeficient:

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

Q_d - průměrný denní průtok, Q_a - dlouhodobý průměrný průtok, n - počet členů řady, δ – směrodatná odchylka

Poměr průměrné odchylky k mediánu. Čím je hodnota vyšší, tím je vyšší variabilita.

$$V_{med} = \frac{\frac{\sum_{i=1}^n (Q_d - Q_{182,5})}{n}}{Q_{182,5}}$$

Q_d - průměrný denní průtok, n - počet členů řady

Rozložení odtoku v průběhu roku se posuzuje podle měsíčních průtoků, jež můžeme vyjádřit graficky. Hodnocení měsíčních průtoků (Q_m) se řeší například:

$$p (\%) = \frac{Q_m}{\sum Q_m} \cdot 100$$

Q_m - průměrný měsíční průtok

Procentuální podíl měsíčních a sezónních odtoků na průměrném ročním chodu se využívá pro odhad míry vyrovnanosti ročního chodu odtoku. K vzájemnému porovnání řek s rozdílnou vodností slouží míra nevyrovnanosti rozložení ročního odtoku – koeficientem K_r :

$$K_r = \frac{\sum_{i=1}^{12} |p_i - 8,3|}{8,3}$$

p_i - % podíl Q_m

8,3 - průměrný podíl každého z měsíčních odtoků

Když je Kr rovno nule, tak se jedná o ideálně vyrovnaný odtok. Koeficient Kr však hodnotí průměrné rozložení odtoku zastírající skutečné rozložení v jednotlivých rocích. Nejobektivnější mírou variability, jež bere ohled na nestejnou vodnost řek, je variační koeficient Cv:

$$Cv = \frac{\delta}{Q_a} = \frac{\sqrt{\frac{\sum(Q_m - Q_a)^2}{n}}}{Q_a}$$

Q_m - průměrný měsíční průtok, Q_a - dlouhodobý průměrný průtok, n - počet členů řady,

δ - směrodatná odchylka

Statistické míry variability ročních průtoků Q_r se mohou hodnotit pomocí procentuálního podílu (p):

$$p(\%) = \frac{Q_r}{\sum Q_a} \cdot 100$$

Q_a - dlouhodobý průměrný průtok

či pravděpodobnosti překročení (p):

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

m - pořadové číslo ročních průtoků uspořádaných sestupně dle velikosti

n - počet členů řady ročních průtoků

Rysy časových změn ročních vodností v dlouhém období lze vystihnout pomocí pohyblivých čili klouzavých průměrů. U kratších řad se používají tříleté či pětileté průměry.

Charakteristiky extrémních hodnot zjistíme pomocí N-leté maximální a minimální hodnoty - největší/nejmenší hodnota dosažená nebo překročená jedenkrát na N let (Netopil 1984).

V hydrologii a vodním hospodářství je velmi používaná empirická křivka překročení, díky níž můžeme odečíst, kolikrát byla určitá hodnota dosažena či překročena, a zhodnotit tak velikost možných povodní. Když nemáme k dispozici dostatečně dlouhou časovou řadu, tak se využívá teoretická křivka překročení (Kemel 1996)

2.4.2 Fyzikálně - chemické přístupy

Kromě základní hydrologické charakteristiky existují i další přístupy, jakými lze nahlížet na otázky související s hodnocením dynamiky odtoku. Řadíme mezi ně například přístupy fyzikálně-chemické. Hydrologický monitoring je za tím účelem doplňován sledováním bilance

ekologicky významných prvků s následným vyhodnocením závislosti chemismu povrchových vod na parametrech odtoku. Odebírané vzorky jsou následně laboratorně zpracovávány. Standardně je analyzováno pH, konduktivita, redoxně-oxidační potenciál či obsah rozpuštěného kyslíku. Dále může být u odebíraných vzorků měřeno následující: alkalita, Na, K, Mg, Ca, Al, Mn, SiO₂, NH₄⁺, NO₃⁻, F⁻, SO₄²⁻, Cl⁻, TOC a TN, TON, absorbance (Kocum, 2012).

2.4.3 Geochemické přístupy

Hydrologie povodí v posledních desetiletích zdůrazňovala potřebu sjednotit výzkumné a administrativní chápání povrchových a podzemních vod jakožto jednoho systému. Podporovala těsnější propojování experimentálních a numerických postupů z povrchové a podpovrchové hydrologie. Součástí této strategie bylo zavedení geochemických a izotopových stopovacích látek v 60. letech 20. století. Zavedením se ukázalo, že relativně jednoduché představy o tvorbě odtoku neodpovídají uspokojivě na příčinné vztahy ve formování odtoku. Detekce přirozených stopovačů je jednou z metod, jak doplnit chybějící informaci v hydrologických pozorováních tvorby odtoku v povodí (Šanda 2011).

Z hlediska moderního přístupu můžeme izotopovou¹ hydrologii definovat jako aplikaci přirozených izotopů a stopovacích látek ke studiu hydrologického cyklu či jeho částí. Jedná se o relativně mladou disciplínu vyvíjející se od padesátých let 20. století a využívanou v širokém spektru oborů (Aeschbach-Hertig 2006). Základem izotopové hydrologie jsou složky molekuly vody H₂O a to sice izotopy vodíku (¹H, ²H, ³H) a kyslíku (¹⁶O, ¹⁷O, ¹⁸O) (Kendal a McDonnell 1998).

Stabilní izotopy kyslíku a vodíku jsou, co by součást molekul vody jedinými přirozenými látkami vždy přítomnými ve všech složkách hydrologického cyklu a jsou zde zastoupeny v proměnlivých koncentracích (Kendal a McDonnell 1998). Díky nim získáme informaci o vodě vstupující do povodí ve formě srážek, zdržující se v povodí (v půdní a podzemní vodě, nasycených plochách či řekách a jezerech) a o vodě vystupující z povodí ve formě odtoku (Šanda 2011).

¹ Izotopy (nuklidy) rozumíme atomy téhož chemického prvku mající stejný počet protonů, ale rozdílný počet neutronů. Rozdíl v počtu neutronů různých izotopů prvku znamená, že jsou různě hmotné – mají rozdílné hmotnostní číslo, nukleonové číslo (počet protonů a neutronů). Rozlišujeme stabilní a nestabilní izotopy. Nestabilní izotopy jsou radionuklidy (Kendall a McDonnell 1998).

Studium dynamiky vody pomocí stopovačů je založeno na odlišném chování malého množství molekul vody obsahujících těžší stabilní izotopy vodíku ^2H a kyslíku ^{18}O (Kendal a McDonnell 1998). Tyto stabilní izotopy se uplatňují v menších experimentálních povodích, jelikož nepodléhají radioaktivnímu rozpadu, na rozdíl od ostatních látek jsou konzervativní a jejich sezónně proměnlivý vstup do hydrologického cyklu srážkami je závislý na relativně snadno měřitelných meteorologických a geografických faktorech. V hydrologii je zejména využíván poměr $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$. Koncentrace izotopů jsou pro přehlednost relativizovány jako tzv. delta hodnoty dle deficitu těžších izotopů ve vzorku vůči tzv. Standard Mean Ocean Water (V-SMOW) definovaný Mezinárodní agenturou pro atomovou energii ve Vídni (dále jen IAEA) (Šanda 2011).

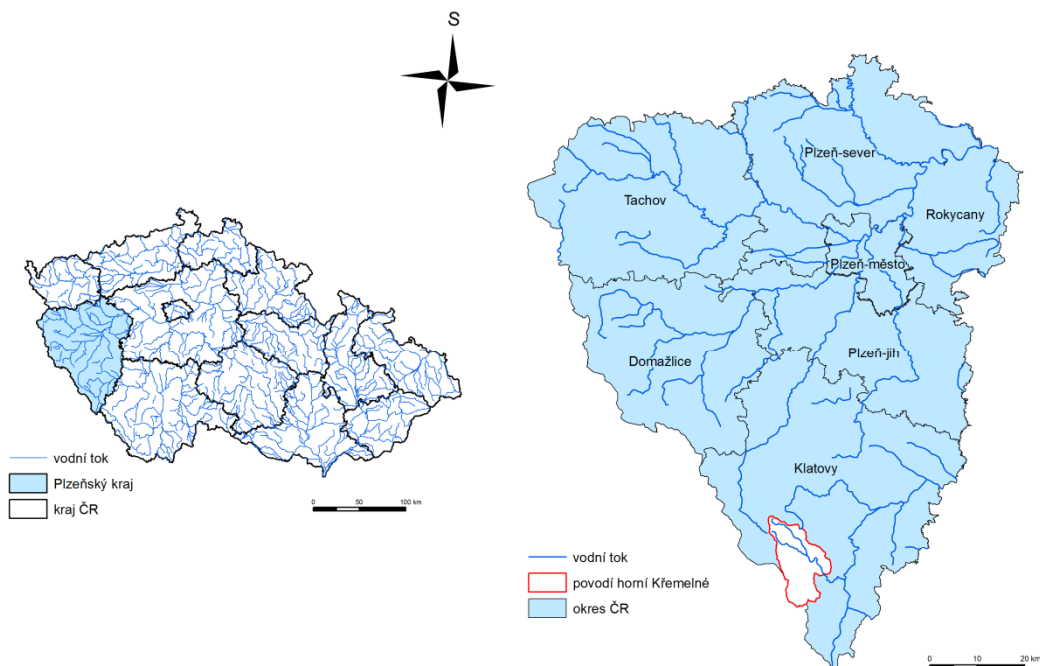
Izotopová hydrologie řeší dva základní problémy. Prvním je určení původu složek odtoku a druhým je určení doby zdržení vody v systému – tedy její stáří (Aeschbach-Hertig 2006). Hlavní procesy řídící izotopové složení vody v povodí jsou fázové změny ovlivňující vodu v blízkosti zemského povrchu (evaporace, kondenzace, tání) a jednoduché mísení v či pod povrchem. Stabilní izotopy kyslíku a vodíku jsou v tomto případě využívány k určení složení staré a nové vody v povodí. Odlišné poměry izotopů má srážková voda, voda ze sněhu, voda v půdě, voda v rostlinách a podzemní voda. Pro studium procesů mladších sta let, pro určení mísení a průtoků vody je výborným stopovačem tritium (Kendall a McDonnell 1998).

IAEA spolu se Světovou meteorologickou organizací (WMO) položily základ celosvětové monitorovací sítě izotopů ve srážkách – GNIP roku 1961 a v roce 2007 byla doplněna o databázi měsíčního sledování izotopů v povrchových tocích – GNIR (Vitvar 2007). Díky novému způsobu separace složek odtoku se zjistilo, že podzemní voda tvoří většinový až tříčtvrtinový podíl odtoku vyvolaného srážkovou epizodou, což je v kontrastu s tradičně pojímaným Hortonovým odtokem. Separace umožnila nástup množství technik datování vody v povodí, tj. odhad doby, kterou voda setrvává v povodí od infiltrace do opuštění závěrového profilu či místa odběru vzorku. Určení původu složek odtoku a odhad doby zdržení vody jsou považovány za klíčové oblasti aplikace izotopových metod v hydrologii, užití izotopů je přínosné pro poznání procesů, které nejsou v rámci běžných metod bilance a simulace průtoků exaktně či vůbec měřitelné (Šanda 2011). Je důležité si uvědomit, že jednotlivé metody se navzájem doplňují a nejlepších výsledků dosáhneme jejich kombinací.

3 FYZICKO-GEOGRAFICKÁ CHARAKTERISTIKA

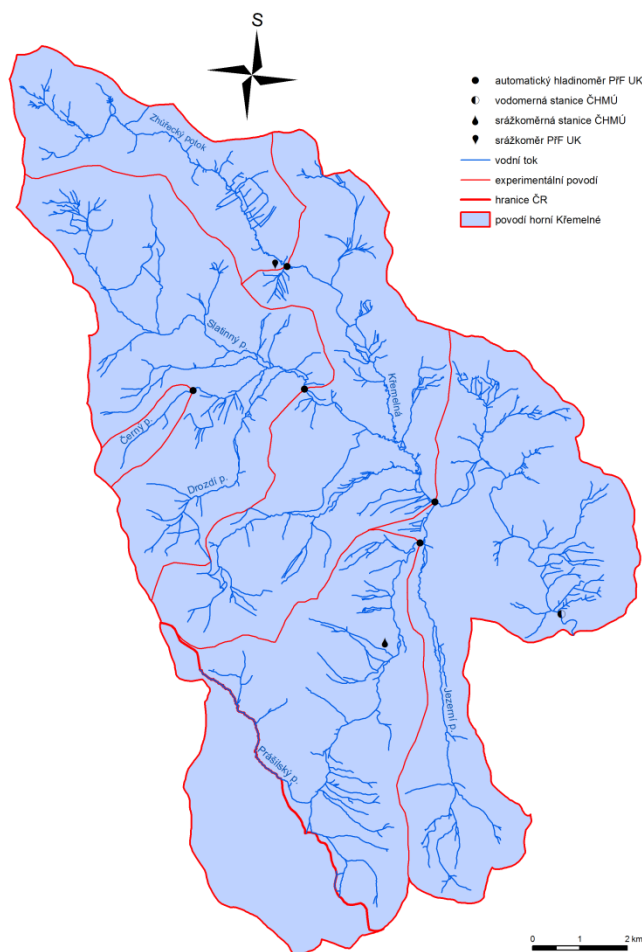
3.1 Vymezení zájmového území

Povodí horní Křemelné se nachází v jihozápadních Čechách. Z fyzicko-geografického hlediska se nachází v Šumavské hornatině a tvoří pramennou oblast řeky Otavy. Z administrativního hlediska spadá zájmové povodí do okresu Klatovy v Plzeňském kraji (Obr. 3). Experimentální povodí vymezují automatické měřící stanice uzavírající jejich profily a jsou součástí povodí horní Křemelné, které je definované závěrovým profilem Křemelná-Stodůlky. Jedná se o experimentální povodí Křemelné, Prášilského, Zhůreckého, Slatinného a Černého potoka (Obr. 4). Pramenné oblasti povodí Prášilského a Jezerního potoka leží v Německu. Vymezení jednotlivých povodí v zájmové oblasti zobrazuje Obr. 5.



Obr. 3: Poloha zájmového území. Zdroj: ArcČR verze 3.0, DIBAVOD, vlastní zpracování.

Průměrná nadmořská výška povodí horní Křemelné je 979,9 m n. m. Rozvodnice je od závěrového profilu vymezena vrcholy (uvedeny v m n. m.) v tomto pořadí proti směru hodinových ručiček: Křemelná (1125), Březník (1006), Vysoký hřbet (1078), Javorná (1090), Sup (1001), Jedlová (1075), Můstek (1235), Habr (1203), Pancíř (1214), Mlýnský vrch (980), Sklářský vrh (1195), Polom (1295), Debrník (1336), na německé straně potom vrcholy Scheuereckberg (1193) a Kiesruck (1265), Poledník (1315), Slunečná (996) (ZM 10, mapy.cz).



Obr. 4: Experimentální povodí horní Křemelné. Zdroj: DIBAVOD, vlastní zpracování.

Řeka Křemelná pramení jihovýchodně od vrcholu Jedlová (1175 m n. m.) ve výšce 1130 m n. m (ZM 10, Zabaged). Soutokem s řekou Vydrou vytváří řeku Otavu u Čeňkovy Pily ve výšce 627 m n. m. Od pramene nese řeka jméno Zhůrecký potok. Protéká kaňonovitým údolím a v celém toku má bystrinný charakter (Anděra 2003). Po závěrový profil Křemelná-Stodůlky je délka hlavního toku 24,77 km a plocha povodí zabírá území 135,34 km² (DIBAVOD). Všechny následující údaje jsou vztaženy k závěrovému profilu.



Obr. 5: Vymezení povodí horní Křemelné. Zdroj: ZM 50, VÚV vlastní zpracování.

3.2 Geologické poměry

Šumava, včetně povodí horní Křemelné, spadá do provincie Český masiv. Český masiv je zbytkem rozsáhlého hercynského, pro naše území se používá pojmu variského, pásemného pohoří. Variské vrásnění probíhalo v období před 380-280 miliony lety, což odpovídá svrchnímu devonu a spodnímu permu. V průběhu variského vrásnění se přibližovala Gondwana s Laurasií a docházelo k subdukci oceánské kůry. Důsledkem kolize zmiňovaných kontinentů vznikla Pangea. V této době 15-80 kilometrů pod zemským povrchem vznikaly a měnily se krystalické horniny Českého masivu. Horotvorné procesy doprovázely výstupy žhavých magmat nejčastěji granitového složení. Až do období svrchního karbonu se rychle vyzdvihovala horstva, jež byla následně erodována. V této době představoval Český masiv erozí zarovnanou souš, kde panovalo tropické klima. V třetihorách došlo ke kolizi Evropy a Afriky, což zapříčinilo vznik Alp a Karpat. Alpinským vrásněním došlo k reaktivaci a tvorbě nových zlomů, oblast

Českého masivu byla postižena zemětřesením a vulkanickou činností. V pleistocénu celý geologický vývoj ovlivňovalo klima střídáním glaciálů a interglaciálů (Babůrek 2006).

Chábera et al. (1987) uvádí, že popisovaná oblast je částí krystalinika, jádra Českého masivu, a sice šumavské větve moldanubika² označována také za vltavsko-dunajskou elevaci. Velkou část území zabírá centrální moldanubický masiv. Podle Mísaře (1983) moldanubikum tvoří různé horninové soubory, převažují katazonální metamorfity, v malém rozsahu jsou zastoupeny slaběji metamorfované komplexy. Součástí moldanubika jsou i masívy granitoidních plutonických hornin formované hercynskou orogenezí.

Šumavské horniny dle Kunskeho (1968) tvoří tři série geosynklinálního původu:

- 1) jednotvárná série – složená z břidličnatých slabě migmatizovaných pararul s tělesy arteritických rul a ortorul
- 2) pestrá série – složená z biotitických pararul s vápenci, grafity a výlevy bazických hornin
- 3) svorová série s vložkami křemenců.

Podle geologické mapy 1:50 000 se v zájmovém území vyskytují různé typy hornin a to: svory, pararuly, ortoruly, migmatity, anatezity, žilné křemeny, granity, granodiority, aplity, granitové porfyry, dioritové porfyry a také žilné granity leukokratní, kvarcity, erlany, rovněž zde nalezneme kvartérní sedimenty: hlínu, písek, štěrk; smíšené sedimenty; slatiny, rašeliny a hnílokalý; písčito-hlinité až hlinito-písčité sedimenty (Příloha 1). Geologické poměry ovlivňují zejména tvar říční sítě a chemické složení vody (Povodí Vltavy 2009).

3.3 Geomorfologické poměry

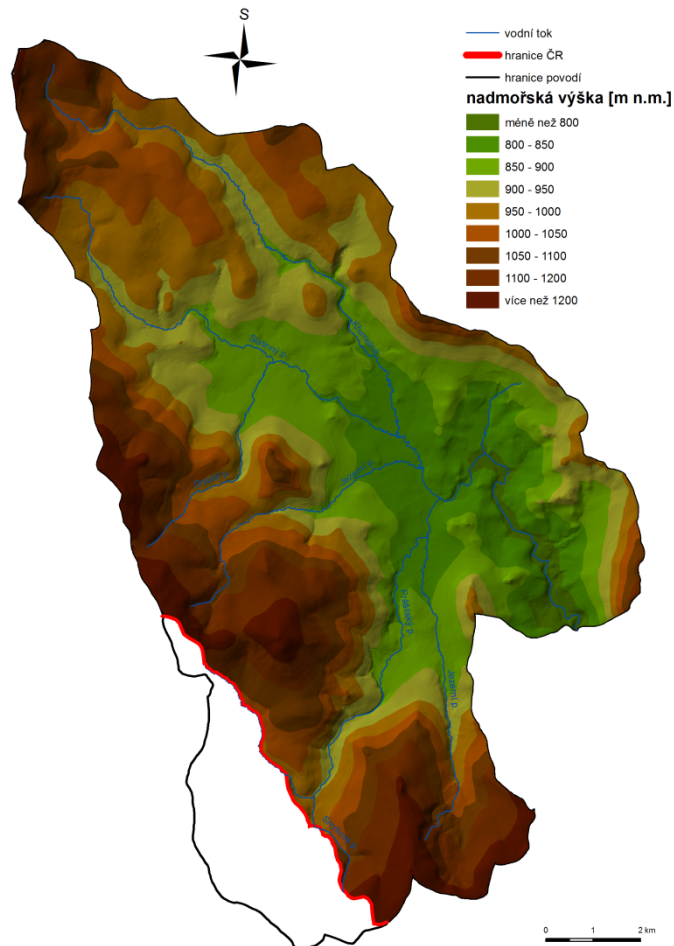
Povodí horní Křemelné se nachází ve výškách 760-1335 m n. m. (Obr. 6). Zájmové území z hlediska geomorfologické členění patří do Hercynského systému, subsystému Hercynská pohoří, provincie Česká Vysočina, subprovincie Šumavské, oblasti Šumavské hornatiny a celku Šumava (IB-1). Podle Demka (1987) zájmové povodí spadá do dvou podcelků. Většina povodí leží v podcelku **Šumavské pláně** (IB-1A), který se dále dělí na tři okrsky zasahující do povodí horní Křemelné - na *Kochánovské pláně*, *Kvildské pláně* a *Svojšskou hornatinu*. Pramenná oblast povodí horní Křemelné se nachází v podcelku **Železnorudská hornatina** (IB-1B), rozdělená na *Debrnickou hornatinu* a *Pancířský hřbet* (Tab. 1).

² Název moldanubikum vznikl na přelomu 19. a 20. století a označuje území mezi Vltavou a Dunajem, odvozeno z latiny: Moldavia a Danubis (Babůrek 2006).

Tab. 1: Geomorfologické členění povodí horní Křemelné. Zdroj: vlastní zpracování.

I	Šumavská soustava					
	IB	Šumavská hornatina				
		IB-1	Šumava			
			IB-1A	Šumavské pláně		
				IB-1A-a	Kochánovské pláně	
					IB-1A-1a1	Javorenský hřbet
					IB-1A-1a2	Vysocký hřbet
					IB-1A-1b	Zhůřské pláně
					IB-1A-1b1	slunečenská část
				IB-1A-b	Kvidské pláně	
					IB-1A-2a	Prášílské pláně
				IB-1A-d	Svojská hornatina	
		IB-1B	Železnorudská hornatina			
			IB-1B-a	Debrnická hornatina		
			IB-1B-c	Pancířský hřbet		
					IB-1B-3a	Mústecký hřbet

Balatka a Kalvoda (2006) rozšiřují práci Demka (1987) o geomorfologické členění na podokrsek a část, doplnění (Tab. 1) modře.



Obr. 6: Výškové poměry v povodí horní Křemelné³. Zdroj: ZABEGED, vlastní zpracování

³ U intervalů v legendě je použito následující schéma intervalů (1050; 1100>.

Za jeden z nejstarších reliktních paleoreliéfu Evropy je považován podcelek *Šumavské pláně*, který se zachoval z důvodu odlehlosti od hlavní evropské erozní báze (Babůrek 2006). Geologický vývoj začal v Šumavské části České vysočiny v permu, kdy se stala souší (Kunský 1968) a vyzdvihovala se. Po ukončení variské horotvorné činnosti byla krajina Šumavy ovlivněna intenzivním tropickým zvětráváním s cykly silné denudace. V pleistocénu formovalo krajinu zalednění (jednalo se o rozptýlené, karové zalednění). Následně se vytvářela současná říční síť, která se však v Šumavských pláních ještě nevyvinula, neboť zpětná eroze vodních toků oživená zdvihem pohoří sem dosud nepostoupila (Babůrek 2006).

Šumavské pláně jsou plochou hornatinou. V ústřední části horské klenby se vyskytují, nejvíce ve výškách 1000-1200 m, zbytky třetihorního zarovnaného povrchu, který byl, jak uvádí Anděra (2003), do neobvyklé výškové polohy vysunut tektonickými pohyby. Oblé vrcholy - suky a odlehlíky vyčnívají nad zarovnaný povrch. Pro Šumavské pláně jsou charakteristická mělká a otevřená údolí s četným pokrytím rašeliništi (Demek 1987).

V severozápadní části povodí řeky Křemelné leží okrsek *Kochánovské pláně*. Tato plochá hornatina je vyzdvižena do výšek 800 až 900 m (Babůrek 2006). Z hlediska typu reliéfu jde o erozně denudační reliéf. Nachází se zde mělké otevřené údolí horní Křemelné s četnými rašeliništi a zbytky třetihorních zvětralin. Nad pláně vystupují nejvyšší vrcholy Javorná (1090 m), Vysoký hřbet (1078 m) a Březník (1006 m).

Okrsek *Kvildské pláně* zaujímá střední část Šumavských plání tedy pramenné oblasti Teplé Vltavy a Vydry. Jedná se o plochou hornatinu s erozně-denudačním reliéfem s rozsáhlými zbytky zarovnaného povrchu. Mělké a široké terénní deprese jsou vyplněny četnými rašeliništi. Elevace tvořené odolnějšími horninami ve výšce 1000 až 1100 m vystupují nad pláně. Jedná se o izolované oblé vrchy (suky a odlehlíky) s četnými tvary periglaciálního zvětrávání a odnosu. Nejvyšším vrcholem je Velká Mokrůvka (1370 m), dalšími významnými vrcholy jsou například Blatný vrch (1367 m), Oblík (1225 m), Poledník (1315 m).

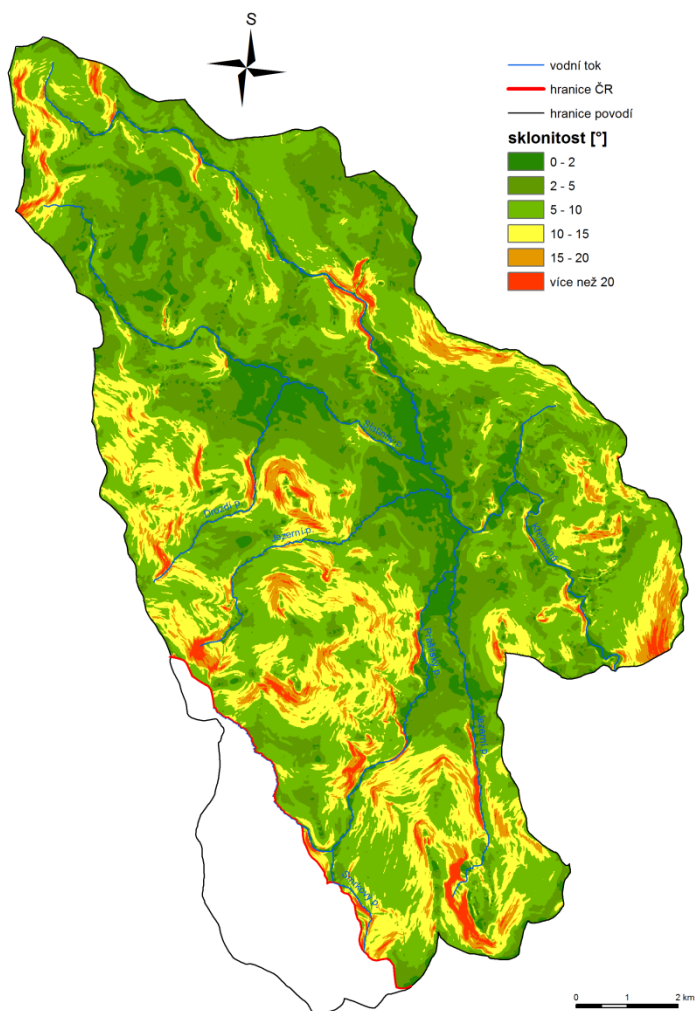
Okrsek *Svojšská hornatina* - členitá hornatina ležící na severovýchodním okraji střední části Šumavských plání. Otava a její přítoky silně rozbrázdily Svojšskou hornatinu, čímž vznikla hluboká údolí těchto řek. Nejvyšším bodem je zde Huťská hora (1177 m), další vrchol Křemelná sahá do výšky (1125 m).

Členitá *Železnorudská hornatina* se nachází v severozápadní části Šumavy. Tato vrásnozломová hornatina je rozdělena širokým, podélným údolím Úhlavy na dva téměř rovnoběžné hřbety, na kterých se dochovaly zbytky zarovnaného povrchu ve vrcholové části, kde působením periglaciální a glaciální činnosti vznikaly četné skalní tvary. Nejvyšší Jezerní hora měří 1343 m.

Okrsek *Pancířský hřbet* se nachází v severozápadní části Železnorudské hornatiny. *Pancířský hřbet* je plochou hornatinou a strukturálním rozvodním hřbetem se zbytky zarovnaného povrchu. V okrsku se nachází vrchol Můstek (1235 m) a Pancíř (1214 m).

Debrnická hornatina se rozprostírá v jihovýchodní části Železnorudské hornatiny. Jedná se taktéž o plochou hornatinu. Vyskytuje se zde široký horský hřbet, v oblasti nejvyššího vyzdvižení nalezneme četné skalní tvary periglaciální a méně již tvary glaciální modelace. Důkazem výše zmíněné modelace jsou kamenná moře a ledovcové jezero. Nejvyšším bodem je Debrník (1336), významné body Polom (1295 m) a Žďánidla (1309 m) (Demek 1987).

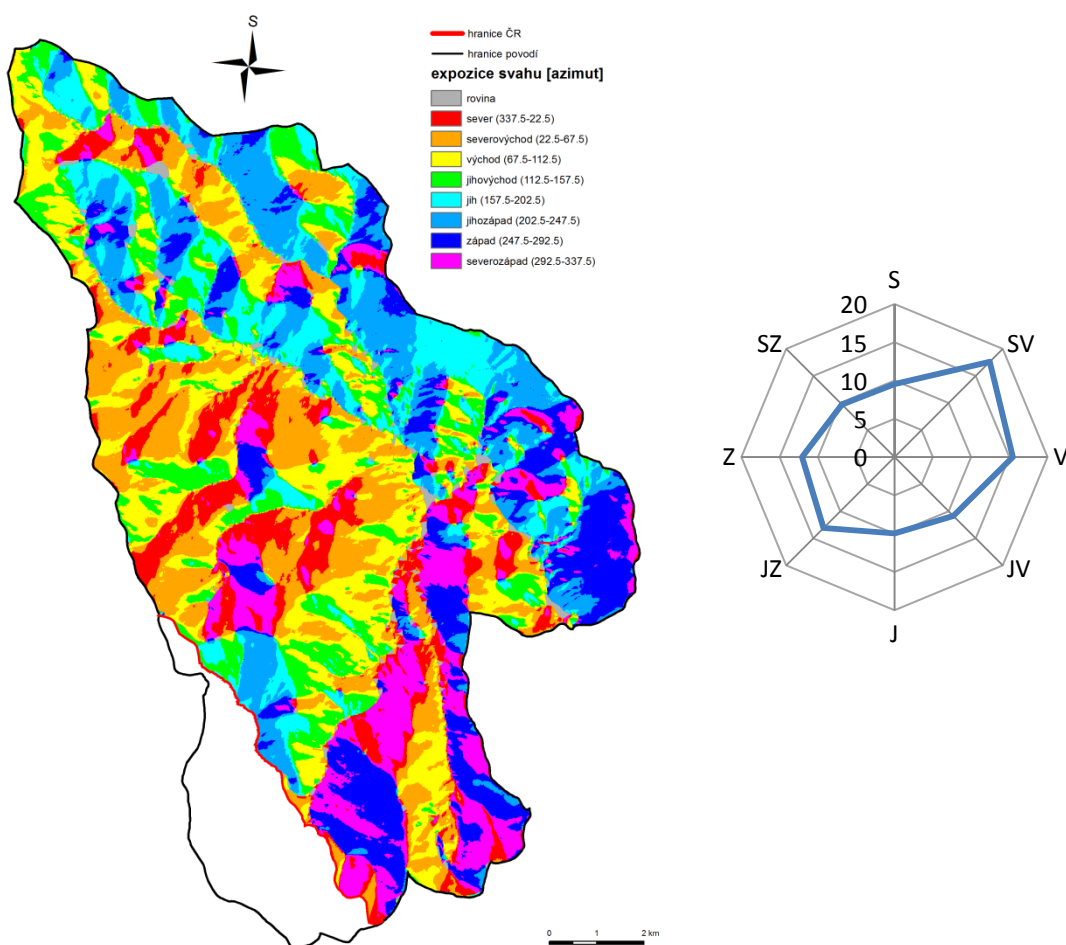
V povodí horní Křemelné je nejvíce zastoupen sklon 5-10° pokrývající 39,8 % území. Následuje sklon 2-5° s 25 % a sklon 10-15° s 19% (Obr. 7).



Obr. 7: Sklonitostní poměry v povodí horní Křemelné³. Zdroj: ZABAGED, vlastní zpracování.

Reliéf představuje významný faktor ovlivňující formování odtoku a určuje průběh povodně. Zájmové povodí je charakterizováno větší sklonitostí a menším procentuálním zastoupením lesů než například v povodí Vydry. Tyto vlastnosti by se měly projevit v rychlejších odtokových poměrech a celkové vodní bilanci.

V povodí horní Křemelné jsou zastoupeny nejvíce svahy orientované na severovýchod a východ (Obr. 8).



Obr. 8: Expozice svahů v povodí horní Křemelč³ a jejich zastoupení v [%]. Zdroj: ZABAGED, vlastní zpracování.

3.4 Půdní pokryv

Pedosféra neboli půdní kryt lze definovat jako samostatný přírodní útvar, jenž vznikl transformací svrchní části zemské kůry působením organismů na horniny za účasti vzduchu, vody a sluneční radiace (Horník 1986). Půda je výslednicí funkce klimatu, matečné horniny, reliéfu, polohy, organismů, podzemní vody a času. Šefrna (2004) tvrdí, že půda je složitý

system minerální a organické půdní hmoty seskupené do strukturních částic vytvářející díky vzájemnému uspořádání pórů, kudy voda perkoluje a kde se zadržuje. Povodí Vltavy (2009) uvádí, že půdní poměry se svými infiltračními a retenčními charakteristikami podílejí na rozdělení odtoku na povrchový, podpovrchový a základní.

Zájmové povodí pokrývají čtyři hlavní skupiny půdních typů: podzoly, hnědé lesní půdy, glejové půdy a půdy rašeliništní (Beer 1992 in Marek 2005, s. 38).

Anděra (2003) uvádí, že se v povodí Křemelné vyskytují rezivé půdy s podzoly, hnědé půdy silně kyselé a rašeliništní půdy. Tomášek (2006) ho doplňuje ještě o podzoly. Dle půdní mapy 1: 250 000 a klasifikace MSKP se na území Křemelné nachází podzol kambizemní (77,9%), glej organozemní (10,2%), organozem (6%), podzol typický (5,9%).

Podzoly nalezneme v nejvyšších horských polohách. Je pro ně charakteristické velmi vlhké a chladné klima s ročním úhrnem srážek často přesahujícím 800 mm. Tyto půdy vznikaly především pod jehličnatými, nejvíce pod smrkovými lesy.

Podzol kambizemní neboli rezivé půdy se vyskytují ve výškách nad 800 m n. m. Vznikaly převážně pod kyselými horskými bučinami či pod smrčinami v chladném a vlhkém podnebí.

Gleje organozemní se označují také jako gleje zrašelinělé. Gleje jsou lokalizovány v nivách vodním toků a v zamokřených úpadech pahorkatin a vrchovin. Původní porosty byly luhy, druhotně pak zamokřené kyselé louky.

Organozemě vznikají akumulací slabě rozložených rostlinných zbytků v silně zvodnělém prostředí. Je pro ně typické, že jsou prosycené vodou, mají nedostatek minerálních látek a jejich půdní reakce je kyselé.

Hnědé půdy neboli *kambizemě* - nejrozšířenější půdní typ Česka se nejčastěji se vyskytuje v pahorkatinách a vrchovinách, ale i v horách. Kambizemě jsou rozšířeny v nadmořských výškách od 450 do 800 m n. m. Listnaté lesy byly původní vegetací – dubohabrové a horské bučiny. Existuje pět základních subtypů hnědých půd, ale v povodí Křemelné se nejčastěji vyskytují *hnědé půdy silně kyselé* (Tomášek 2006).

Glejové a rašeliništní půdy výrazně ovlivňují povrchový a podpovrchový odtok. Podzoly jsou dobře propustné, tudíž zachycují značnou část srážkové vody, podobný charakter mají hnědé lesní půdy. Opačně je tomu u hydrogenních půd, jejichž vývoj je podmíněn nadbytkem srážkové vody či nadměrně zvýšenou hladinou podzemní vody (Povodí Vltavy 2009).

3.5 Biogeografické poměry

Charakter rostlinného pokryvu určuje podnebí, nadmořská výška, reliéf, vodní režim, horninové a půdní podloží a lidská činnost. Pleistocenní ochlazení zapříčinilo vytlačení původně

teplomilné třetihorní flóry na jih Evropy, některá flóra v důsledku klimatických změn úplně vymizela z kontinentu (Babůrek 2006). Na místo původní třetihorní flóry byly zavlečeny severské vegetační formace tajgy a tundry, které se po skončení dob ledových navrátily do jejich původní oblasti v severní Evropě. Výjimkou byla například bříza zakrslá či mnohé rašeliništní druhy, jež se na našem území udržely. Po odeznění posledního glaciálu (10 000 př. n. l.) – v holocénu, začaly na Šumavu pronikat z jehličnanů nejprve borovice, jež později vytlačily smrky. Z listnatých stromů se nejprve rozšířily odolné břízy a olše. Jehličnaté lesy se přesunuly do vyšších poloh (Ložek, 1973). V preboreálu dominovaly březoborové lesy, v období boreálu se nejvíce zastoupeným druhem stala líska společně s borovicí, které s méně zastoupenou olší a břízou tvořily hlavní složku lesa. V následujícím období atlantiku charakteristickým mnohem vyššími teplotami a vlhkostí než v současné době stoupá podíl náročnějších listnatých stromů, jako jsou duby, jilmy, lípy a smrky. Na konci období pronikly na území Šumavy z předalpských refugii buky, jedle a druhy alpské květeny. Koncem atlantiku se také utváří výškové vegetační stupně. Epiatlantik je období charakteristické rychlým šířením buků a jedlí na úkor doubrav a stabilizuje se výšková zonalita vegetace. V navazujících obdobích subboreálu a subatlantiku se stabilizovala i skladba rostlinných společenstev. Takto utvořený vegetační kryt nazýváme původní lesní vegetací. V subrecentu začíná dominovat lidská činnost - zájmové území bylo ovlivňováno až s osídlením vyšších poloh, jedná se o novověkou krajinu (Chábera et al. 1987).

Typy krajiny podle reliéfu – v povodí horní Křemelné nalezneme krajinu vysoko položených plošin, krajinu výrazných svahů a skalnatých horských hřebenů, krajinu ledovcových karů, krajinu vrchovin Hercynica a krajinu zaříznutých údolí. Typy krajiny podle osídlení, celé povodí horní Křemelné spadá pod novověkou sídelní krajinu Hercynika. Typy krajiny dle využití v území v povodí se nachází lesní krajiny a lesozemědělské krajiny (CENIA WMS).

Biogeografické členění České republiky, oblast spadá pod provincii středoevropských listnatých lesů, subprovincii Hercynskou, region Šumavský.

Šumava je oblastí hercynského lesního rostlinstva s rozptýlenými alpskými prvky. Původně byla zalesněná až k horní hranici lesa (1350-1420 m n. m.). V 70. letech 19. století byly lesy nahrazeny výsadbou smrku. Klimatické smrčiny byly v nejvyšších polohách s vrcholovými lučinami, nižší patro tvoří acidofilní horské smíšené bučiny, pod nimi nalezneme květnaté bučiny, nejnižší se nachází acidofilní podhorské doubravy. V této oblasti se nachází rozsáhlá rašeliniště vrchovištní, horská i údolní, postglaciálního a preboreálního stáří (Kunský 1968).

Bufková (2001) uvádí, že se v povodí Křemelné vyskytují tři vrchovištní rašeliniště, a to o Malá Hůrka, Vysoké Lávky II. a Gerlova Huť.

Dle geobotanické mapy (Mikyška 1968) se na území horní Křemelné nachází podmáčené smrčiny, luhy a olšiny, vrchoviště a přechodná rašeliniště, acidofilní horské bučiny a květnaté bučiny.

3.6 Krajinový pokryv

Krajinový pokryv a především pak lesy významně ovlivňují hydrologický režim toků. Při vhodné druhové skladbě a stavu lesních porostů snižuje kulminace povodní a zvyšuje průtoky v období nedostatku srážek. Z databáze CORINE Land Cover 2006 je patrné, že v povodí horní Křemelné výrazně převládají jehličnaté lesy (Příloha 2). Změny krajinového pokryvu mezi roky 1990 a 2006 jsou malé, z toho je největší úbytek nízkého porostu v lese a nárůst ploch jehličnatého lesa, což značí postupnou přeměnu odlesněných ploch (Tab. 2). Dříve území pokrývala nezavlažovaná orná půda, kterou nahradily zemědělské oblasti s přirozenou vegetací.

Tab. 2: Krajinový pokryv pro rok 1990 a 2006. Zdroj: vlastní zpracování.

<i>třída CORINE</i>	<i>CORINE 1990</i> [%]	<i>CORINE 2006</i> [%]	<i>změna</i> [%]
2.1.1. nezavlažovaná orná půda	0,67	0,00	-0,67
2.3.1. louky a pastviny	0,37	1,84	1,47
3.1.2. jehličnaté lesy	72,53	75,08	2,56
3.1.3. smíšené lesy	3,73	5,08	1,35
3.2.1. přírodní louky	10,41	8,00	-2,41
3.2.4. nízký porost v lese	11,11	7,18	-3,93
4.1.1. mokřiny a močály	1,19	1,89	0,70
2.4.3. zemědělské oblasti s přirozenou vegetací	0,00	0,93	0,93

S ochranou přírody se na Šumavě začalo v roce 1963, kdy bylo 163 000 ha prohlášeno za CHKO Šumava. Roku 1991 byla rozlehlá část Šumavy, při jihozápadní hranici s Německem a Rakouskem vyhlášena národním parkem o rozloze 69 030 ha. Ještě předtím se dostalo Šumavě významného uznání v mezinárodním měřítku, když byla dekretem mezinárodní organizace UNESCO v Paříži prohlášena za biosférickou rezervaci. Byla tak zařazena mezi nejvýznamnější oblasti přírodního a kulturního dědictví v celosvětovém měřítku. Všechna šumavská rašeliniště patří k I. zóně. Význam šumavských rašelinišť je zdůrazněn také jejich zařazením mezi mokřady chráněné Ramsarskou úmluvou o ochraně mokřadů celosvětového významu (Anděra 2003).

3.7 Klimatické podmínky

Klimatické poměry daného území významně ovlivňují srážko-odtokový režim. Při popisu klimatických poměrů je důležité si uvědomit, v jaké klimatické oblasti se povodí nachází, jaký je chod a intenzita srážek a v neposlední řadě, jaký je směr převažujícího proudění.

Podnebí Šumavy patří k střeoevropskému středohorskému typu a vyznačuje se přechodným rázem mezi klimatem oceánským a kontinentálním, tj. projevuje se malými ročními výkyvy teploty a poměrně vysokými srážkami stejnoměrně rozloženými během roku (Chábera 1987).

Dle všeobecně uznávané Köpenovy klasifikace spadá povodí horní Křemelné do oblasti boreálního klimatu se stejnoměrným rozložením srážek *Dfb* a *Dfc*. Písmena *b* a *c* značí letní teplotu, při čemž *c* vyjadřuje nejchladnější, více v Atlase podnebí Česka (2007). Hladík (2006) uvádí, že podle Quitovy klasifikace spadá zájmové území do 3 chladných klimatických oblastí – C4, C6 a C7, definice jednotlivých oblastí se nachází v jeho práci či v Atlase podnebí Česka (2007).

3.7.1 Teplota

Průměrná roční teplota v povodí horní Křemelné se dle Atlasu podnebí ČR (2007) pohybuje v rozmezí 3-6°C. Nejchladnějším měsícem na Šumavě je leden, nejteplejší červenec. K nejchladnějším částem Šumavy patří Šumavské pláň. V dané oblasti platí závislost úbytku teploty s výškou, ale vyskytují se zde tzv. inverzní polohy, ve výškách v rozmezí 1050 – 1110 m, jež jsou chladnější než výše vystupující horské vrcholy (Chábera 1987).

3.7.2 Srážky

Českou část Šumavy lze rozdělit do tří srážkových pásem. První pásmo ležící na hranici nazýváme návětrnou částí Šumavy, druhé pásmo leží ve vrcholové části Šumavy a třetí zaujímá závětrnou část Šumavy – severní a severovýchodní svahy vrcholů. Pohraniční pásmo Šumavy má za převládajícího jihozápadního a západního proudění charakter návětrné strany, jež se výrazně projevuje v zimním období. Důsledkem toho je poměrně stejnoměrné rozdělení srážek po celý rok. Při západní synoptické situaci spadne v pohraničním pásmu Šumavy pětkrát více srážek, ve druhém pásmu třikrát více a ve třetím pásmu je orografické zvětšení srážek jeden a půl krát větší v porovnání s referenčními stanicemi středních Čech (Anděra 2003). Jak uvádí Kunský (1968) Šumava je jedním z našich nejdeštivějších pohoří, zimní srážky se blíží letním.

Na Šumavě se značně uplatňuje fénový vliv poměrně blízkých Alp snižující vydatnost srážek zejména v teplé polovině roku, na závětrné straně se vzduch ohřívá a vysušuje (Chábera 1987). V povodí horní Křemelné se nachází srážkoměrná stanice ČHMÚ - Prášily (883 m n. m.), u Zhůveckého potoka se nachází automatický srážkoměr PřF. V Atlase podnebí ČR (2007) je povodí zařazeno do intervalu 1000 – 1400 mm za rok. Nejdeštivějším měsícem centrální části Šumavy je červenec, nejsušším březen.

3.7.3 Povětrnostní podmínky, oblačnost a sluneční svit, sněhová pokrývka

Kromě všeobecné cirkulace atmosféry (znalosti povětrnostních podmínek), srážek a teplot ovlivňuje klima také vlhkost vzduchu, oblačnost a doba slunečního svitu. Na Šumavě převládá vítr jihozápadního a západního směru, největrnějším jsou letní měsíce, druhotně říjen. Nejvyšší průměrnou rychlost větru vykazují volné nezalesněné konvexní plochy (5-8 m/s), naproti tomu v uzavřených hlubších údolích se rychlost větru pohybuje v rozmezí 1-2 m/s. V hlavním hřbetu Šumavy nad 1000 m je v létě oblačnost vyšší než na jeho SV svahu a v podhůří. Zimní oblačnost je zde menší než v nižších polohách, což je způsobeno déletrvajícemi zimními teplotními inverzemi. Vyšší letní oblačnost na horách je způsobena výstupem zahřátého vzduchu z údolí vytvářející kupovitou oblačnost. V ročním chodu oblačnosti je v listopadu a prosinci nejvíce oblačnosti, nejméně v srpnu a září. V denním chodu v letním období je na horách nejvyšší oblačnost v odpoledních hodinách, nejmenší ve večerních hodinách. V zimě je oblačnost na horách nejvyšší odpoledne, nejmenší ráno (Anděra 2003).

Odtokové poměry velice výrazně ovlivňuje sněhová pokrývka, její výška a hlavně vodní hodnota sněhu. Smíšené povodně zapříčiněné kombinací tání sněhu a dešťových srážek jsou nejčastějším druhem povodní v našich podmínkách (Jeníček 2009). V centrální části Šumavy tvoří přibližně 40 % zimní srážky – sněžení a tvoří tak zásoby vláhly pro prameny potoků na jaře a v létě (Anděra 2003).

3.8 Hydrologické poměry

Hydrologické poměry závisí na klimatických poměrech, především na úhrnu srážek. V České republice se uplatňuje tzv. třetinové pravidlo, tj. že celkový objem srážek se třetinově rozdělí mezi odtok, výpar a vsak.

Povodí horní Křemelné se dělí do patnácti dílčích povodí (Obr. 5). Hlavními pravostrannými přítoky jsou Slatinný potok (11,87 km), Jezerní potok (7,41 km), který vytéká z jezera Laka, Prášilský potok (12,57 km) jeho pravostranným přítokem je Jezerní potok vytékající z Prášilského jezera. Levostranným přítokem je například Svodnice od Vysokého

hřbetu (2,11 km) (DIBAVOD). Dané rozložení zapříčiňuje značnou asymetrii s dominancí vyvinutosti pravostranných přítoků. Anděra (2003) popisuje, že Laka je nejmenší (2,78 ha) a nejmělkčí (max. hloubka 3,9 m) jezero na české straně Šumavy. Ze všech Šumavských jezer je nejnvýše položené (1096 m n. m.). Nachází se na SV svahu Debrník. Prášilské jezero leží ve výšce 1079 m n. m. na SV svahu vrcholu Poledník v oblasti Šumavských plání. Rozloha jezera je 3,72 ha, maximální hloubka 14,9 m.



Obr. 9: Závěrový profil Křemelné. Zdroj: vlastní foto

Experimentální povodí Křemelné je vymezené automatickým hladinoměrem (M4016 + ultrazvukové čidlo). Nachází se na mostu, po kterém vede silnice Prášily-Skelná. Měřené veličiny jsou: výška hladiny a teplota vzduchu. Pramen Křemelné je ve výšce 1130 m (Zhůrecký potok). První hodnoty z hladinoměru byly zaznamenány 24. 10. 2006.



Obr. 10: Závěrový profil Prášilského potoka. Zdroj: vlastní foto.

Experimentální povodí Prášilského potoka vymezené hladinoměrem (M4016 + ultrazvukové čidlo) se nachází na mostě, přes nějž vede silnice Prášily-Skelná. Profil se nachází nad ústím do Křemelné. Automatické zařízení měří výšku hladiny. Prášilský potok pramení ve výšce 1157 m. Hladinoměr je v provozu od 18. 9. 2006.



Hladinoměr (M4016 + ultrazvukové čidlo + člunkový srážkoměr + solární panel) v experimentálním povodí Zhůreckého potoka je umístěn na mostku, přes nějž vede cesta Slučí Tah - bývalé Zhůří. Měří se výška hladiny, teplota vzduchu, úhrn srážek. Hladinoměr byl zprovozněn 19. 9. 2006 a člunkový srážkoměr dne 28. 3. 2007.

Obr. 11: Závěrový profil Zhůreckého potoka. Zdroj: vlastní foto.



Hladinoměr (M4016 + ultrazvukové čidlo) experimentálního povodí Slatinného potoka je situován na mostku přes tok na silnici Nová Hůrka – Skelná. Měřené veličiny jsou výška hladiny, obsah rozpuštěného kyslíku a teplota vody. Potok pramení ve výšce 1075 m. Hladinoměr byl nainstalován 31. 10. 2007.

Obr. 12: Závěrový profil Slatinného potoka. Zdroj: vlastní foto.



Experimentální povodí Černého potoka je součástí povodí Slatinného potoka, jehož hladinoměr (M4016 + tlakové čidlo) je umístěn na mostku u silnice Prášily - Gerlova Huť. Měří výšku hladiny, redox, pH, teplotu vody a konduktivitu. Černý potok pramení ve výšce 1213 m. První záznamy dat jsou od 4. 12. 2007.

Obr. 13: Závěrový profil Černého potoka. Zdroj: vlastní foto.

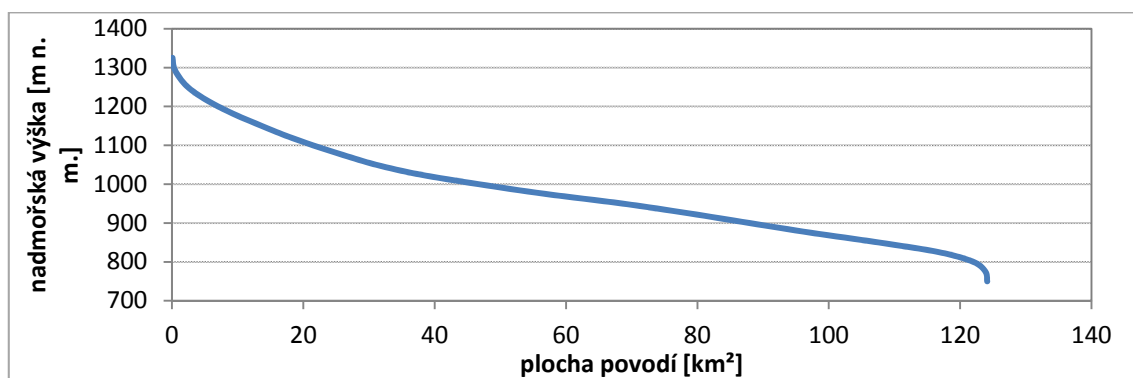
Naměřené hodnoty vodní hladiny jsou v desetiminutovém kroku posílána na server Fiedler-Mágr a v závislosti na výskytu extrémních epizod se provádí hydrometrování v daném území.

V Tab. 3 jsou uvedeny základní údaje zájmového povodí po závěrový profil Stodůlky. Dle absolutní řádovosti je Křemelná řekou 4. řádu (Labe, Vltava, Otava, Křemelná).

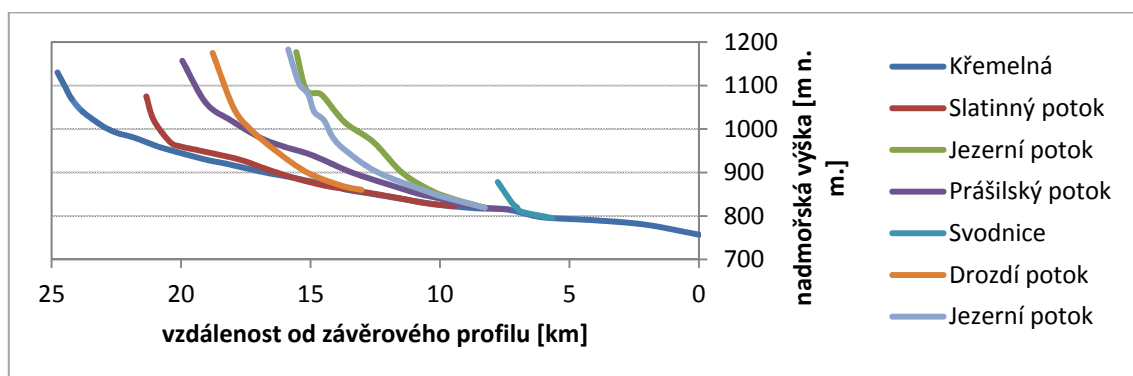
Tab. 3: Základní údaje povodí horní Křemelné. Zdroj: VÚV, vlastní zpracování.

název	veličina	hodnota
plocha povodí	P	135,34 km ²
délka toku	L	24,77 km
úhrnná délka toků	ΣL	287,38 km
délka rozvodnice	L_R	60,1 km
nejvyšší kóta v povodí	h_{\max}	1336 m
nejnižší kóta v povodí	h_{\min}	760 m

Zkoumané povodí má spíše kruhový tvar, uspořádání říční sítě je asymetrické. Podle charakteristiky α je povodí vějířovité. Hypsografická křivka vyjadřující podíl určitých výškových pásem na celkové ploše povodí je zobrazena na Obr. 14 a podélný profil vývoje toku je na Obr. 15.

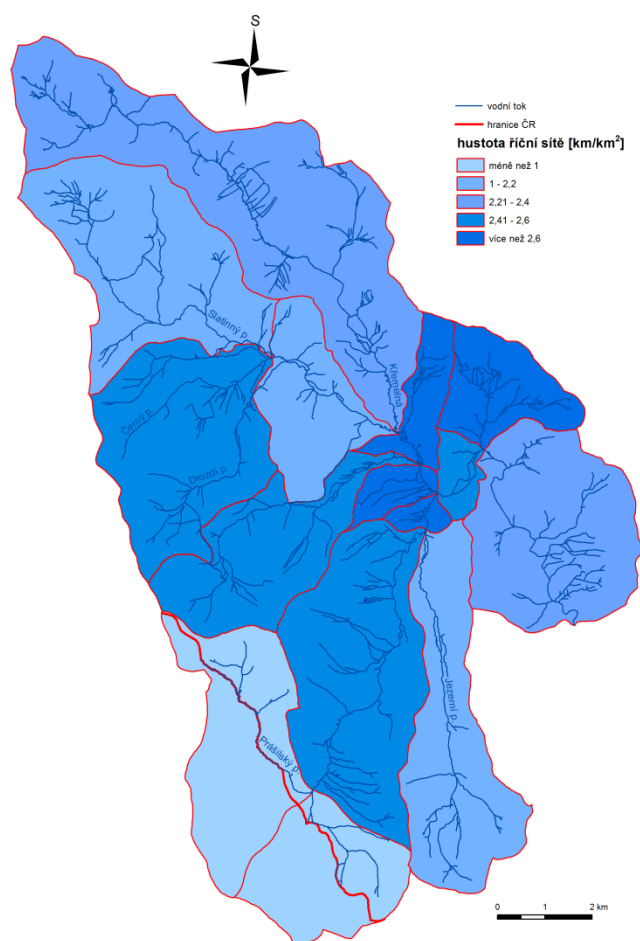


Obr. 14: Hypsografická křivka Křemelné. Zdroj: vlastní zpracování.



Obr. 15: Podélný profil toku. Zdroj: vlastní zpracování.

Hustota říční sítě je velmi vysoká - 2,12 km/km². Hustoty jednotlivých povodí jsou zobrazeny na Obr. 16. Nižší hustota říční sítě v pramenné oblasti povodí Prášilského potoka je ovlivněna hranicí ČR, neboť není zahrnuta říční síť v Německu.



Obr. 16: Hustota říční sítě. Zdroj: DIBAVOD, vlastní zpracování.

4 MATERIÁL A METODY

Cílem kapitoly je představit profily vybrané pro statistické analýzy. Rovněž jsou v rámci kapitoly popsány použité datové zdroje, potenciální chyby vzniklé při měření a zpracování dat a metodické přístupy použité k naplnění cílů práce.

Pro statistické analýzy byl vybrán závěrový profil Stodůlky na Křemelné. Z vlastních experimentálních povodí byl vybrán profil Křemelné a Slatinného potoka. Současně zájmové území tvoří výzkumnou oblast grantového projektu, který KFGG řeší pod názvem: Retenční potenciál pramenných oblastí ve vztahu k hydrologickým extrémům (GAČR 13-32133S), což dokládá aktuálnost tematiky a potřebu objasnění tvorby a dynamiky odtoku v pramenných oblastech.

4.1 Datové zdroje

Hlavními datovými zdroji předkládané práce jsou průměrné denní průtoky z databáze ČHMÚ naměřené vodoměrnou stanicí Stodůlky a 10 minutové záznamy vodních stavů z automatických monitorovacích stanic v experimentálních profilech PŘF UK. Dalším významným datovým zdrojem byla srážková data od ČHMÚ ČB. Pro zpracování a analýzu dat byl využit software ArcGIS Desktop verze 10.2, MS Office, Matlab a Statistica 12.

Pro vizualizaci a tvorbu mapových výstupů posloužila Digitální báze vodohospodářských dat (DIBAVOD) od VÚV T. G. Masaryka v Brně, výškopis ve formě vrstevnic po 5 m ze Základní báze geografických dat (ZABAGED) od ČUZK, GEO ČR 50 od ČGS (barevná digitální geologická mapa), ArcČR 3.0 od ArcData a WMS služby – Základní mapa 1:10 000 (ZM 10), Základní mapa 1:50 000 (ZM 50), CENIA.

4.2 Chyby měření

Z logiky věci vyplývá, že každý dílčí krok v procesu začínající naměřením dat až po statistické vyhodnocení, může být zatížen chybou různé velikosti. Tyto chyby, které dělíme na systematické a náhodné, se navíc navzájem ovlivňují. K systematickým chybám dochází především při sběru dat – například nevhodně umístěným hladinoměrem či srážkoměrem. Nejvíce chyb vzniká v důsledku výpadků v zaznamenání hodnot vodních stavů hladinoměrem. K tomu dochází vlivem vybití akumulátoru či zhoršeného přenosu dat z důvodu slabého signálu, což ve výsledku znamená absenci měřených dat. Data nám rovněž chybějí v případech, kdy přístroj odesílá pouze chybovou hlášku či nulové hodnoty a nikoli výšku hladiny. Vlivem přehřátí senzoru dochází též k podhodnocení naměřených hodnot hladiny. Aby se předešlo těmto výpadkům, instalovaly se k hladinoměrům solární panely. V případě rozbití solárního panelu však opět dochází k chybám.

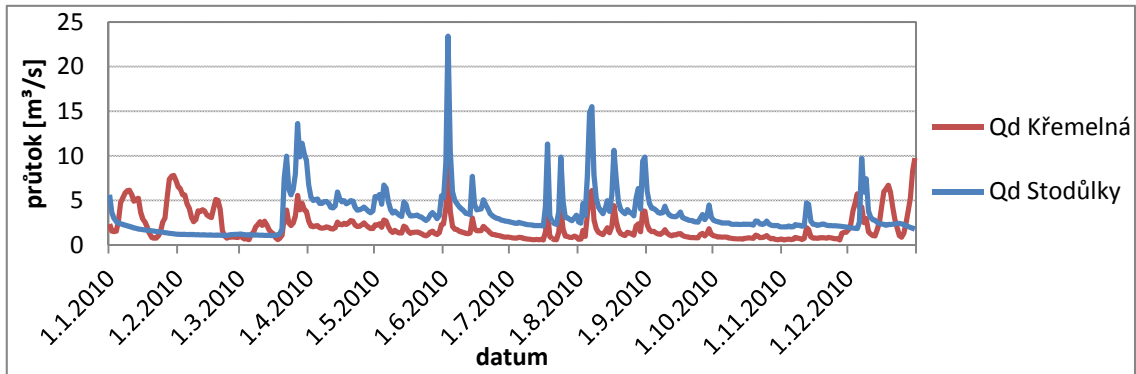
S chybami musíme počítat i při tvorbě konsumpční křivky, popisující vztah mezi výškou vodní hladiny a průtokem. Nekvalitní křivka poté způsobuje podhodnocení či nadhodnocení průtoků při přepočtu z výšky hladiny. Chyb se také můžeme dopustit již při hydrometrování – nevhodným výběrem profilu, nebo nižší spolehlivostí samotného měření.

Při doplnění chybějících hodnot v časových řadách průtoků rovněž mohou vznikat chyby. Velikost těchto chyb závisí na zvolené metodě, koeficientu determinace a hodnotě spolehlivosti statistického modelu nahrazující chybějící či chybná data.

Některými z výše zmíněných chyb jsou zatíženy i výsledky překládané práce. V datech z hladinoměrných zařízení byly odstraněny errorry, nulové hodnoty, ledové jevy a také hodnoty náhlých nepravděpodobných vysokých a nízkých průtoků. Právě odstranění či minimalizace vlivů popsaných výše je klíčová.

Ukázku ledových jevů zobrazuje Obr. 17. V jejich důsledku může hladinometer výrazně nadhodnocovat výšku vodní hladiny (měří výšku ledu či sněhovou pokrývku), přestože nedochází ke změně hladiny. Důsledkem ledových jevů vznikají ledové povodně. Jsou vyvolány ledem v korytě, nikoli vysokým průtokem vody, který výrazně snižuje průtočnou kapacitu koryta a vzdouvá hladinu vody. Vyznačují se extrémními vodními stavy. Lze je pozorovat v období tání, ale i v období mrazů. Povodně jsou v období tání vyvolávány jinými procesy

a jevy a mají i odlišný průběh než v období mrazů, více v ČHMÚ (2012).



Obr. 17: Typické zvýšení vodního stavu v důsledku existence ledových jevů v profilu Křemelné - nad soutokem s Prášílským potokem v období 1. 1. - 15. 3. 2010. V níže položeném profilu Křemelná-Stodůlky se ledové jevy nevyskytly. Zdroj: data ČHMÚ a hladinoměrné zařízení PŘF.

4.3 Metodika práce

Abychom mohli posoudit dynamiku odtoku, byla provedena základní hydrologická statistika a analýza denního, měsíčního a ročního chodu odtoku. K provedení analýz dynamiky odtoku bylo u experimentálních povodí nejdříve zapotřebí naplnit několik dílčích cílů. Prvním z nich bylo vytvořit vhodné konšumpční křivky, přes které se dají vypočítat průtoky odpovídající naměřeným hladinám z automatického hladinoměrného zařízení. Z důvodu neexistence hydrometrování za extrémních vodních stavů bylo třeba přistoupit k extrapolaci hodnot. Změřené průtoky odpovídající vysokým vodním stavům zpřesňují konšumpční křivku odpovídající tak více skutečnosti. Tyto průtoky bohužel není možné, jednak z důvodu bezpečnosti a jednak kvůli krátké době trvání povodně změřit. Daný problém byl vyřešen pomocí extrapolace měrné křivky Manningovým rychlostním vzorcem.

$$v = \frac{1}{n} \cdot R^{\frac{2}{3}} I^{\frac{1}{2}}; Q = P \cdot v$$

Q - průtok

$$R - \text{hydraulický poloměr, } R = \frac{P}{O}$$

P - plocha při daném stavu hladiny, O - omočený obvod

I - sklon

n - koeficient drsnosti

Podstatou extrapolace měrné křivky rychlostním vzorcem je nepřímé určení koeficientu drsnosti (n) pomocí zaměřeného příčného a podélného profilu. Získá se tak závislost n na vodním stavu, z níž lze extrapolovat oblasti s minimem přímých měření (Šercl 1994).

Pro realizaci popsaného řešení byly laserovým dálkoměrem zaměřeny příčné i podélné profily všech experimentálních vodních toků v povodí horní Křemelné (Příloha 3). V potaz byly brány dva příčné profily. První je změřen přímo pod hladinoměrným zařízením, druhý reflektoval ovlivnění profilu konstrukcí mostu, na kterém jsou hladinoměry umístěné. Důvodem byl fakt, že konstrukce mostu má značný hydraulický vliv na proudění vody toku, neboť hladinoměry v zájmovém povodí jsou umístěny na zadní straně mostu ke směru toku. Takto zvolené umístění je z důvodu ochrany před povodněmi, které by na čelní straně mohly zařízení poškodit.

Poté pomocí programu Matlab se pro každý potřebný vodní stav vypočetly plochy a omočený obvod. Pomocí Mannigovy rovnice, tak mohl být vypočítán koeficient drsnosti. Tedy za předpokladu znalosti Q z hydrometrování.

Jak je patrné z rovnice, volba hodnoty n rozhoduje o správnosti výsledků. Koeficient drsnosti může být pro přirozené vodní toky stanoven pomocí tabulkových hodnot. Nicméně zvláště u přirozených vodních toků, strohé slovní charakteristiky stavu koryta a proudění jsou pouze odhadem neshodujícím se často se skutečností. Skutečnost je ještě komplikována proměnlivostí odporů proti proudění a také jsou závislé např. na ročním období či vodním stavu (Šercl 1994). Tudíž byla v dalším kroku zkoumána závislost koeficientu drsnosti na vodním stavu a bylo postupováno podle Šercla (1994) tzn., pokud existuje závislost mezi vodním stavem a koeficientem drsnosti, vyjadřuje n funkční předpis této závislosti. V opačném případě, pokud zde není žádná závislost nebo je těžce prokazatelná, se dané hodnoty n zprůměrovaly.

Takto získané potřebné parametry posloužily k extrapolaci hodnot pro vysoké vodní stavy. To umožnilo zkonstruovat konsumpční křivku. Na základě získaného vztahu z konsumpční křivky byly dopočítány průtoky dat desetiminutového kroku měření vodní hladiny automatickým zařízením.

Další dílčí cíl představoval očistění časové řady od chyb způsobených výpadky měření popsaných v předešlé kapitole. Řešení je možné velkou škálou možností, nicméně jsou různě náročné na čas i zkušenosti. Hančlová a Tvrđý (2003) uvádí, že k doplnění chybějících hodnot dle účelu lze přistoupit takto:

- 1) nahradit chybějící hodnoty aritmetickým průměrem či mediánem
- 2) nahradit chybějící hodnoty lineární interpolací mezi sousedními body
- 3) nahradit chybějící hodnoty trendem souboru, získané regresí vhodné křivky
- 4) nahradit chybějící hodnoty odhadem založeným na známém či predikovaném modelu chování procesu.

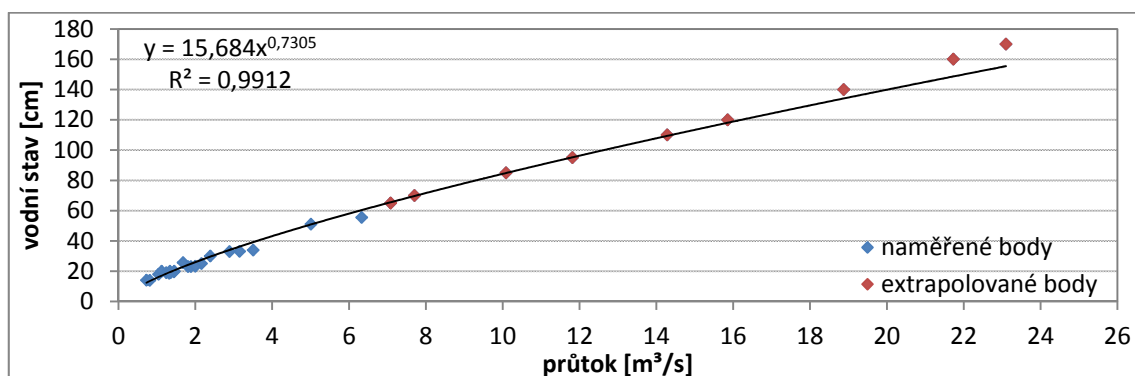
Z důvodu náročnosti některých přístupů byl pro doplnění chybějících měření zvolen následující postup:

- a) Malé výpadky do jedné hodiny bez výrazných změn průtoků před a po výpadku byly doplněny pomocí průměru hodnot předešlé a následující hodnoty.
- b) Výpadky do délky 6 hodin trvání byly doplněny pomocí lineární interpolace, jež se při testování ukázala jako nejvhodnější.
- c) V případě dlouhodobých výpadků byla nejprve zjištěna korelace mezi průtoky jednotlivých experimentálních potoků a následně zjištěn regresní vztah s potokem s nejvyšší korelací. Pomocí regresního předpisu se doplnila chybějící řada průtoků. Korelační i regresní vztah byl počítán pro každou epizodu samostatně, aby bylo dosaženo těsnějšího vztahu a vyšší spolehlivosti.

5 VÝSLEDKY

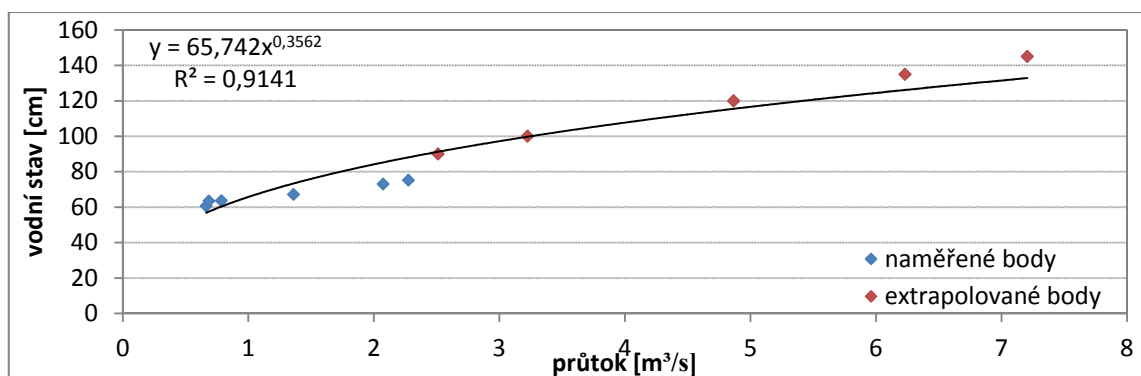
5.1 Sestavení konsumpčních křivek experimentálních povodí

Jak již bylo řečeno, v experimentálních povodích (Obr. 4) bylo zapotřebí převést vodní stav naměřený automatickými hladinoměrnými zařízeními na průtok. V experimentálním povodí Křemelné začal hladinoměr měřit 24. 10. 2006, více o způsobu měření před instalováním hladinoměrů je v práci Hladíka (2009). Konsumpční křivka byla sestavena na základě 21 terénních měření. Důležitým krokem byla extrapolace vztahů vytvořená pomocí Manningova rychlostního vzorce (viz kapitola 4.3). To potvrzuje Obr. 18 ukazující, že hydrometrování pokrývá pouze interval nižších či středních vodních stavů. Extrapolaci jsme tak získali konsumpci o silné závislosti, jež dokazuje vysoký koeficient determinace R^2 . Při výpočtu parametrů konsumpční křivky byly uvažovány dva příčné profily, první přímo pod měřicím přístrojem, druhý uvažoval konstrukci mostu (Příloha 3). Rozdíly ve funkčních předpisech těchto konsumpčních křivek byly malé a reziduální odchylky od průtoků získaných hydrometrováním vyšly menší u prvního příčného profilu. Proto byl uvažován profil pod hladinoměrem s výjimkou Zhůreckého potoka, kde most má značný vliv na proudění vody (Obr. 11).



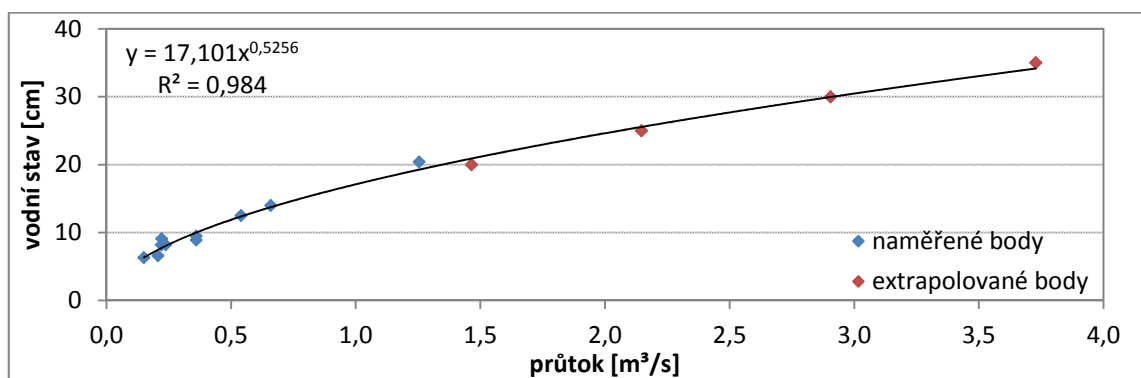
Obr. 18: Konsumpční křivka po závěrový profil experimentálního povodí Křemelné. Zdroj: sestaveno na základě 21 terénních měření 6. 12. 2005- 24. 4. 2013.

Stejným postupem byly získány konsumpční křivky pro ostatní experimentální povodí. V experimentálním povodí Prášílského potoka začal automatický hladinoměr měřit 18. 9. 2006. Konsumpční křivka byla sestavena, v důsledku změny koryta povodní v roce 2009, pouze na základě šesti měření a doplněných extrapolovaných bodů (Obr. 19). Z důvodu malého počtu terénních měření není koeficient determinace vysoký jako v případě Křemelné. Je zapotřebí, aby se zde provedlo více hydrometrických měření, protože malý počet hydrometrických měření může výsledky zkreslovat. I přes tento fakt je konsumpční křivka využitelná pro některé další analýzy.



Obr. 19: Konsumpční křivka po závěrový profil experimentálního povodí Prášílského potoka. Zdroj: sestaveno na základě 6 terénních měření 20. 11. 2010- 20. 11. 2013.

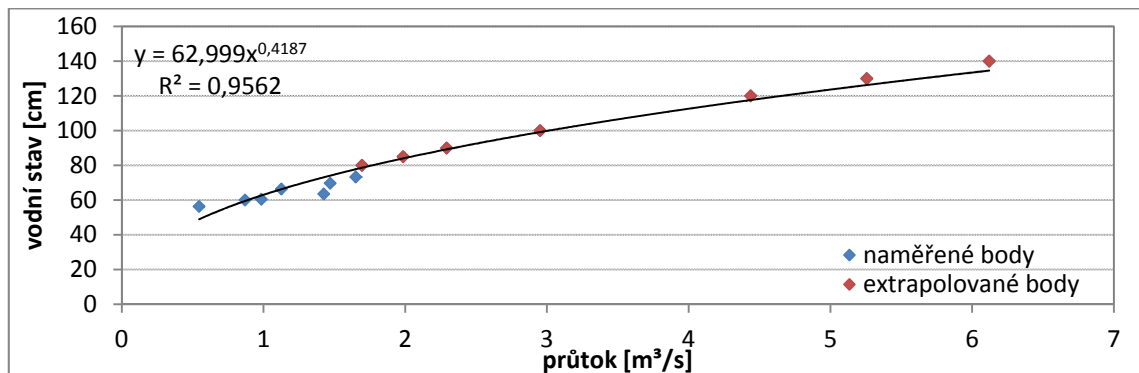
V experimentálním povodí Zhůreckého potoka se začalo měřit od 19. 9. 2006. Konsumpce je vytvořena pomocí deseti terénních měření a doplněna extrapolovanými body (Obr. 20). Hladinoměr je umístěn na mostu, který výrazně ovlivňuje proudící množství vody, tudíž v tomto místě byly parametry pro konsumpční křivku vypočítány z příčného profilu mostu.



Obr. 20: Konsumpční křivka po závěrový profil experimentálního povodí Zhůreckého potoka. Zdroj: sestaveno na základě 10 terénních měření 19. 09. 2006- 20. 11. 2013

V dalším experimentálním povodí Slatinného potoka měří hladinoměrné zařízení od 6. 11. 2007. Na základě sedmi terénních měření byla zkonstruována konsumpční křivka a doplněna

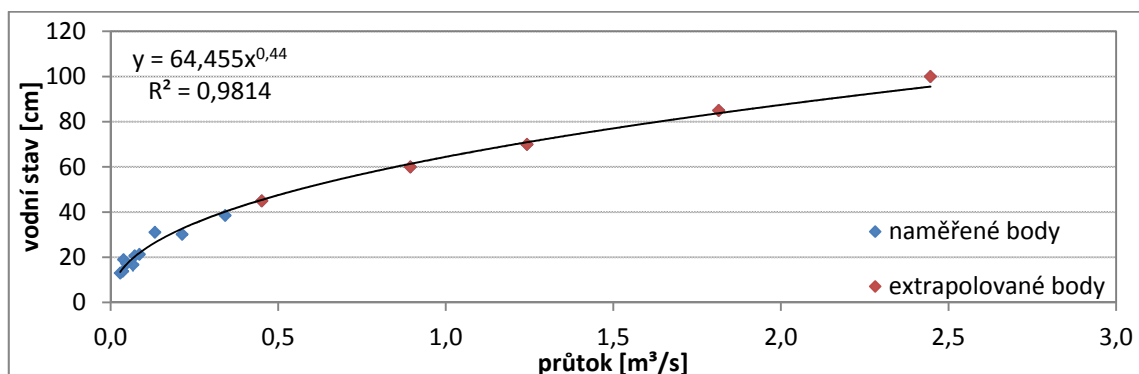
opět extrapolovanými body (Obr. 21). V tomto profilu by bylo též zapotřebí více hydrometrických měření stejně jako v případě Prášilského potoka.



Obr. 21: Konsumpční křivka po závěrový profil experimentálního povodí Slatinného potoka.

Zdroj: sestaveno na základě 7 terénních měření 4. 12. 2007 - 20. 11. 2013.

Posledním experimentálním povodím je Černý potok. Zde se měří od 4. 12. 2007. Pro tento potok byla konsumpce konstruována z deseti terénních měření a extrapolovaných dat (Obr. 22).



Obr. 22: Konsumpční křivka po závěrový profil experimentálního povodí Černého potoka. Zdroj: sestaveno na základě 10 terénních měření 4. 12. 2007 - 20. 11. 2013.

5.2 Analýza odtoku v povodí horní Křemelné

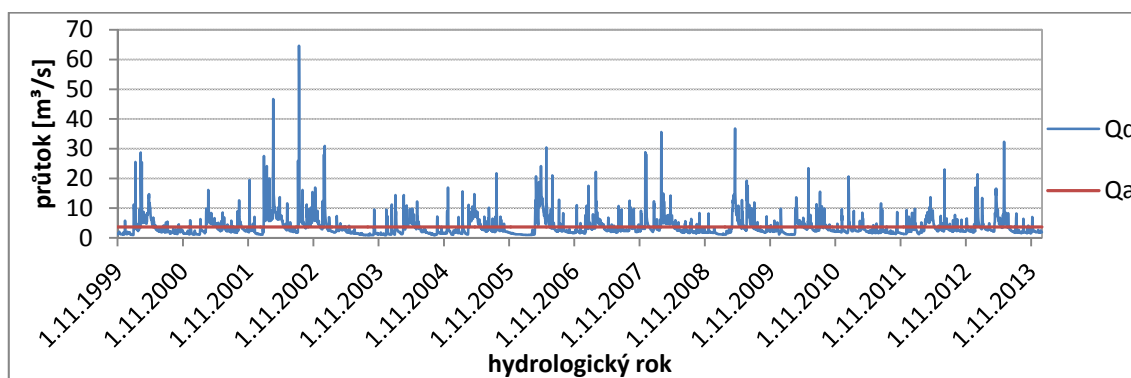
Základem pro vypracování odtokových charakteristik jsou data poskytnutá ČHMÚ z vodoměrné stanice Stodůlky. Poskytnutá data pokrývají interval od 1. 11. 1999 do 31. 12. 2013, tedy umožňují analýzu 14 hydrologických let.

Časové rozložení odtoku z povodí horní Křemelné souvisí se zdrojem vodnosti řek. Největšími zdroji jsou dešťové srážky poté sněhové srážky a sněhová pokrývka. Průměrný průtok za čtrnáctiletou řadu pro stanici Stodůlky je $Q = 3,648 \text{ m}^3/\text{s}$. Ostatní odtokové

charakteristiky znázorňuje Tab. 10. Všechny následující výpočty jsou počítány dle vzorců uvedených v kapitole 2.4.1.

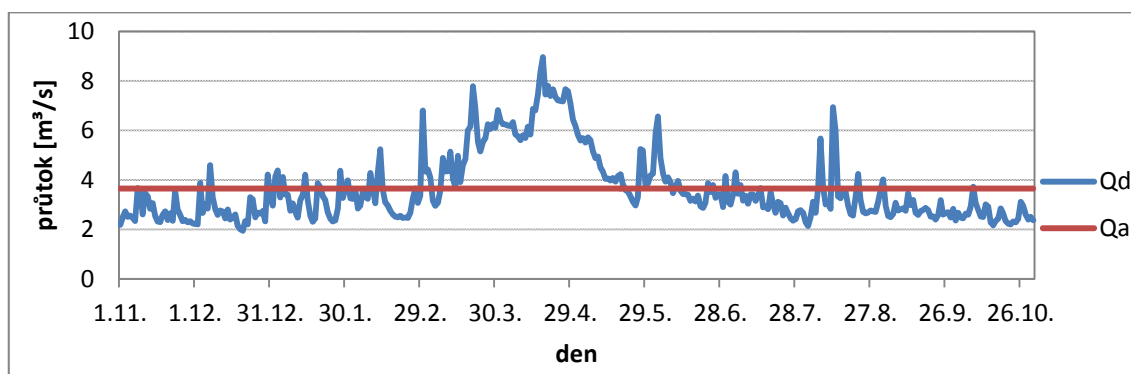
5.2.1 Režim denních průtoků

Denní průtoky charakterizují vodnost v jednotlivých dnech. Denní průtoky vykazují poměrně vysokou rozkolísanost způsobenou zvýšením průtoků v jarních měsících v důsledku tání sněhové pokrývky (Obr. 23). Nadprůměrné hodnoty průtoků se vyskytují také v letních měsících a to především v srpnu, kdy je vodní režim řek ovlivněn přívalovými dešti a z nich vzniklých letních povodní. Absolutní maximum průtoků bylo dosaženo 12. 8. 2002 s hodnotou $64,6 \text{ m}^3/\text{s}$ a měla za následek ničivou povodeň. Nejméně vodným dnem bylo 12. 12. 2003 s průtokem $0,876 \text{ m}^3/\text{s}$. Vysokou rozkolísanost potvrzuje i Variační koeficient $Cv=0,941$.



Obr. 23: Průměrné denní průtoky ve stanici Stodůlky za období 2000-2013. Zdroj: data z ČHMU.

Podle průměrných denních průtoků napříč roky (Obr. 24) nejvíce vody odteče na jaře v době tání sněhu konkrétně nejvíce v dubnu. Také jsou patrné vyšší průtoky v létě způsobené přívalovými dešti nejvíce v srpnu a poté počátkem června.



Obr. 24: Dlouhodobé průměrné denní průtoky vodoměrné stanice Stodůlky od 1. 11. 1999-31. 10. 2013. Zdroj: data z ČHMU.

Jak již bylo řečeno v rešeršní části, denní průtoky můžeme hodnotit pomocí statistických mír variability - variačního koeficientu a decilové odchylky. Z výsledků (Tab. 4) je zřejmá vysoká hodnota variačního koeficientu v roce 2002 znamenající vysokou rozkolísanost průtoků. Příčinou byly srpnové intenzivní přivalové deště způsobující ničivou povodeň.

Tab. 4: Variační koeficienty pro vodoměrnou stanici Stodůlky v období 2000-2013. Zdroj: data z ČHMÚ.

2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
0,95	0,57	1,83	0,89	0,67	0,77	1,25	0,63	0,97	1,05	0,67	0,57	0,61	0,92

Hodnocení pomocí decilové odchylky poukazuje na rozkolísanost průtoků v roce 2006 a 2002, nicméně hodnota udává absolutní rozpětí, tudíž nebere v potaz rozdílnou vodnost řek (Tab. 5).

Tab. 5: Decilová odchylka vodoměrné stanice Stodůlky v období 2000-2013. Zdroj: data z ČHMÚ.

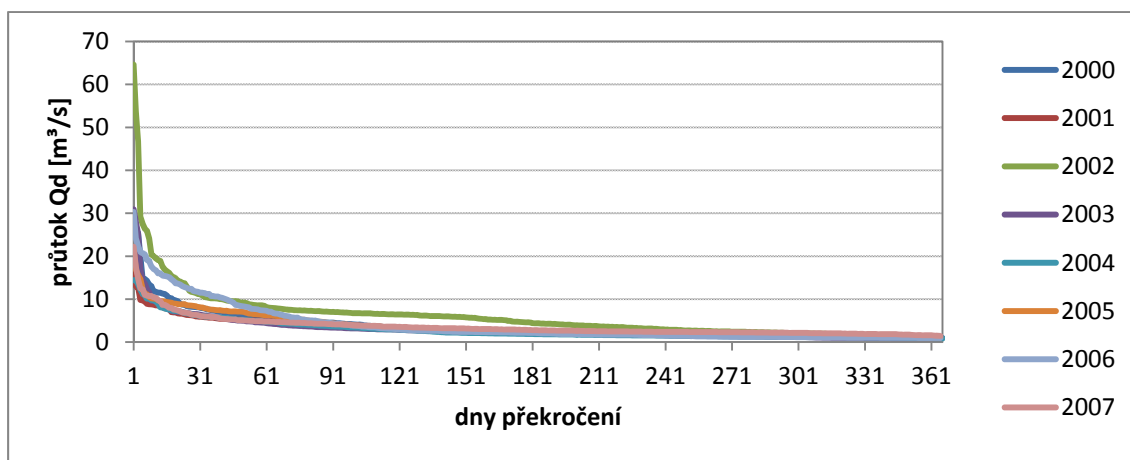
2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
0,68	0,47	0,98	0,55	0,51	0,67	1,07	0,44	0,57	0,84	0,50	0,27	0,53	0,67

Předešlou nevýhodu řeší relativní četnost, která však stejně za nejvíce rozkolísaný rok označuje rok 2006 a následně rok 2002.

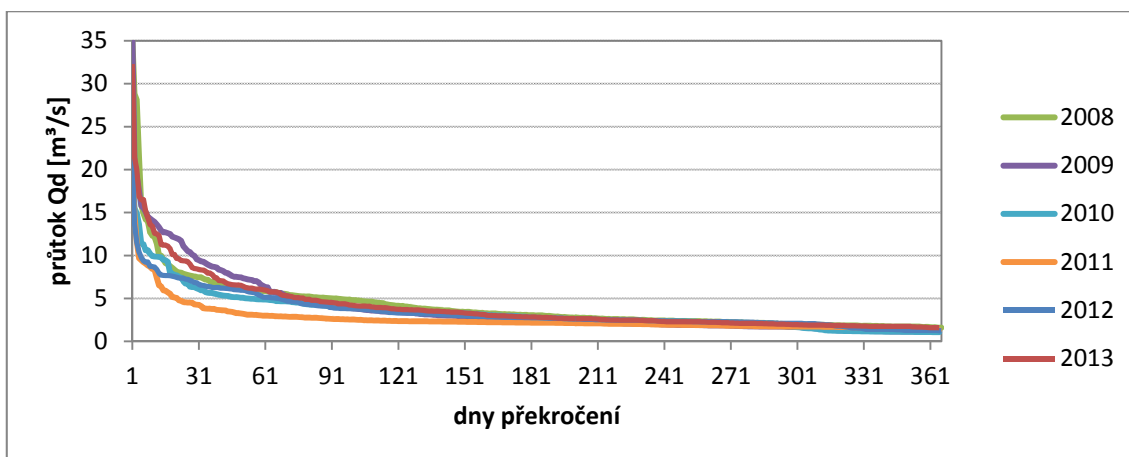
Tab. 6: Relativní četnosti v [%] vodoměrné stanice Stodůlky v období 2000-2013. Zdroj: data z ČHMÚ.

2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
18,8	12,8	26,7	15,1	13,9	18,5	29,3	12,0	15,6	22,9	13,8	7,3	14,6	18,3

Další možnosti, jak vyjádřit míru rozkolísanosti, představují čáry překročení. Ty prokazují rozkolísanost let 2002 a 2006 (Obr. 25) a let 2009 a 2013 (Obr.26).



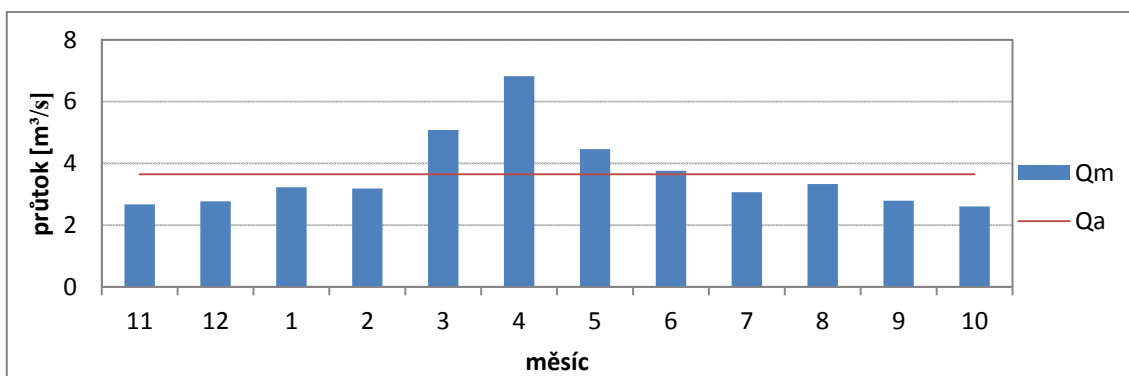
Obr. 25: Čáry překročení průměrných denních průtoků ve stanici Stodůlky pro období 2000-2007. Zdroj: data z ČHMÚ.



Obr. 26: Čáry překročení průměrných denních průtoků ve stanici Stodůlky pro období 2008-2013. Zdroj: data z ČHMÚ.

5.2.2 Režim měsíčních průtoků

Průměrné měsíční rozložení odtoku vyjadřuje sled dlouhodobých měsíčních průtoků Q_m . Pomocí průměrných denních průtoků hydrologických let 2000-2013 byly vytvořeny průměrné měsíční průtoky pro vodoměrnou stanici Stodůlky (Obr. 27). Z grafu lze vyčíst mírně nevyrovnané rozložení průměrných měsíčních průtoků způsobené zvýšenými stavy průtoků v jarním období, zejména v dubnu a březnu. Ty jsou zapříčiněny zvýšením teploty a následným táním sněhové pokrývky. Z grafu je také patrné, že srpnové přívalové srážky neovlivňují průtoky tolik jako v denních průměrných průtocích. Nejvyšší hodnota průměrného měsíčního průtoky v měsíci dubnu činí $6,826 \text{ m}^3/\text{s}$, nejméně vodný měsíc je říjen - $2,604 \text{ m}^3/\text{s}$, kdy spadne méně srážek (obecně je na podzim nejmenší odtok). Málo vodný je i listopad a prosinec.



Obr. 27: Průměrné měsíční průtoky Křemelné pro vodoměrnou stanici Stodůlky v období 2000-2013. Zdroj: data z ČHMÚ.

Jednotlivé procentuální rozložení měsíčních průtoků zobrazuje Tab. 7.

Tab. 7: Procentuální rozložení průměrných měsíčních průtoků Křemelné pro vodoměrnou stanici Stodůlky v období 2000-2013. Zdroj: data z ČHMÚ.

11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
6,1	6,3	7,4	7,3	11,6	15,6	10,2	8,6	7,0	7,6	6,4	5,9

Podíl ročních období na celkovém odtoku (Tab. 8) ukazuje maximum odtoku připadající na jaro v důsledku oteplování a následném tání sněhu. Maximum dosahuje hodnoty 37,4%, tudíž z hlediska podílu ročních období na odtok je chod mírně nevyrovnaný. Minimum odtoku připadá na podzim 18,4 %. Ostatní roční období společně se vyznačují vyrovnaným odtokem.

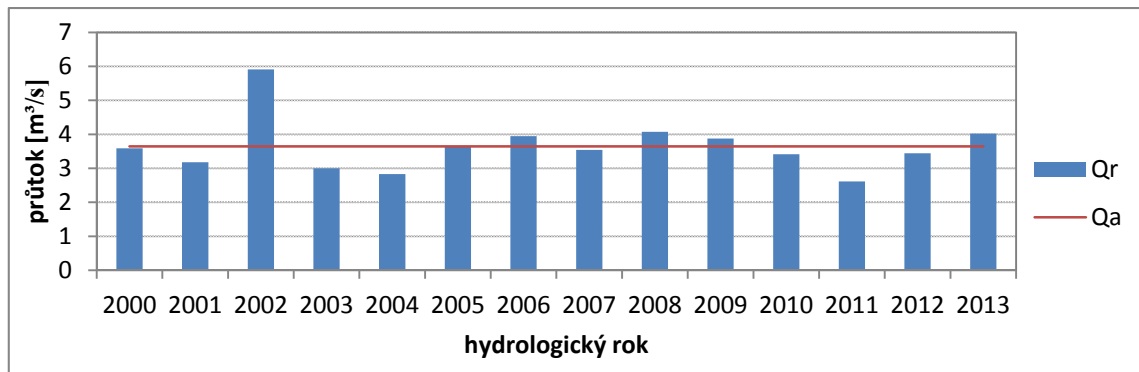
Tab. 8: Procentuální podíly průtoků jednotlivých ročních období na celkovém ročním odtoku ve vodoměrné stanici Stodůlky (2000-2013). Zdroj: data z ČHMÚ.

jaro	léto	podzim	zima
37,4%	23,2%	18,4%	21,0%

Variabilitu průměrných měsíčních průtoků lze vyjádřit také statistickými mírami variability - koeficientem Kr a Variační koeficientem Cv . V případě Křemelné pro vodoměrnou stanici Stodůlky je $Kr = 3,032$, což značí nízkou nevyrovnanost. Míra variability variační koeficient $Vm = 0,328$ ukazuje na mírně nevyrovnané rozložení odtoku. Obě hodnoty jsou ovlivněny jarním táním sněhu.

5.2.3 Režim ročních průtoků

V závislosti na množství hlavního zdroje napájení a jeho časovém rozložení se mění roční průtoky Qr . Velikost ročních průtoků znázorňuje (Obr. 28). Nejvyšších průměrných průtoků bylo dosaženo roku 2002 ($5,91 \text{ m}^3/\text{s}$), naopak nejmenších roku 2011 ($2,61 \text{ m}^3/\text{s}$). Dále je patrné, že rok 2002 zvyšuje hodnotu dlouhodobého průměru, neboť ostatní hodnoty průtoků se nachází v intervalu od tří do čtyř m^3/s vyjma suchých let 2011, 2003 a 2004.



Obr. 28: Průměrné roční průtoky ve vodoměrné stanici Stodůlky v období 2000-2013. Zdroj: data z ČHMÚ.

Míru vodnosti lze hodnotit také například pravděpodobností překročení ročních průtoku. Hodnoty pro jednotlivé roky jsou znázorněny v (Tab. 9) a dle Netopila (1984) jsou klasifikovány dle míry vodnosti řek. Extrémně vodný byl povodňový rok 2002 s $P=4,86\%$, nejméně vodný byl rok 2011, kdy $P=95,14\%$.

Tab. 9: Pravděpodobnost překročení P pro vodoměrnou stanicí Stodůlky v období 2000-2013. Zdroj: data z ČHMÚ.

rok	Qr [m ³ /s]	p%	pořadí	P%	míra vodnosti
2000	3,59	98,36	7	46,53	P
2001	3,18	87,10	11	74,31	S
2002	5,91	162,01	1	4,86	MV
2003	3,00	82,23	12	81,25	S
2004	2,83	77,60	13	88,19	S
2005	3,63	99,53	6	39,58	V
2006	3,95	108,16	4	25,69	V
2007	3,54	97,16	8	53,47	P
2008	4,07	111,68	2	11,81	V
2009	3,88	106,29	5	32,64	V
2010	3,42	93,63	10	67,36	S
2011	2,61	71,65	14	95,14	MS
2012	3,44	94,44	9	60,42	P
2013	4,02	110,28	3	18,75	V

Z pravděpodobnosti překročení P se dá vypočítat tzv. N -letá voda, což je podíl hodnoty 100 dělené P , v případě roku 2002 se $N=20,6$.

5.3 Analýza odtoku v experimentálních povodích horní Křemelné a Slatinného potoka

Pro analýzu dynamiky odtoku bylo vybráno experimentální povodí Křemelné a Slatinného potoka. Původně byl zvolen Prášílský potok a Křemelná pro analýzu dynamiky odtoku. Konsumpční křivka Prášílského potoka však chybně popisovala vztah mezi výškou hladiny a průtokem až do roku 2009, kdy povodeň výrazně změnila koryto. Protože konsumpční křivka byla vytvořena z hydrometrických měření provedených až po změně koryta Prášílského potoka. Tudíž by analyzovaná řada byla krátká, a tak byl na místo toho hodnocen Slatinný potok.

Jednotlivé odtokové charakteristiky zobrazuje (Tab. 10). Z nich je důležité vyzdvihnout fakt, že ačkoliv je plocha povodí P Slatinného potoka o více než polovinu menší než profil

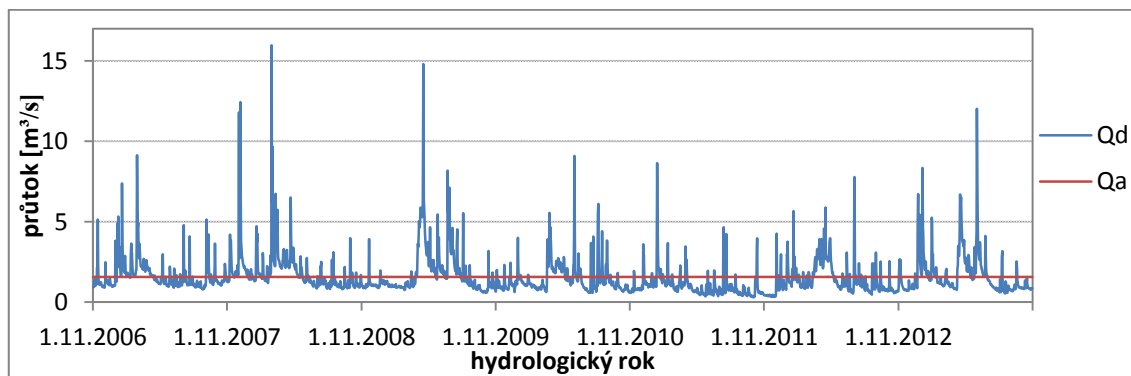
Křemelné, tak je jeho specifický koeficient q větší stejně tak jako odtoková výška Ho . Variační koeficient Cv Stodůlek je největší, následuje experimentální povodí Křemelné a nejmenší je na Slatinném potoce, tyto hodnoty korelují s velikostí povodí. Objem odtoku odpovídá ploše daných povodí, tj. čím větší plocha, tím větší je objem odtoku.

Tab. 10: Odtokové charakteristiky státního profilu Stodůlky a experimentálních povodí Křemelné a Slatinného potoka. Zdroj: data z automatických hladinoměrů, rozvodnice ČR.

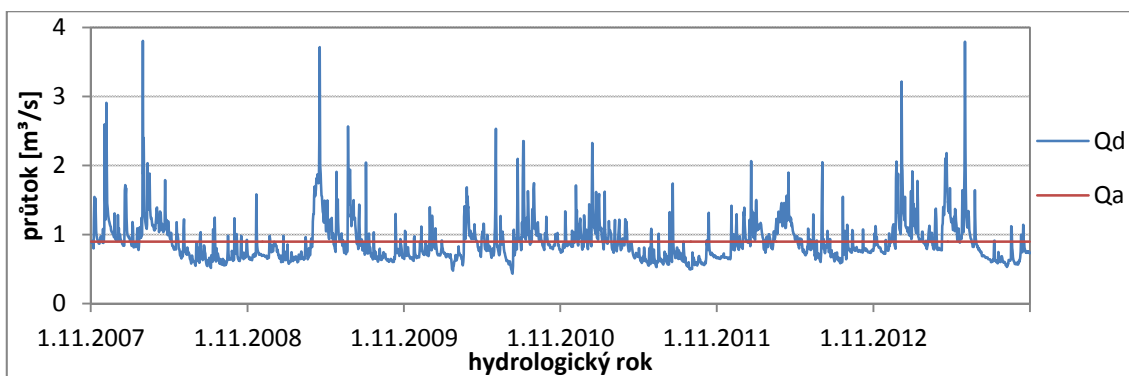
charakteristika	Křemelná-Stodůlky	Křemelná	Slatinný potok
Qa [$m^3 \cdot s^{-1}$]	3,648	1,566	0,896
q [$l \cdot s^{-1} \cdot km^{-2}$]	27,199	21,952	29,823
P [km^2]	134,110	71,320	30,040
O [km^3]	0,115	0,049	0,028
Ho [mm]	857,730	692,245	940,494
Cv [Q_d]	0,941	0,771	0,351

5.3.1 Režim denních průtoků

Časovou řadu průměrných denních průtoků Křemelné a Slatinného potoka vystihuje Obr. 29, respektive Obr. 30. Absolutních maxim denní průtoky dosáhly na Křemelné ($15,964 m^3/s$), stejně jako na Slatinném potoce ($3,805 m^3/s$), při jarním tání 1. 3. 2008. Na Křemelné dosáhly denní průtoky absolutního minima 3. 10. 2011, na Slatinném potoce absolutní minimum nastalo 12. 07. 2010.

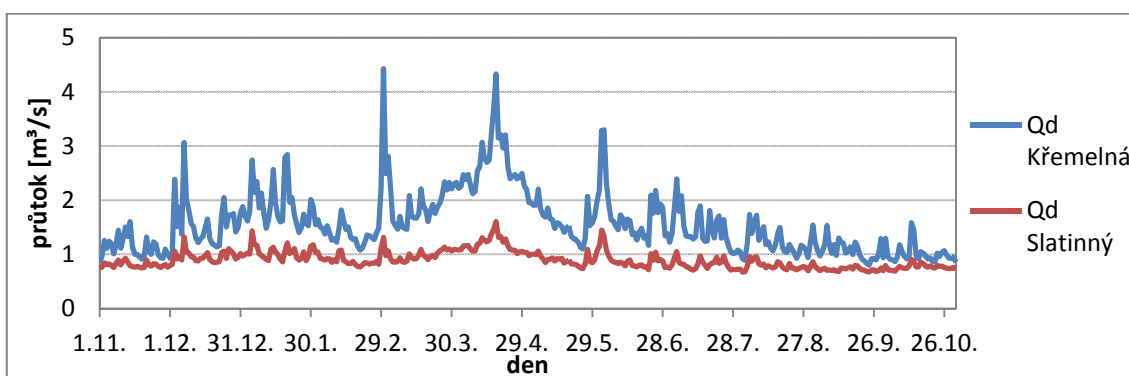


Obr. 29: Průměrné denní průtoky v závěrovém profilu Křemelné v období 2007-2013. Zdroj: data z automatických hladinoměrů.



Obr. 30: Průměrné denní průtoky v závěrovém profilu Slatinného potoka v období 2008-2013. Zdroj: data z automatických hladinměřů.

Obecně lze říci, že nejvyšší variabilita denních průtoků nastává u obou experimentálních povodí v době tání sněhu - jedná o duben a březen. Z letních měsíců se v červnu projevuje vliv srážek bouřkového charakteru způsobující přívalové povodně. Znatelný je i nárůst počátkem prosince vyvolaný zimními povodněmi (Obr. 31).



Obr. 31: Dlouhodobé průměrné denní průtoky pro experimentální povodí Křemelné a Slatinného potoka za období 1. 11. 2006 (1. 11. 2007)-31. 10. 2013. Zdroj: data z automatických hladinměřů.

Variační koeficient denních průtoků jednotlivých let pro Křemelnou a Slatinný potok ukazuje Tab. 11. Největší variabilita denních průtoků Křemelné připadá na rok 2009, nejnižší na rok 2010. Analýza denních průtoků Slatinného potoka odhalila nejvyšší variační koeficient v roce 2013, rok 2010 jej má nejnižší.

Tab. 11: Variační koeficienty pro závěrový profil Křemelné a Slatinného potoka v období 2007 (2008) – 2013. Zdroj: data z automatických hladinměřů.

	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Křemelná	0,61	0,97	0,99	0,6	0,62	0,63	0,85
Slatinný potok		0,39	0,41	0,30	0,35	0,29	0,43

Decilová odchylka vypočítaná pro Křemelnou a Slatinný potok (Tab. 12) ukazuje rok 2009 jako nejrozkolísanější a naopak nejméně variabilní rok 2011. Nejvariabilnějším rokem Slatinného potoka je stejně jako při hodnocení variačním koeficientem rok 2013 a nejméně variabilní rok 2010.

Tab. 12: Decilová odchylka pro závěrový profil Křemelné a Slatinného potoka v období 2007 (2008) – 2013. Zdroj: data z automatických hladinoměřů.

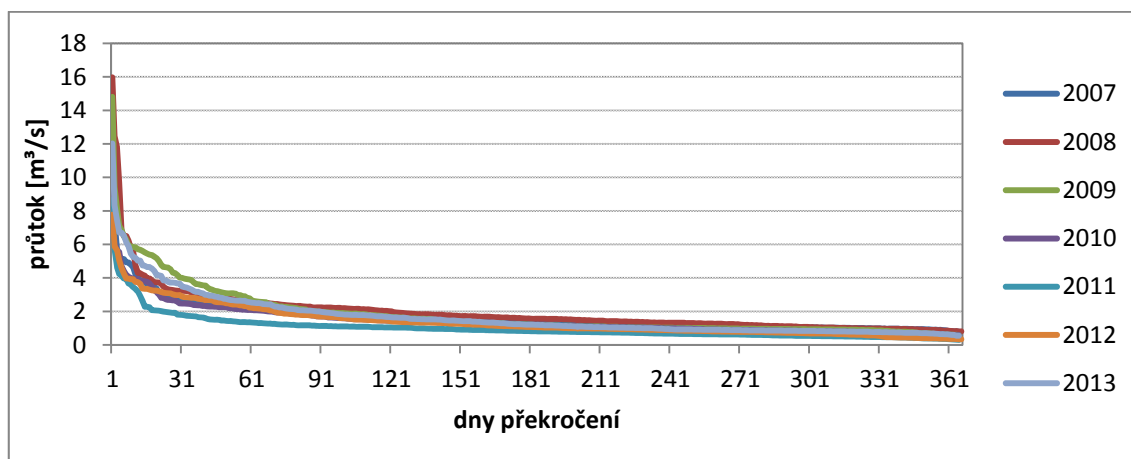
	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Křemelná	0,18	0,23	0,32	0,17	0,13	0,24	0,29
Slatinný potok		0,072	0,086	0,058	0,062	0,064	0,086

Relativní četnost opět potvrzuje nejvyšší rozkolísanost roku 2009 a nejnižší 2011 v případě Křemelné. Nejvyšší a nejnižší hodnoty relativní četnosti u Slatinného potoka odpovídají výsledkům předchozích veličin (Tab. 13).

Tab. 13: Relativní četnost pro závěrový profil Křemelné a Slatinného potoka v období 2007 (2008) – 2013. Zdroj: data z automatických hladinoměřů.

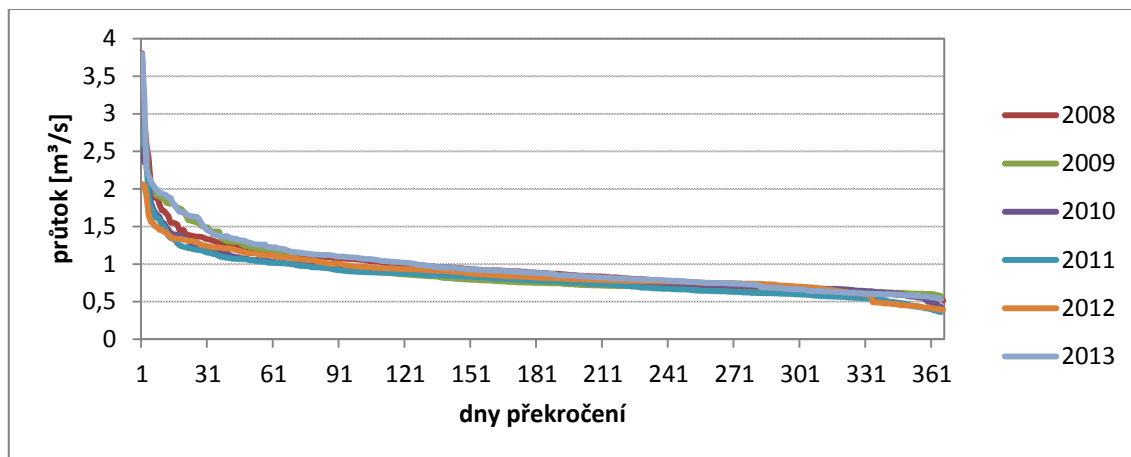
	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Křemelná	11,60%	14,50%	20,20%	11,10%	8,50%	15,50%	18,50%
Slatinný potok		8,01%	9,58%	6,44%	6,89%	7,18%	9,64%

Čáry překročení (Obr. 32) rovněž poukazují na vysokou variabilitu roku 2009. Variabilní jsou taktéž roky 2013 a 2008. Nejméně variabilní je rok 2011.



Obr. 32: Čáry překročení průměrných denních průtoků pro závěrový profil Křemelné období 2007-2013. Zdroj: data z automatických hladinoměřů.

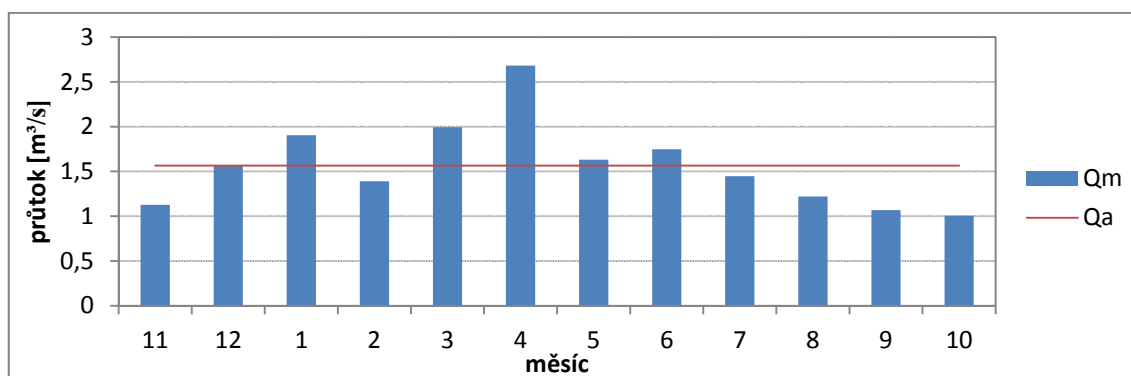
Obr. 33 potvrzuje rozkolísanost roku 2013, kterou zapříčinila zejména červnová povodeň, vysokou rozkolísanost ukazuje i rok 2009 s výraznou dubnovou povodní. Nejnížší variabilitu průměrných denních průtoků vykazuje rok 2011.



Obr. 33: Čáry překročení průměrných denních průtoků pro závěrový profil Slatinného potoka v období 2008-2013. Zdroj: data z automatických hladinoměřů.

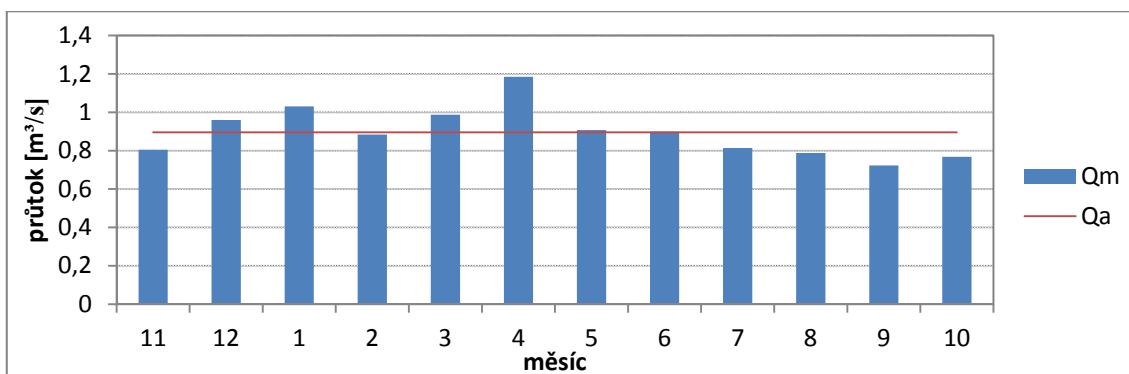
5.3.2 Režim měsíčních průtoků

Průměrné měsíční rozložení odtoku Křemelné zobrazuje Obr. 34, Slatinného potoka Obr. 35. U obou profilů se potvrdilo, že nejvíce vody z povodí odteče v dubnu, což koresponduje s táním sněhové pokrývky (2,682 a 1,185 m³/s). Nejméně vody odtéká na Křemelné v říjnu (1,007 m³/s).



Obr. 34: Průměrné měsíční průtoky závěrového profilu Křemelné v období 2007-2013. Zdroj: data z automatických hladinoměřů.

Nejméně vodným měsícem Slatinného potoka je září (0,723 m³/s), což odpovídá nízkým podzimním průtokům.



Obr. 35: Průměrné měsíční průtoky závěrového profilu Slatinného potoka v období 2008-2013. Zdroj: data z automatických hladinoměrů.

Procentuální rozložení odtoku jednotlivých měsíců obsahuje Tab. 14. Zvýšené průtoky v lednu jsou pravděpodobně způsobeny ledovými jevy, vyskytujícími se zejména v prosinci a lednu. Procentuální rozdělení Slatinného potoka je vyrovnanější než na Křemelné.

Tab. 14: Procentuální rozložení průměrných měsíčních průtoků závěrového profilu Křemelné a Slatinného potoka v období 2007 (2008)-2013. Zdroj: data z automatických hladinoměrů.

	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Křemelná	6,00	8,30	10,10	7,40	10,60	14,30	8,70	9,30	7,70	6,50	5,70	5,40
Slatinný potok	7,49	8,93	9,59	8,23	9,18	11,02	8,44	8,37	7,57	7,33	6,73	7,14

Co se týče chodu odtoku v rámci jednotlivých ročních období (Tab. 15), tak nejvíce vody odtéká na jaře (33,2%), což značí mírně nevyrovnaný odtok. Opět se potvrzují nejnižší průtoky na podzim. Stejně tak i Slatinný potok se vyznačuje nejvyšším odtokem na jaře, v létě odeče stejné množství vody jako v zimě, což značí vyrovnanější odtok.

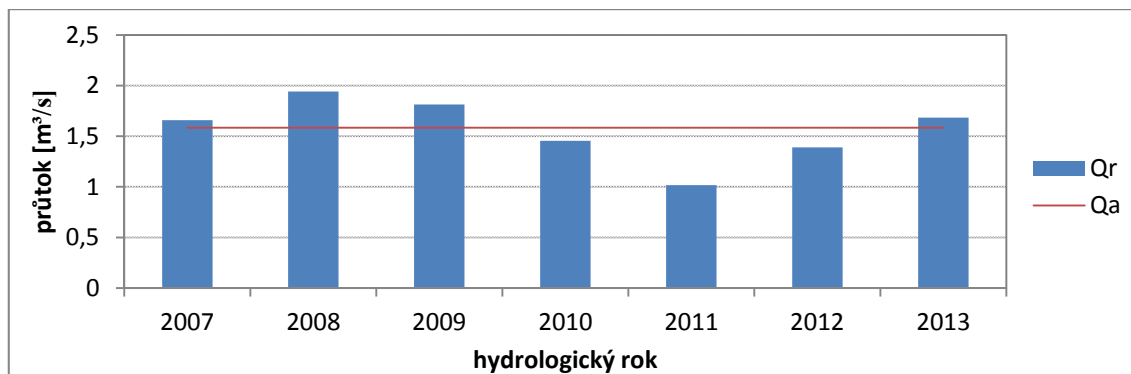
Tab. 15: Procentuální podíly průtoků jednotlivých ročních období na celkovém ročním odtoku v závěrovém profilu Křemelné a Slatinného potoka 2007 (2008)-2013. Zdroj: data z automatických hladinoměrů.

	jaro	léto	podzim	zima
Křemelná	33,60%	23,50%	17,00%	25,90%
Slatinný potok	28,64%	23,27%	21,35%	26,74%

Variabilitu měsíční průtoků Křemelné rovněž vystihuje koeficient $Kr= 2,735$ a $Cv= 0,291$. Oba koeficienty potvrzují nízkou variabilitu, tedy pouze mírně nevyrovnaný chod odtoku. Hodnoty koeficientů Slatinného potoka: $Kr= 1,330$ a $Cv=0,139$ značí vyrovnaný chod odtoku.

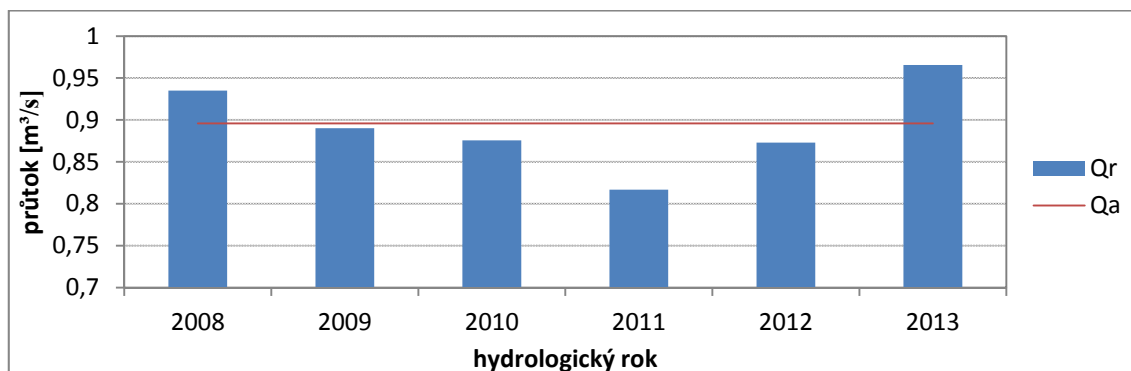
5.3.3 Režim ročních průtoků

Roční rozložení odtoku Křemelné vystihuje Obr. 36. Rok 2008 vykazoval nejvyšší průtoky (1,942 m³/s), naopak nejmenší průtoky byly v roce 2011 (1,017 m³/s).



Obr. 36: Průměrné roční průtoky pro závěrový profil Křemelné v období 2007-2013. Zdroj: data z automatických hladinoměrů.

Obr. 37 zobrazuje roční rozložení odtoku Slatinného potoka. Maxima průměrného ročního průtoky dosáhl rok 2013 (0,966 m³/s), minima roku 2011 (0,817 m³/s).



Obr. 37: Průměrné roční průtoky pro závěrový profil Slatinného potoka v období 2008-2013. Zdroj: data z automatických hladinoměrů.

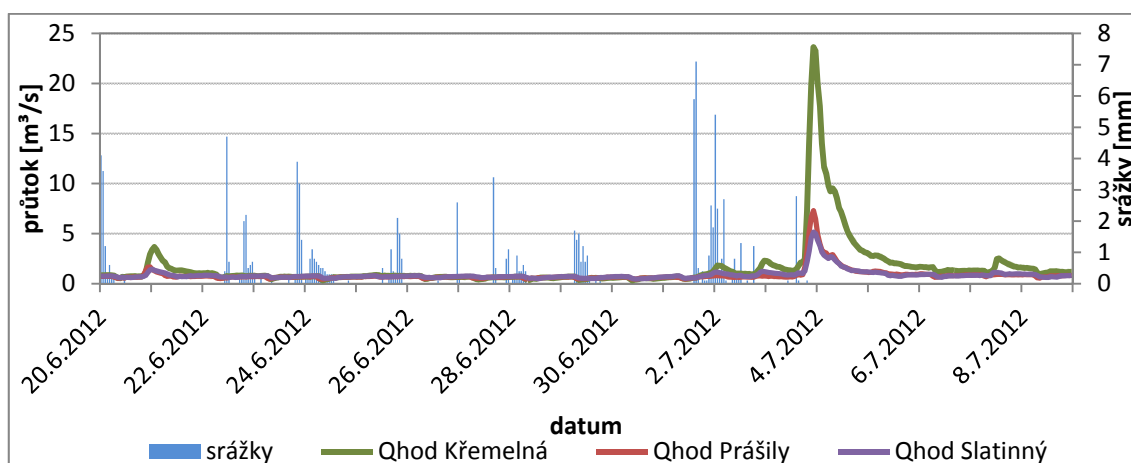
Z hlediska pravděpodobnosti překročení (P) byl na Křemelné mimořádně vodný (MV) rok 2008, vodné roky byly 2009 a 2013 (Tab. 16). Nejsušší byl 2011, který téměř dosáhl kategorie mimořádně málo vodný rok (MS). Mimořádně vodným (MV) rokem na Slatinném potoce byl klasifikován rok 2013 (Tab. 16). Rok 2011 byl naopak nejméně vodný. Nicméně musíme mít na paměti, že se veškeré výpočty se vztahují k pouze sedmi leté či šesti leté řadě, tudíž některé hodnoty mohou být zkreslené.

Tab. 16: Pravděpodobnost překročení (P) pro závěrový profil Křemelné a Slatinného potoka v období 2007 (2008) – 2013. Zdroj: data z automatických hladinoměřů.

rok	Křemelná					Slatinný potok				
	Qr [m ³ /s]	p%	pořadí	P%	míra vodnosti	Qr [m ³ /s]	p%	pořadí	P%	míra vodnosti
2007	1,66	15,13	4	50,00	P					
2008	1,94	17,72	1	9,46	MV	0,93	17,46	2	26,56	V
2009	1,81	16,55	2	22,97	V	0,89	16,62	3	42,19	P
2010	1,45	13,27	5	63,51	S	0,88	16,35	4	57,81	P
2011	1,02	9,28	7	90,54	S	0,82	15,25	6	89,06	S
2012	1,39	12,68	6	77,03	S	0,87	16,30	5	73,44	S
2013	1,68	15,37	3	36,49	V	0,97	18,03	1	10,94	MV

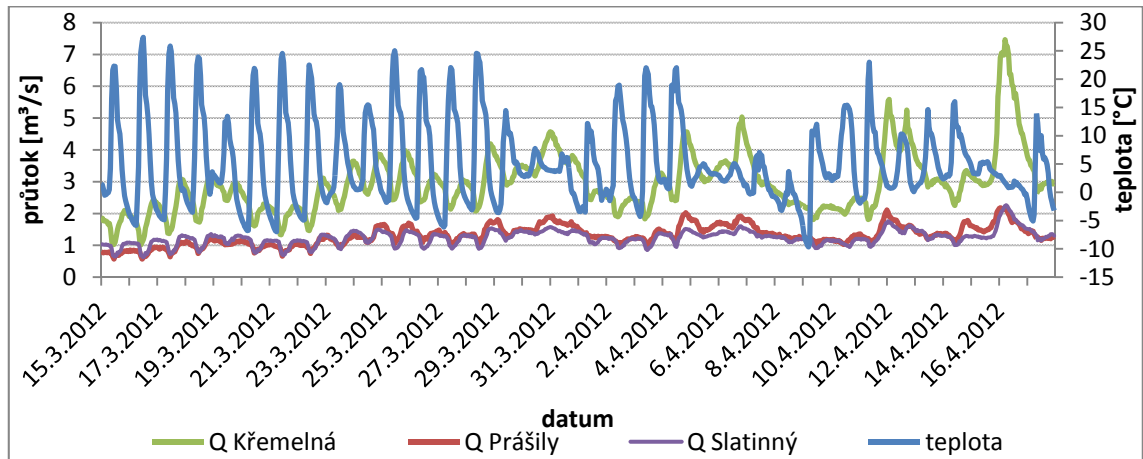
5.3.4 Analýza hodinových průtoků za letní povodně a v době tání sněhu

Příčinou letních povodní často jsou přívalové srážky. Obr. 38 zobrazuje hodinový chod průtoků a srážek během červencové povodně 2012. Meteorologickou situaci v posledních červnových dnech ovlivňoval teplý vzduch proudící od jihozápadu. V noci z 30. 6. na 1. 7. postupila zvlněná fronta od západu do Čech. Dne 3. 7. 2012 se tato zvlněná studená fronta udržovala nad Moravou. Nad Čechami se v odpoledních a večerních hodinách vyskytovaly četné bouřky s přívalovými srážkami. Tyto přívalové srážky způsobily rychlý vzestup hladin řek, včetně Křemelné. Následující den byla mělká brázda nižšího tlaku vzduchu vystřídána nevýrazným výběžkem vyššího tlaku a od severu tak došlo k zeslabení srážkové a bouřkové činnosti (ČHMÚ ČB 2012).



Obr. 38: Chod hodinových průtoků a hodinových srážek v experimentálních povodích Křemelné, Prášílského a Slatinného potoka v období červencové povodně 2012. Zdroj: data z ČHMÚ ČB a data z automatických hladinoměřů.

Ukázku postupně se zvyšujících hodinových průtoků a kolísání teplot během jarního tání sněhu roku 2012 ukazuje Obr. 39.



Obr. 39: Chod hodinových průtoků a hodinových teplot v experimentálních povodích Křemelné, Prášilského a Slatinného potoka v období jarního tání 2012. Zdroj: data z automatických hladinměřů.

6 DISKUZE

V posledních letech bylo v tuzemsku i zahraničí publikováno velké množství článků týkajících se především problematiky povodní. Pozornost vodohospodářů i správních orgánů se soustředila na problematiku ochrany před povodněmi, kdežto sucho bylo poněkud opomíjeno (ČVVS, VÚV a ČHMÚ 2013). Reakcí na zdůraznění, že sucho je stejně nebezpečný jev, se v ČR začaly konat semináře řešící tuto problematiku. Také vznikly různé závěrečné práce či články. V současné době tedy obecně přibývají studie zabývající se suchem a suchými obdobími. Tyto publikace jsou velmi cenné, nicméně jejich využití není neomezené. Rozličné oblasti Česka se vyznačují specifickými fyzicko-geografickými podmínkami, jež mohou značně ovlivňovat příčiny vzniku a samotný průběh povodní či period hydrologického sucha. Proto jsou většinou využitelné pouze poznatky tematicky odpovídající a spadající do stejné zájmové oblasti – tedy pramenné oblasti Otavy.

Katedra fyzické geografie a geoekologie PřF UK v Praze v poslední době investovala, díky několika grantům, do vytvoření sítě automatických stanic a započala tak monitoring odtoku a fyzikálně-chemických parametrů povrchových vod. Tuto síť směřovala a směřuje do nejexponovanějších částí pramenných oblastí, aby mohla monitorovat parametry odtoku přímo v území vzniku. Pro srovnávací analýzy používá profily státní sítě hladinoměrných zařízení (ČHMÚ), představují reprezentativnější měřicí profily a pokrývají delší časové řady pozorování. Pro analýzy je klíčové využití potenciálu jak sítě ČHMÚ, tak sítě PřF UK v Praze. Výhodné je tedy kombinovat záznamy z obou sítí a zpřesnit tak výstupy, které posléze slouží mimo jiné jako vstupy do hydrologických modelů.

Dílčí krok, nezbytný pro provedení analýz v experimentálních povodích, spočíval ve vytvoření konsumpčních křivek. Jelikož konsumpční křivky představují zdroj největšího vzniku chyb - chybně vytvořená křivka může způsobit podhodnocení či nadhodnocení všech průtoků, byla snaha tyto křivky sestavit s co nejvyšším koeficientem determinace a chyby co nejvíce eliminovat. K tomu dopomohla data z hydrometrických měření kombinovaná

s extrapolací hodnot pro vysoké vodní stavy dopočítaná přes Manningův rychlostní vzorec. Pro samotný výpočet pomocí Manningova vzorce byly autorkou zaměřeny příčné a podélné profily koryt jednotlivých experimentálních toků. Jak již zmiňují výsledky práce, všechny konsumpční vztahy byly sestaveny s vysokým koeficientem determinace (od 0,91 do 0,99). Je zde ovšem nezbytné uvést, že pro další zlepšení vztahů je zapotřebí pokračovat v hydrometrování a to zejména při vyšších vodních stavech.

Vytvoření konsumpcí naplnilo jeden z cílů předkládané práce, který zněl: doplnit časové řady průtoků zvolených toků experimentálních povodí. Toho bylo dosaženo převedením hodnot výšek hladin na průtoky a manuálním očištěním řad, jež je pro zájmové území přirozených vodních toků nejpřesnější metodou. Jedině manuální kontrolou a následným očištěním aplikací vhodných statistických metod bylo možné postihnout výpadky měření různorodého typu, ustřelené hodnoty, existence tzv. ledových jevů na tocích či nereálné podhodnocení a nadhodnocení hodnot průtoků např. vlivem oslunění.

Tato část práce je klíčová pro následné analýzy a syntézy vyplývající z hodnocení odtoku a představuje tedy posun v korektnosti přístupu vůči datům získávaným ze sítě hladinoměrných zařízení. Je potřeba podotknout, že tímto byla práce Hladíka (2009) doplněna a významně zpřesněna. Díky delší době pozorování bylo dosaženo zpřesnění výstupů ze sítě stanic a vstupů do následných analýz.

Součástí předkládané práce je tedy hodnocení režimů odtoku v experimentálních povodích Křemelné a Slatinného potoka a povodí horní Křemelné vymezené státním profilem Stodůlky. Dále zahrnuje i ukázkou hodinových průtoků za vybrané letní povodně a v době tání sněhu. Odtokový režim hodnocený základní hydrologickou statistikou nám umožňuje utvořit si základní představu o chodu odtoku v zájmovém území. Nicméně je zapotřebí si uvědomit, že zatím nemáme k dispozici více vypovídající dlouhé časové řady. Věrnější představu o charakteru odtoku nám umožnila data ze státního profilu Stodůlky od ČHMÚ pokrývající 14 hydrologických let. Výsledky statistického zpracování ukázaly na mírně nevyrovnaný režim odtoku Křemelné, který způsobují zvýšené vodnosti v době jarního tání sněhu. Průměrné denní průtoky poukázaly na vysoké vodní stavy především v dubnu a březnu způsobené táním sněhu. V letním období jsou pozorovatelné zvýšené průtoky především na počátku června a v srpnu, jedná se o významné lokální srážkové úhrny. Průměrné měsíční průtoky prokazují již jen vliv tání sněhu, neboť letní povodně se vyznačují krátkými epizodami a neprojevují se tak výrazně jako v měsíčním chodu. Z hlediska extrémních jevů hodnocených na základě průměrných

ročních průtoků byl ze čtrnáctiletého období jeden mimořádně vodný a mimořádně málo vodný rok, pět vodných let a čtyři málo vodné.

Zmíněné výsledky z profilu Stodůlky byly převážně potvrzeny i analýzami chodu odtoku provedené pro vybraná experimentální povodí PřF. V experimentálních povodích PřF – Křemelné a Slatinného potoka je u denních průměrných průtoků zaznamenán větší projev zimních povodní. Vysoké průtoky se vyskytují nejvíce v červnu, v srpnu se již moc neprojevují jako v případě Stodůlek. Průměrný roční chod průtoků Slatinného potoka kopíruje obecné trendy experimentálního povodí Křemelné, nicméně má své odlišnosti. Ze všech provedených analýz je patrná vyšší rozkolísanost odtoku v experimentálním povodí Křemelné oproti Slatinnému potoku. Kemel (1996) tvrdí, že obecně na velkém povodí jsou pestřejší přírodní poměry, z toho důvodu je rozdílný odtok na jeho dílčích plochách, jak kvantitativně, tak z hlediska časového rozložení. To vede k domněnce, že vyšší variabilita Křemelné plyne z větší plochy. Nicméně i další faktory nepochybně ovlivňují rozkolísanost průtoků, jež jsou zmíněné v rešeršní části. V experimentálních povodích horní Křemelné jimi jsou zejména tvar povodí a uspořádání říční sítě, charakter krajinného pokryvu a procento výskytu rašelinišť.

Z průměrných hodinových průtoků je patné, že se červencová povodeň 2012 projevila ve všech sledovaných profilech. Postupný nárůst hodinových průtoků je zaznamenán ve všech profilech i v době jarního tání roku 2012 a ukazuje opět na vyšší variabilitu průtoků v experimentálním profilu Křemelné oproti experimentálním profilům Slatinného i Prášílského potoka.

7 ZÁVĚR

Práce shrnuje a přináší nový pohled na poznatky o dynamice odtoku v povodí horní Křemelné. Zvláštní pozornost je věnována doplnění časových řad sloužící k analýzám umožňující posouzení dynamiky odtoku nejen pro státní závěrový profil Křemelné, ale rovněž pro vlastních experimentálních povodí PŘF UK v Praze. Práce vychází z dat ČHMÚ a z monitoringu realizovaném Katedrou fyzické geografie a geoekologie. V pramenné oblasti Otavy monitoring započal roku 2006 a je udržován do současné doby, z důvodu cennosti takové databáze.

Díky existenci sítě automatických hladinoměrných zařízení probíhá v povodí horní Křemelné analýza srážko-odtokových procesů. Hodnocení dynamiky odtoku pomocí základních metod hydrologické statistiky, utváří celkový pohled na tento jev v pramenné oblasti. Do budoucna by bylo vhodné pokračovat v prodlužování časových řad, které poskytnou spolehlivější a více vypovídající výsledky. S tím souvisí nutnost pokračovat v hydrometrických měřeních především za vyšších vodních stavů na všech páteřních tocích experimentálních povodí. Tato měření poslouží k vylepšování konsumpčních křivek. Dále se také nabízí využít i netradiční metody posouzení dynamiky odtoku, například využitím fyzikálně-chemických přístupů či přístupů geochemických (principy izotopové hydrologie). Přínos je možné vidět rovněž v samotném doplnění časových řad s použitím statistických softwarů. Další možnosti rozpracování tohoto tématu, které by již byly nad rámec této práce, představují metody modelové simulace odtoku. Vhodný model by mohl napomoci důkladnějšímu posouzení srážko-odtokového procesu.

Výsledky této práce mohou poskytnout vstupní data pro matematické modelování srážko-odtokového režimu a nastínit další směřování výzkumu v této zájmové oblasti.

8 LITERATURA⁴

8.1 Použité zdroje

AESCHBACH-HERTIG, W., 2012. *Physics of aquatic systems: Part II: Isotope Hydrology* [online]. Universität Heidelberg, 31 s [cit. 2014-04-15]. Dostupné z: http://www.iup.uni-heidelberg.de/institut/studium/lehre/AquaPhys/docMVEEnv3_13/AqSysSkript_part2_chap1.pdf

ANDĚRA, M., 2003. *Šumava: příroda, historie, život*. 1. vyd. Praha: Baset, 800 s. ISBN 80-7340-021-9.

BABŮREK, J., 2006. *Průvodce geologií Šumavy*. 1. vyd. Vimperk: Správa NP a CHKO Šumava a Česká geologická služba Praha, 118 s. ISBN 80-7075-659-4.

BALATKA, B., KALVODA, J., 2006. *Geomorfologické členění reliéfu Čech: Geomorphological regionalization of the relief of Bohemia*. 1. vyd. Praha: Kartografie Praha, 79 s. ISBN 80-7011-913-6.

BATES, B. C., et al., 2008. *Climate Change and Water: Technical Paper of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [online]. Geneva: IPCC Secretariat, 210 s. [cit. 2014-04-27]. ISBN 978-92-9169-123-4.

BERAN, M. A., RODIER, J. A., 1985. *Hydrological aspects of drought: a contribution to the International Hydrological Programme* [online]. Paris: Unesco/ WMO, 246 s. [cit. 2014-04-27]. ISBN 92-3-102288-1. Dostupné z: http://hydrologie.org/BIB/Publ_UNESCO/SR_039_E_1985.pdf.

BEVEN, K., 1986. Runoff Production and Flood Frequency in Catchments of Ordering: An alternative approach. In: GUPTA, V. K., et al., (eds.). *Scale problems in Hydrology*. Dordrecht: D. Reidel Publishing Company, s. 107-131. ISBN 978-94-009-4678-1.

BEVEN, K., 2012. *Rainfall-runoff modelling: the primer*. 2nd ed. Chichester: Wiley, xxix, 457 s. ISBN 978-0-470-71459-1.

⁴ Citováno dle normy ČSN ISO 690 a ČSN ISO 690-2.

BUFKOVÁ, I., 2001. *Šumavské skvosty – Tříjezerní slat'*. Vimperk: Informační materiály Správy NP a CHKO Šumavy, 3 s.

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. 2014-04-27]. Dostupné z: <http://www.cbks.cz/sbornikRackova03/sections/4/Caboun.pdf>

ČHMÚ, et al., 2011. *Zpřesnění dosavadních odhadů dopadů klimatické změny v sektorech vodního hospodářství, zemědělství a lesnictví a návrh adaptačních opatření: extrakt ze závěrečné zprávy VaV SP/1a6/108/07* [online]. Praha: ČHMÚ, 18 s. [cit. 2014-04-27]. Dostupné z: http://www.chmi.cz/files/portal/docs/meteo/ok/klimazmena/files/vav_Extrakt_ZZ_2011.pdf

ČHMÚ, 2012. *Odborné pokyny pro provádění hlásné povodňové služby* [online]. Praha: ČHMÚ, 40 s. [cit. 2014-04-27]. Dostupné z: http://hydro.chmi.cz/hpps/hpps_document.php

ČHMÚ ČB, 2012. *Zpráva o bouřkách a povodni v jižních Čechách ve dnech 1. až 8. 7. 2012* [online]. České Budějovice: RPP ČHMÚ ČB, 19 s. [cit. 2014-04-27]. Dostupné z: http://www.chmi.cz/files/portal/docs/poboc/CB/pruvodce/povodnove_zpravy/cb_2012_07.pdf

ČSN, 2010. *ČSN 75 0110: Vodní hospodářství – terminologie hydrologie a hydrogeologie*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví. 98 s.

ČVVS, VÚV a ČHMÚ, 2013. *Sucho a jak mu čelit: sborník abstraktů: odborný seminář 15. května 2013 v klubu techniků, Praha 1, Novotného lávka* [online]. Praha: Český svaz vědeckotechnických společností, 72 s. [cit. 2014-04-27]. ISBN 978-80-02-02465-1. Dostupné z: http://voda.chmi.cz/sucho_2013/Sucho_15_5_2013_sbornik.pdf

DAÑHELKA, J., 2007. *Operativní hydrologie: hydrologické modely a nejistota předpovědí*. 1. vyd. Praha: ČHMÚ, 104 s. ISBN 9788086690483.

DEMEK, J., 1987. *Hory a nížiny*. 1. vyd. Praha: Academia, 584 s.

DUB, O., NĚMEC J., 1969. *Hydrologie*. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 380 s.

DUMBROVSKÝ, M., ŠINDLAR, M., [2010]. *Zvýšení protipovodňové ochrany v povodí - přírodně blízká protipovodňová a protierozní opatření* [online]. Praha: MŽP, 38 s. [cit. 2014-04-15]. ISBN 978-80-254-6828-9. Dostupné z: http://www.vodavkrajine.cz/files/Zvyseni_protipovodnove_ochrany_PBPPPO_odborna.pdf

ESTRELA, T., et al., 2001. *Sustainable water use in Europe: Part 3 Extreme hydrological events – floods and droughts* [online]. Luxemburg: Office for Official Publications of the European Communities, 84 s. [cit. 2014-04-15]. ISBN 92-9167-306-4. Dostupné z: http://www.eea.europa.eu/publications/Environmental_Issues_No_21

FIALA, T., 2013. *Vývoj nedostatkových objemů a průměrných a malých průtoků v České republice*. Praha, 39 s., [76 s. v různých stránkách]. Diplomová práce. Univerzita Karlova, Přírodovědecká fakulta, Katedra Fyzické geografie a geoekologie. Vedoucí práce Josef Hladný.

FINFRLOVÁ, P., 2013. Jsme připraveni zvládnout sucho? In: *Sucho a jak mu čelit: sborník abstraktů 15. Května 2013 v Klubu techniků, Praha 1, Novotného lávka 5*. Praha: ČVVS, VÚV T. G. MASARYKA, ČHMÚ, s. 39-43.

HAIS, M., 2003. Changes in Land Cover Temperature and Humidity Parametres Resulting from Spruce Forests Decay in the Centre of the Šumava National Park. *Acta Universitatis Carolinae Geographica* [online]. Praha: Karolinum Press, no. 2, s. 97-107 [cit. 2014-04-15]. Dostupné z: https://web.natur.cuni.cz/ksgrrsek/acta/2003/AUC_2003_38_Hais_Changes_in_land.pdf

HAIS, M., 2006. Vliv odlesnění a odumírání horských smrčín na teploty krajinného krytu a možné důsledky pro formování odtoku v oblasti centrální Šumavy. In: J. Langhammer, (ed.) *Změny krajiny jako ovlivňující faktor průběhu a projevu extrémních povodní* [online]. Praha: Univerzita Karlova v Praze, Přírodovědecká fakulta, Katedra fyzické geografie a geoekologie, s. 67-73 [cit. 2014-04-15]. Dostupné z: <http://floodserv.natur.cuni.cz/floodweb/download.php?akce=vysledky&cislo=5>

HANČLOVÁ, J., TVRDÝ, L., 2003. *Úvod do analýzy časových řad*. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, Ekonomická fakulta, 34 s.

HANEL, M., 2011. *Odhad dopadu klimatické změny na hydrologickou bilanci v ČR a možná adaptační opatření*. 1. vyd. Praha: VÚV T. G. Masaryka, 107 s. ISBN 978-80-87402-22-1.

HLADÍK, P., 2006. *Hydrografie a odtokové poměry v povodí Křemelné*. Litoměřice, 64 s. Bakalářská práce. Univerzita Karlova, Přírodovědecká fakulta, Katedra Fyzické geografie a geoekologie Vedoucí práce Bohumír Janský.

HLADÍK, P., 2009. *Analýza hydrologického režimu v povodí Křemelné z hlediska vybraných povodňových událostí: Hydrological regime analysis with respect to selected flood events in the Křemelná river basin*. Praha, 134 s. Diplomová práce. Univerzita Karlova, Přírodovědecká fakulta, Katedra Fyzické geografie a geoekologie. Vedoucí práce Bohumír Janský.

HORNÍK, S., 1986. *Fyzická geografie II*. Praha: Státní pedagogické nakladatelství, 319 s.

HRÁDEK, F., KOVÁŘ P., 2001. *Regulace odtoku povrchové a podpovrchové vody v povodí, s ohledem na ochranu vod: Průběžná zpráva projektu NAZV - RE 096 000 6150 (řešitel M.Soukup - VÚMOP Praha)*. Praha.

CHÁBERA, S., 1987. *Příroda na Šumavě: přírodovědný průvodce*. 1. vyd. České Budějovice: Jihočeské nakladatelství, 182 s.

CHRISTENSEN, J. H., et al., 2007. Regional Climate Projections. In: S. D. Solomon, et al., (eds.). *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth*

Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge UK: Cambridge University Press; New York, NY, USA: Cambridge University Press.

IPCC, 2012. Summary for Policymakers. In: C. B. Field, et al., (eds.). *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation*. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge UK: Cambridge University Press; New York, NY, USA: Cambridge University Press, s. 1-19.

JANSKÝ, B., 2004. Retence vody v povodí. In: *Hodnocení vlivu změn přírodního prostředí na vznik a vývoj povodní: sborník příspěvků semináře GAČR 205/Z052/03 pořádaného v Praze 12. 2. 2004*. Praha: Univerzita Karlova v Praze, Přírodovědecká fakulta, Katedra Fyzické geografie a geoekologie, s. 59-70.

JANSKÝ, B., 2006. Water Retention in River Basins. In: *Acta Universitatis Carolinae Geographica* [online]. Praha: Karolinum Press, r. 38, č. 2, s. 173-183 [cit. 2014-04-15]. Dostupné z: http://web.natur.cuni.cz/ksgrrsek/acta/2003/AUC_2003_38_Jansky_Water_retention_in.pdf.

JANSKÝ, B., KOCUM, J. 2007. Retenční potenciál v pramenných oblastech toků. In: J. Langhammer, (ed.). *Povodně a změny v krajině*. Praha: MŽP ČR a PŘF UK, s. 307–316. ISBN 978-80-86561-86-8.

JANSKÝ, B., KOCUM, J., 2007 b. Hydrologická funkce rašelinišť. In: Langhammer, J., (ed.) *Změny v krajině a povodňové riziko: sborník příspěvků semináře Povodně a změny v krajině: PŘF UK, 5. 6. 2007*. Praha: Univerzita Karlova v Praze, Přírodovědecká fakulta, s. 173-180. ISBN 978-80-86561-87-5.

JENÍČEK, M., 2009. *Extrémní povodně v kontextu současných a historických změn v krajině: závěrečná zpráva projektu GAUK 255/2006* [online]. Praha: PŘF UK, 46 s. [cit. 2014-04-15]. Dostupné z: <http://hydro.natur.cuni.cz/jenicsek/download.php?akce=publikace&cislo=25>

JENÍČEK, M., 2011. *Modelování hydrologických procesů I: povrchový odtok* [online]. Praha: PŘF UK, KFGG [cit. 11. 5. 2014]. Dostupné z: <http://hydro.natur.cuni.cz/jenicsek/download.php?akce=dokumenty&cislo=14>

KEMEL, M., 1996. *Klimatologie, meteorologie, hydrologie*. 1. vyd. Praha: Vydavatelství ČVUT, 289 s. ISBN 80-01-01456-8.

KENDALL, C., McDONNELL, J. J., 1998. *Isotope tracers in catchment hydrology*. 1. vyd. Amsterdam: Elsevir Science B. V., 839 s. ISBN 978-0-444-50155-X.

KOCUM, J., JANSKÝ, B., 2008. Dynamika hydrologického režimu v pramenných oblastech vodních toků. In: J. Langhammer, (ed.) *Údolní niva jako prostor ovlivňující průběh a následky povodní*. Praha: PŘF UK, s. 72–82. ISBN 978-80-86561-59-2.

KOCUM, J., JANSKÝ, B., 2009. Retence vody v pramenných oblastech Vydry a Křemelné – případová studie povodí Rokytky. In: D. Černý a L. Dvořák, (ed.). *Weitfällerské slatě. Sborník referátů ze semináře 21. 1. 2009*. Vimperk: Správa NP a CHKO Šumava, s. 26–48. ISBN 978-80-87257-00-5.

KOCUM, J., 2012. *Tvorba odtoku a jeho dynamika v pramenné oblasti Otavy*. Praha, 206 s. Diplomová práce. Univerzita Karlova, Přírodovědecká fakulta, Katedra Fyzické geografie a geoekologie. Vedoucí práce Bohumír Janský.

KREČMER, V., KANTOR, P., 2003. *Lesy a povodně. Souhrnná studie*. Praha: Národní lesnický komitét a MŽP ČR, 48 s. ISBN 978-807-2122-554.

KŘOVÁK, F., et al., 2004. Vliv lesních ekosystémů na hydrický režim krajiny. In: L. Dvořák a P. Šustr, (ed). *Aktuality šumavského výzkumu II: sborník z konference*, Srní 4. - 7. října 2004. Vimperk: Správa NP a CHKO Šumava, s. 44-48.

KULHAVÝ, Z., 1999. Využití hydrologického bilančního modelu při posouzení retenčního potenciálu malého zemědělsko-lesního povodí. In: *Krajina, meliorace a vodní hospodářství na přelomu tisíciletí: sborník: mezinárodní vědecká konference 22. 9. a 23. 9. 1999 v Brně*. Brno: Dům techniky ČSVTS, s. 187-194. ISBN 80-02-01304-2.

KULHAVÝ, Z., KOVÁŘ, P., 2000. *Využití modelů hydrologické bilance pro malá povodí*. 1. vyd. Praha: Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, 123 s. ISBN 1211-3972.

KUTÍLEK, M., 1978. *Vodohospodářská pedologie*. 2. přeprac. vyd. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 296 s.

LANGHAMMER, J., 2007. *Povodně a změny v krajině*. Praha: Katedra fyzické geografie a geoekologie Přírodovědecké fakulty Univerzity Karlovy a Ministerstvo životního prostředí ČR, 396 s. ISBN 978-80-86561-86-8.

LOŽEK, V., 1973. *Příroda ve čtvrtohorách*. Praha: Academia, 372 s. 13 l. obr. příl.

MAREK, T., 2007. *Hydromorfologický monitoring vybraných toků v povodí Křemelné*. Praha, 105 s. Diplomová práce. Univerzita Karlova. Přírodovědecká fakulta. Katedra Fyzické geografie a geoekologie. Vedoucí práce Milada Matoušková.

MINDÁŠ, J., 2001. Význam lesa v hydrologickom režime krajiny. *Životne prostredie* [online]. Bratislava: Ustav krajinnej ekologie SAV Bratislava, roč. 35, č. 3 [cit. 2014-04-16]. Dostupné z: <http://www.seps.sk/zp/casopisy/zp/2001/zp3/mindas.htm>

MÍSAŘ, Z., 1983. *Geologie ČSSR*. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 333 s.

NETOPIL, R., et al., 1984. *Fyzická geografie I*. Praha: Státní pedagogické nakladatelství, 272 s.

NĚMEC, J, HLADNÝ, J., (ed.), 2006. *Voda v České republice*. Praha: Consult, 253 s. ISBN 80-903482-1-1.

POVODÍ VLTAVY., 2009. *Plán oblasti povodí horní Vltavy: část A: popis oblasti povodí* [online]. Praha: Povodí Vltavy, 38 s [cit. 2014-04-19]. Dostupné z: http://www.pvl.cz/portal/hydroprojekt/VH/A/1_TEXTOVA_CAST/VH_Kapitola_A.pdf

PRETEL et al., J., 2011. *Zpřesnění dosavadních odhadů dopadů klimatické změny v sektorech vodního hospodářství, zemědělství a lesnictví a návrhy adaptačních opatření: technické shrnutí výsledků projektu v letech 2007–2011. Projekt MŽP VaV SP/1a6/108/07* [online]. Praha: ČHMÚ, 67 s. [cit. 2014-04-19]. Dostupné z: http://www.chmi.cz/files/portal/docs/meteo/ok/klimazmena/files/vav_TECHNICKE_SHRNUTI_2011.pdf

ŠACHOVÁ, B., 2013. *Vliv klimatické změny na hydrologické sucho v povodí horní Otavy*. Praha, 104 s. Diplomová práce. Univerzita Karlova, Přírodovědecká fakulta, Katedra Fyzické geografie a geoekologie. Vedoucí práce Jan Kocum.

ŠANDA, M., et al., 2011. Využití stabilních izotopů vodíku a kyslíku v hydrologii malých experimentálních povodí České a Slovenské republiky. In: *Hydrologie malého povodí 2011*. Praha: Ústav pro hydrodynamiku AV ČR, s. 419-435. ISBN 978-80-02-02290-9.

ŠEFRNA, L., 2004. Pedologická charakteristika povodí Otavy ve vztahu k povodním. In: *Hodnocení vlivu změn přírodního prostředí na vznik a vývoj povodní. Sborník příspěvků semináře grantu GAČR 205/Z052/03, Praha 12. 2. 2004* [online]. Praha: PřF UK, s. 196-212 [cit. 2014-04-19]. Dostupné z: http://hydro.natur.cuni.cz/zmeny_povodni/html/cd_obsah.html.

ŠERCL, P., 1994. *Metody určování vztahu mezi vodním stavem a průtokem v hydrologické praxi*. Praha: ČHMÚ, 54 s.

ŠERCL, P., 2009. *Vliv fyzicko-geografických faktorů na charakteristiky teoretických návrhových vln*. Sborník prací ČHMÚ. Praha: ČHMÚ, 88 s.

ŠONKA, J., 2004. Historické povodně Šumavy a poškození lesů. Historical floods in Bohemian Forest area and disturbance of forest. In: DVOŘÁK, L. a P. ŠUSTR. *Aktuality šumavského výzkumu II: sborník z konference, Srní 4. - 7. října 2004*. Vimperk: Správa NP a CHKO Šumava, s. 37-43.

TESAŘ, M., et al., 2001. Soil water regime in head water regions – observation, assessment and modelling. *Journal of Hydrology and Hydromechanics* [online]. Praha: AVČR, vol. 49, no. 6, s. 355-375 [cit. 2014-04-19]. Dostupné z: <http://www.library.sk/i2/content.csg.cls?ictx=cav&repo=crepo1&key=88384672462>

TESAŘ, M., et al., 2004. Testování retenční schopnosti půdy. In: L. DVOŘÁK a P. ŠUSTR. *Aktuality šumavského výzkumu II: sborník z konference, Srní 4. - 7. října 2004*. Vimperk: Správa NP a CHKO Šumava, s. 63-67.

TOLASZ, R., et al., 2007. *Atlas podnebí Česka: Climate atlas of Czechia*. 1. vyd. Praha: ČHMÚ. 255 s. ISBN 978-80-86690-26-1.

TOMÁŠEK, M., 1995. *Půdně interpretační mapa ČR. Měřítko 1:50 000: list 22-33 Kašperské Hory*. 1. vyd. Praha: Český geologický ústav, 1 list.

TOMÁŠEK, M., 2007. *Půdy České republiky*. 4. vyd. Praha: Česká geologická služba, 67 s., [41] il. příl. ISBN 978-80-7075-688-1.

TRENBERTH, K. E., 1999. Conceptual Framework for changes of extremes of the hydrological cycle with climate change. *Climatic Change* [online]. Kluwer Academic Publishers, vol. 42, no. 1, s. 327-339 [cit. 2014-04-19]. Dostupné z: <http://link.springer.com/article/10.1023%2FA%3A1005488920935>.

TRENBERTH, K. E., 2005. The Impact of Climate Change and Variability on Heavy Precipitation, Floods, and Droughts. In: M. ANDERSON., (ed.). *Encyclopedia of hydrological sciences*. Hoboken, NJ: J. Wiley. ISBN 978-0471491033.

VITVAR, T., AGGARWAL, P. K., HERCZEG, A. L., 2007. Global Network is launched to monitor isotopes in rivers [online]. *Eos Transactions American Geophysical Union*. 2007, vol. 88, no. 33, s. 325-326 [cit. 2014-04-19]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/201170271_Global_Network_Is_Launched_to_Monitor_Isotopes_in_Rivers

8.2 Datové zdroje

ARCDATA PRAHA. *ArcČR 500 verze 3.0: Digitální geografická databáze*. Praha, 2012. Dostupné z: <http://www.arcdata.cz/produkty-a-sluzby/geograficka-data/arccr-500/>.

CENIA. *Mapové služby Národního geoportálu INSPIRE: WMS služby*. Praha: Česká informační agentura životního prostředí, 2014. Dostupné z: <http://geoportal.gov.cz>

ČESKÁ GEOLOGICKÁ SLUŽBA. *GEO ČR 50: barevná digitální databáze*. Praha, 2014. Dostupné z: http://mapy.geology.cz/geocr_50/.

ČHMÚ. *Průměrné denní průtoky vodoměrné stanice Stodůlky 1999-2013*. Praha, 2014.

ČHMÚ ČB. *Srážková data ze stanice Prášíly 2006-2013*. České Budějovice, 2014.

ČHMÚ. *Rozvodnice ČR*. Praha: ČHMÚ, 2013. Dostupné z: <http://hydro.chmi.cz/hydro/index.php?wmapp=WEBAPP&wmap=rozvodnice>

ČÚZK. *Základní báze geografických dat*. Praha, 2014. Dostupné z: <http://geoportal.cuzk.cz/>

ČÚZK. *Základní mapa ČR 1:50 000 a 1:10 000*. Praha, 2014. Dostupné z: <http://geoportal.cuzk.cz/>

VÚV TGM. *Digitální báze vodohospodářských dat*. Praha, 2014. Dostupné z: <http://www.dibavod.cz/>

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1: Schéma srážko-odtokového procesu.....	20
Obr. 2: Zjednodušené schéma procesů v povodí.	22
Obr. 3: Poloha zájmového území.	33
Obr. 4: Experimentální povodí horní Křemelné	34
Obr. 5: Vymezení povodí horní Křemelné.....	35
Obr. 6: Výškové poměry v povodí horní Křemelné.....	37
Obr. 7: Sklonitostní poměry v povodí horní Křemelné ³	39
Obr. 8: Expozice svahů v povodí horní Křemelné ³ a jejich zastoupení v [%].	40
Obr. 9: Závěrový profil Křemelné	46
Obr. 10: Závěrový profil Prášílského potoka.....	46
Obr. 11: Závěrový profil Zhůreckého potoka.	47
Obr. 12: Závěrový profil Slatinného potoka	47
Obr. 13: Závěrový profil Černého potoka.....	47
Obr. 14: Hypsografická křivka Křemelné.....	48
Obr. 15: Podélný profil toku.	48
Obr. 16: Hustota říční sítě.....	49
Obr. 17: Typické zvýšení vodního stavu v důsledku existence ledových jevů v profilu Křemelné - nad soutokem s Prášílským potokem v období 1. 1. - 15. 3. 2010. V níže položeném profilu Křemelná-Stodůlky se ledové jevy nevyskytly	52
Obr. 18: Konsumpční křivka po závěrový profil experimentálního povodí Křemelné.....	55
Obr. 19: Konsumpční křivka po závěrový profil experimentálního povodí Prášílského potoka.	56
Obr. 20: Konsumpční křivka po závěrový profil experimentálního povodí Zhůreckého potoka.....	56
Obr. 21: Konsumpční křivka po závěrový profil experimentálního povodí Slatinného potoka.....	57
Obr. 22: Konsumpční křivka po závěrový profil experimentálního povodí Černého potoka..	57
Obr. 23: Průměrné denní průtoky ve stanici Stodůlky za období 2000-2013.	58
Obr. 24: Dlouhodobé průměrné denní průtoky vodoměrné stanice Stodůlky od 1. 11. 1999-31. 10. 2013.	58
Obr. 25: Čáry překročení průměrných denních průtoků ve stanici Stodůlky pro období 2000-2007.	59

Obr. 26: Čáry překročení průměrných denních průtoků ve stanici Stodůlky pro období 2008-2013.	60
Obr. 27: Průměrné měsíční průtoky Křemelné pro vodoměrnou stanici Stodůlky v období 2000-2013	60
Obr. 28: Průměrné roční průtoky ve vodoměrné stanici Stodůlky v období 2000-2013.....	61
Obr. 29: Průměrné denní průtoky v závěrovém profilu Křemelné v období 2007-2013.	63
Obr. 30: Průměrné denní průtoky v závěrovém profilu Slatinného potoka v období 2008-2013.	64
Obr. 31: Dlouhodobé průměrné denní průtoky pro experimentální povodí Křemelné a Slatinného potoka za období 1. 11. 2006 (1. 11. 2007)-31. 10. 2013	64
Obr. 32: Čáry překročení průměrných denních průtoků pro závěrový profil Křemelné období 2007-2013.....	65
Obr. 33: Čáry překročení průměrných denních průtoků pro závěrový profil Slatinného potoka v období 2008-2013.....	66
Obr. 34: Průměrné měsíční průtoky závěrového profilu Křemelné v období 2007-2013.	66
Obr. 35: Průměrné měsíční průtoky závěrového profilu Slatinného potoka v období 2008-2013.....	67
Obr. 36: Průměrné roční průtoky pro závěrový profil Křemelné v období 2007-2013.....	68
Obr. 37: Průměrné roční průtoky pro závěrový profil Slatinného potoka v období 2008-2013.	68
Obr. 38: Chod hodinových průtoků a hodinových srážek v experimentálních povodích Křemelné, Prášílského a Slatinného potoka v období červencové povodně 2012	69
Obr. 39: Chod hodinových průtoků a hodinových teplot v experimentálních povodích Křemelné, Prášílského a Slatinného potoka v období jarního tání 2012	70

SEZNAM TABULEK

Tab. 1: Geomorfologické členění povodí horní Křemelné	37
Tab. 2: Krajinný pokryv pro rok 1990 a 2006	43
Tab. 3: Základní údaje povodí horní Křemelné	48
Tab. 4: Variační koeficienty pro vodoměrnou stanici Stodůlky v období 2000-2013	59
Tab. 5: Decilová odchylka vodoměrné stanice Stodůlky v období 2000-2013.....	59
Tab. 6: Relativní četnosti v [%] vodoměrné stanice Stodůlky v období 2000-2013.....	59
Tab. 7: Procentuální rozložení průměrných měsíčních průtoků Křemelné pro vodoměrnou stanici Stodůlky v období 2000-2013	61
Tab. 8: Procentuální podíly průtoků jednotlivých ročních období na celkovém ročním odtoku ve vodoměrné stanici Stodůlky (2000-2013)	61
Tab. 9: Pravděpodobnost překročení P pro vodoměrnou stanici Stodůlky v období 2000-2013	62
Tab. 10: Odtokové charakteristiky státního profilu Stodůlky a experimentálních povodí Křemelné a Slatinného potoka	63
Tab. 11: Variační koeficienty pro závěrový profil Křemelné a Slatinného potoka v období 2007 (2008) – 2013	64
Tab. 12: Decilová odchylka pro závěrový profil Křemelné a Slatinného potoka v období 2007 (2008) – 2013	65
Tab. 13: Relativní četnost pro závěrový profil Křemelné a Slatinného potoka v období 2007 (2008) – 2013	65
Tab. 14: Procentuální rozložení průměrných měsíčních průtoků závěrového profilu Křemelné a Slatinného potoka v období 2007 (2008)-2013.....	67
Tab. 15: Procentuální podíly průtoků jednotlivých ročních období na celkovém ročním odtoku v závěrovém profilu Křemelné a Prášílského potoka 2007 (2008)-2013	67
Tab. 16: Pravděpodobnost překročení (P) pro závěrový profil Křemelné a Slatinného potoka v období 2007 (2008) – 2013	69

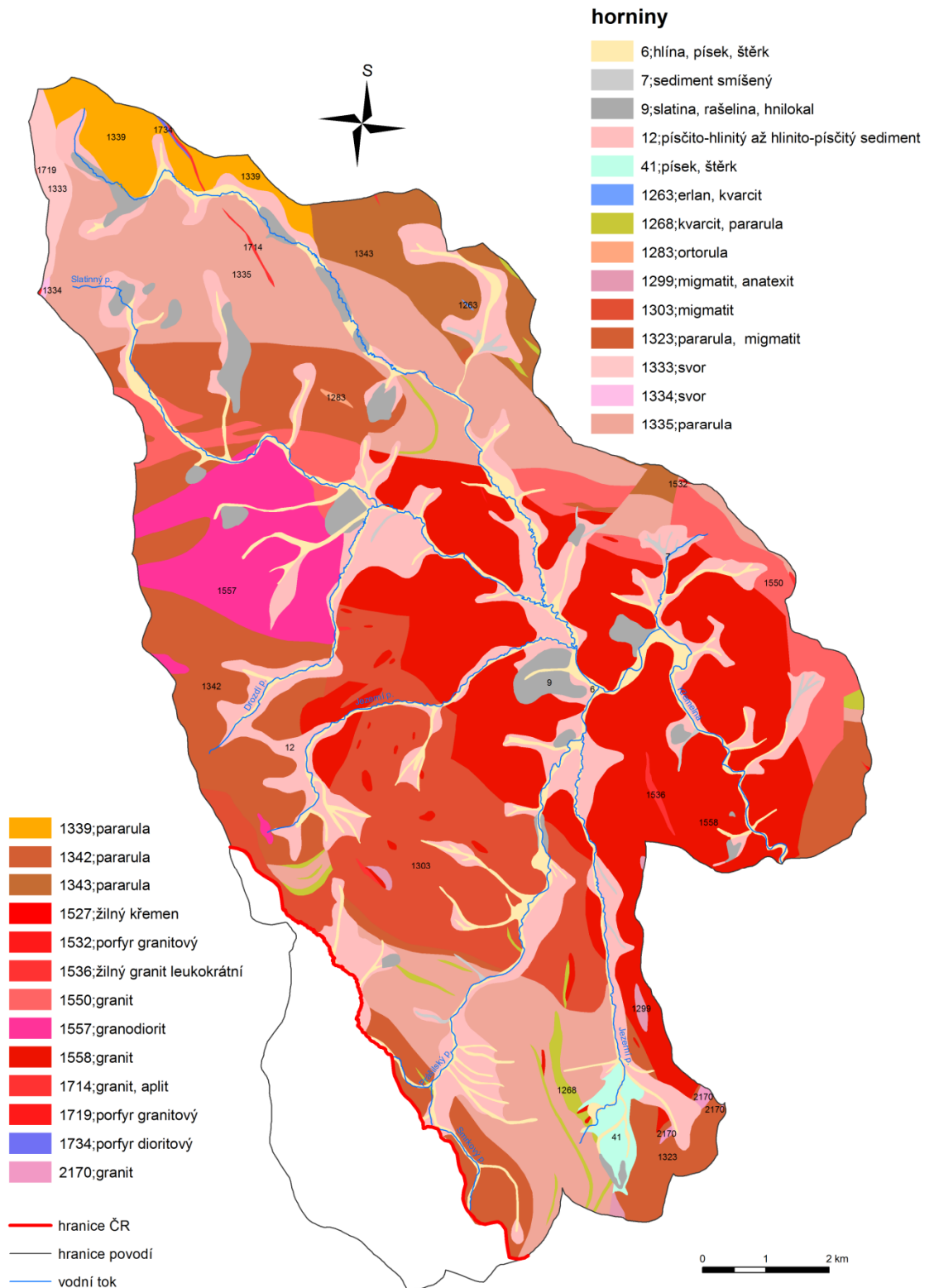
SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1: Geologické poměry – typy hornin v povodí horní Křemelné

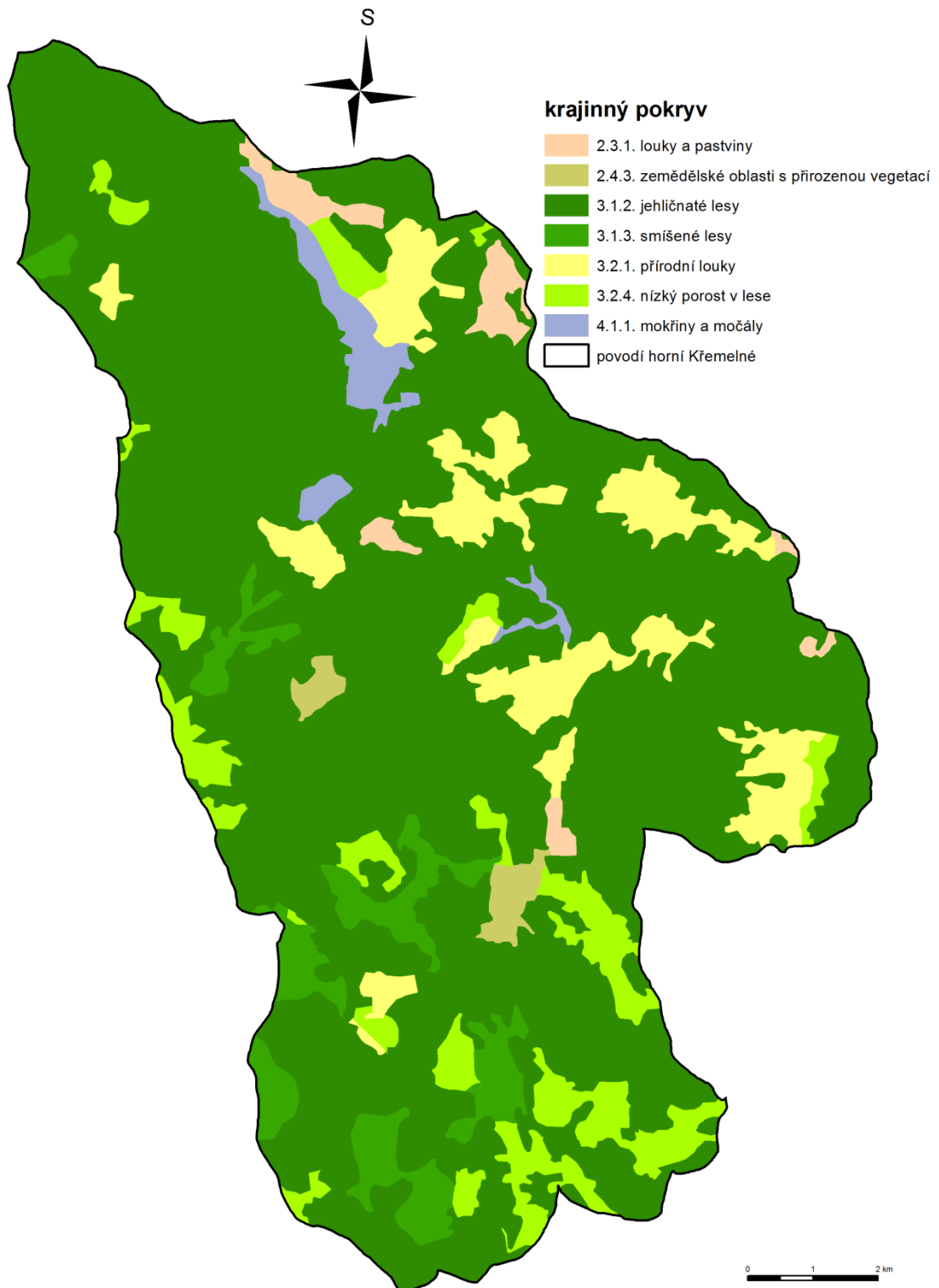
Příloha 2: Krajinný pokryv v povodí horní Křemelné, CORINE Land Cover 2006

Příloha 3: Příčné profily experimentálních povodí

Příloha 1: Geologické poměry – typy hornin v povodí horní Křemelné

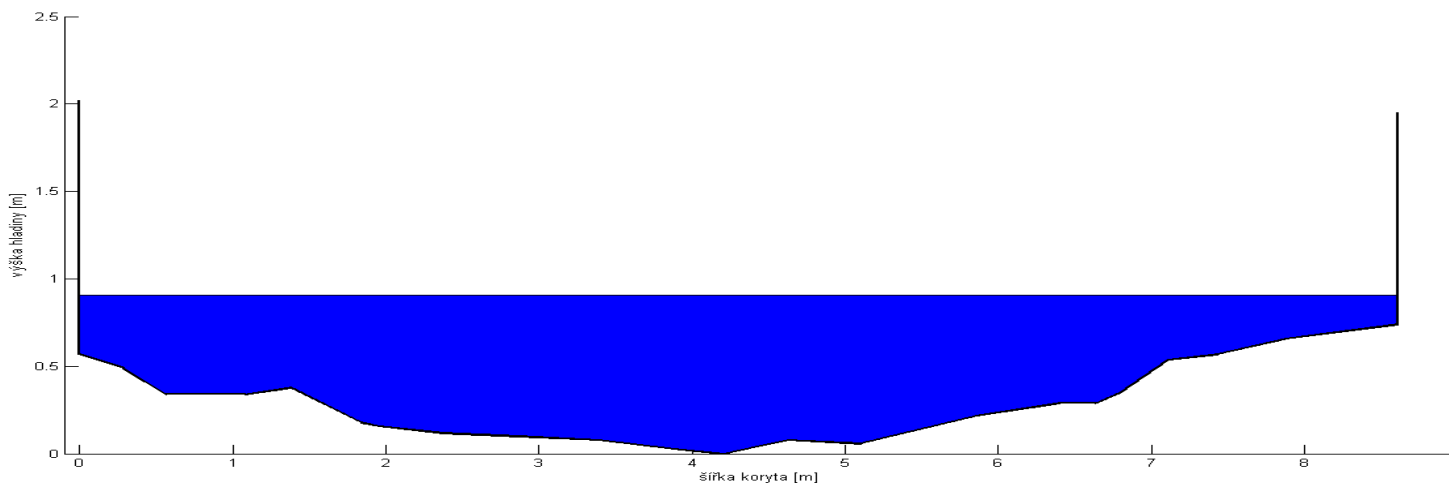
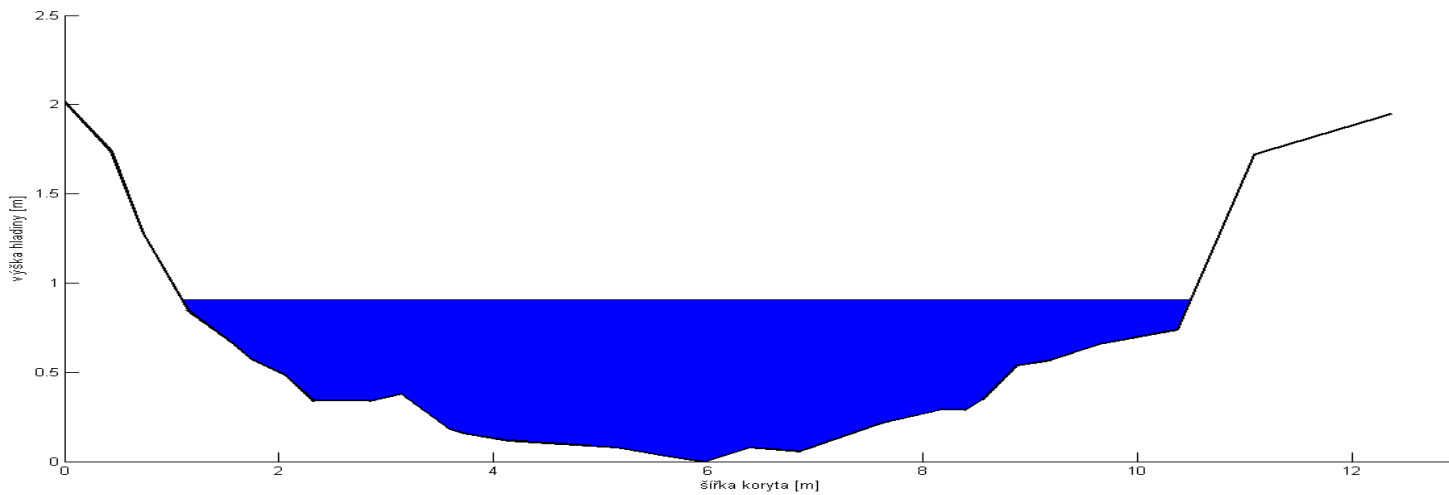


Příloha 2: Krajinový pokryv v povodí horní Křemelné, CORINE Land Cover 2006

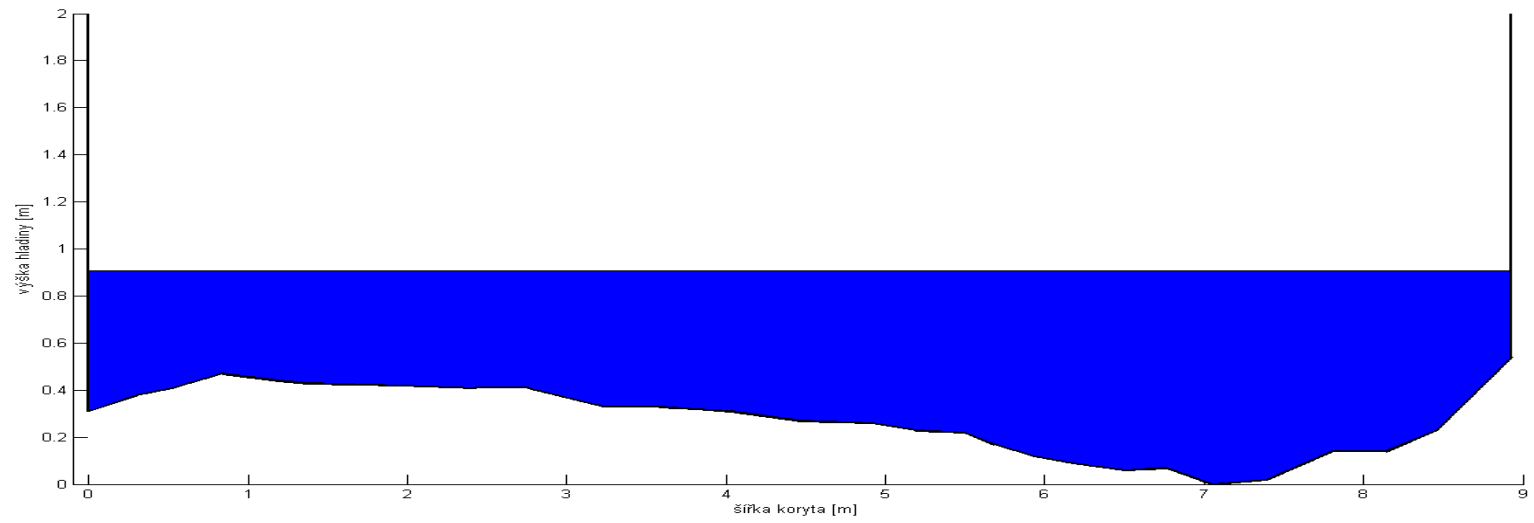
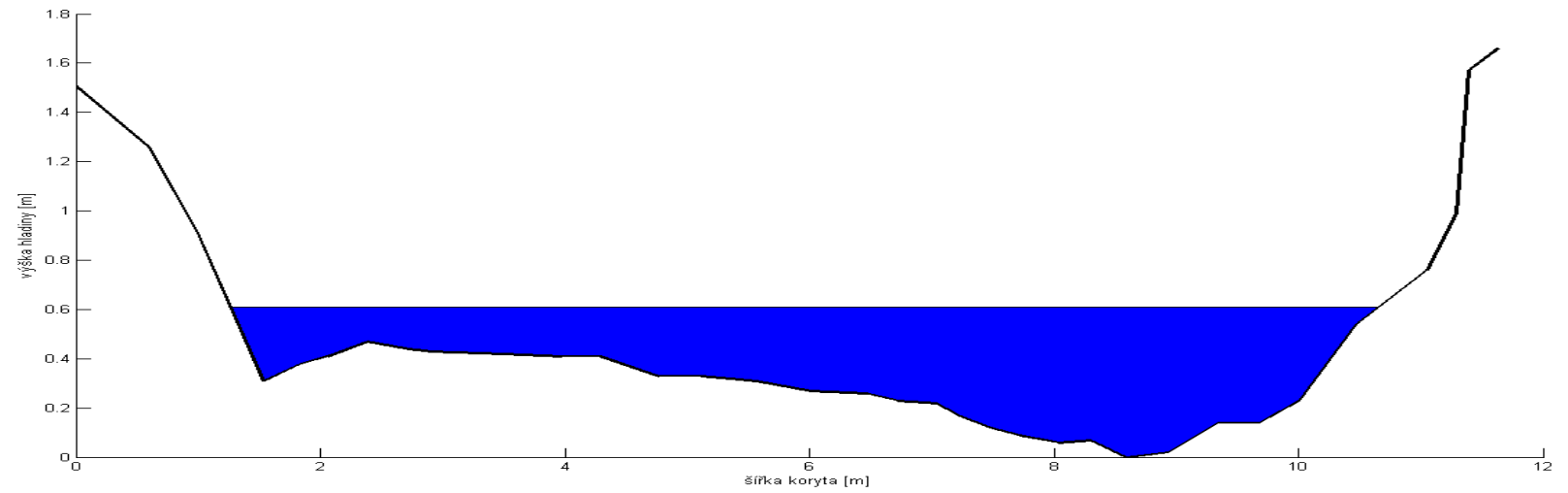


Příloha 3: Příčné profily experimentálních povodí

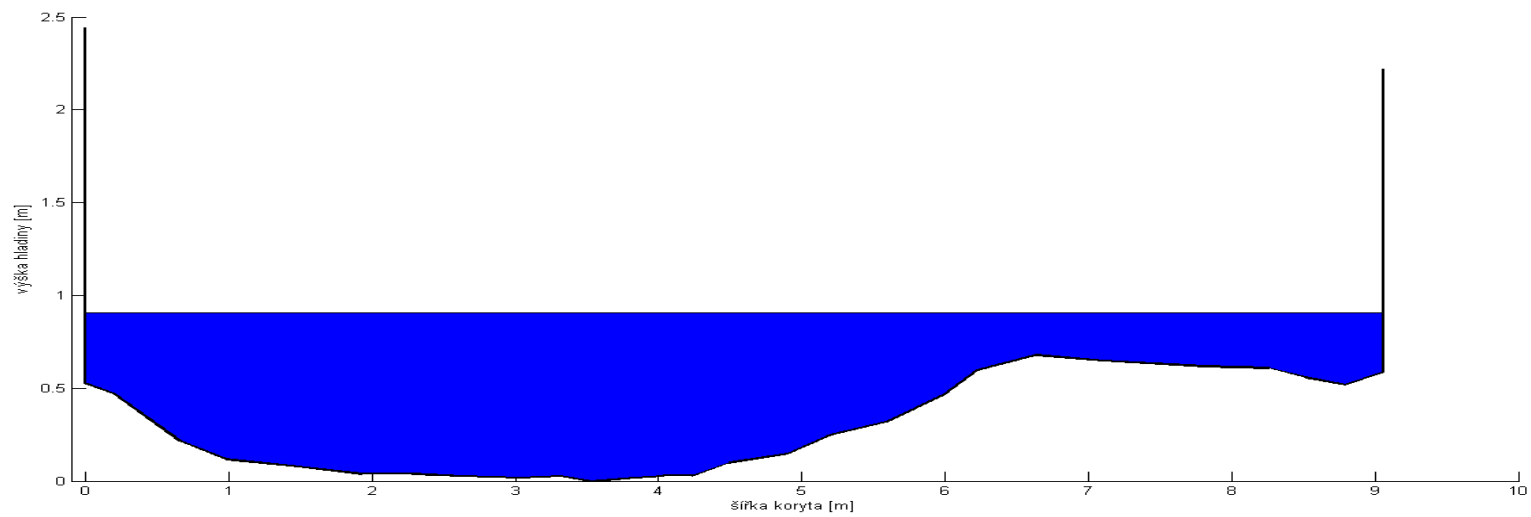
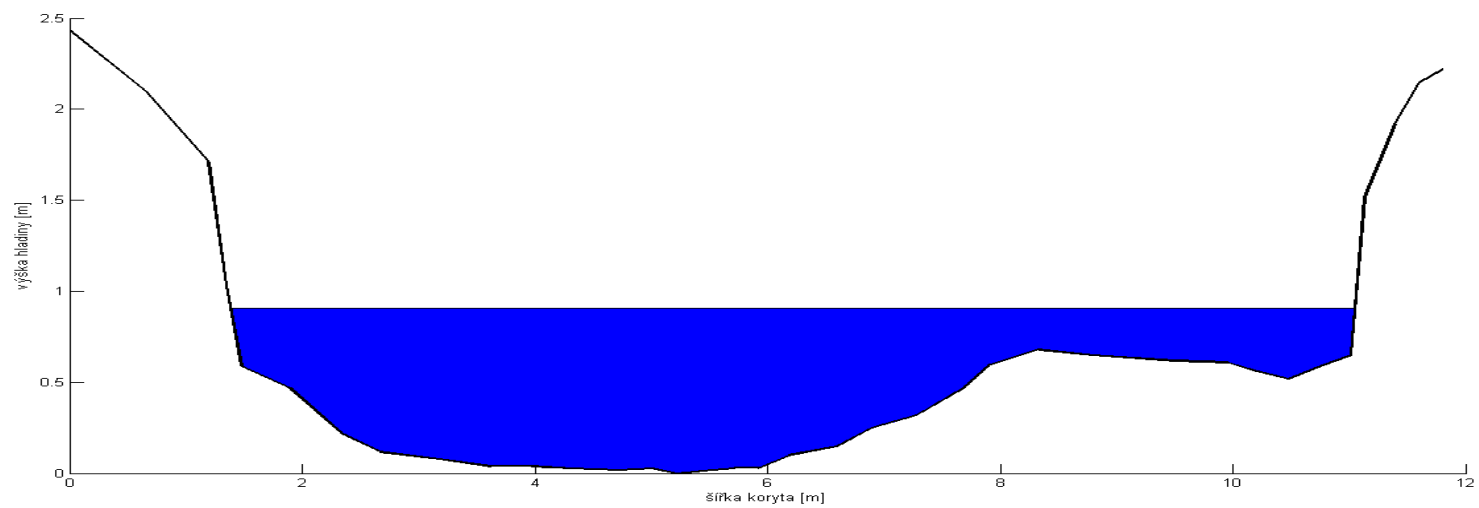
Příčný profil Křemelné – profil pod hladinoměrem a konstrukce mostu



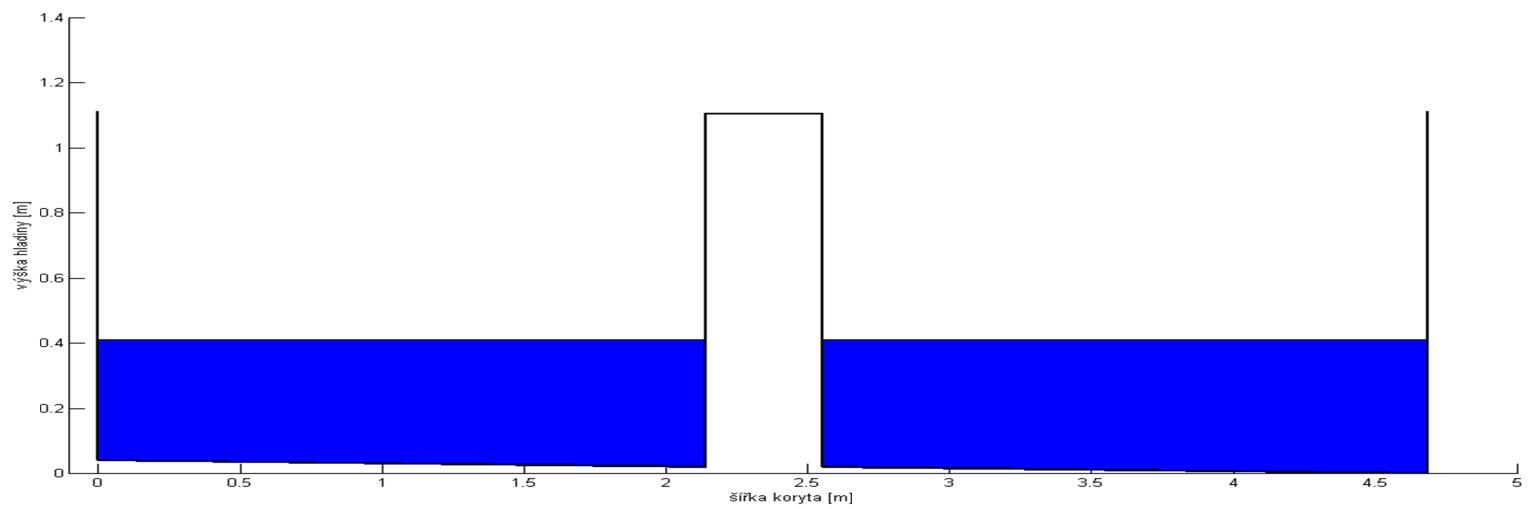
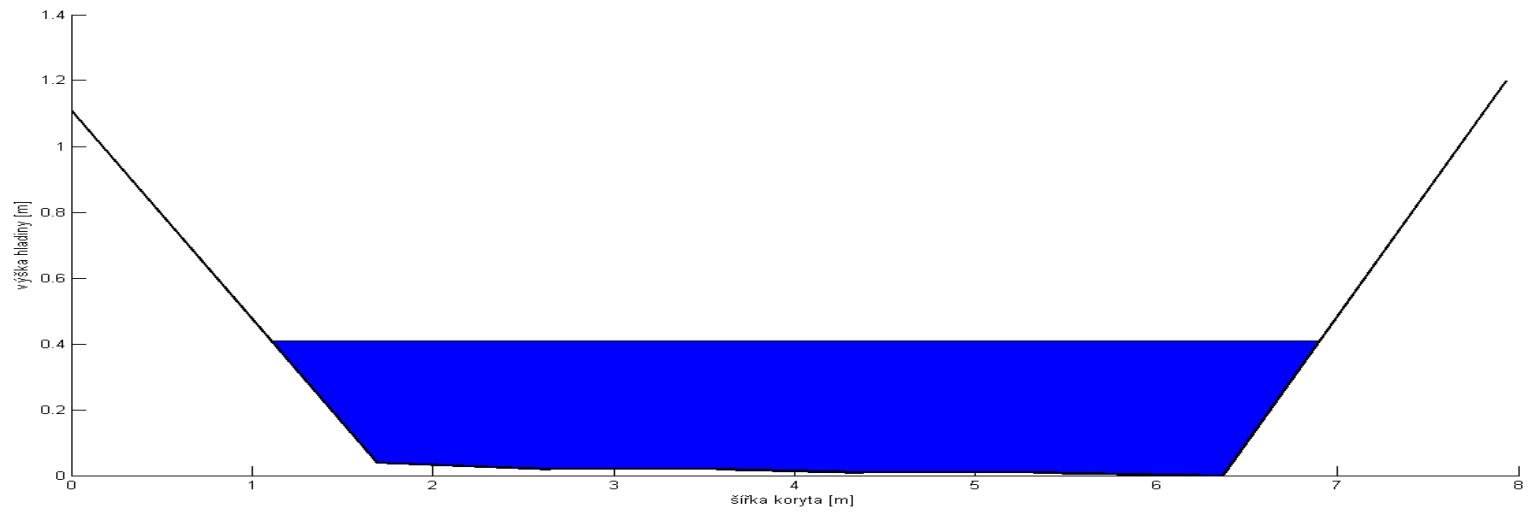
Příčný profil Prášílského potoka – profil pod hladinoměrem a konstrukce mostu



Příčný profil Slatinného potoka – profil pod hladinoměrem a konstrukce mostu



Příčný profil Zhůreckého potoka – profil pod hladinoměrem a konstrukce mostu



Příčný profil Černého potoka – zde jsou profily totožné

