

Univerzita Karlova v Praze, Přírodovědecká fakulta

Katedra fyzické geografie a geoekologie

Studijní program: Geografie

Studijní obor: Fyzická geografie a geoekologie



Michal Pergl

Retenční kapacita říční nivy a alternativní protipovodňová opatření v povodí řeky Berounky

Retention capacity of flood plain and alternative flood protection in the Berounka River
catchment

Diplomová práce

Školitel

RNDr. Milada Matoušková, Ph.D.

Praha 2017

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracoval samostatně na základě dostupných literárních zdrojů, které jsem řádně citoval. Tato práce ani její podstatná část nebyla předložena k získání jiného nebo stejného akademického titulu. Svoluji k zapůjčení této práce ke studijním účelům.

V Praze dne 24. 4. 2017

.....
Michal Pergl

Zadání diplomové práce

Název práce:

Retenční kapacita říční nivy a alternativní protipovodňová opatření v povodí řeky Berounky

Cíle práce:

Hlavním cílem práce je zhodnocení současného stavu retenční kapacity údolní nivy řeky Berounky a návrh možných alternativních protipovodňových, případně i revitalizačních opatření a to se záměrem zvýšení retence vody v krajině.

Použité pracovní metody, zájmové oblasti, datové zdroje:

- rešerše zahraniční a domácí odborné literatury na danou problematiku
- vymezení zájmových oblastí na základě odborné rešerše, terénního průzkumu a analýzy distančních datových podkladů
- analýza modifikace říční sítě a protipovodňových opatření v zájmových oblastech
- interpretace distančních datových podkladů
- hydromorfologický průzkum s využitím metodiky HEM
- analýza pasivního retenčního objemu nivy
- analýza transformace povodňové vlny
- návrh přírodě-blízkých protipovodňových a revitalizačních opatření zvyšující retenci oblastí

Datové zdroje: odborná literatura, mapové a distanční datové podklady, digitální databáze, informace od správců toků, terénní průzkum

Datum zadání: 23. 1. 2014

Jméno studenta: Bc. Michal Pergl

Podpis studenta:

Jméno vedoucího práce: RNDr. Milada Matoušková, Ph.D.

Podpis vedoucího práce:

Na tomto místě bych rád poděkoval RNDr. Miladě Matouškové, Ph.D. za odborné vedení práce, za přínosné informace a čas při konzultacích. Dále bych chtěl poděkovat RNDr. Jindřichu Durasovi, Ph.D. za poskytnutí cenných rad a Ing. Petr Vicendovi za důležité připomínky, na jejichž základě mohla tato práce vzniknout. Rád bych také poděkoval své rodině a přátelům, kteří mě plně podporovali během celého studia.

Abstrakt

Práce se zabývá retenční kapacitou říční nivy Berounky a jejím potencionálním zadržením vody v době hydrologických extrémů. Pozornost je věnována hlavně povodňovým stavům a protipovodňovým opatřením. Na základě pasivního retenčního objemu a transformace povodňové vlny je provedena analýza současného stavu dvou vybraných oblastí v povodí Berounky. Oblast I. leží na dolním toku v okolí Černošic a je výrazně antropogenně ovlivněna. Oblast II. se nachází na středním toku v okolí Křivoklátku a zachovává si přírodě blízký charakter. Součástí práce je vyhodnocení hydromorfologického stavu toku v obou oblastech. Vlivem geomorfologie nivy obou oblastí nemá pasivní retenční objem zásadní vliv na povodňové události. Transformaci povodňové vlny dokládají výsledky z 1D hydraulického modelu HEC-RAS. Výsledkem transformace jsou rychlosti proudění a hloubky v nivě při 100-letých a 20-letých průtocích. Transformace povodňové vlny v oblasti I. je nízká a území nedosahuje svého retenčního potencionálu. V oblasti II. dochází ke snížení kulminačního průtoku vlivem geomorfologické podoby trasy toku a nivy. Součástí práce je návrh přírodě blízkého protipovodňového opatření zvyšující retenci vody v obou oblastech. Opatření je provedeno zalesněním zemědělských ploch v nivě a zvýšením drsnosti povrchu. Změnou land use je u obou oblastí dojde ke snížení průměrné rychlosti průtoku při 100-letých stavech o 1 - 1,6 m.s⁻¹. To představuje snížení o 70 - 77 % oproti současnému stavu. Zvýšení retence vody v nivě má pozitivní vliv na následky středních a náhlých povodní dále na tocích.

Klíčová slova: povodeň, retence, pasivní retenční objem, transformace povodňové vlny, HEC-RAS, hydromorfologie, Berounka

Abstract

This thesis deals with the retention capacity of Berounka during the hydrological extremes. Flood prevention and flood condition are main subjects of this thesis. Two selected river areas of Berounka are analysed by the passive retention volume and by the transformation of the flood wave. The first area is situated on the lower course of Berounka near the Černošice, and this area is significantly anthropogenically influenced. The second area which has nature character is located on the middle course of Berounka near Křivoklát. This thesis contains an evaluation of the hydromorphological state of flow in both areas. The results of passive retention indicate negligible influence of the flood situations. 1D hydraulic model HEC-RAS displays the transformation of the flood wave. The results of the transformation are flow velocity and depths of the river valley in 100-year-old and 20-year-old flows.

The transformation of the flood wave in the first area is on the minimum level and did not reach its potential retention capability. The culmination flow in the second area is reduced because of a geomorphological shape of the river. Moreover, the near natural flood protection precautions are proposed in this thesis. Mean flow velocity in 100-year floods could be reduced by 1 - 1,6 m.s⁻¹ by forestation of agriculture lands. It is a reduction of 70 - 77 % compared to normal. The increase of the floodplain retention capacity plays an important role in flood protection.

Keywords: flood, retention, passive retention capacity, flood wave transformation, HEC-RAS, hydromorphology, Berounka

Obsah

Abstrakt	5
1. Úvod	10
2. Říční niva a její význam	11
2.1. Vymezení údolní nivy a jejího ekosystému	12
2.1.1 Hydrologické pojetí nivy	14
3. Retence vody v nivách a možnosti jejího zvýšení	16
3.1. Procesy uplatňující se při retenci nivy	17
3.1.1 Retence vody v půdách	17
3.1.2 Evapotranspirace	20
3.1.3 Pasivní retence	22
3.1.4 Transformace povodňové vlny v nivě	24
4. Přírodě blízká opatření zvyšující retenční schopnost krajiny	26
4.1. Retenční opatření ve střední a dolní část povodí	27
4.1.1 Změna krajinného pokryvu	27
4.1.2 Retenční nádrže a polosuché poldry	28
4.1.3 Ostatní opatření zvyšující retenci	30
4.1.4 Kombinovaná opatření	31
5. Aplikované metody a zdroje dat	32
5.1. Zdroje dat	32
5.2. Aplikované metody	33
5.2.1 Terénní průzkum	33
5.2.2 Metoda HEM	36
5.2.3 Metody výpočtu pasivního retenčního objemu	38
5.2.4 Metody hodnocení transformační funkce nivy	41
5.2.5 Numerické modelování proudění v říčních nivách	42
5.2.6 Teoretický základ jednorozměrných hydraulických modelů	43

5.2.7 Aplikace jednorozměrných hydraulických modelů	45
6. Charakteristika zájmových oblastí	50
6.1. Zájmová oblast I	52
6.1.1 Geologické poměry	53
6.1.2 Geomorfologické poměry	53
6.1.3 Klimatické poměry	57
6.1.4 Hydrologické poměry	58
6.1.5 Půdní poměry	59
6.1.6 Biogeografické poměry	61
6.1.7 Charakteristika land use	61
6.1.8 Protipovodňová opatření v oblasti I	64
6.2. Zájmová oblast II	67
6.2.1 Geologické poměry	68
6.2.2 Geomorfologické poměry	69
6.2.3 Klimatické poměry	72
6.2.4 Hydrologické poměry	73
6.2.5 Půdní poměry	74
6.2.6 Biogeografické poměry	75
6.2.7 Charakteristika land use	77
6.2.8 Protipovodňová opatření v zájmové oblasti II	79
6.3. Hydrologické poměry a sezonalita povodní Berounky	82
6.3.1 Hydrologické poměry zájmových oblastí	82
6.3.2 Sezonalita povodní řeky Berounky	86
7. Výsledky	88
7.1. Výsledky HEM	89
7.1.1 Koryto a trasa toku, oblast I	89
7.1.2 Břeh a příbřežní zóna, oblast I	91

7.1.3 Inundační území, oblast I.....	93
7.1.4 Celkový hydromorfologický stav, oblast I.....	95
7.1.5 Koryto toku a trasa toku, oblast II.....	98
7.1.6 Příbřežní zóna, oblast II.....	100
7.1.7 Inundační území, oblast II.....	102
7.1.8 Celkový hydromorfologický stav, oblast II.....	104
7.2. Výsledky pasivního retenčního objemu	106
7.2.1 Pasivní retenční objem oblasti I.....	106
7.2.2 Pasivní retenční objem oblasti II.....	108
7.3. Výsledky transformace povodňové vlny pomocí 1D hydraulického modelu	110
7.3.1 Výsledky transformace povodňové vlny v oblasti I.....	110
7.3.2 Výsledky transformace povodňové vlny v oblasti II.....	112
7.4. Návrh opatření zvyšující retenci vody.....	113
7.4.1. Návrh opatření oblast I.....	114
7.4.2 Návrh opatření oblast II.....	116
8. Diskuze.....	119
8.1. Diskuze výzkumu retence.....	119
8.2. Diskuze opatření zvyšujících retenci	123
9. Závěr.....	127
Literatura a zdroje dat	129
Odborná literatura.....	129
Elektronické zdroje.....	136
Seznam grafických prvků.....	138
Seznam obrázků.....	138
Seznam tabulek.....	141
Seznam Příloh	142

1. Úvod

Vodní tok, říční niva a krajina představují jedinečný ekosystém, jenž je založen na velmi širokém spektru funkcí a služeb poskytovaných, jak lidské společnosti, tak i nejrůznějším druhům flóry a fauny, prakticky od počátků jejího vývoje (Leopold 1994). Antropogenní zásahy do tohoto ekosystému výrazně ovlivňují jeho stav a samotný hydrodynamický režim řeky. Vzájemná interakce mezi přirozeným říčním ekosystémem či jeho dílčích složek a antropogenním tlakem na krajinu, je tradičním zájmem mnoha vědních disciplín. V současnosti je na tuto problematiku nahlíženo jako na zásadní proces globální environmentální změny, s dopady projevujícími se zejména na regionální úrovni (Bridge 2003).

V minulosti docházelo především k osidlování oblastí v blízkosti řek a vodních zdrojů. Rozrůstající se zástavba a ekonomický rozvoj způsobili zvýšení spotřeby vody a na mnoha místech vedli k technickým úpravám vodních toků. Technické úpravy spočívali především v napřímení vodních koryt, vytvoření umělých vzdutí a ve změně využití krajiny (landuse) v říční nivě. Tyto antropogenní zásahy zapříčinily zničení či přeměnu přirozených přírodních oblastí řek a snížily retenční kapacitu nivy. V dnešní době patří mezi nejproblematictější následky antropogenních zásahů do říční krajiny a řek především znečištění vodních zdrojů a toků, riziko sucha a nedostatku vody a výskyt četnějších povodňových událostí (Němec, Hladný 2006).

Rozlohu fluviálního ekosystému ovlivňuje jak zásah do prostoru nivy či říční krajiny, tak i změna morfologie koryta a dynamiky proudění vody v korytě. Negativní dopady degradace plošného rozsahu nivy se nyní projevují především zvýšením povodňového rizika, jehož intenzita je ovlivněna retenční schopností krajiny a rozlohou území přirozených rozlivů při povodních. Jsou to přitom právě nivní ekosystémy podél sítě drobných i významných vodních toků, které mohou v důsledku plnění své retenční funkce tlumit průchod povodňových průtoků a významným způsobem tak omezit množství potenciálních škod (Jakubínský 2014).

Diplomová práce se zabývá retenční kapacitou říční nivy vybraných subpovodí Berounky. Hodnotí jejich pasivní retenční objem a schopnost transformace povodňové vlny. Práce navazuje na bakalářskou práci - Přírodě blízká protipovodňová opatření v krajinně (Pergl 2013), ve které byla provedena srovnávací analýza využívaných přírodě blízkých protipovodňových opatření jak v zahraničí, tak i České republice. Součástí práce bylo vyhodnocení funkčnosti jednotlivých opatření v dané části povodí. Tyto podklady byly využity při návrhu přírodě blízkého protipovodňového opatření v subpovodí Berounky.

Hlavním cílem práce je zhodnocení současného stavu retenční kapacity údolní nivy řeky Berounky a návrh možných alternativních protipovodňových, případně i revitalizačních opatření a to se záměrem zvýšení retence vody v krajině. Pro posouzení retenční kapacity říční nivy je využito několika metod, které jsou vytvořeny pro 2 zájmové oblasti v nivě Berounky. Jedná se především o metodiku stanovení pasivního retenčního objemu, a metody hodnocení transformační funkce nivy. Oblast I. je významně antropogenně přeměněná, zatímco oblast II. si i v dnešní době zachovává přírodě blízký stav a přirozený vývoj.

Dílními cíli práce jsou:

- rešerše zahraniční a domácí odborné literatury na danou problematiku
- vymezení zájmových oblastí na základě odborné rešerše, terénního průzkumu a analýzy distančních datových podkladů
- analýza modifikace říční sítě a protipovodňových opatření v zájmových oblastech
- interpretace distančních datových podkladů
- hydromorfologický průzkum s využitím metodiky hydroekologického monitoringu toku (HEM)
- návrh přírodě-blízkých protipovodňových a revitalizačních opatření

2. Říční niva a její význam

Údolní niva představuje prostor, který zásadním způsobem ovlivňuje odtokový proces v krajině, představuje území s často mimořádně cennými přírodními biotopy a zároveň je místem, ve kterém se přirozeně soustředí řada aktivit společnosti (Langhammer 2012). Jak už bylo naznačeno v úvodu, je niva pro svou jedinečnost předmětem zkoumání mnoha vědních oborů, z čehož se také odvíjí odlišnost jejího pojetí a vymezení. Nivu jinak chápou a hodnotí geologické, geomorfologické, hydrologické, pedologické či biogeografické obory. Dále je pak i odlišně definováno využití a ochrana říční nivy, např. v rámci vodního hospodářství, socioekonomickém vývoji a ochrany přírody a krajiny. Říční nivy představují dlouhodobě velmi atraktivní lokality pro lidskou společnost. S měnícími se požadavky člověka se měnila i podoba říční krajiny. Současný stav niv je dopadem vzájemné interakce antropogenní činnosti a přirozených fyzicko-geografických pochodů, které vyplývají pro daná místa a čas. Historií vývoje říčních niv v České republice se zabývá Ložek (1981), který stanovuje počáteční bod pro vznik glaciální nivy starší úsek vrcholného glaciálu (pleniglaciálu).

Říční nivy zásadně ovlivnily antropogenní zásahy od počátku 20. století. Především se jednalo o rozsáhlé regulace odtokových procesů, jež vyvrcholily ve druhé polovině minulého

století (Ložek 1981). Významné byly úpravy koryt a břehů, při nichž došlo k opevnění břehů a dna a následnému zahloubení. Dále docházelo k napřimování toků a zániku meandrů a zákrutů, přičemž bylo hlavním cílem co nejrychleji a nejefektivněji odvést vodu pryč z oblastí intravilánů (Langhammer 2012). Zároveň však tyto opatření sloužili pro zlepšení a zefektivnění lodní dopravy. Takovéto zásahy vedly ke ztrátě kontaktu řeky se svým okolím a k obměně dynamiky hydrologického režimu (Langhammer 2012). Za jeden z největších zásahů do biotopu nivy je považována změna krajinného pokryvu, jako je vznik nové zástavby či zornění niv. K těmto zásahům docházelo především v druhé polovině 20. století a docházelo k nim jak u významných, tak i u drobných vodních toků v celé České republice (Ložek 1981). U dotčené krajiny došlo k výrazným změnám hydrických vlastností a to především v rámci sorpčního systému půdy a retenčního režimu krajiny (Bridge 2003). U většiny úprav údolní nivy lze ovšem dopad negativních účinků omezit, případně zcela odstranit za pomoci přirozené renaturace a vodohospodářských revitalizací.

2.1. Vymezení údolní nivy a jejího ekosystému

Říční krajina a niva představuje složitý systém, jenž je ovlivňován mnoha činiteli a mechanismy, proto je předmětem zkoumání řady přírodovědných oborů. Nejčastěji jsou zkoumány specifické biotické a abiotické složky nivy, či biodiverzita a geodiverzita, která je odlišuje od okolní krajiny. V poslední době se výzkumy zaměřují především na potenciál krajiny, případně přírodní hrozby pro společnost, které by zde mohli vzniknout (viz Carroll a kol. 2004, Thomas a Nisbet 2007, Langhammer 2007, atd.). Často je pozornost zaměřena především na hydrologické extrémy a s tím spojené pojetí nivy jako prostoru sužovaného jak povodněmi, tak i suchem. Niva je od pradávna územím, které sloužilo pro přirozený rozliv povodňových vod. Přesto člověk tento daný fakt neakceptuje. Vlivem jeho zásahů došlo k narušení přirozených funkcí nivy a jejího ekosystému. Rozhodujícím pohledem na vymezení prostoru údolní nivy je zpravidla hledisko genetické, odrážející její vznik a vývoj (Langhammer 2012).

V praxi se říční niva nejčastěji vymezuje na základě geomorfologického a geologického pojetí, hydrologického pojetí, pedologického pojetí či geobotanického a krajinně-ekologického pojetí. V této práci je využito pojetí hydrologické.

Geomorfologické i geologické pojetí nivy vychází z vlastností morfostruktury a morfoskulptury reliéfu a depozice fluvialních sedimentů. Z geomorfologického hlediska je niva definována jako část údolního dna, tvořená akumulacemi nezpevněných sedimentů,

zaplavovaná při povodních (Demek 1987). Křížek a kol. (2006) hodnotí nivu na základě geneze a morfologie reliéfu, přičemž niva je zde výsledkem kombinace tří geomorfologických atributů - hmota, proces a čas. Nivy lze dle jejich lokální morfostruktury rozlišovat na „poříční“, vyskytující se v dolních částech povodí velkých řek, a „údolní“, nacházejících se v úzkých údolích horních a středních toků. Dále lze podle uspořádání terénu rozlišit nivu konvexní a plochou (Hugett 2003). Konvexní niva je typická pro kulturní krajinu s upraveným a uměle navýšeným povrchem nivy (výstavba ochranných valů...), což vede k navýšení krajiny v okolí toku, oproti oblastem pod patou údolních svahů. Naopak plochá či mírně konkávní niva je způsobená laterální akrecí, dochází zde k neustálé remodelace reliéfu a krajina si zachovává své ekologické hodnoty. Z geologického hlediska je niva definována podle Collina (1988) jako rovinaté údolní dno aktivované při povodňovém stavu vodního toku, tvořené horizontálně uloženými, mladými (holocenními) štěrkovitými, písčítými, hlinitými nebo jílovitými naplaveninami. Tento materiál je často uložen nerovnoměrně a vytváří se v něm nepravidelnosti způsobené vznikem a vlivem různých geomorfologických tvarů a procesů.

Půdní poměry představují hodnotný zdroj informací, vypovídající o území a jeho přímé vazbě s hydrografickou sítí krajiny. Štěrba a kol. (2008) vnímá půdu jako samotný základ nivy, jelikož ji spoluvytvářejí a pokrývají v prakticky celém rozsahu. Tento jev poukazuje na význam půd při formování nivy a zároveň opodstatňuje její vymezení na bázi půdního pokryvu. Pedologické pojetí definuje nivu jako místo s převládajícím výskytem půd vzniklých působením vodního toku. Niva je území výskytu hydromorfních půd na fluvialních sedimentech (Ložek 2003). Hydromorfní půdy lze rozdělit, dle nejčtenějšího rozložení v říční nivě, do několika typů na fluvizemě, černice a gleje. Z pedologického hlediska je vymezení nivy relativně přesné, díky podrobným znalostem půdních poměrů.

Geobotanické a krajinně-ekologické vymezení nivy vychází z předpokladu funkčního propojení vegetačního krytu a vodního toku, přičemž tomu to propojení dochází především při povodňových událostech. Vegetace v nivě bývá velmi specifická právě díky výskytům povodní a častému kolísání hladiny vody v krajině. Podle Tocknera a Stanforda (2002) se niva v přirozeném stavu řadí mezi biologicky nejproduktivnější a nejvíce diverzifikovanější ekosystémy na Zemi, které zároveň patří k nejvíce ohroženým ekosystémům. Gurnell a Petts (2002) poukazují na silnou závislost mezi rostlinnými společenstvy a hydrologickými a geomorfologickými procesy v nivách. Geobotanické a krajinně-ekologické vymezení nivy vychází z aktuální skladby vegetace, zvláště lužních společenstev (Křížek a kol. 2006). Velký problém pro toto vymezení představuje fakt, výrazného ovlivnění a pozměnění rozsahu

vegetačního pokryvu nivy a podmínek pro výskyt původní bioty antropogenní činností. Vymezení nivy lze aplikovat výhradně na přírodní a přírodě blízké úseky vodních toků nebo úseky, kde se uplatnilo málo intenzivní zemědělské hospodaření (Chuman 2008).

2.1.1 Hydrologické pojetí nivy

Z hydrologického hlediska je za nivu považovaný prostor, který je periodicky zaplavován povodňovými vodami. Tato definice je často používána v řadě odborných studií, viz Lewis a Manton (1975) či Bren (1993), ačkoliv je nepřesná. V nivě existuje velké množství proměnných, které přirozené vybřežení povodňových vod ovlivňují. Kromě geomorfologických parametrů reliéfu, jako jsou členitost území a relativní výška údolního dna oproti hladině korytového průtoku, to jsou i jiné faktory. Dle Warda (1978) hydrologicky pojatá niva zahrnuje jak aluviální oblasti, tak i území mimo tyto lokality. Geomorfologický vývoj je zde druhořadý, než u dřívějších pojetí a Nanson a Croke (1992) označují tento jev termínem „hydraulická niva“.

Prakticky se hydrologická niva vymezuje na základě rozlivu významných povodňových vod. Obvykle při povodních stoleté vody (Q_{100}), ale často se lze setkat i s využitím 50 letých (Q_{50}) či 25 letých (Q_{25}) povodní. U malých či horských toků to můžou být i kratší rozsahy. Například studie Witnera (1966) poukazuje na dobře porovnatelné rozmístění aluviálních půd a rozsahu 50 letých povodňových stavů. Za povodeň označujeme situace, při nichž množství protékající vody překročí z různých příčin průtočnou kapacitu koryta (Němec, Hladný 2006). V případě, že objem vody překročí kapacitu koryta, začne vznikat mimo-korytový proud, který zaplavuje povrch nivy, resp. údolního dna, přičemž nejprve postihuje nejnižše položené lokality a postupně se rozšiřuje do vzdálenějších úseků (Lehotský a Grešková 2004). Tato obecná definice říká, že k rozlivu dochází v celé nivě. Nezahrnuje ovšem přirozené či antropogenní podélné a příčné překážky v nivě, které ovlivňují rozsah a směr zaplavení. Velmi významnými faktory, ovlivňující rozsah vybřežení vody, jsou infiltrační kapacita půdy, případně nasycenost půdy před povodňovou událostí, a retenční schopnost krajiny a vegetace. Dalšími faktory ovlivňující velikost povodně jsou intenzita a délka trvání srážek, tvaru povodí a spádu toku (Naiman a kol. 2005)

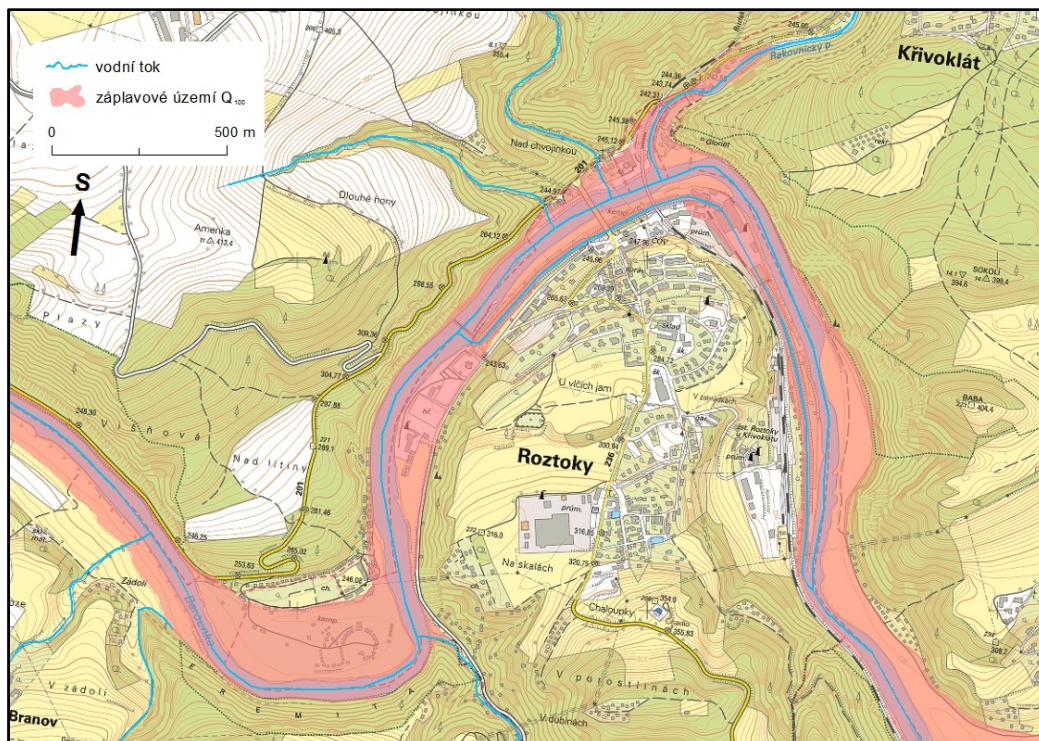
Hydrologické vymezení má tedy 2 základní nedostatky:

- rozsah záplavového území je ovlivněn lokální topografií a neodpovídá reálnému rozsahu nivy

- rozsah rozlivu je dosažitelný především pro velké a střední toky, u malých toků či v pramenných oblastech je nutné využít individuálního měření nebo hydrologických modelů

Reálný rozsah nivy může být tedy velmi odlišný oproti hydrologickému vymezení. U širokých, pořičních niv v dolní a střední části toků, které jsou zarovnány vlivem zemědělské činnosti, často dochází k nadhodnocení plošného rozsahu nivy. Naopak u úzkých a zaříznutých údolí s lesní vegetací je niva většinou podhodnocena. To může být i omezenou přesností DMT apod. V urbanizovaných oblastech je rozsah inundační oblasti výrazně snížen a to díky vlivu ochranných hrází a dalších protipovodňových opatření (Děd 2013).

Pro hydrologické vymezení nivy se v České republice nejčastěji používají podklady z databáze DIBAVOD, spravované Výzkumným ústavem vodohospodářským T. G. Masaryka, v. v. i. K dispozici jsou data pro záplavové čáry povodní (Q_5 , Q_{20} a Q_{100}) odvozené z jednotlivých měrných profilů vodních toků. Na Obr. 1 lze vidět příklad záplavového území pro stoletou povodeň na vybraném úseku Berounky u obce Roztoky, které lze využít pro vymezení nivy.



Obr. 1: Záplavové území 100 leté vody jako podklad pro hydrologické vymezení nivy, Berounka, obec Roztoky
Zdroj: DIBAVOD, ČÚZK (2015a)

Vzhledem k zaměření práce na povodňové situace a protipovodňovou ochranu, bylo toto pojetí nivy zvoleno jako nejvhodnější. V práci je dále použito pro vymezení nivy Berounky a následné výpočty.

3. Retence vody v nivách a možnosti jejího zvýšení

Retence vody v nivách má hned několik důležitých významů. Kromě eliminace přírodních rizik jako jsou povodně a sucha, je retence důležitá pro uchování kontaktu řeky s říční krajinou. Při periodickém zaplavování dochází ke zvýšení biodiverzity dané oblasti a komunikaci mezi korytovými živočišnými a rostlinnými druhy a druhy v nivě. Zvýšení hladiny zajišťuje biotě potravu, možnost rozmnožování, či slouží jako migrační koridor (Matějček 2008). Při povodňových událostech navíc dochází k přirozené sukcesi, po které dochází k obměně společenstev v ekosystému. Další význam má pravidelné zaplavování pro půdu, která při povodních absorbuje nové živiny a stává se tak více produkční. Tato práce se věnuje retenci nivy především z hlediska protipovodňové ochrany.

Retenční schopnost nivy ovlivňují 3 základní prvky: půda, vegetace a sklon terénu. Nejvýkonnějším akumulacním prvkem je půda. Schopnost vsakování vody do půdy závisí především na její struktuře, hloubce, prokořenění a stavu nasycení vodou. Půda může jímat vodu i během mrazů a to díky tomu, že je zároveň zásobníkem tepla. Značnou měrou k retenci vody přispívá také vegetace a to na základě různých dílčích procesů vodní bilance v povodí. Sklon reliéfu přispívá k vsaku a retenci vody tím více, čím je rovinnatější. Retenční schopnost říční sítě a údolní nivy, která je během povodně zaplavována, určuje kulminaci povodňové vlny a rychlost jejího postupu. (MKOL 2003)

Pro trvalou prevenci před povodněmi je nezbytné provádět opatření k zachování a obnově přirozených retenčních oblastí v celém povodí. Přirozená retenční oblast by měla mít v prevenci před povodněmi přednost před technickými opatřeními, jako je zvyšování kapacit koryt, výstavba železobetonových hrází a velké retenční nádrže. V místech, kde byli přirozené retenční oblasti znehodnoceny, vznikají vodohospodářské revitalizace, které opět zvyšují retenční schopnost krajiny a zároveň i enviromentální hodnotu fluviálního ekosystému. Vodohospodářskými revitalizacemi se blíže zabývá např. Just a kol. (2005), Blackwell a Maltby (2006) nebo Gunkel (1996). Řada revitalizačních a přírodě blízkých opatření na lokální a regionální úrovni přispívá ke zvýšené retence vody v krajině, k omezení množství srážkových vod odtékajících po povrchu a zamezuje urychlenému odtoku vody z povodí. Při povodních může mít soubor těchto jednotlivých opatření, v celkovém měřítku

daného povodí, stejný či podobný tlumivý účinek, jako mají velká technická protipovodňová opatření. Samozřejmě musí být opatření realizována nejenom na plochách ohrožených povodněmi, ale na celé ploše povodí.

3.1. Procesy uplatňující se při retenci nivy

Při povodňových situacích dochází k vybřežení řek a dochází ke vzájemné konfrontaci povodňových vod s říční nivou. Během této konfrontace dochází k retenci vody v nivě a transformaci povodňové vlny. Retence vody spočívá v zachycení části objemu povodňové vlny trvale či po delší dobu (Dostál a kol. 2012). Při retenci dochází k zachytávání vody v půdě, vegetaci a depresích reliéfu nivy. Postupně dochází k vypařování pomocí evaporace a transpirace, vsaku vody do půdy a jejího zapojení do podpovrchového případně hypodermického odtoku. Transformace spočívá ve zpomalení odtoku jednak díky elementárním fyzikálním procesům, způsobeným vyrovnáváním podélného profilu hladiny v rámci povodňové vlny, a jednak především díky drsnostním charakteristikám prostoru nivy (Dostál a kol. 2012). Transformace způsobená elementárními fyzikálními procesy není vázána na charakter nivy.

Snížení kulminačního průtoku při průchodu povodňové vlny ovlivňují procesy:

- retence vody v půdách
- evapotranspirace
- pasivní retence vody v depresích
- transformace povodňové vlny při jejím průchodu nivou

V rámci této práce je hlavní pozornost zaměřena na zhodnocení pasivní retence nivy a transformaci povodňové vlny v nivě. Tyto dva procesy nejmórazněji hodnotí retenční schopnost nivy a její protipovodňovou funkci.

3.1.1 Retence vody v půdách

Retence vody v půdě říčních niv při povodních záleží na mnoha faktorech. Ještě před samotným vylitím vody z koryta toku, dochází k vsaku srážkové vody a částečné nasycenosti nivních půd. Po vybřežení vody z koryta dochází k infiltraci vody do půdy. Následně po zasáknutí se voda z menší části odpaří formou evapotranspirace, z části dotuje podzemní vody nebo pokračuje jako hypodermický odtok podél povrchového toku v inundačním pásu (Dostál a kol. 2012). Přičemž tyto procesy snižují původní objem povodňové vlny.

Retence vody v přírodě záleží především na retenční kapacitě půdy, tedy faktoru ovlivňujícího vodní režim půd a tvorbu odtoku z povodí. V průběhu vegetační sezóny se vodní režim půd skládá ze střídajících se fází: akumulární a perkolační (Tesař a kol. 2001). V průběhu akumulární fáze se voda infiltrující ze srážek v půdním profilu akumuluje a je čerpána rostlinami pro potřeby transpirace. Tato fáze obvykle trvá několik týdnů.

Pokud odběr vody na transpiraci převyšuje srážkový přítok, vyčerpává se voda z půdy až k dolní hraniční hodnotě, kdy nedostatek vody v půdě způsobí zastavení transpirace. Převyšuje-li však srážkové vody její odběr na transpiraci, zaplňuje infiltrující voda půdu až do okamžiku, kdy objem akumulované vody překročí určitou horní hranici. Pak dojde k náhlému odtoku velkého množství vody do podloží. Tím se nastartuje perkolační – promyvná fáze, v níž většina srážkové vody protéká půdou do podloží, aniž by byla v půdě zdržena. (Lichner a kol. 2004)

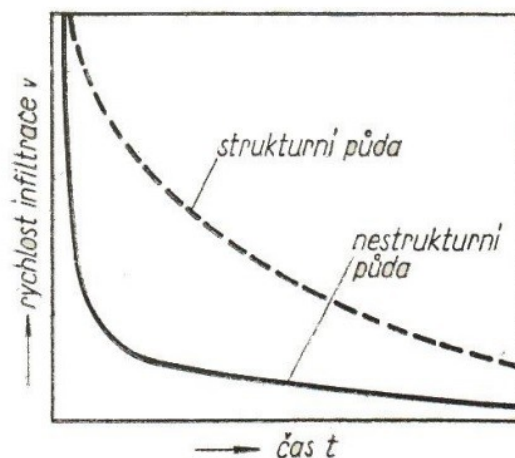
Trvání perkolační fáze je závislé na srážkové činnosti a na objemu vody v půdě při jejím nastartování a může trvat od několika hodin po několik dnů či týdnů. Perkolační fáze ustane v okamžiku poklesu objemu vody v půdě pod horní hranici. Rozdíl mezi horní a dolní hodnotou objemu vody v půdě je retenční kapacita půdy. Retenční kapacita je závislá na fyzikálních vlastnostech půdy, a to především na struktuře a zrnitosti, které určují pórovitost půdy a velikostní škálu půdních pórů. Čím je větší pórovitost a čím větší póry jsou, tím se zvyšuje retenční kapacita. Ta dále záleží na hloubce hladiny podzemní vody v půdě a aktuálních vlhkostních poměrech, které vymezují disponibilní půdní prostor.

Retenční prostor půdy v nivě je reálný objem vody, který je půda schopna pojmout během povodně. Půdní prostor nemusí být vždy zcela využit, výrazně zde závisí na dynamice povodně, na nasycené hydraulické vodivosti půdy a na aktuální hladině podzemní vody (Warmerdam a kol. 1997).

Trvalý průchod povodňové vlny krátkou dobu a půda má nízkou vodivost, nemusí se voda stihnout vsáknout a zaplnit tak celý disponibilní prostor. Naopak dojde-li k vzestupu hladiny vody pomalu a půda má vysokou vodivost, může být reálně dostupný prostor pro retenci v půdě zaplněn ještě dříve, než dojde k vylití vody z koryta do inundace. Při rychlém zalití nivy může dojít u jemnozrnných půd k zachycení půdního vzduchu, čímž dojde k znemožnění vstupu vody do pórů. (Dostál a kol. 2012)

Hydromorfnní půdy v nivách jsou často těžké a nestrukturní. Propustnější a strukturnější půdy se vyskytují v intenzivně hospodářsky využívaných oblastech niv než v přirozených nivách. U nestrukturní půdy je počáteční rychlost infiltrace nižší a velice rychle se dále snižuje. Zatímco u strukturní půdy dochází k mírnějšímu snižování rychlosti infiltrace,

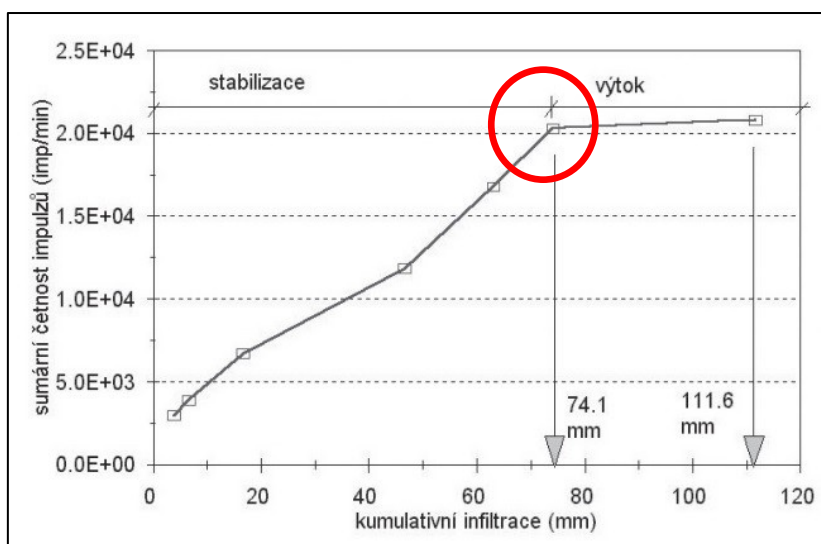
viz Obr. 2. Zároveň se u přirozených niv hranice podzemní vody nalézá blízko pod povrchem a proto je zde reálně dostupný retenční prostor menší.



Obr. 2: Průběh infiltrace na půdě s odlišnou strukturou.
Zdroj: Kutílek (1987)

Výzkum retenční kapacity půd probíhá převážně v pramenných oblastech a horních částech povodí, jelikož tyto oblasti jsou důležité z hlediska vzniku povodní a jejich následnému průběhu. Metodami pro určení retenční kapacity půd a jednotlivými modely se věnuje ve své studii např. Kern (1993), který hodnotí kvalitu výstupů šesti modelů na základě pórovitosti půdy.

Výzkumem pramenných oblastí na Šumavě se zabývá např. Lichner a kol. (2004). Studie je provedena na hnědé kyselé podzolované půdě (o třech genetických půdních horizontech: 0–17 cm, 17–60 cm a 60–100 cm), kde dochází k zlomovému okamžiku (voda v půdě ztratí stabilitu a dá se do pohybu směrem do podloží) v hloubce 60–80 cm. Retenční kapacita půdy se pohybuje mezi 60-75 mm. Na Obr. 3 je vidět zřetelný ostrý zlom, jenž značí destabilizaci vody v půdě a ta se pohybuje do podloží. Od započetí měření až do tohoto zlomového bodu se veškerá infiltrovaná voda stabilizovala v půdě v hloubce menší než 100 cm. Po překročení tohoto zlomového bodu se další voda v půdě neudrží a protéká do podloží.



Obr. 3: Sumární četnost impulsů v půdě v závislosti na kumulativní infiltraci. Určení retenční schopnosti půdy

Zdroj: Lichner a kol. (2004)

Dle studie Eliáš a kol. 2002 se v rozmezí 60–90 mm pohybuje retenční kapacita půd v Krkonoších, Jizerkých horách a v Novobystřické pahorkatině. Na všech zkoumaných lokalitách je půdní pokryv tvořen hnědými půdami horského nebo vysočinného typu, i když vzniklými na různých geologických substrátech.

Retenční kapacita v rozmezí 60–90 mm je typická pro převládající půdní pokryv hor a vysočin. Tento jev je způsoben, dle většiny názorů, především podobnými klimatickými a výškovými podmínkami, které vedou ke vzniku podobných půd. Tyto faktory vysvětlují také, proč deště o úhrnu nad 60 mm v podmínkách krystalinika vyvolávají zpravidla povodně (Eliáš a kol. 2002).

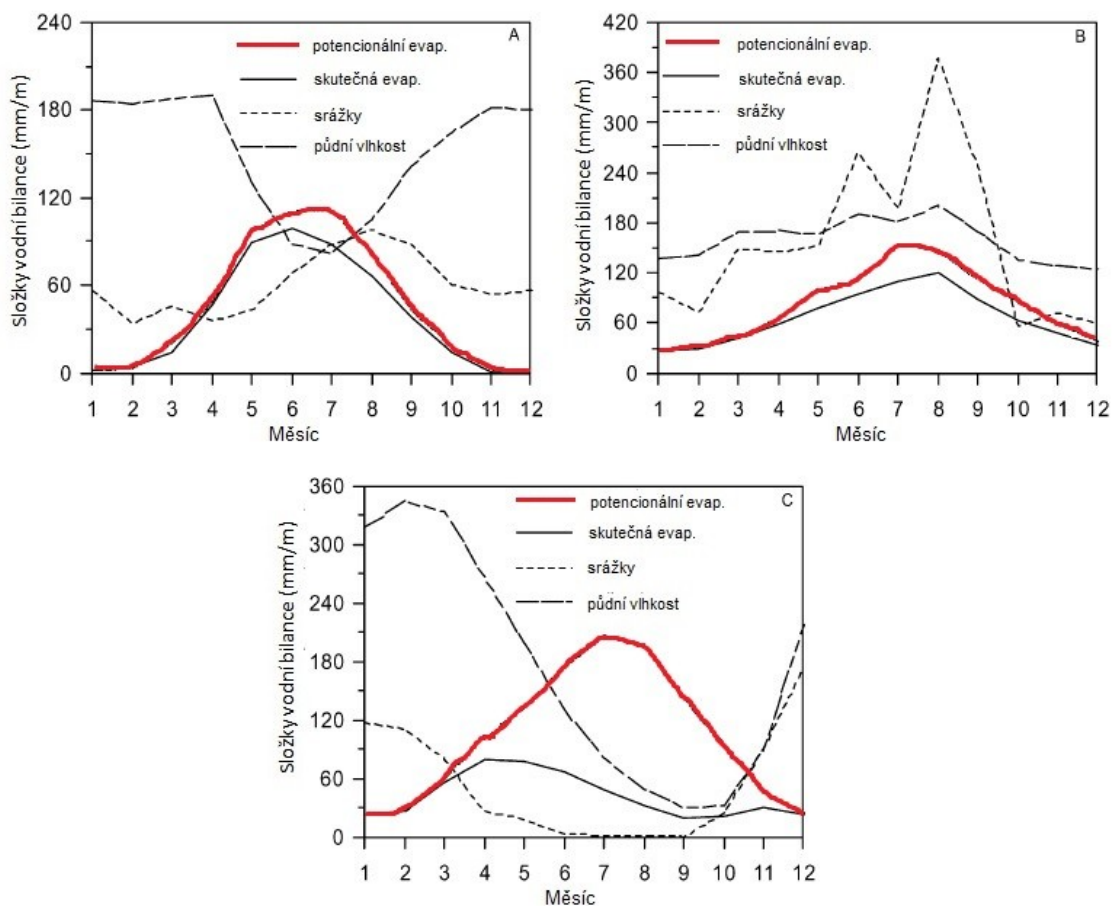
3.1.2 Evapotranspirace

Během rozlivu povodňových vod dochází také k určitému vypařování vody. To je způsobeno evaporací z hladiny vody a transpirací vody z ploch listů rostlin. Celková evapotranspirace je závislá kromě plochy zaplavené oblasti a listů rostlin, také na teplotě vody a vzduchu (roste se stoupající teplotou), proudění vzduchu (roste s rychlostí větru) a vzdušné vlhkosti (klesá s jejím zvyšováním) (Dostál a kol. 2012). Samotný proces je výrazně proměnlivý a to jak z hlediska denní a sezónní dynamiky, tak i z hlediska nadmořské výšky či druhu porostu. Vliv na snížení kulminačních průtoků v nivách je zanedbatelný, jelikož kulminace povodňových vln probíhá v řádu hodin, zatímco evapotranspirace se projevuje v řádech dnů až týdnů (Dostál a kol. 2012). Zároveň během kulminace povodňové vlny panuje vysoká vlhkost vzduchu, která proces evapotranspirace výrazně redukuje. Částečně

se evapotranspirace projevuje při dlouhodobějších povodňových stavech, hlavně u širokých niv, kdy napomáhá při opadu povodňové vody a jejího znovu zapojení do přirozeného hydrologického cyklu.

Zhodnocením potencionální evapotranspirace (PE) a jejím vlivem na srážkoodtokové modely se zabývá např. Oudin a kol. (2005). Tato studie zkoumá 27 modelů pro výpočet PE a jejich efektivitu na odtok v 308 povodí ve Francii, Austrálii a USA.

Studie Xu a Singh (2005) porovnává měsíční evapotranspiraci ve 3 zájmových povodí v různých klimatických oblastech. První zájmová oblast se nachází v středovýchodní části Švédska v blízkosti města Uppsala. Zkoumáno bylo 10 hydrologických povodí, o celkové rozloze 1000 km², vyskytujících se v boreálním podnebí se stejnoměrným rozložením srážek v průběhu roku a chladným letním obdobím. Druhá zájmová oblast se leží na východě Číny v provincii Zhejiang nedaleko města Baixi. Povodí o rozsahu 264 km² se vyskytuje v mírném dešťovém podnebí s celoroční vlhkostí a teplým letním obdobím. Třetí studované povodí o rozloze 42 km², se nachází v severozápadní části ostrova Kypr. Povodí leží v mírném dešťovém podnebí se suchým a teplým letním obdobím. Na Obr. 4 je možné pozorovat porovnání složek vodní bilance s modelovou PE v jednotlivých oblast. Jak je vidět na Obr. 4A, tak v první oblasti simulovaná PE odpovídá skutečné evapotranspiraci, pouze maximum je opožděno o měsíc vlivem poklesu půdní vlhkosti a nárůstem srážek v červenci. Na Obr. 4B, lze pozorovat obdobný jev, kdy maximum PE nastává o měsíc dříve. Prokazatelný vliv na tento stav mají opět srážky a půdní vlhkost, kdy dochází k výraznému kolísání srážek, prudký nárůst v červnu, pokles v červenci a opětovný nárůst v srpnu. Obr. 4C ukazuje na selhání modelu ve třetí zájmové oblasti. Toto selhání je zapříčiněno vstupními daty a nedokonalým modelováním PE. Jedná se o relativně malé povodí v suché (téměř aridní oblasti) s řídkou vegetací. Evapotranspirace je v této oblasti nejvyšší v dubnu, kdy je dostatek půdní vlhkosti ze zimních měsíců. PE ukazuje abnormální maximum v letním období. Pro danou oblast je nutné zvolit podrobnější modely s lepší kalibrací.



Obř. 4: Porovnání složek vodní bilance ve všech zájmových oblastech. A - středovýchodní část Švédska, B - východní část Číny, C - severozápadní část Kypru
Zdroj: Xu a Singh (2005)

3.1.3 Pasivní retence

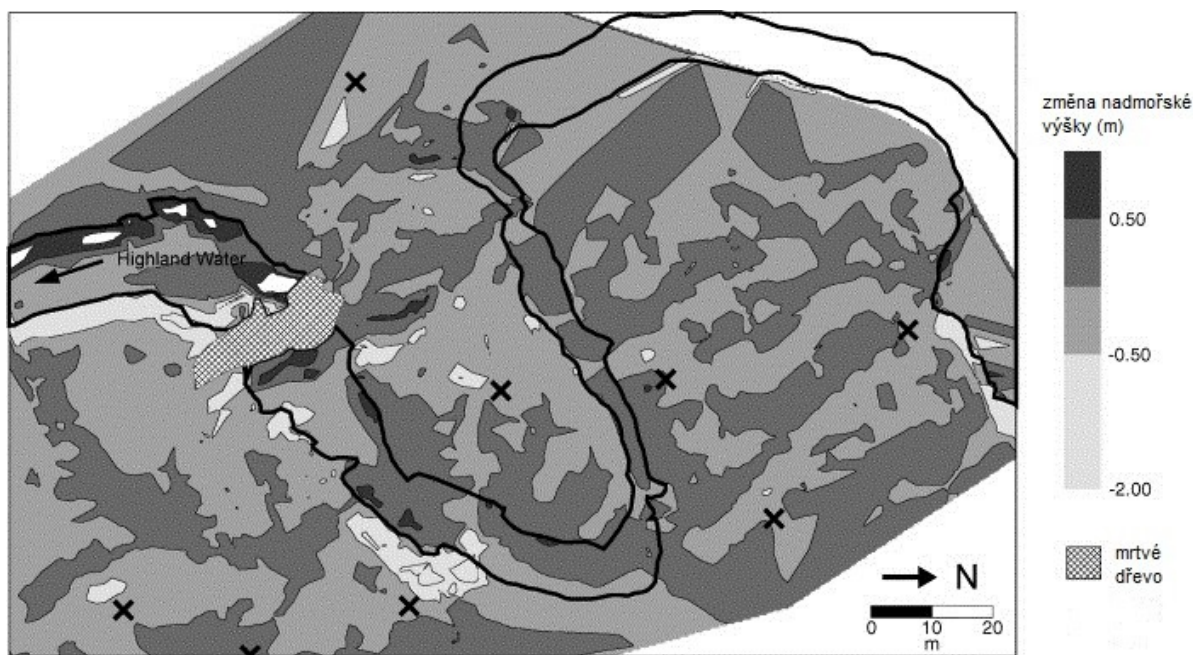
Pasivní retence nastává zadržením vody v terénních depresích a sníženinách v říční nivě. Bezodtokové deprese se plní po vybřežení toku do inundace, popřípadě může dojít k průsaku vody nivními sedimenty při zvýšené hladině toku. Tyto deprese zůstávají i po opadnutí rozlivu zaplněny vodou, která se z nich buďto postupně odpařuje nebo zpětně infiltruje do toku. Zpětná infiltrace nastává až po opadnutí povodňového stavu, takže nijak nepřispívá maximu povodňové vlny. Z hlediska retenčního efektu je podstatný celkový objem depresí, který je skutečně k dispozici ve chvíli příchodu povodně a jeho relativní velikost vzhledem k objemu povodňové vlny (Dostál a kol. 2012).

Základní hypotézou pasivní retence v depresích je fakt vysoké účinnosti v přírodních nivách s tůněmi a mrtvými rameny (Simenstad a kol. 1994). Naopak malý vliv má v plochých zemědělsky obdělávaných nivách, kde vznikají převážně velmi mělké sníženiny. Navíc většina těchto sníženin byla srovnána zemědělskou činností. Při významnější povodňové situaci mají terénní deprese pouze funkci redukce povodňové vlny, ovšem nijak nesnižují kulminační průtok.

Dle Dostál a kol. (2012), kteří prováděli výzkum pasivní retence na řece Lužnici, byl u extenzivně využívané nivy přírodě blízkého typu zjištěn objem dostupných pasivních retenčních prostorů v řádu jednotek procent z objemu povodňové vlny, s dobou opakování do 20 let na úseku dlouhém 9 km. U hospodářsky využívaných niv při extrémních povodních bude vliv ještě nižší.

Wyzga (1999) posuzuje vliv terénních depresí v nivě na povodňové stavy ve třech oblastech horní části povodí Visly, jih Polska. V horní části povodí dosahuje odtok vysokých rychlostí a řeka má silnou erozní schopnost. Důsledkem toho by se mohla účinnost pasivní retence zdát zanedbatelná. Jak studie ukazuje, vliv terénních sníženin na zpomalení povodňového odtoku přímo v nivě Visly je až do 14-leté doby opakování. U menších přítoků se ovlivnění pohybuje kolem $Q_6 - Q_7$. Výsledky ukazují, že pasivní retence v této oblasti má vliv na menší povodně a může zpomalit nástup středních a velkých povodní.

Terénní sníženiny a deprese vznikají v nivě i během povodňových stavů. V průběhu povodně má řeka dostatečnou erozní a akumulární sílu aby vytvořila v nivě terénní elevace. Jeffries a kol. (2003) porovnává vznik nových elevací během zimní povodně v letech 2000/2001 v oblasti Highland Water v národním parku New Forest ve Velké Británii. Jak je vidět na Obr. 5 během povodně se vytvořili na výsepních březích meandrů nové akumulace sedimentů, ve kterých se nacházejí i výrazné terénní deprese. Zároveň je na obrázku patrná i oblast nánosu mrtvého dřeva, které zpomaluje povodňovou vlnu a zdrsňuje povrch nivy, čímž výrazně přispívá k pasivní retenci. Během zimní povodně vznikli rozsáhlé akumulace do výšky 0,5 m, tyto akumulace jsou doplněné rozsáhlými depresemi o hloubce 0,5 m a méně rozsáhlými depresemi, které mohou dosahovat hloubky až 2 m. Studie také dokazuje, že kromě anorganických sedimentů je při tvorbě nové morfologie nivy důležitá také organická složka v podobě mrtvého dřeva a další vegetace.



Obr. 5: Změna reliéfu v nivě po zimní povodni 2000/2001, Highland Water, New Forest, Velká Británie
Zdroj: Jeffries a kol. (2003)

3.1.4 Transformace povodňové vlny v nivě

Transformace povodňové vlny v nivě je založena ve zploštění vlny prodloužením doby jejího průchodu při současném snížení kulminačního průtoku, přičemž její objem zůstává zachován (Dostál a kol. 2012). Oproti transformaci v nádrži, je objem vody při transformaci v nivě neustále v pohybu. Závisí tedy výrazně na morfologii a dynamice inundačního území. Vlivem rozdílných sklonů hladin na vzestupné a sestupné větvi povodňové vlny dochází k odlišným rychlostem a zploštění vlny. Důležitou roli hrají také fyzikální a geometrické vlastnosti nivy, které ovlivňují proudění jak v horizontálním směru, tak i vertikálním. Hlavním parametrem pro rychlost a směr proudění má drsnost dna a povrchu inundace. Čím větší množství vody bude protékat inundací mimo koryto a čím bude pomalejší rychlost proudění, tím výrazněji bude niva transformovat povodňovou vlnu. Malý význam na transformaci po vybřežení vody mají fyzikální vlastnosti koryta, jelikož proudnice v inundaci nemusí sledovat původní trasu koryta. Tento jev se projevuje především u meandrujících toků či u toků s výraznými zákruty. Význam revitalizací vodních toků, spočívající pouze v prodloužení a rozvlnění trasy koryta pro snížení povodňových průtoků přesahujících kapacitu koryta, je nedostatečný (Dostál a kol. 2012).

Největší transformaci vlny a tedy i retenční účinky lze očekávat u přírodních niv, popřípadě extenzivně zemědělsky využívaných niv, které mají vysokou drsnost. Zároveň musí

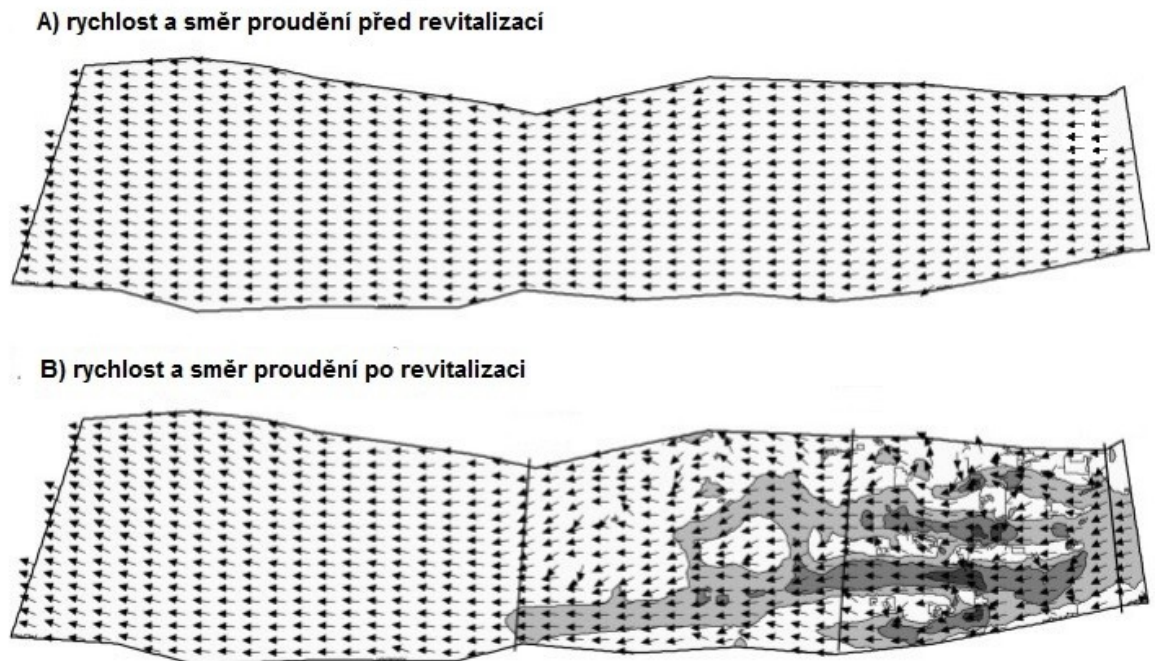
být niva dostatečně široká a plochá, aby mohlo dojít k rozlivu po co možná největší ploše. Drsnost povrchu ovlivňuje především hustota a pevnost vegetace. Čím je hustější a stabilnější vegetace, tím je drsnost vyšší. Kromě vegetace promlouvají do drsnosti povrchu morfologie terénu a objekty vzniklé lidskou činností, např. propustky, mosty, komunikace, atd. Tyto objekty, ale většinou nejsou pro vzdouvání vody určeny a může dojít k jejich destabilizaci, což může mít ve výsledku horší dopady než samotná zvýšená hladina vody. Celkové negativní dopady a druhotné problémy způsobené povodní může přinést i přírodní niva, kde není vegetace dostatečně udržována a může tak dojít k odnosu a následnému ucpání nivy organickou hmotou v podobě suchých větví a stromů.

Dostál a kol. (2012), kteří kvantifikovali účinky transformace vlny nivou na řece Lužnici, zjistili, že na 10 km úseku přírodní nivy bez přítoků lze dosáhnout 7 - 10 % snížení kulminačního průtoku. Zároveň může dojít k časovému posunu kulminace až o 10 hodin. U intenzivně hospodářsky využívané nivy, která má menší drsnostní podmínky, jsou transformační účinky podstatně menší.

Změnami krajinného pokryvu v nivě a jejich vlivem na transformaci povodňové vlny se zabývá např. Wyzga (1996), který posuzoval transformační účinky nivy na řece Raba v polských Karpatech v mezi lety 1921-1985. Dle studie došlo mezi roky 1920-1940 k pozvolnému rozvlnění říčního toku, což vedlo k snazšímu vybřežení povodňových vod a většímu vlivu říční nivy při povodních. Po roce 1940 došlo k úpravám koryta a tok byl napřímen a prohlouben. Zároveň byla krajina a členitá morfologie přírodní nivy postupně degradována a lužní lesy a louky byly využity pro zemědělské oblasti a zástavbu. Tato změna je patrná na porovnání hydrografů ze dvou měrných profilů při třech podobných povodňových událostech z let 1949, 1962 a 1972. Výsledkem studie bylo zjištění negativní transformace povodňové vlny odpovídající postupné degradaci nivy. Nárůst kulminace povodňové vlny se postupně zrychluje a její doba zkracuje, což dokazuje nízkou retenční schopnost nivy v dané oblasti.

Pozitivní transformace povodňové vlny lze dosáhnout, dle studie Pasternack a kol. (2004), vhodnou vodohospodářskou revitalizací nivy a koryta. Studie hodnotí transformační účinnost koryta a nivy řeky Mokelumne ve střední Kalifornii, v USA, za použití 2D modelu. Výsledkem je porovnání změny rychlosti a hloubky proudění před a po zvýšení drsnosti koryta a nivy. Drsnost koryta byla zvýšena vhodným umístěním šterkového a balvanovitého podloží. V nivě vznikly terénní deprese a tůň doprovázené nesouvislými valy a vyvýšeninami. Pro porovnání rychlosti proudění a posouzení transformačních účinků byl použit 2D model FESWMS-2DH. Z Obr. 6 je patrné, že rychlost proudění v korytě i nivě

se po provedení revitalizace snížila až o 2 m.s^{-1} a to v místech, kde byli vytvořeny umělé deprese a valy. Zároveň v těchto místech dochází k výrazným změnám směru proudění, které se projevuje i dále na toku ve směru proudění. Zvýšením drsnosti se zvyšuje retenční funkce dané oblasti a tím dochází ke snížení a prodloužení kulminace povodňové vlny.



Obr. 6: Rychlost a směr proudění A) před- B) po revitalizaci. Snížení rychlosti bílá barva $0-0,5 \text{ m.s}^{-1}$, světle šedá $0,5-1 \text{ m.s}^{-1}$, středně šedá $1-1,5 \text{ m.s}^{-1}$ a tmavě šedá $1,5-2 \text{ m.s}^{-1}$
Zdroj: Pasternack a kol. (2004)

4. Přírodě blízká opatření zvyšující retenční schopnost krajiny

Přírodě blízkých a revitalizačních opatření zvyšující retenční schopnost krajiny je celá řada. Ne vždy jsou ale jednotlivá opatření realizovatelná v daném území a to vzhledem k morfologii, antropogennímu ovlivnění, prostorovému vymezení nivy, financím, atd. Kvůli rozdílné geomorfologii jednotlivých částí toku se zpravidla vyčleňují na opatření vytvářená v horní, střední a dolní části povodí toku. Při výběru konkrétního opatření je vhodné přemýšlet o protipovodňovém účinku, ekonomických nákladech, sociálních a ekologických dopadech, případně druhotném využití. Komplexním zhodnocením jednotlivých přírodě blízkých a revitalizačních opatření zvyšující retenční schopnost krajiny a jejich umístěním v rámci toku se blíže zabývá Pergl (2013).

Následující kapitoly se věnují přehledu nejpoužívanějších a nejúčinnějších retenčních opatření. Vzhledem k řešeným oblastem se tato práce zabývá opatřeními zvyšující retenci říční krajiny ve střední a dolní části povodí.

4.1. Retenční opatření ve střední a dolní část povodí

Střední část povodí se odlišuje různými fyzicko-geografickými vlastnostmi území. Obvykle se v této části povodí vytváří nivy, které jsou v příčném profilu úvalovité či neckovité. Mnohdy bývá příčný profil značně asymetrický, na jedné straně strmě klesá a na druhé pozvolna stoupá. Asymetrický příčný profil se nachází převážně v místech zákrutů a meandrů. Ve střední části povodí často dochází ke střídání erozních a akumulčních úseků. Energie toku pozvolna klesá a řeka vytváří v nivě tůň, brody, zákruty, meandry, slepá ramena a říční terasy. Vlivem hydraulické křivolakosti, která je podmíněna změnami spádu toku a překážkami uvnitř toku, může docházet k meandraci (Pergl 2013). Při meandrování se tok posouvá v nivě směrem po proudu a vytváří erozní břehy (hlubiny) a protilehlé nánosové břehy (brody) (Demek 1987). Z hlediska zvýšení retenční schopnosti krajiny se ve střední části povodí mohou vytvářet účinná opatření, která minimalizují odtok do dolní části povodí. Zároveň tato opatření mohou korigovat a utlumovat probíhající povodeň přímo v území.

V dolní části povodí je říční niva široká a má neckovitý nebo plochý tvar. Tok v této části je o malém sklonu a sedimentace převažuje nad erozí. Energie toku je malá, ale i přesto se v široké nivě, tvořené nezpevněnými sedimenty, vytváří rozsáhlé meandry. Výrazná sedimentace vytváří akumulční říční nivy, ve kterých mohou vznikat nepohyblivé ostrovy tvořené jemnými sedimenty charakteru plavenin (Pergl 2013). Z hlediska zvýšení retenční schopnosti se v dolní části povodí tvoří opatření, které korigují a tlumí povodňové vody. V této části povodí se obvykle pro dosažení co možná největší retence opatření kombinují.

4.1.1 Změna krajinného pokryvu

Nejběžnějším opatřením pro zvýšení retence je změna krajinného pokryvu. Změna land use a struktury krajiny je významným a ekologicky přínosným opatřením. Účelem tohoto opatření je zachycení vody v povodí a zpomalení jejího odtoku (Pergl 2013). Již od středověku docházelo k úbytku přirozeného lužního pokryvu v blízkosti řek na úkor zastavěných a zemědělských ploch. V současné době vzniká trend obnovy lužních lesů a luk a změny využití zemědělské půdy. Intenzivně hospodářsky využívané plochy v nivě se začínají využívat spíše extenzivně a dochází k jejich zatravnění a zalesňování. Vegetace lesů a luk zdrsňuje povrch inundační oblasti a tím dochází k zadržení a zpomalení záplavové vody z oblasti. Lužní louky se mohou využívat jako pastviny a při povodňových situacích dochází k jejich zaplavení. Lužní lesy a louky slouží také jako protierozní ochrana zemědělských ploch. Kromě retenční a protierozní funkce, vegetace lesů zpevňuje svahy

a zabraňuje svahovým pochodům, které jsou často doprovodným jevem povodní. Změna krajinného pokryvu zachovává přírodě blízký ráz krajiny, zlepšuje kvalitu vody a může sloužit i jako rekreační plocha.

Negativním příkladem změny krajinného pokryvu je např. studie Costy a kol. (2003), která ukazuje nadměrné zvýšení odtoku z povodí po odlesnění říční krajiny. Studie se zabývá odlesněním mezi roky 1949 - 1998 v povodí tropické řeky Tocantins v Porto National, v Brazílii. Došlo k nárůstu zemědělských využívaných ploch na úkor lesů o 19 %, následkem čehož se zvýšil odtok z území. Ve sledovaném období se průměrný úhrn srážek nijak výrazně nezměnil, přesto došlo ke zvýšení průměrného ročního odtoku o 24 %. Následkem zvýšení odtoku byly ničivé povodně ve městech ležících na toku.

Samotná změna krajinného pokryvu v dolní části povodí bývá v případě velkých povodní neúčelná. Toto tvrzení vyvrací studie Edmonse (2000) týkající se obrovského zalesnění středního a dolního toku Chang Jiang v provinciích Hubei a Sichuan v Číně. Při tomto velkém vládním projektu došlo k zalesnění 2 mil. ha plochy kolem přehrady Tři soutěsky z důvodu ochrany před povodněmi. Zalesnění zvýšilo retenční schopnost půdy, evapotranspiraci a pasivní retenční schopnost krajiny a výrazně tak zpomalilo i velké povodňové průtoky.

K obnově lužních luk a lesů došlo např. na středním toku Labe u Löderitzer Forstu, kde niva slouží k zachycení vod z přívalových dešťů. Ke 100 % zalesnění nivy bavorské řeky Glonn došlo mezi městy Dachau a Augsburgem v Německu. A ke změně 200 ha intenzivně využívané zemědělské plochy na intenzivně využívanou proběhla v Maďarsku v povodí řeky Tizsy. Všechny tyto změny krajinného pokryvu vytvořily retenční prostor v nivě, který zpomaluje a snižuje kulminační průtok povodní.

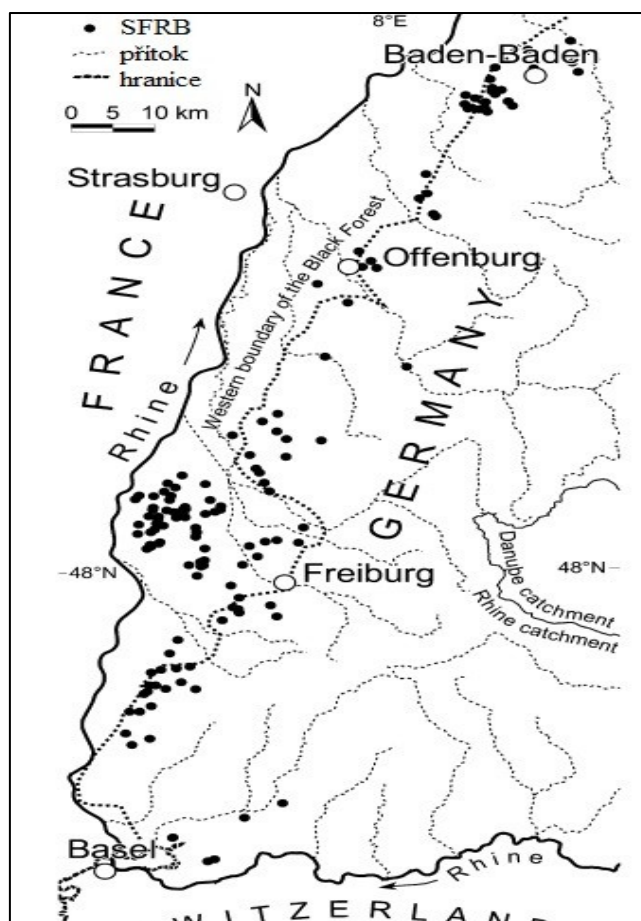
4.1.2 Retenční nádrže a polosuché poldry

Retenční nádrže a polosuché poldry ve střední a dolní části povodí jsou obvykle plošně rozsáhlé z důvodů větší potřeby retence. Polosuché poldry transformují povodňové vlny, tak že dochází k jejich snížení a zpomalení. Podrobným rozdělením retenčních nádrží a poldrů se zabývají Scholz a Sadowski (2009), kteří je dělí na netechnické (přírodě blízké) a technické. Hojně se v dnešní době využívají poldry, které jsou schopné zadržet i větší povodňové stavy. Bývají ohrázené protipovodňovými valy, které jsou zpevněny vegetací. Poldry dělíme na průtočné a postranní či na suché a polosuché poldry. Průtočný poldr se nachází přímo na toku a je vybaven větším retenčním prostorem v nivě. Retenci zajišťuje

příčná hráz, která reguluje odtok z poldru. Oproti tomu postranní poldr se nachází v nivě a k jeho zaplavení dochází pouze v případě překročení určitého průtoku. Průtočné poldry jsou využívány i při menších povodňových stavech, zatímco postranní poldry jsou využity především při extrémních povodních. Postranní poldry jsou využity ve fázi povodňové kulminace a výrazně tak transformují povodňovou vlnu. V suchých poldrech není obsažena žádná stále nadržovaná voda v případě potřeby lze využít celý jejich objem. Představují, ale určité bezpečnostní riziko právě při povodni, kde je hráz proschlá a musí v krátké době odolávat plnému zatížení, a také hospodaření ve vnitřní ploše poldru není příliš efektivní (Pergl 2013). Polosuché poldry jsou z bezpečnostního a ekologického hlediska nejvhodnější pro retenci záplavových vod. Voda vytváří v ploše poldru mokřady a tůň, díky čemuž může plocha sloužit k revitalizaci koryta vodního toku s doprovodnou vegetací (Just a kol. 2005). Pata hráze je stále zvlhčována čímž se eliminuje riziko protrhnutí hráze. Zároveň mokřady slouží jako útočiště pro živočichy, čímž se zvyšuje biodiverzita oblasti. Nejčastěji jsou jako retenční nádrže či polosuché poldry využívány jámy a deprese, vzniklé při těžbě nerostných surovin v nivě. Při povodních dochází k vybřežení vody koryta a k zaplavení sníženin, po opadu povodně se voda postupně navrácí do koryta malými drenážemi a kanály či průsakem.

Opatření zvyšující retenci krajiny v podobě nádrží a polosuchých poldrů je hojně využíváno např. v Německu, Velké Británii, Švédsku, Irsku či Dánsku. Na středním toku Labe u měst Mühlberg, Riesam či Prettin se nachází řada postranních poldrů, které zde korigují povodňové situace a snižují tak povodňový odtok do dolních oblastí. Typickou oblastí kde jsou využívány retenční nádrže a polosuché poldry je střední část povodí Rýna v Německu. V této oblasti se nachází 141 ekologických protipovodňových retenčních nádrží (SFRB), viz Obr. 7.

Dalším příkladem je např. oblast Meinerswijk v dolní části Rýna nedaleko města Arnhem v Nizozemsku. V této oblasti došlo k vytvoření dvou polosuchých poldrů v makrodepresích vzniklých po těžbě jílu a písku. První polosuchý poldr dosahuje rozlohy 110 ha a je druhotně využíván k rekreaci, druhý polosuchý poldr má rozlohu 100 ha a je částečně využíván pro pastvu dobytka (Blackwell, Maltby 2006). V případě povodní je jejich rezervoár využit pro ochranu města Arnhem. Zároveň tyto poldry zachytávají splaveniny a plaveniny a zvyšují biodiverzitu oblasti.



Obr. 7: Ekologické protipovodňové retenční nádrže (SFRB), německá část středního povodí Rýnu.

Zdroj: Scholz, Sadowski (2009)

4.1.3 Ostatní opatření zvyšující retenci

Krom výše uvedených opatření zvyšující retenci krajiny se využívají i další opatření, jejichž realizace je, ale výrazně ovlivněna morfologií nivy a toku a také antropogenní činností člověka. Patří mezi ně opětovné připojení slepého ramena, vytvoření retenčních kanálů, odsazení ochranných hrází či obnova přirozených retenčních oblastí.

Opatření opětovné připojení slepého ramena řeky je možno využít pokud se takové rameno nachází v řešené oblasti. Během vývoje volného meandru dochází k vytvoření erozi a akumulaci a vytvoření výsepního a jesepního břehu. Díky tomu meandry neustále zvyšují svou amplitudu a posouvají se dále po proudu. Při překročení určité hranice amplitudy meandru dojde k jeho zaškrcení a vzniku slepého ramene. Slepá ramena mohou být významným retenčním prvkem v krajině a v případě správně provedeného připojení mohou hrát důležitou roli při protipovodňové ochraně. V případě nesprávného připojení dojde vlivem

neustále eroze a akumulace v korytě k zanesení připojeného ramene a jeho nefunkčnosti. V těchto případech pokud není koryto nákladně udržováno, se opětovné připojení nezdaří.

Vytvoření retenčních kanálů je podobným opatřením jako připojení slepého ramene. Toto opatření lze ovšem provést kdekoli v nivě. Jedná se o vytvoření nového kanálu, které je vázáno na dostatek prostoru v nivě. Opět musí být správně zvoleno připojení k hlavnímu toku, tak aby nedošlo k zanesení a nefunkčnosti kanálu. Často se vytěžený materiál při hloubení kanálu využívá pro výstavbu ochranného valu mezi hlavním korytem a kanálem. Toto opatření je dále doprovázeno vysázením širokého pásu lužní vegetace, která zdrsňuje povrch.

Odsazení již vzniklé protipovodňové hráze se využívá především v místech, kde v minulém století vznikali hráze a valy, které urychlovaly odtok povodňových vod z oblasti. Tyto hráze se využívaly k ochraně nejenom zastavěných, ale i zemědělských oblastí. V současné době brání přirozené retenci vody v nivě, proto dochází k jejich odsazení dále od koryta a toku je tak poskytnut větší prostor pro rozliv. Často je toto opatření doprovázeno rozvolněním říční kynety a vysázením vhodné lužní vegetace kolem koryta toku. Území uvnitř nově vzniklých ochranných hrází získává přírodní charakter a vytváří tlumivý efekt při povodních.

Při obnově přirozených retenčních oblastí dochází k revitalizaci technicky upraveného koryta na přírodní a obnovu jeho přirozeného rozlivu v příbřežní zóně a nivě. Ve středních a dolních částech povodí se jedná o koryta v plochých nivách větších toků, která byla napřímena a zkapacitněna. Niva a koryto byly často přeměněny za účelem zisku a prospěchu člověka. Při opatření je vytvořeno přírodní koryto, které je mělké, široké a drsné s řadou přirozených zákrutů, tůní a peřejí. Příbřežní zóna a niva jsou doplněny lužní vegetací, která zpomaluje proudění a zachytává splaveniny.

4.1.4 Kombinovaná opatření

Především v dolní části tok bývají pro maximální efekt retenční opatření kombinovaná. Takováto kombinovaná opatření se nacházejí např. na řekách Rýn a Maas v Nizozemsku. Dle studie Hooijera (2004) zde došlo ke kombinaci odsazení protipovodňových hrází, vybudování ochranného koryta, které odvádí povodňové vody mimo intravilán a ke změně zemědělských ploch na lužní lesy a louky.

Jiné kombinované opatření provedené na řece Harbourne v jihozápadní Anglii, mělo za cíl protipovodňovou ochranu města Harrbertonford. Dle Blachwella a Maltbyho (2006) byly nejdříve vytvořeny umělé šterkové akumulace v korytě, na kterých se kolonizovaly

mokřadní rostliny. Poté bylo vytvořeno dvoustupňové koryto a odstraněny staré kamenné jezy, čímž se zvýšila průtočná kapacita ve městě. Nakonec byl vytvořen kilometr před obcí proti proudu polosuchý poldr o rozloze 4,1 ha, který zadržuje 10-leté a vyšší povodně.

5. Aplikované metody a zdroje dat

Tato kapitola obsahuje použité zdroje dat a popisu je použité metody pro určení retenční schopnosti říční nivy. Pro návrh opatření zvyšující retenci nivy a zjištění jeho efektivity jsou využity všechny níže popsané datové zdroje a aplikována níže popsaná metodika.

5.1. Zdroje dat

Pro zhodnocení fyzicko-geografické charakteristiky zájmových oblastí je využit software ArcGIS. Pro obecnou charakteristiku oblastí jsou použity vektorové vrstvy z databáze ArcČR 500, verze 3.0, a z databáze DIBAVOD - povodí a vodních toků. K určení nadmořských výšek a sklonitostí oblastí jsou použita rastrová vrstva Digitálního modelu reliéfu (DMR) z databáze ArcČR 500, verze 3.0. Zdrojem klimatických dat je Atlas podnebí Česka z roku 2007 od Tolazs a kol. Pedologické poměry oblastí znázorňují vektorové vrstvy z databáze České geologické služby (ČGS). K určení změny land use jsou využity vektorová data Land Cover 1990 a 2012 dostupná z CORINE (2015). Pro hydrologickou charakteristiku oblastí jsou použity vektorové vrstvy DIBAVOD a dále pak data ČHMÚ z hydrologických stanic Beroun a Zbečno. Odtokový režim a sezonalitu povodní pro celé povodí znázorňují data ČHMÚ z hydrologické stanice Beroun za období 1951 - 2014.

Hlavními mapovými podklady pro terénní průzkum a HEM jsou Základní mapa ČR 1:10 000 společně s leteckými snímky dostupných z geoportálu ČÚZK a mapy II. vojenského mapování dostupné z geoportálu CENIA. Dále jsou opět využity vektorové vrstvy z databáze DIBAVOD.

Výpočet pasivního retenčního potenciálu zájmových oblastí je proveden v softwaru ArcGIS. Pro výpočet je použit DMR 4G zakoupený z ČÚZK. DMR 4G představuje zobrazení přirozeného nebo lidskou činností upraveného zemského povrchu v digitálním tvaru ve formě výšek diskretních bodů v pravidelné síti (5 x 5 m) bodů s úplnou střední chybou výšky 0,3 m v odkrytém terénu a 1 m v zalesněném terénu (ČÚZK 2015b). Dále jsou využita data o průtocích a rozsahu rozlivu při 100-leté a 20-leté povodni z měrných profilů Liblín, Zbečno,

Beroun a Praha - Radotín, vektorové vrstvy zátopových čar a břehových linií dostupné z DIBAVOD (2015) a ČHMÚ (2015).

Analýza transformace povodňové vlny je provedena v softwarech ArcGIS a HEC-RAS. Pro popis geometrie zájmových oblastí byla využita data DMR 5G zakoupena z ČÚZK, která představují zobrazení přirozeného nebo lidskou činností upraveného zemského povrchu v digitálním tvaru ve formě výšek diskrétních bodů v nepravidelné trojúhelníkové síti (TIN) bodů s úplnou střední chybou výšky 0,18 m v odkrytém terénu a 0,3 m v zalesněném terénu (ČÚZK 2015c). Dále byla využita data 100-letých a 20-letých průtoků z měrných profilů Liblín, Zbečno, Beroun a Praha - Radotín, dostupné z DIBAVOD (2015) a ČHMÚ (2015). V neposlední řadě byly využity informace získané při terénním průzkumu oblastí o rozsahu příčných a podélných překážek v korytě a nivě a drsnostních vlastnostech nivy. Hodnoty Manningova drsnostního koeficientu pro jednotlivé krajinné pokryvy v nivě jsou převzaty z USACE (2001). Pro určení krajinného pokryvu jsou využita data Land Cover 2012 dostupná z CORINE (2015)

Do samotného modelu HEC-RAS jsou využita vstupní data vytvořena v softwaru ArcGIS. V softwaru ArcGIS jsou nejprve vytvořeny vektorové vrstvy osy toku, břehových linií, příčných překážek a vhodně zvolených příčných profilů procházejících celou nivou, které se za pomoci digitálního modelu terénu převedou do 3D. Pro tvorbu osy toku a břehových linií jsou využita data z DIBAVOD (2015). Pokud by data pro zájmové území nebyla dostupná lze je vytvořit vlastní vektorizací map Ortofoto ČÚZK (2015b). Příčné překážky a profily jsou vytvořeny vektorizací na základě získaných informací z terénního průzkumu a map Ortofoto ČÚZK (2015b).

5.2. Aplikované metody

Pro obě zájmové oblasti jsou využity stejné aplikované metody.

5.2.1 Terénní průzkum

Základním zdrojem dat byl terénní průzkum. Průzkum byl realizován především z důvodu zjištění ovlivnění koryta, příbřežní zóny a říční nivy Berounky antropogenní činností. Pozornost byla věnována především ovlivnění land use a geomorfologii příbřežní zóny a nivy. Tyto informace jsou důležité z hlediska retenčních schopností říční krajiny a udávají hodnoty vstupních dat retenčních modelů. Zvláštní pozornost byla věnována morfologii nivy a předběžnému vytipování terénních depresí, které hrají hlavní roli

v posouzení pasivní retence nivy. Průzkum byl dále zaměřen na zjištění umístění příčných překážek v korytě, příbřežní zóně a nivě a vytipování umístění příčných profilů procházejících nivou. U příčných překážek byla zaměřena šířka, délka a výška. Příčné profily byly umístěny rovnoměrně v rozsahu celého území a vždy na začátku i na konci každé příčné překážky. Informace o land use, příčných profilech a příčných překážkách jsou vstupními daty pro modely zjišťující transformaci povodňové vlny. Průzkum koryta, příbřežní zóny a říční nivy byl proveden pomocí metodiky HEM, vytvořenou Langhammerem a Hartvichem (2014).

Průzkum probíhal ve dvou oblastech v povodí řeky Berounky. Oblast I., nacházející se 0 - 13,5 říčního km řeky Berounky, byla mapována na konci srpna 2014. Oblast II., nacházející se 53,6 - 68,6 říčního km řeky Berounky, byla mapována na konci července 2013. Pro lepší orientaci a měření byla použita GPS a laserový dálkoměr. Variabilita průtoků byla zjištěna na základě dat průměrných denních průtoků zakoupených od ČHMÚ.

Oblast I., 0 - 13,5 ř. km, se nachází na dolním toku Berounky mezi obcemi Lahovice a Všerory. V Příloze č. 1 se nachází mapa s jednotlivými vymezenými úseky, je zde vyznačeno 18 heterogenních úseků, přičemž průměrná délka úseku je 806 m. Celková délka mapované oblasti činí 13,5 km. Nejdelší úsek měří 1290 m (BER006) a nejkratší 378 m (BER015).

V oblasti se nachází jeden mapovaný mlýnský náhon označený jako BER012b. Říční niva je v této oblasti značně široká, což umožnilo toku i přes vzniklou zástavbu vytvářít zákruty a meandry. V oblasti se také nachází výrazný meandr, který se nachází v úsecích BER011 - BER016. V Tab. 1 je zobrazeno detailní vymezení úseků v oblasti včetně GPS souřadnic a říčních kilometrů.

Oblast II., 53,6 - 68,6 ř. km, leží na středním toku Berounky mezi obcemi Zbečno a Nezabudice - U Rozvědčíka. V příloze č. 2 je vidět mapa s vymezenými úseky, kde je zobrazeno 24 heterogenních úseků, průměrná délka úseku je 750 m. Celková délka mapované oblasti činí 15 km. Nejdelší z nich měří 1286 m a nejkratší 170 m, rozdílnost délky úseků je dána především přítomností dlouhých zákrutů a kratších náhonů. Nachází se zde čtyři zmapovaná vedlejší koryta či náhony, které jsou označeny BER027b, BER028b, BER029b a BER034b. Úsek BER028b, o délce 338 m, se nachází ve starém průmyslovém areálu a je zcela zatrubněný. I když je v této oblasti řeka výrazně zaříznuta do okolního reliéfu a říční niva není tak široká, vytvořila si zde během minulosti protáhlé meandry a zákruty. V Tab. 2 je detailní vymezení úseků v oblasti včetně GPS souřadnic a říčních kilometrů.

Tab. 1.: Vymezení mapovaných úseků v oblasti I.

úsek	délka úseku (m)	horní hranice úseku (X,Y)		říční kilometr	
	ústí do Vltavy	14,400°	49,995°	0	
BER001	přístav Radotín	486	14,394°	49,993°	0,000 - 0,486
BER002	Lahovice -za Radotínským mostem	596	14,387°	49,991°	0,486 - 1,082
BER003	Radotín - Šárovo kolo	811	14,382°	49,985°	1,082 - 1,893
BER004	Radotín - V Lukách	840	14,370°	49,984°	1,893 - 2,733
BER005	Radotín - ústí Radotínského p.	604	14,364°	49,982°	2,733 - 3,337
BER006	Radotín - Rymaň	1290	14,355°	49,972°	3,337 - 4,627
BER007	Radotín - za Rymání	669	14,346°	49,972°	4,627 - 5,296
BER008	Černošice - Na Ohradě	604	14,344°	49,966°	5,296 - 5,900
BER009	Černošice - Na Vírku	754	14,334°	49,967°	5,900 - 6,654
BER010	Černošice - Blukský Mlýn	1050	14,326°	49,960°	6,654 - 7,704
BER011	Černošice	495	14,326°	49,956°	7,704 - 8,199
BER012a	Černošice - Na Kameni	423	14,332°	49,954°	8,199 - 8,622
BER012b	Černošice - Na Kameni	514	14,332°	49,954°	8,199 - 8,622
BER013	Černošice - Kazín	977	14,338°	49,947°	8,622 - 9,599
BER014	Černošice - Montana	1270	14,330°	49,938°	9,599 - 10,869
BER015	Černošice - Kadečkův mlýn	378	14,325°	49,939°	10,869 - 11,247
BER016	Černošice - Zátoka radosti	1147	14,309°	49,940°	11,247 - 12,394
BER017	Všenory - Sušárna	1098	14,299°	49,932°	12,394 - 13,492

Tab. 2.: Vymezení mapovaných úseků v oblasti II.

úsek	délka úseku (m)	horní hranice úseku (X,Y)		říční kilometr	
	soutok Berounky a Klíčavy	13,918°	50,042°	53,6	
BER018	Zbečno - Kemp Riviera	604	13,910°	50,045°	53,600 - 54,204
BER019	Újezd nad Zbečnem - chaty	859	13,902°	50,050°	54,204 - 55,063
BER020	Újezd nad Zbečnem - žel. zastávka	834	13,892°	50,047°	55,063 - 55,897
BER021	Křivoklát - Děče	691	13,890°	50,042°	55,897 - 56,588
BER022	Křivoklát - Amalín	1035	13,890°	50,033°	56,588 - 57,623
BER023	Křivoklát - za Amalínem	751	13,891°	50,027°	57,623 - 58,374
BER024	před Častonice	901	13,892°	50,019°	58,374 - 59,275
BER025	Častonice	665	13,885°	50,016°	59,275 - 59,940
BER026	před Roztoky	922	13,875°	50,020°	59,940 - 60,862
BER027a	Roztoky	667	13,874°	50,026°	59,940 - 60,862
BER027b	Roztoky - výpusť prům. areálu	910	13,872°	50,028°	60,862 - 61,772
BER028a	soutok Berounky a Rakovnického p.	792	13,867°	50,030°	60,862 - 61,772
BER028b	Roztoky - vpust prům. areálu	338	13,870°	50,029°	61,772 - 62,110
BER029a	jez Roztoky	742	13,860°	50,025°	61,772 - 62,110
BER029b	jez Roztoky	819	13,860°	50,025°	62,110 - 62,929
BER030	před osadou Višňová	765	13,858°	50,020°	62,929 - 63,694
BER031	za osadou Višňová	1286	13,849°	50,019°	63,694 - 64,980
BER032	před kempem Branov	1103	13,835°	50,021°	64,980 - 66,083
BER033	kemp Branov	170	13,833°	50,021°	66,083 - 66,235
BER034a	Nezabudický mlýn	452	13,832°	50,017°	66,083 - 66,235
BER034b	Nezabudický mlýn	507	13,832°	50,017°	66,235 - 66,760
BER035	Branov - V Luhu	622	13,833°	50,012°	66,760 - 67,382
BER036	Nezabudice	530	13,828°	50,007°	67,382 - 67,912
BER037	soutok Berounky a Tyterského p.	642	13,822°	50,003°	67,912 - 68,554

Výsledné hodnoty hydromorfologického průzkumu byly vyhodnoceny v programu MS Excel a poté zobrazeny pomocí programu ArcMap. Hlavními výstupy jsou mapy hydromorfologického stavu jednotlivých zón toku pro jednotlivé úseky ve všech oblastech.

5.2.2 Metoda HEM

Cílem metodiky je vyhodnotit hydromorfologický stavu ekologické kvality vodních toků na základě morfologickém a ekologickém posouzení koryta, příbřežní zóny a údolní nivy. Hydromorfologický průzkum dále slouží k nalezení přírodě blízkých úseků, které je třeba chránit a úseků vykazující silné antropogenní ovlivnění, které jsou vhodné pro vodohospodářské revitalizace (Matoušková 2008). Cílem metodiky je v této práci kromě zjištění stavu ekomorfologické kvality zájmových oblastí, také nalezení úseků nejvhodnějších pro vznik přírodě blízkého retenčního opatření. Podobný přístup je aplikován např. v práci Šmerousové (2010). Nejvhodnější úseky jsou vybrány na základě antropogenního tlaku na šířku, délku, členitost a land use příbřežní zóny a inundačního prostředí.

Pro monitoring obou oblastí Berounky byla využita metoda HEM (Langhammer, Hartvich 2014), která je aktualizovanou verzí metodiky z roku 2008 a 2013. Tato metoda je v souladu s požadavky Rámcové směrnice ES o vodní politice 2000/60/ES a současně s evropskou i českou normou EN 14614 - Návod pro hodnocení hydromorfologických charakteristik toků a normou EN 15843 – Návod pro určení stupně modifikace hydromorfologie řek (Langhammer, Hartvich 2014).

Hydromorfologický monitoring toku probíhá ve formě terénního mapování vybraných charakteristik toku a údolní nivy, které odráží hydromorfologickou kvalitu toku. Hodnoceno je 17 parametrů, které jsou odvozeny z dat mapovacího formuláře HEM, viz příloha 3a a 3b. Parametry jsou monitorovány ve třech zónách říčního prostředí, definovaných dle evropských standardů 14614:2004 a 15843:2010: (I) koryto, (II) břeh/příbřežní zóna a (III) inundační území (Langhammer, Hartvich 2014):

I. Koryto

- Trasa toku (TRA)
- Variabilita šířky koryta (VSK)
- Zahloubení koryta v podélném profilu (VHL)
- Variabilita hloubek v příčném profilu (VHP)

- Dnový substrát (DNS)
- Upravenost dna (UDN)
- Mrtvé dřevo v korytě (MDK)
- Struktury dna (STD)
- Charakter proudění (PRO)
- Ovlivnění hydrologického režimu (OHR)
- Podélná průchodnost koryta (PPK)

II. Říční břehy/příbřežní zóna

- Upravenost břehu (UBR)
- Břehová vegetace (BVG)
- Využití příbřežní zóny (VPZ)

III. Inundační území

- Využití údolní nivy (VNI)
- Průchodnost inundačního území (PIN)
- Boční migrace koryta v inundačním území (BMK)

Vyhodnocení hydromorfologické kvality toku probíhá v několika krocích (Langhammer, Hartvich 2014):

- 1. Skórování hydromorfologické kvality hodnocených ukazatelů
- 2. Výpočet hydromorfologické kvality úseku
- 3. Klasifikace hydromorfologického stavu úseku
- 4. Výpočet hydromorfologické kvality vodního útvaru
- 5. Klasifikace hydromorfologické kvality vodního útvaru

Skórování probíhá pro uvedené hodnotící ukazatele na základě klasifikačních postupů uvedených pro jednotlivé ukazatele buď univerzálně, nebo typově specificky. Hodnotící ukazatele jsou bodově hodnoceny ve škále 1-5, kde 1 představuje nejlepší a 5 nejhorší

hodnotu. Hydromorfologická kvalita úseku je vypočtena jako vážený průměr skóre, vypočteného pro jednotlivé ukazatele. Vypočtená hodnota hydromorfologické kvality úseku je zařazena do jednoho z pěti stupňů hydromorfologického stavu, viz Tab. 3. V posledním kroku dochází k vypočtení hydromorfologické kvality vodního útvaru, která je vypočtena jako vážený průměr hodnot hydromorfologického stavu jednotlivých hodnocených úseků, kde vahou je délka úseku. (Langhammer, Hartvich 2014)

Tab. 3: Klasifikace hydromorfologického stavu na základě vypočtené hodnoty hydromorfologické kvality (Langhammer, Hartvich 2014)

Hydromorfologický stav		Hydromorfologická kvalita		
		≥	-	<
1	Velmi dobrý	1,0	-	1,5
2	Dobrý	1,5	-	2,5
3	Průměrný	2,5	-	3,5
4	Špatný	3,5	-	4,5
5	Zničený	4,5	-	5,0

Jednotlivé vodní toky jsou vymezené dle metodiky Langhammer a kol. 2010, seskupené do osmi skupin typů - horský tok, potok vrchovinný, tok vrchovinný, potok pahorkatinný na krystaliniku, potok pahorkatinný na sedimentu, tok pahorkatinný, tok nížinný, řeka.

Nezbytnou součástí vybavení při monitoringu je formulář, do něhož jsou zanášeny hodnoty jednotlivé charakteristiky. Vhodné je také použití GPS, pro stanovení polohy hranic úseku, laserového dálkoměru, pro stanovení šířky hladiny a koryta, a fotoaparátu, pro dokumentaci např. břehové vegetace nebo struktur dna (Langhammer, 2013).

5.2.3 Metody výpočtu pasivního retenčního objemu

Metodika je určena především pro výpočet objemu středních a velkých depresí v říčních nivách, které mohou být zachyceny pomocí leteckého snímkování, laserového skenování a dalších metod DPZ. Metodika nepočítá s případným rezervoárem terénních mikrodepresí a prohlubněmi nacházejících se pod aktuální hladinou v době měření. Výpočet je založen na základě analýzy DMT, jenž by měl mít, co možná nejlepší přesnost. Zároveň by měl být model z období, kdy na toku nepanují žádné hydrologické extrémny. Model by měl

správně představovat skutečný povrch za normálního hydrologického stavu toku, tak aby nedošlo k odstranění či přidání potencionální retenční kapacity (Vieux 2004).

Problém s přesností DMT může nastat během filtrování v softwarech GIS. Filtrování v GIS je postup, který interpoluje členitý DMT na nepřírozeně hladký povrch, tak aby došlo k odstranění výsledného rozptylu dat (Li a kol. 2005). Nástroje používané pro úpravu DMT k aplikaci v hydrologických modelech totiž mají za cíl odstranění bezodtokových míst, aby bylo možné jednoznačně určovat směr pohybu vody v povodí (Burrough a McDonnell 1998). Pro stanovení pasivního retenčního objemu jsou však vyhledávány a analyzovány lokality, které tyto nástroje odstraňují.

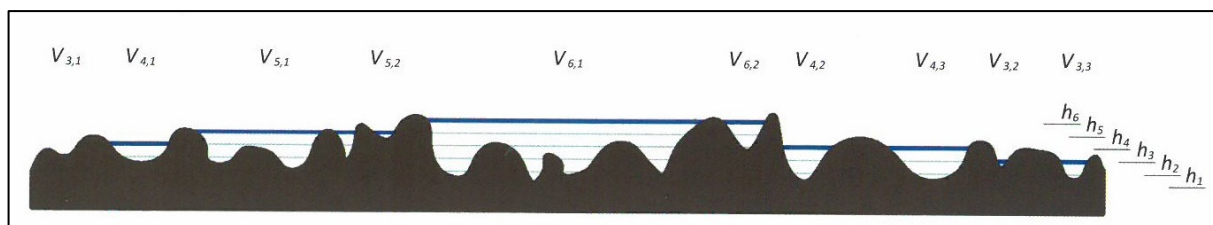
Kromě přesného DMT jsou pro určení pasivního retenčního prostoru důležitým podkladem zátopové čáry a úroveň hladiny jednotlivých průtoků vztažené k dané době opakování. Bez těchto podkladů lze analýzu provést, ale její výsledky ukazují na celkový retenční potenciál území, bez ohledu na to zda bude celý zaplaven a využit.

Metoda je založena na postupném zvyšování hladiny vody v daném území. Dle Dostál a kol. (2012) přitom platí následující předpoklady:

- Voda zůstává po zatopení v celém prostoru depresí a dochází k zanedbání infiltrace. To znamená, že je započítáván pouze objem nad povrchem.
- Zatopená oblast je definována určitou hladinou či hranicí záplavové oblasti. V krajním případě se uvažuje o zatopení celého území prostorovém rozsahu DMT.
- Zaplavené oblasti, které se dotýkají dolní hranice hodnocené oblasti, jsou vypuštěny a předpokládá se zde odtok vody do níže položených oblastí.

Samotný výpočet se skládá z několika postupných kroků. Začíná od nejnižšího místa oblasti v rámci DMT a postupně dochází ke zvyšování hladiny ve zvoleném výškovém kroku. Pro každou posuzovanou hladinu vody dochází k úpravě DMT, tak že buňky s hodnotami pod danou úroveň vody získávají novou hodnotu rovnající se dané výšce hladiny vody a ostatní buňky jsou vynechány (David a kol. 2011). Získané hladiny vody se převedou z rastru na polygony. Musí se odstranit polygony, které jsou překryty polygony vyšších hladin. Zároveň se odstraní i polygony, jež souvisí s dolní hranicí analyzovaného území, a předpokládá se u nich odtok do níže položených částí toku (David a kol. 2011). Jednotlivé polygony se sjednotí do jedné nové vrstvy. Výpočet je proveden tak, že pro každý polygon ve sloučené vrstvě je vypočtena průměrná nadmořská výška terénu, která je odečtena od výšky samotného polygonu (David, Dostál 2012). Tím se získá průměrná hloubka vody, jejímž vynásobením

plochou polygonu se získá objem dané deprese. Celkový retenční objem území je pak dán součtem objemů jednotlivých depresí. Na Obr. 8 je znázorněno schéma postupu výpočtu, kde jsou dílčí objemy na jednotlivých hladinách vody označeny tenkou modrou čarou a konečné objemy označeny silnou modrou čarou.



Obr. 8: Schéma výpočtu pasivního retenčního objemu pro jednotlivé hladiny
Zdroj: David a Dostál (2012)

David a Dostál (2012) vyjadřují výpočet matematickou rovnicí:

$$V_{ret} = \sum_j^m \sum_i^n V_{j,i}$$

kde V_{ret} je celková retenční kapacita území, $V_{i,j}$ je částečný retenční objem pro odpovídající hladiny vody j , m je počet uvažovaných vodních hladin a n je počet dílčích objemů, které odpovídají každé posuzované hladině. Bližším popisem aplikace metody v prostředí ArcGIS se zabývá např. David a kol. (2011) nebo David a Dostál (2012).

V této práci je pro výpočet disponibilního pasivního retenčního objemu v oblasti I. (délka 13,5 km, plocha nivy 14 km²) zvolen výškový krok pro určování jednotlivých hladin o hodnotě 0,5 m. Prováděn byl v intervalu 187 - 214,6 m n.m., to je v rozsahu 27,6 m výšky, což představuje stanovení rozsahu hladiny na 55 úrovních. V zájmové oblasti II. (délka 15 km, plocha nivy 2,4 km²) byl zvolen také výškový krok pro určování jednotlivých hladin o hodnotě 0,5 m. Prováděn byl v intervalu 227,1 - 257,2 m n.m., to je v rozsahu 30,1 m výšky, což představuje stanovení rozsahu hladiny na 60 úrovních.

Hlavním krokem je výpočet hladiny pro jednotlivé výškové stupně virtuální hladin při povodňových situacích. Pro každý výškový stupeň poté dojde k odstranění polygonů, které jsou spojené s dolní hranicí říční nivy, překryté vyšší hladinou a také nacházející se přímo v toku. Polygony spojené s dolní hranicí říční nivy znamenají přímý kontakt mezi vodou v nivě a korytem, což znamená, že se zde nenachází účinné retenční deprese v dané virtuální výšce hladiny. Naopak polygony překryté vyšší hladinou značí vyšší retenční schopnost. A polygony nacházející se přímo v toku označují koryto. Tyto polygony nelze uvádět

do výpočtů pasivního retenčního potenciálu říční nivy. Zbylé polygony v daném výškovém stupni označují deprese, stanovující pasivní retenční objem nivy. Všechny deprese ze všech výškových stupňů se sloučí do jedné vrstvy a dopočítá se jejich plocha a průměrná hloubka. Následně lze za pomoci těchto dvou atributů dopočítat objem jednotlivých depresí.

Hlavním výstupem je zjištění objemu disponibilního retenčního prostoru v nivě, který je znázorněn mapou jednotlivých depresí v nivě a jejich průměrných hloubek. Z celkového objemu depresí lze určit teoretickou výšku vodního sloupce pro celou nivu, která značí disponibilní retenční prostor pro rozliv. A také lze na základě celkového objemu depresí a datech o povodňových průtocích stanovit dobu jeho naplnění.

5.2.4 Metody hodnocení transformační funkce nivy

Metody pro hodnocení transformační funkce nivy mohou popisovat vznik povodňových situací od srážky až k průchodu povodňové vlny a celou řadu fyzikálních procesů, které se k tomu vážou. Tyto fyzikální procesy jsou popsány rovnicemi, které jsou základem matematických simulačních modelů. Matematické modely umožňují komplexní pohled na celé povodí, na rozdíl od terénního průzkumu, a napomáhají stanovit vztahy, které doprovázejí celý hydrologický proces v konkrétním území (Donigian a kol. 1995). Výhodou matematického modelování pro vodohospodářské plánování je integrovaný náhled na funkci povodí jako celek, ve kterém probíhají ucelené provázané aktivity mající na něj určitý vliv (Kjelds a kol. 2009).

K řešení problematiky průchodu povodňové vlny v povodí řeky a její transformace lze využít dva přístupy - hydrologický a hydraulický (Dostál a kol. 2012). Oba dva přístupy mají své opodstatněné využití. Pro horní úseky povodí je vhodnější využití hydrologického přístupu, naopak pro střední a dolní úseky toku je vhodnější využití hydraulického přístupu.

Hydrologické přístupy jsou využitelné v horních částech povodí z hlediska možnosti předpovědi povodňových průtoků na základě vstupních dat o příčinných srážkách, infiltraci, evapotranspiraci, tání sněhu, tvorbě povrchového odtoku, atd. Modely jsou založeny na fyzikálních vlastnostech povodí, jako je sklon a tvar povodí, vegetační pokryv, land use, půdní poměry a výstupem je konkrétní hydrogram povodně v určitém místě. Hydrologickým přístupem se blíže zabývá např. Jeníček M. (2009). Pro řešení problematiky již vzniklé povodňové vlny a její transformace v říční nivě ve středních a dolních úsecích je vhodnější přístup hydraulický, který detailně řeší postup vlny za pomoci matematických modelů (Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft 2005). V praxi může dojít i ke kombinaci obou

přístupů a to tak, že vstupními daty na začátku hydraulicky řešeného území jsou výstupy z hydrologického modelu.

Vzhledem k umístění zájmových oblastí ve střední a dolní části toku je dále blíže popsána metodika hydraulického přístupu.

5.2.5 Numerické modelování proudění v říčních nivách

Základem numerických modelů je řešení řídicích parciálních diferenciálních rovnic popisujících proces pohybu vody v korytě (Vreugdenhil 1988). Takových to modelů je více druhů a liší se v mnoha aspektech. Zásadní odlišnosti jsou ve tvaru počátečních řídicích rovnic, popřípadě v míře jejich zjednodušení a v aplikované numerické metodě. Jak uvádí Valenta (2004) důležitá je také dostupnost modelů a jejich napojení na software umožňující zpracovat velké množství vstupních dat a schopnost softwaru vyhodnotit číselné výstupy do grafické podoby, která je přehledná. Numerické modely lze dělit např. podle prostorového znázornění na jednorozměrné (1D), pseudorozměrné (1,5D), dvourozměrné (2D), kvazitřírozměrné (2,5D) a třírozměrné (3D). Dále lze modely dělit podle užitých numerických metod, která slouží k řešení diferenciálních rovnic. Často se využívají metody konečných objemů či metoda sítí. Bližším popisem a rešerší numerických modelů se zabývá např. Valenta (2004).

Pro stanovení transformace povodňové nivy se v současné době používají modely jednorozměrné a dvourozměrné. Výhodou aplikace jednorozměrných modelů je jejich jednoduchost. Jsou nenáročné na vstupní data, výpočetní techniku i v přehlednosti výstupů. Využívají se v úsecích toků s inundačním územím menšího rozsahu, kde se předpokládá převážně jednorozměrný charakter proudění paralelní s tokem (Karim a kol. 2012). V praxi se nejčastěji využívají modely založené na softwarech MIKE11 (DHI a.s.) či HEC-RAS (USACE 2001). Modelováním v softwaru MIKE11 se blíže zabývá např. Kaiglová (2010), která analyzuje změny kvality vody v povodí Olšavy. Dvourozměrné modely jsou z hlediska potřebných dat, výpočetní techniky, času a názornosti výsledků náročnější. Jejich výsledky jsou však přesnější a podrobnější a umožňují zobrazení vlivu i drobných staveb a terénních nerovností. Dvourozměrné modely se využívají především v širokých inundačních územích s nepravidelnou morfologií terénu, kde může dojít při zvýšených průtocích k tvorbě dílčích inundačních proudů či v urbanizovaných územích s komplikovanými průtočnými a neprůtočnými oblastmi (Karim a kol. 2012). Podrobným popisem dvourozměrných modelů se zabývá např. Valenta (2004) či Dostál a kol. (2012).

Vzhledem k náročnosti potřebných dat a především výpočetní techniky je práce zaměřena na modelování v jednorozměrném hydraulickém modelu, pomocí softwaru HEC-RAS. Volně dostupného z USACE (2016). Software HEC-RAS modeluje hydraulický průtok vody v korytě a říční nivě skrz vhodně zvolené příčné profily. Kromě DMT oblasti a informací o průtoku v jednotlivých příčných profilech model uvažuje i o podélných a příčných překážkách (protipovodňové valy, mosty, jezy...), které se v nivě a korytě nacházejí a drsnostních poměrech nivy. Základní výpočetní postup HEC-RAS pro stálé proudění je založen na řešení jednorozměrného rovnice energie a případná ztráta energie je vyhodnocena jako důsledek tření či kontrakce (USACE 2001). Dále je využita hybnostní rovnice a to především v místech, kde je reliéf značně rozmanitý a ovlivňuje hydrauliku průtoku (terénní deprese, mosty, přítoky...). Pro nestacionární proudění využívá HEC-RAS metodu sítí založenou na 1-D hydrodynamických Saint-Venantových rovnicích popsaných na dynamické vlně (USACE 2001). Vzhledem k jednorozměrnému přístupu model HEC-RAS určitým způsobem podhodnocuje či nadhodnocuje výsledky průtokového režimu spolu s účinky příčných a podélných překážek.

5.2.6 Teoretický základ jednorozměrných hydraulických modelů

Jednorozměrné modely jsou založeny na hydrodynamických Saint-Venantových rovnicích, za pomoci kterých je řešeno neustálené proudění. Často se také využívají zjednodušené řídicí rovnice ve tvaru kinematické a difúzní vlny. Rovnice popisují neustálené proudění vody v korytě a tvoří je rovnice kontinuity a rovnice pohybová (Graf, Altinakar 2003):

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = A \frac{\partial U}{\partial x} + U \frac{\partial A}{\partial x} + B \frac{\partial h}{\partial t} = 0$$

$$\frac{1}{g} \frac{\partial U}{\partial t} + \frac{U}{g} \frac{\partial U}{\partial x} + U \frac{\partial h}{\partial x} + \frac{\partial z}{\partial x} = -S_e$$

kde $U(x,t)$ je průtočná rychlost v profilu o ploše $A(x,t)$, $Q=U \cdot A$ je průtok nestlačitelné kapaliny, $h(x,t)$ je výška hladiny nade dnem, B je šířka hladiny, S_e je sklon čáry energie.

Saint-Venantovy rovnice jsou dvě rovnice hyperbolického tvaru založené na dvou neznámých - na poloze x a času t . Rovnice se řeší za pomoci numerických metod a pro snadnější řešení dochází často k jejich zjednodušení. Rozlišují se různé typy popisu

neustáleného proudění, které se označují jako dynamická, difúzní a kinematická vlna (Graf, Altinakar 2003).

U kinematické vlny dochází k zjednodušení neustáleného proudění zanedbáním prvních tří členů rovnice, kteří vyjadřují změny rychlosti a hloubky vody. Zjednodušená rovnice vyjadřuje rovnost sklonu dna a sklonu čáry energie S_f :

$$S_f = S_e, \text{ kde } S_f = -\frac{\partial z}{\partial x}$$

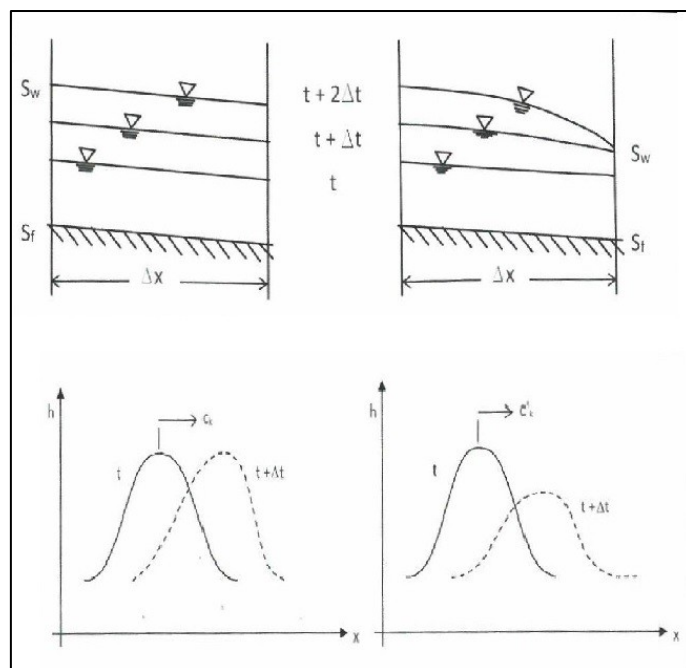
Rovnice kontinuity přitom zůstává ve stejném tvaru.

Dle Dostál a kol. (2012) se při použití difúzní vlny neuvažuje o vlivu setrvačnosti a pohybová rovnice získává tvar:

$$S_f - \frac{\partial h}{\partial x} = S_e$$

Na Obr. 9 nahoře je dobře patrný rozdíl mezi kinematickou a dynamickou vlnou. U kinematické vlny zůstává z pohledu pozorovatele sklon hladiny stejný jako sklon dna, přitom se v čase mění poloha hladiny. Naopak u dynamické vlny je z pohledu pozorovatele sklon hladiny a dna proměnný. Zároveň je na Obr. 9 dole vidět rozdílnost tvaru vlny. U kinematického vlnění se zanedbává změna hloubky a dochází tak pouze k deformaci tvaru vlny. U difúzního vlnění dochází jak k deformaci tvaru vlny, tak i ke zploštění vlny, zmenšení maximální hloubky. Pomocí difúzního vlnění tak lze popsat i zpětné vzduť hladiny.

Dle Chowa (1959) je kinematická vlna podle principu „Kleitz-Seddona“ nejvhodnější pro použití v korytě se strmým sklonem, kdy povodňová vlna vzroste postupně na maximum a poté poklesne až na počáteční rovnoměrné proudění. Naopak u koryta s malým sklonem je vhodnější použít difúzní vlnu, která zohledňuje zpětné vzduť a zploštění vlny a je realističtější.



Obr. 9: Nahoře – Porovnání tvaru hladiny kinematické (vlevo) a dynamické (vpravo) vlny, dole – Porovnání tvaru kinematické (vlevo) a dynamické (vpravo) vlny
Zdroj: Graf, Altınakar (2003)

5.2.7 Aplikace jednorozměrných hydraulických modelů

Základem aplikace jednorozměrných modelů je jednoduchý tvar řešené oblasti s převládajícím charakterem proudění ve směru osy toku. Vodní tok je definován polohopisným a výškopisným údaji o ose toku, příčných profilů a příčných překážkách v korytě. Příčné profily by měly být vedeny kolmo na hlavní proudnici a měly by být od sebe vzdáleny tak, aby byly zachyceny všechny významné změny v geometrii koryta (tvar, sklon) (Dočkal a kol. 2012). Inundační území je popsáno také polohopisnými a výškopisnými údaji, příčnými profily, příčnými překážkami a drsnostní charakteristikou nivy. Příčné profily mohou být v inundačním území i zalomené, dle vývoje tvaru a vývoje koryta, příbřežní zóny a inundačního území, a jejich délka by měla přesahovat předpokládanou šířku zaplavení (Dočkal a kol. 2012). Zvolené profily by měly vystihovat tvar inundačního území včetně terénních hran a překážek. Přesnost výsledků hydraulických modelů závisí na správné volbě polohy profilů a jejich vzdáleností mezi sebou.

Účelem analýzy průtokových poměrů při povodních je stanovení charakteristik proudění vody (poloha hladiny, rychlost a směr proudění vody) a to jak pro ustálené, tak i pro neustálené proudění vody (Valenta 2004). Tato analýza se provádí za účelem vyhodnocení současného stavu říční nivy či se může požívat pro posouzení dopadů změn - vyhodnocení revitalizačních opatření.

V první řadě je nutné si uvědomit, zda bude model založen na ustáleném či neustáleném proudění. Ustálený stav je používán, kdy řešením má být stanovení maximálního rozlivu, hloubky vody a rychlosti proudění a nezáleží přitom na časovém průběhu povodně. Pro časový průběh povodňové vlny se naopak využívá neustáleného proudění. Dále se do zvoleného modelu vloží údaje o geometrii toku a nivy, jejichž součástí jsou i informace o objektech v korytě, charakteristiky drsnosti, počáteční podmínky, atd. Přesným postupem vyhodnocování a modelování 1D numerického modelu v prostředí softwaru ArcGIS se zabývá např. Dráb (2005) a v postup v softwaru HEC-RAS popisuje USACE (2001).

Hlavním podkladem pro model je podrobný digitální model reliéfu. V této práci je využit DMR 5G zakoupený z ČÚZK (2015d), který je dostatečně přesný pro odvození charakteristik příčných překážek a vytvoření příčných profilů. Pro umístění jednotlivých příčných profilů byl využit terénní průzkum, při kterém byla určena délka a šířka nivy v jednotlivých úsecích oblasti. Příčné profily jsou voleny tak, aby reprezentovali morfologický charakter toku a nivy. V oblasti I. bylo vytvořeno 23 příčných profilů o průměrné vzdálenosti 570 m, zároveň je zde uvažováno se dvěma příčnými překážkami v korytě v podobě jezů a čtyřmi překážkami v nivě v podobě mostů. Přehled příčných překážek a jejich umístění v rámci toku Berounky je uveden v Tab. 4 a znázorněn v Příloze č. 4.

Tab. 4: Vymezení příčných překážek v zájmové oblasti I.

ID příčné překážky	umístění (ř. km)	typ	šířka (m)	délka v nivě (m)
1	0.3	most - silniční	15	267
2	1.3	most - silniční	15	1348
3	3.8	most - pěší	3	127
4	8.2	jez	1	142
5	8.3	most - pěší	3	88
6	11.8	jez	1	262
7	11.8	most - železniční	10	1310

V oblasti II. je vytvořeno 27 příčných profilů o průměrné vzdálenosti 555 m. Uvažuje se zde se dvěma příčnými překážkami v podobě jezů a dvěma překážkami v nivě podobě mostů. Přehled příčných překážek a jejich umístění v rámci toku Berounky je uveden v Tab. 5 a znázorněn v Příloze č. 5.

Tab. 5: Vymezení příčných překážek v zájmové oblasti II.

ID příčné překážky	umístění (ř. km)	typ	šířka (m)	délka (m)
1	62.3	most - železniční	10	294
2	62.5	most - silniční	15	176
3	63	jez	1	88
4	66.8	jez	1	124

Kromě příčných překážek je také uvažováno s drsnostním koeficientem dle Manninga, který byl vytvořen na základě převažujícího land use v levé a pravé části nivy v místě profilu. Detailní umístění příčných profilů na toku s uvedením jejich předpokládaných Q_{100} a Q_{20} a optimálním drsnostním koeficientem pro levou a pravou část nivy, převzatý z USACE (2001), je uvedeno pro oblast I. v Tab. 6 a názorně zobrazeny jsou v Příloze č. 4 a pro oblast II. v Tab. 7 a v Příloze č. 5.

Tab. 6: Vymezení příčných profilů v zájmové oblasti I.

ID profilu	umístění (ř. km)	průtok v příčném profilu ($m^3 \cdot s^{-1}$)		Manningův koeficient drsnosti	
		Q_{100}	Q_{20}	levá část nivy	pravá část nivy
soutok Berounky a Vltavy	0	1580	1018		
1	0.7	1579.60	1017.64	0.04	0.04
2	1.4	1579.17	1017.26	0.03	0.04
3	2	1578.79	1016.91	0.03	0.04
4	2.8	1578.35	1016.52	0.03	0.04
5	3.2	1578.15	1016.33	0.03	0.04
6	3.7	1577.86	1016.08	0.03	0.04
7	4.2	1577.53	1015.77	0.04	0.04
8	4.7	1577.23	1015.51	0.04	0.03
9	5.4	1576.86	1015.18	0.04	0.05
10	6.2	1576.40	1014.76	0.04	0.05
11	6.9	1575.97	1014.37	0.04	0.05
12	7.4	1575.65	1014.08	0.04	0.04
13	7.9	1575.35	1013.82	0.03	0.04
14	8.7	1574.90	1013.41	0.03	0.04
15	9.4	1574.53	1013.08	0.03	0.03
16	9.8	1574.28	1012.85	0.03	0.1
17	10.5	1573.86	1012.47	0.03	0.1
18	11	1573.54	1012.18	0.03	0.1
19	11.7	1573.18	1011.86	0.03	0.04
20	12.3	1572.82	1011.54	0.03	0.04
21	12.7	1572.55	1011.30	0.05	0.04
22	13.1	1572.31	1011.08	0.04	0.05
23	13.6	1572.07	1010.86	0.04	0.05
měrný profil Beroun	34.2	1560.00	1000.00		

Tab. 7: Vymezení příčných profilů v zájmové oblasti II.

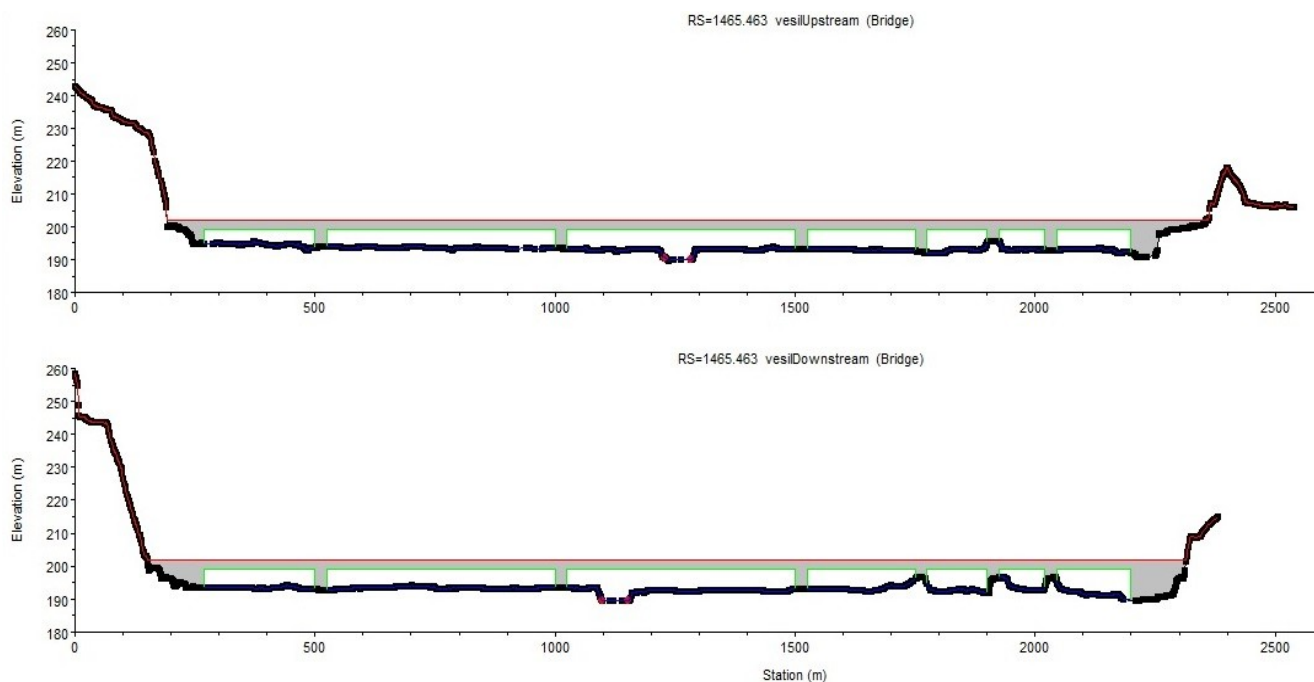
ID profilu	umístění (ř. km)	průtok v příčném profilu ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)		Manningův koeficient drsnosti	
		Q_{100}	Q_{20}	levá část nivy	pravá část nivy
měrný profil Zbečno	53.4	1440	928		
1	53.7	1439.44	927.69	0.03	0.05
2	54.3	1437.34	926.53	0.05	0.05
3	54.9	1434.96	925.22	0.1	0.05
4	55.8	1432.17	923.67	0.1	0.05
5	56.2	1430.46	922.73	0.1	0.05
6	56.9	1428.16	921.45	0.05	0.1
7	57.6	1425.60	920.04	0.1	0.04
8	58.1	1424.04	919.17	0.1	0.04
9	59	1420.75	917.36	0.1	0.1
10	59.4	1419.10	916.44	0.05	0.04
11	60	1417.19	915.39	0.05	0.1
12	60.9	1413.97	913.61	0.05	0.05
13	61.5	1411.81	912.41	0.05	0.05
14	62	1409.61	911.20	0.1	0.03
15	62.6	1407.90	910.25	0.1	0.03
16	63	1406.39	909.42	0.1	0.03
17	63.4	1405.05	908.68	0.1	0.05
18	64	1402.82	907.44	0.05	0.1
19	64.6	1400.81	906.33	0.05	0.1
20	65.2	1398.69	905.16	0.1	0.05
21	65.8	1396.58	903.99	0.1	0.05
22	66.4	1394.64	902.92	0.1	0.05
23	66.7	1393.36	902.21	0.05	0.05
24	67	1392.24	901.59	0.04	0.05
25	67.4	1390.83	900.81	0.04	0.1
26	67.9	1388.89	899.74	0.04	0.1
27	68.6	1386.82	898.59	0.05	0.1
měrný profil Liblín	101.3	1270	834		

Pro předpokládaný průtok Q_{100} a Q_{20} jsou využita data z měrných profilů Beroun a Radotín pro oblast I. a měrných profilů Liblín a Zbečno pro oblast II. Průtoky odpovídají 20-leté a 100-leté povodni jsou procentuálně dopočítány pro jednotlivé profily dle vzdálenosti mezi jednotlivými měrnými profily. Pro výpočet v oblasti I. je nejprve zjištěna vzdálenost příčných profilů od měrného profilu Beroun. Následně je tato vzdálenost převedena na procenta - podíl mezi vzdáleností jednotlivých profilů a celkovou vzdáleností mezi začátkem oblasti I. a měrným profilem Beroun. Dále je zjištěn rozdíl mezi Q_{100} měrného profilu Radotín a Q_{100} měrného profilu Beroun. Rozdíl vzdáleností mezi profily je vynásoben procentuální vzdáleností jednotlivých profilů od měrného profilu Beroun a výsledný součinitel se přičte k hodnotě 100-letého průtoku v měrném profilu Beroun. Tímto výpočtem dochází k zjištění Q_{100} pro jednotlivé příčné profily v oblasti I. Výpočet ovšem pracuje s milným předpokladem lineárního nárůstu povodňových průtoků se vzdáleností. Výpočet

nebere v potaz náhlé zvýšení průtoků v místech větších přítoků či snížení v místech protipovodňové ochrany. Hodnoty získané tímto výpočtem jsou přibližné a neodpovídají skutečným Q_{100} a Q_{20} daných míst příčných profilů. Pro získání přesných informací by bylo nutné v těchto místech provádět měření průtoku při 100-letých a 20-letých povodní. V tomto případě lze získaná data o průtocích považovat za relativně správná, jelikož je známa přesná hodnota průtoků v místě výstupu řeky ze zájmových oblastí (údaje o průtocích v místě soutoku Berounky a Vltavy a v měrném profilu Zbečno). Zároveň se v oblastech nenachází žádný relativně velký přítok, který by razantně ovlivňoval hodnoty povodňových průtoků. Stejný postup je proveden i pro 20-leté průtoky. Obdobný postup je i pro oblast II., jen jsou využity rozdíly Q_{100} a Q_{20} mezi měrnými profily Zbečno a Liblín a průtok jednotlivých profilů byl dopočítán od měrného profilu Liblín. Data byla poskytnuta či zakoupena z povodí Vltavy, závod Berounka, a také z ČHMÚ (2015).

Pro provedení výzkumu transformace povodňové vlny ve vybraných oblastech, bylo zapotřebí provedení několika přípravných kroků. Nejprve je provedena příprava dat v softwaru ArcGIS a v jeho nástavbě HEC-GeoRas. V této funkci se vytvoří vrstvy osy toku, osy inundačního území, břehových linií, příčných profilů procházejících celým údolím, příčných překážky v korytě a nivě (mosty, jezy...). Tyto vrstvy jsou pomocí velmi podrobného DMT převedeny do 3D a je jim udělena nadmořská výška. Zároveň je vhodné za pomoci vrstvy land use doplnit údaje o drsnosti nivy. Profily je nutno umisťovat tak, aby nedošlo k jejich křížení a tak aby procházeli celou předpokládanou záplavovou oblastí. Jednotlivé profily jsou kvůli složité morfologii trasy koryta lomené, tak aby odpovídaly požadavkům jejich tvorby, kolmé na proudnici toku a požadavkům pro tvorbu 1D hydraulického modelu. Po vyexportování těchto vrstev jsou připravena vstupní data softwaru HEC-RAS. Zde se, po nahrání příčných profilů a jejich úpravě, vymodelují jednotlivé příčné překážky, viz Obr. 10 a zadají se informace o průtocích v jednotlivých profilech. Příčné překážky požadují zadání vstupního a výstupního profilu, tak aby bylo možné sledovat jejich ovlivnění průtoků. Na Obr. 10 je vidět Radotínský most, který tvoří dominantní příčnou v oblasti I. Most je ovšem dostatečně naddimenzován a nijak zvlášť neovlivňuje 100-leté povodňové stavy a nižší. V oblasti se ovšem stékají dvě velké řeky a povodňové stavy zde mnohdy přesahují i více jak Q_{100} řeky Berounky. Dále jsou v oblasti I. vymodelovány dva jezy o šířce 1 m, dva pěší mosty a jeden most železniční, který se nachází ještě před Černošicemi a funguje jako výrazná překážka v nivě. Vstupní data pro model transformace povodňové vlny v zájmové oblasti I. jsou uvedeny v Tab. 4 a 6.

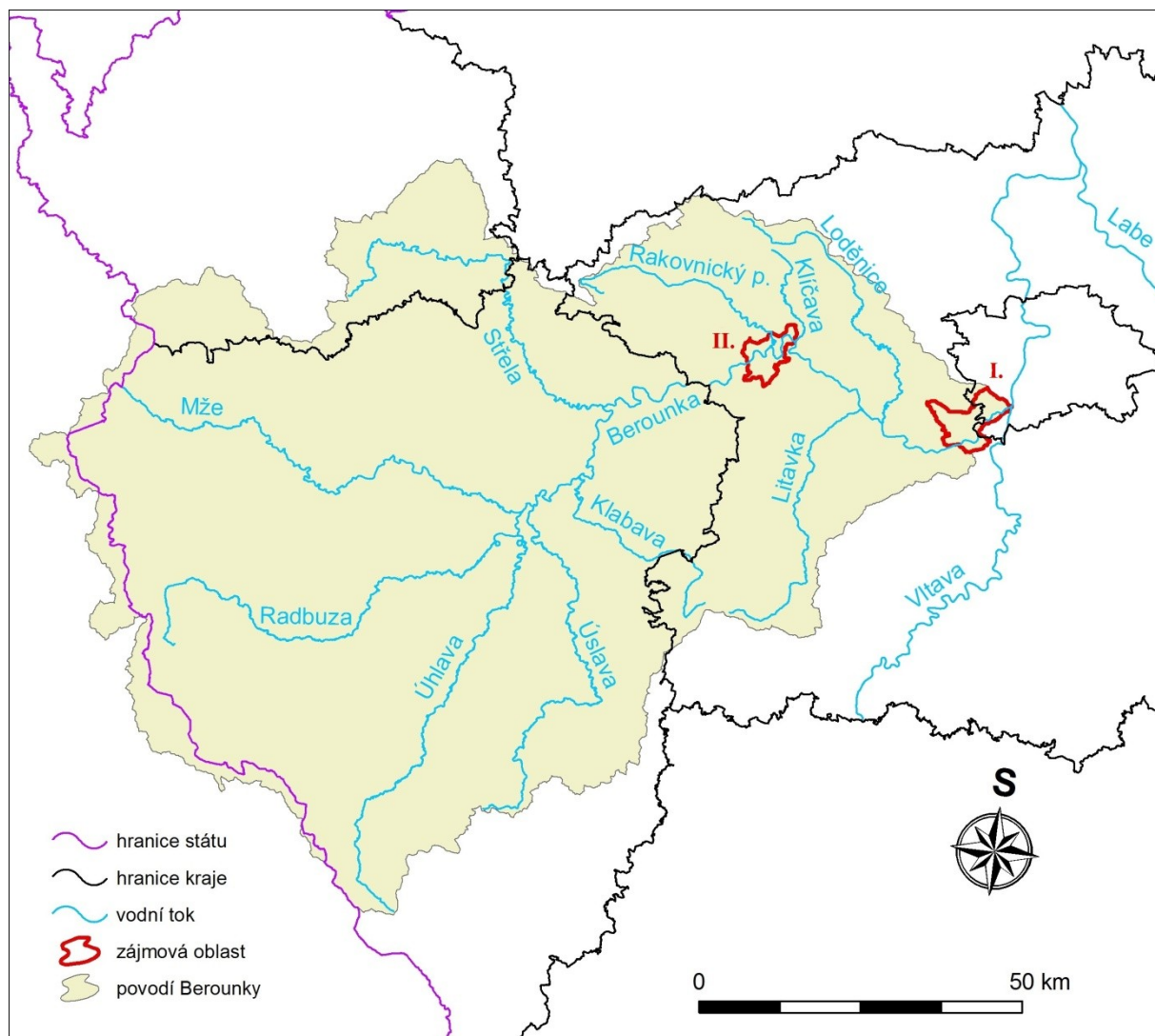
Postup pro vytvoření modelu transformace povodňové vlny je u zájmové oblasti II. totožný, pouze jsou pro vstupní data využity hodnoty uvedené v Tab. 5 a 7.



Obr. 10: Vstupní (nahore) a výstupní (dole) profil v místě Radotínského mostu, uprostřed koryto Berounky, 1,3 ř. km

6. Charakteristika zájmových oblastí

Berounka představuje jednu z nejvýznamnějších řek v České republice a to především díky rozsahu svého povodí a relativně zachovalým přírodě blízkým stavem. Je největším levostranným přítokem řeky Vltavy, do které se vlévá na jejím 64 ř. km na jižním okraji Prahy. Jak je patrné z Obr. 11 Berounka nemá vlastní pramen a vzniká soutokem Mže a Radbuzy v Plzni. Její zdrojnice se nacházejí v pohořích Český les a Šumava, a kromě již zmiňované Mže a Radbuzy mezi ně počítáme i Úhlavu a Úslavu. Dalšími významnými přítoky jsou např. Klabava, Střela, Rakovnický potok, Klíčava, Litavka, Loděnice, atd. Celková plocha povodí činí 8 855,47 km², ze kterých se 35,96 km² nachází za hranicemi České republiky v Německém Bavorsku (DIBAVOD 2011). Práce se věnuje retenční kapacitě dvou zájmových oblastí. Zájmová oblast I. se nachází u soutoku Berounky a Vltavy mezi obcemi Lahovice a Všenory, 0 - 13,5 ř. km Berounky. Plocha subpovodí, nejbližšího povodí 4. řádu, dosahuje 59,1 km². Zájmová oblast II. leží v CHKO Křivoklátsko mezi obcemi Zbečno a Nezabudice - U Rozvředčika, 53,6 - 68,6 ř. km Berounky. Plocha subpovodí, nejbližšího povodí 4. řádu dle DIBAVOD (2015), je 40 km².



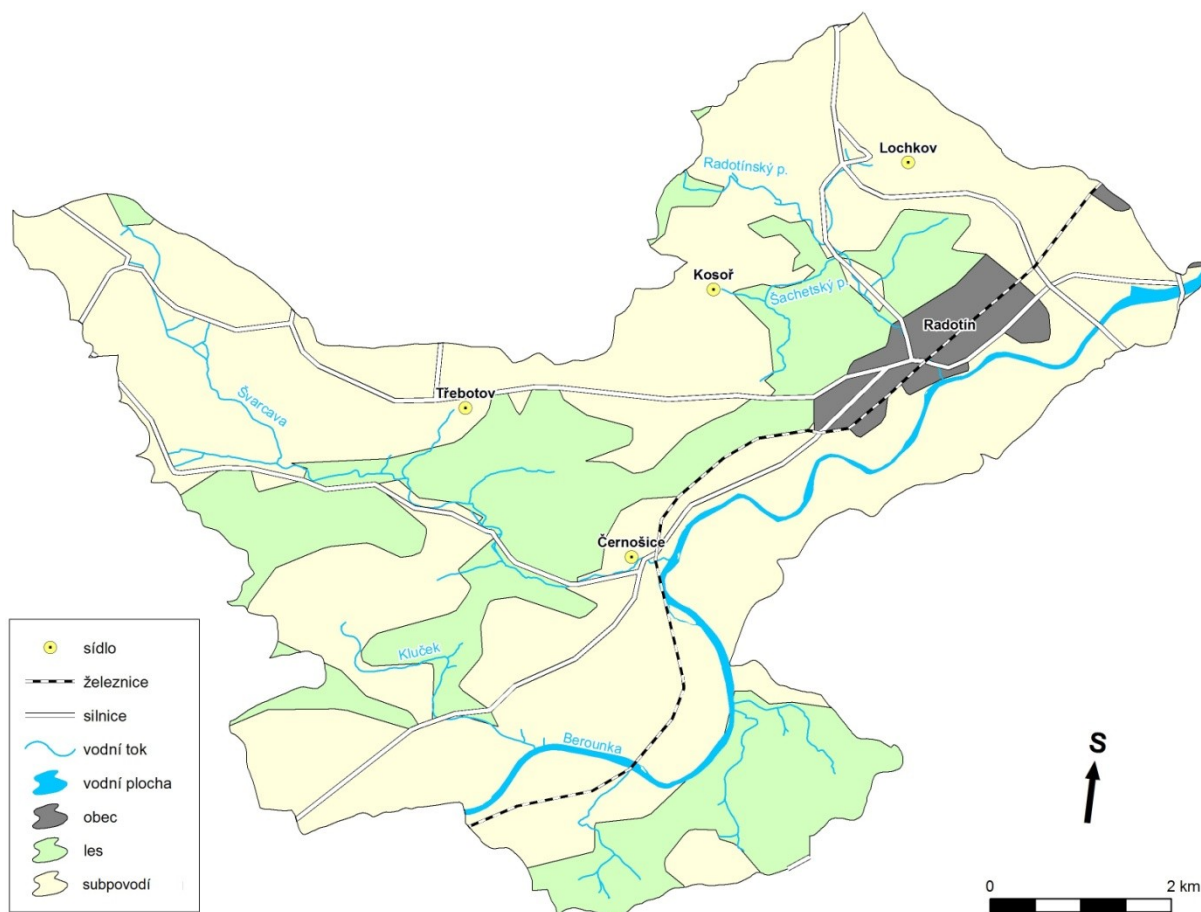
Obr. 11: Lokalizace zájmových oblastí
Zdroj: DIBAVOD (2015), ArcČR 500 (2015)

Povodí Berounky je často sužováno hydrologickými extrémy, ať už se jedná o povodně či sucha. Pro ochranu právě před těmito extrémy vznikalo a stále vzniká spousta opatření, které by měly zlepšovat celkovou situaci v povodí. Říční niva Berounky je cenná z důvodu svého přírodě blízkého stavu a minimálního antropogenního zásahu a to především ve střední části toku. Opatření technického rázu mohou znehodnocovat přirozenou schopnost retence nivy i její doposud přírodní charakter.

Vzhledem k tomu, že se práce zabývá retenční schopností nivy pouze v zájmových oblastech je fyzicko-geografická charakteristika zaměřena pouze na nejbližší subpovodí 4. řádu dle DIBAVOD (2015).

6.1. Zájmová oblast I.

Zájmová oblast I. se nalézá na dolním toku Berounky mezi 0 - 13,5 ř. km. Oblast leží v urbanizované části na jihu Prahy mezi obcemi Lahovice a Všenory a jsou na ní patrné výrazné antropogenní zásahy. Délka Berounky v oblasti dosahuje 13,5 km a plocha nejbližšího subpovodí, povodí 4. řádu dle DIBAVOD (2015), činí 59,1 km². Celková plocha říční nivy Berounky dosahuje v této oblasti 14 km². Na Obr. 12 je vidět, že v oblasti se nachází 5 větších obcí (Černošice, Kosoř, Lochkov, Radotín a Třebotov) a mezi hlavní přítoky patří Kluček, Švarcava a Radotínský potok. Podél toku a místy i přes, vedou silniční a železniční komunikace, které tvoří jak podélné, tak i příčné překážky v nivě. Lesy v této oblasti zaujímají 23 % rozlohy oblasti subpovodí a kromě toku Berounky a malých rybníků v obcích se v subpovodí nenachází žádná jiná významná vodní plocha.



Obr. 12: Zájmová oblast I.
Zdroj: DIBAVOD (2015), ArcČR 500 (2015)

6.1.1 Geologické poměry

Oblast I. se z geologického hlediska řadí do jednotek: starší paleozoikum a středočeský pluton. Nejstarším podložím jsou horniny ordoviku, které tvoří jílovité břidlice s příměsí drobů, pískovců a prachovců. Ordovické horniny se především na severu oblasti střídají s mladšími devonskými biodetritickými a organogenními vápenci, ve kterých se mohou vyskytovat i břidlice a rohovce. Břidlice, které snadno podléhají zvětrávání a jsou málo odolné, nalezneme většinou v údolích podél vodních toků (Havlíček 2001). Prvohorní horniny byly výrazně ovlivněny vrásněnými, která se pojí s tektonickou činností. V druhohorách se v období křídý tvořily denudační zbytky v jihovýchodním okolí Prahy. Tyto zbytky tvoří hlavně jílovce, uhelné jílovce, uhlí, prachovce, pískovce či slepence. V neogénu ve třetihorách se v této oblasti ukládali převážně denudační zbytky v podobě štěrků, písčitých štěrků a písků s vložkami jílu.

V kvartéru dochází k vývoji říční sítě, výzdvih Českého masivu a zařezávání vodních toků. Zároveň dochází ke střídání dob ledových a meziledových, což má za následek ukládání nivních, hlinitých, písčitých a kamenitých sedimentů. V kvartéru dochází také k vytvoření terasových akumulací mechanickým či chemickým zvětráváním, která vytváří písčité a úlomkovitá eluvia (spraše) (Kovanda a kol. 2001).

6.1.2 Geomorfologické poměry

Z geomorfologických poměrů se údolní niva zájmové oblasti I. řadí do celku Hořovické pahorkatiny, viz Tab. 8. Severní část subpovodí spadá pod celek Pražské plošiny, naopak jižní část spadá pod celek Brdské vrchoviny.

Tab. 8: Geomorfologické zařazení zájmové oblasti I. (Balatka, Kalvoda 2006)

Geomorfologické zařazení	
system	Hercynský systém
subsystem	Hercynské pohoří
provincie	Česká vysočina
subprovincie	Poberounská soustava
celek	Hořovická pahorkatina
podcelek	Hořovická brázda
okrsek	Řevnická brázda

K vývoji říční sítě ve střední části Českého masivu dochází v mladším Kenozoiku a lze rozdělit do tří období, spodní miocén - svrchní miocén, svrchní miocén - kvartér a kvartér (Tyráček 2001). V období mezi spodním miocénem a svrchním miocénem dochází převážně ke vzniku rozsáhlých štěrkových akumulací. Toky měly v této době odlišný směr než dnes a byly odvodňovány jižním, jiho-východním a východním směrem (Tyráček 2001). V období mezi svrchním miocénem a kvartérem došlo k útlumu akumulace a nevytvářely se žádné významné sedimenty. V období kvartéru došlo k postupnému vývoji říční sítě v Českém masivu do podoby, jak ji známe dnes. V tomto období dochází k etapovitému střídání fází hloubkové eroze řek a akumulace sedimentů, což vede k vytvoření říčních teras (Balatka, Kalvoda 2010). Příčinou těchto fází je klimatické střídání glaciálů a interglaciálů. Geomorfologická analýza pleistocenních teras ukazuje na dvě hlavní období vývoje říčních údolí. Po vzniku nejstarších tří skupin teras, kdy údolní dno setrvalo po delší časové období ve výškově stabilní poloze, nastalo od Mindelu období intenzivního zahlubování údolí a další vývoj údolních zákrutů a meandrů, a tím i prodlužování toků (Tyráček 2001). Nejvyšší (nejstarší) říční terasy podél většiny českých toků se nacházejí ve výšce cca 120 - 150 m nad hladinou dnešních toků. Ve střední části Českého masivu můžeme u větších toků, jako je Labe, Vltava, Berounka či Sázava rozlišit kolem 9-15 teras (kvartér do 7. skupin teras) (Balatka, Kalvoda 2010).

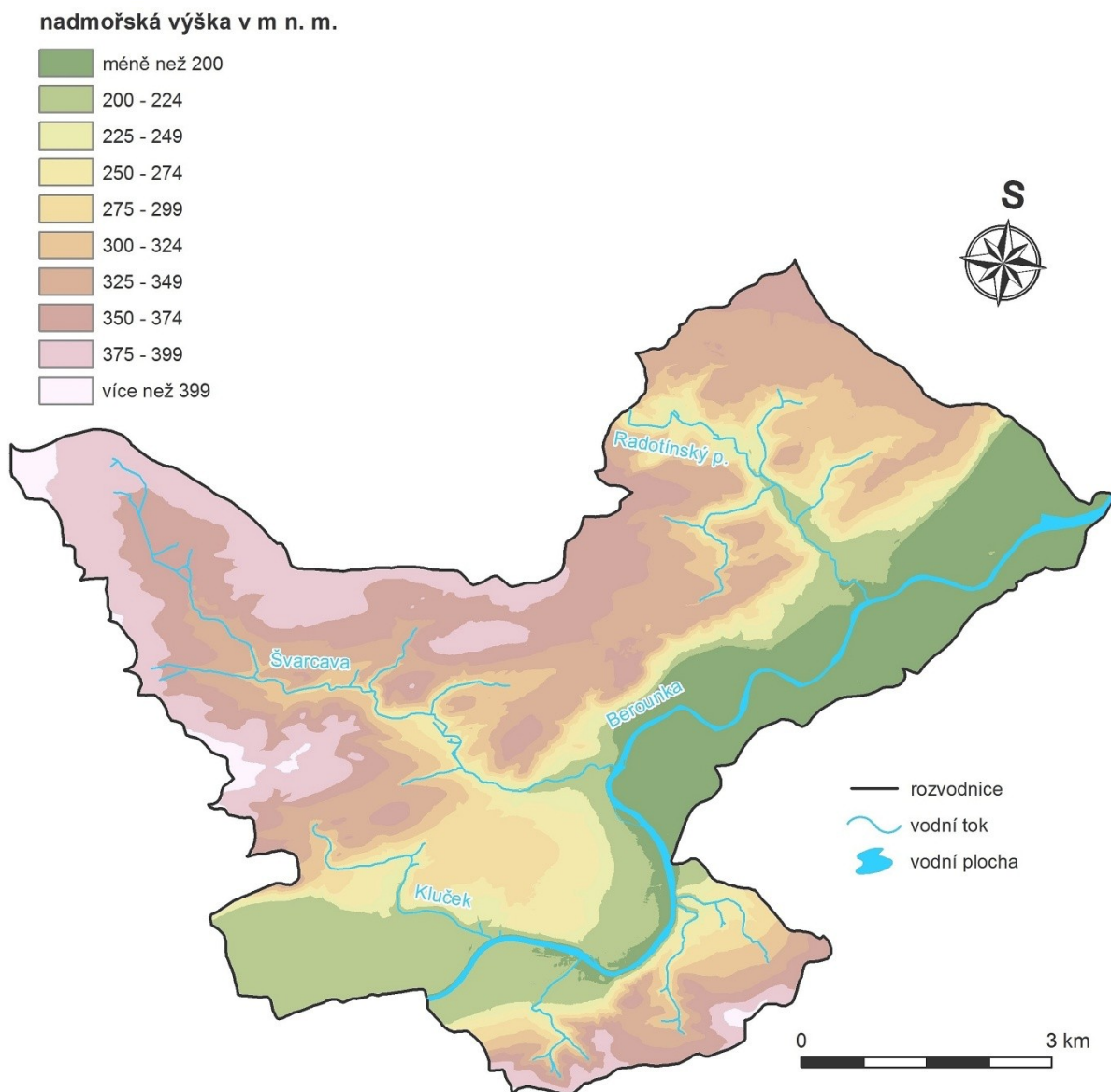
Fluvio-morfologická podoba západní části povodí Berounky byla na začátku kvartéru výrazně odlišná od té současné. Většinou Křivoklátské vrchoviny a Brd byla odvodňována na sever přes Rakovnickou kotlinu k dnešní mostecké pánvi (Balatka, Loučková 1991). Z bývalí část povodí byla odvodňována stejně jako dnes na východ. Z výškové polohy neogenních sedimentů vyplývá jejich zřetelné narušení tektonikou - výzdvih Kralovické pahorkatiny, která přerušila odvodňování směrem na Žatecko (Balatka, Loučková 1991). Mimo kvartérní zářezy berounského údolí se místy nacházejí lokality mladotřetihorních fluviálních sedimentů (neogenní sedimenty). Tyto sedimenty sestupují jen ojediněle do výškových poloh staropleistocenních teras, většinou leží zřetelně nad úrovní nejstarší kvartérní terasy (Balatka, Loučková 1991). V povodí Berounky lze pozorovat 7 skupin kvartérních teras, které navazují na Vltavské terasy. Starší terasy (II. a III.) se dochovaly na relativně velkých plochách nad údolním zářezem, často i v jádrech meandrů. Naopak nižší terasy se udržely jen útržkovitě a byly narušeny mladšími erozními denudačními procesy.

Skupina I. odpovídá terasám Lysolajská (Skryjská) a Suchdolská (Řevnická). Skupina II., ležící mezi Střelou a Vltavou, navazuje na Pankráckou terasu (Pohořecká). III. skupina je vyvinutá podél celého toku od Plzně až po Prahu a navazuje na Kralupskou terasu (Tetínská)

a Vinohradskou (Srbská). Jednotná terasová akumulace dosahuje mocnosti až 30 m. IV. skupina se shoduje s Letenskou terasou (Zbraslavská, Hýskovská). V. skupina se nachází pouze mezi Plzní a Střelou a na Zbraslavi a lze ztotožnit s Dejvickou terasou (Liblínská, Poučnická). Terasy VI. skupiny jsou špatně vyvinuty, stejně jako u Vltavy a odpovídají Veltruské terase (Kazínská). Nejmladší terasy VII. skupiny se shodují s Maninskou terasou (Lipenecká, Dobřichovická). (Balatka, Loučková 1991)

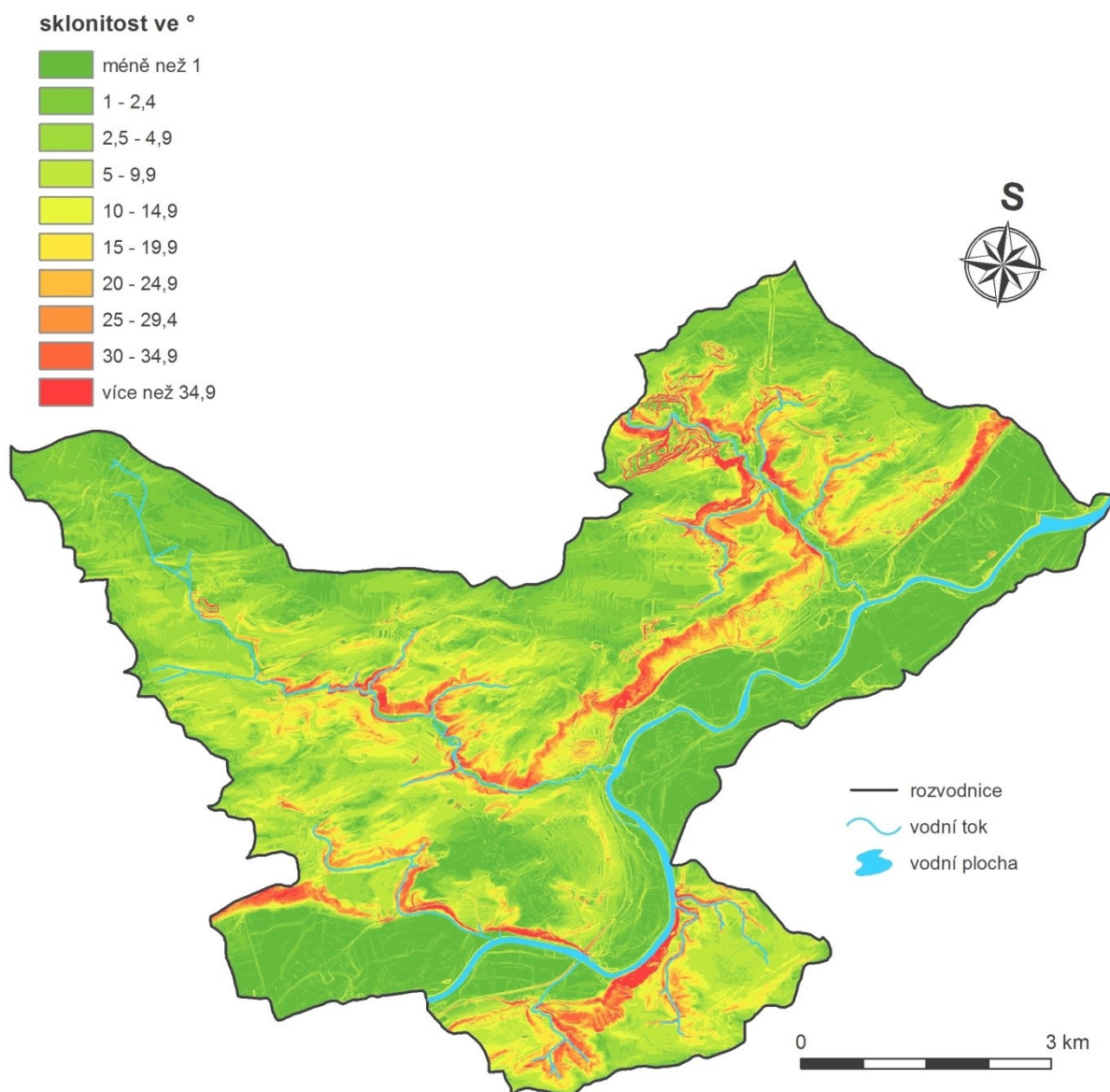
Oblast protíná Řevnická brázda, která tvoří výraznou strukturní sníženinou barrandienského směru (JZ-SV) na měkčích horninách ordoviku (převážně břidlicích) (Havlíček 2001). V širokém údolí dolního toku Berounky se nachází systém téměř plně vyvinutých kvartérních teras, které mohou dosahovat relativní výšky až 80 m nad řekou). Mezi Černošicemi a soutokem s Vltavou vytváří Berounka 1500-2000 m širokou údolní nivu s náplavami mocnými 10 - 12 m a s dobře patrnými opuštěnými koryty (Balatka 2001). Řeka by tak měla mít dostatečný prostor pro svou přirozenou meandraci a vytvoření zákrutů. Tento prostor je však výrazně ovlivněn zástavbou a další antropogenní činností.

Nejvyšší bod v povodí dosahuje 414 m n. m. a leží nedaleko pramene levostranného přítoku Berounky Švarcavy. Nejnižší bod se nachází na soutoku Berounky a Vltavy ve výšce 187 m n. m. Na Obr. 13 je vyobrazena mapa nadmořských výšek v povodí.



Obr. 13: Mapa nadmořských výšek pro povodí v oblasti I.
 Zdroj: DIBAVOD (2015), ČÚZK (2015b)

Sklonitost, jež poukazuje na plochý ráz nivy tvořené kvarténními sedimenty a výrazně strmé svahy např. na vnější straně Černošického meandru, kde může dosahovat hodnot až 73°, je znázorněna na Obr. 14.



Obr. 14: Mapa sklonitosti pro povodí v oblasti I.
 Zdroj: DIBAVOD, ČÚZK (2015b)

6.1.3 Klimatické poměry

Dle Tolasz a kol. (2007) spadá celá subpovodí do teplé klimatické oblasti v rámci klimatologického dělení ČR a dále spadá do klimatické podoblasti T2. Tato podoblast je označována jako teplá, mírně suchá a je charakteristická dlouhým, teplým a suchým létem, krátkým teplým až mírně teplým jarem a podzimem a krátkou, mírně teplou a suchou až velmi suchou zimou. Klimatické charakteristiky oblasti T2 jsou blíže popsány v Tab. 9.

Tab. 9: Klimatické charakteristiky oblasti T2 (Tolazs a kol. 2007)

Klimatické charakteristiky	Hodnoty
Počet letních dnů	50 - 60
Počet mrazových dnů	100 - 110
Počet ledových dnů	30 - 40
Průměrná teplota v lednu (°C)	-2 - -3
Průměrná teplota v červenci (°C)	18 - 19
Průměrný počet dnů se srážkami 1 mm a více	90 - 100
Srážkový úhrn ve vegetačním období (v mm)	350 - 400
Srážkový úhrn v zimním období (v mm)	200 - 300
Počet dnů se sněhovou pokrývkou	40 - 50

Průměrná roční teplota dosahuje 8 - 9 °C a průměrný roční úhrn srážek 500 - 600 mm (Kovanda 2001). Jak je patrné z tabulky průměrná teplota v červenci se pohybuje okolo 18 - 19 °C a průměrná teplota v lednu -2 až -3 °C. Počet letních dnů se pohybuje mezi 50 - 60 dny, mrazových dnů 100 - 110 a sněhová pokrývka se zde vyskytuje zhruba 40 - 50 dnů v roce.

Klima je v této oblasti ovlivňováno hned několika faktory. Jedná se především o vliv srážkového stínu Českého lesa, Krušných hor a Brd, jehož síla ovlivnění je dána geografickou vzdáleností jednotlivých pohoří a vrchovin. Patrný je i účinek tepelného ostrova Prahy, který může zvyšovat teplotu v oblasti až o 1 °C. Kromě těchto faktorů má na klima vliv i samotná řeka, která v uzavřených údolích může vytvářet vlastní mikroklima, což se projevuje především vyšší vlhkostí v údolí. Tento jev se, ale projevuje v oblasti jen minimálně a to především v okolí Černošic. Blíže k soutoku Berounky s Vltavou se vytváří ploché údolí otevřené z obou stran a vliv mikroklimatu je zanedbatelný.

6.1.4 Hydrologické poměry

V zájmové oblasti I. je Berounka dlouhá 13,5 km s celkovým podélným sklonem 0,95 %. Plocha subpovodí podle DIBAVOD (2015) činí 59,1 km². Řeka vtéká do oblasti v nadmořské výšce 200 m n. m. a vytéká ve výšce 187 m n. m., spád toku tedy činí 13 m. Říční niva Berounky má plochu 14 km² s příčným profilem plochého údolí. Do Berounky se v oblasti vlévají menší přítoky, které nemají výrazný vliv na celkový odtok z oblasti. Z levé strany to jsou potok Kluček, Švarcava a Radotínský potok, z pravé strany pak jen Všenorský potok, který se vlévá do Berounky hned na začátku celého oblasti. Nachází se zde měrný profil Praha - Radotín na 3,3 ř. km. Tento profil byl zřízen po povodni 2011, obcí

Radotín a data z ní byla použita pro stanovení N-letých průtoků, viz Tab. 10. I když se datová řada jeví krátkodobá, jednotlivé N-leté průtoky byli dopočítány pracovníky ČHMÚ z měrných profilů na řece Berounce - Beroun a Srbsko a měrných profilů na řece Vltavě - VD Vrané a Praha - Chuchle. Navíc výpočty byly zpřesněny při povodňové situaci v roce 2013, kdy průtok dosahoval v měrném profilu Praha - Radotín 20-leté vody. Z tabulky je viditelné, že hodnota Q_{20} činí $1018 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ a pro Q_{100} dosahuje $1578 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Hodnoty pro tyto dva N-leté průtoky jsou využity v této práci. Podrobná hydrologická charakteristika odtokových poměrů a hydrologických extrémů pro celou řeku Berounku je uvedena v kapitole 6.3.

Tab. 10: N-leté průtoky dosažené v měrném profilu Praha - Radotín (ČHMÚ 2015a)

N-letý průtok	Q_1	Q_2	Q_5	Q_{10}	Q_{20}	Q_{50}	Q_{100}
$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	277	412	626	811	1018	1323	1578

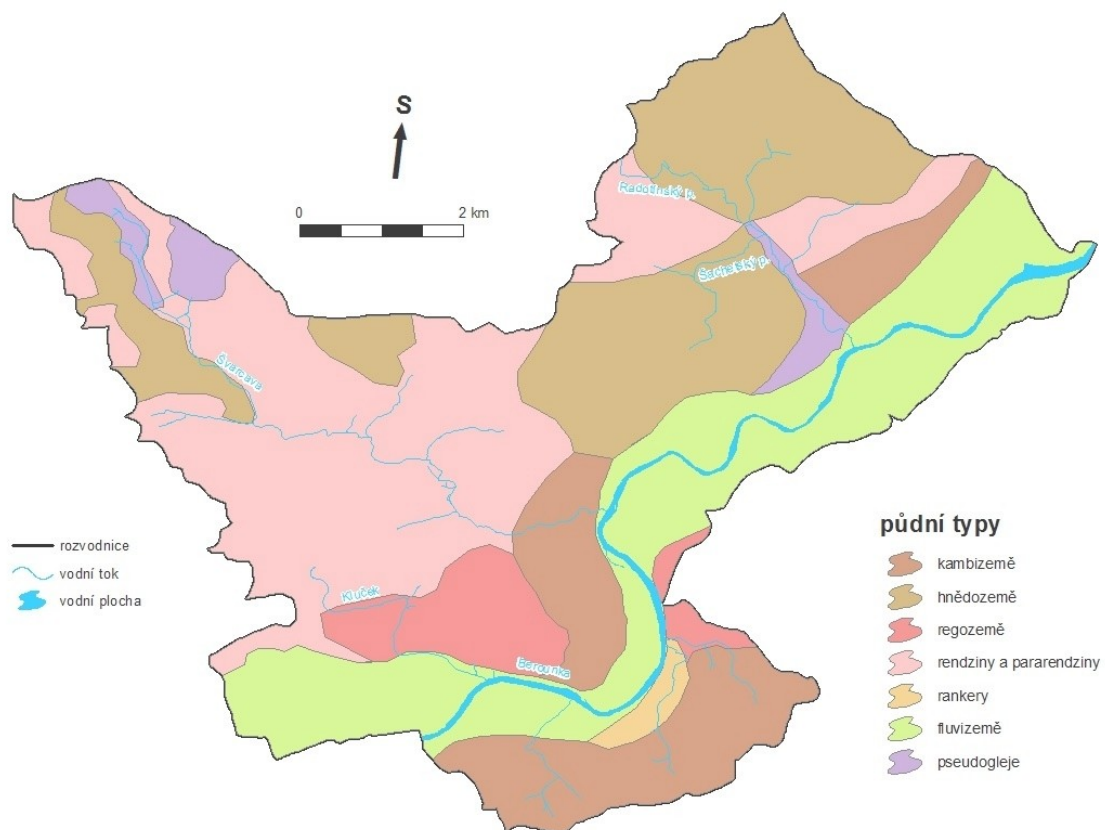
Z hydrogeologického hlediska se dle Olmera a kol. (1990) řadí oblast do hydrogeologického rajónu 6250 - Proterozoikum a paleozoikum v povodí přítoků Vltavy. Tento rajón je význačný mělkým oběhem podzemní vody. Oživený oběh povrchové vody se uskutečňuje v připovrchové zóně rozvolněním hornin puklinovou propustností (Vorel a kol. 2007).

6.1.5 Půdní poměry

Půdní poměry jsou důležité z hlediska své infiltrační a retenční charakteristiky a podílejí se na povrchovém, podpovrchovém a základním odtoku. Z hlediska erozního ohrožení mají velký vliv vlastnosti půdy, svažítost terénu a typ vegetace. Samotná rozmanitost půdních typů je dána podkladovým substrátem, klimatickými podmínkami, reliéfem, vegetací a činností člověka. Dle Obr. 15 jsou nejrozšířenějším půdním typem v oblasti I. rendziny a pararendziny, dále pak hnědozemě a kambizemě. Rendziny a pararendziny se vyskytují především v severozápadní části subpovodí a vznikly ve vápencových oblastech barrandienského paleozoika. Typický je u nich malý humusový horizont s vyšším obsahem štěrku, který brání intenzivnímu zemědělskému využití. Tyto půdy se vyskytují převážně v zalesněných oblastech (Kovanda 2001). Výrazné jsou v oblasti také nivní půdy, které jsou vázány na holocénní sedimenty - aluvia a s nimi spřízněné splachové uložení písků a štěrku podél Berounky (Balatka, Loučková 1991). Typické pro ně je, že nemají plně vyvinuté půdní horizonty. V oblasti se také hojně vyskytují regozemě a to především v oblasti pražské zástavby. U ústí Radotínského potoka se nachází pseudogleje,

kteří tvoří menší polygony i v pramenné oblasti Švarcavy na severozápadě oblasti I. Na vnější straně Černošického meandru se vytvořily rankery, které mají velmi malou mocnost. Vznikly na velmi příkrých svazích a často je střídá skalní podloží.

Hnědozemě a kambizemě zde mají širokou škálu zastoupení. Od lehkých půd na pískovcích, přes středně těžké půdy, vytvořené na zvětralinách drob, některých břidlic a opuk, až po těžké půdy z břidlic, případně silněji zvětralých opuk (Tomášek, 2001). Hnědozemě se vytvářejí z širokého spektra substrátů a to také ovlivňuje rozmanitost z hlediska trofismu, zrnitosti a skeletovitosti. Na terasových akumulacích se vytvořily zrnitostně velmi lehké hnědé půdy. Společné všem hnědým půdám, kromě těch, které se vytvořily na terasách, je jejich běžná přítomnost v členitějším reliéfu a velmi častá skeletovitost, která se ovšem může uplatnit v nejrůznějších stupních (Tomášek, 2001). Kambizemě se vytvořily v odlesněných částech, kde není terén tolik zvlněný.



Obr. 15: Mapa půdních typů v oblasti I.
Zdroj: DIBAVOD (2015), ČGS (2015)

6.1.6 Biogeografické poměry

Z biogeografického hlediska se dle Culka (2005) oblast I. řadí do 1. Hercynské podprovincie a 1.18 Karlštejnského bioregionu. Biochoru nivy Berounky tvoří typ 2LH, jež značí georeliéf široké nivy s půdním substrátem hadců a s převažujícím vegetačním stupněm 2., tedy bukodubovým. Převažující bukodubový vegetační stupeň je i typický pro severní okolí toku, které tvoří převážně biochory typu -2BM, 2RN a -2BE. Nejvíce zastoupený je typ -2BM, který značí reliéf rozřezaných plošin s mělkými údolími na drobách, slepencích a břidlicích v suché oblasti. Na jižní straně oblasti se vyskytuje typ -3VM, což je reliéf vrchovin na drobách, slepencích a břidlicích v suché oblasti dubobukového vegetačního stupně.

Z hlediska zalesnění je oblast spíše chudší na lesní pokryv a to především vlivem antropogenních zásahů. Především díky rozšiřování zástavby, zemědělských a těžebních oblastí došlo k vykácení lesů. Zalesněné oblasti zůstali pouze na vrchovinách, jež částečně obklopují říční údolí. Tyto území leží na severní straně oblasti v CHKO Český kras a na jižní straně oblasti v Přírodním parku Hřebený. Mezi zemědělskými či zastavěnými oblastmi najdeme i lužní louky, na které jsou luční květiny jako bodlák kadeřavý či hvozdík kropenatý. Vyskytuje se zde, ale i řada invazních rostlin jako křídlatka, netýkavka žláznatá...

Z fauny se v okolních lesích vyskytují např. jezevec lesní, kuna skalní či prase divoké. Poblíž řeky a na loukách zas najdeme různé druhy netopýrů, kteří hnízdí v jeskyních v CHKO Český kras, ptactva (datel černý, kavka obecná...), plazů (užovka hladká, ještěrka obecná...), měkkýšů, pavoukoců či hmyzu. Zvláštní význam pro místní floru a faunu má samotná řeka Berounka a její příbřežní zóna, která zde slouží jako významný biokoridor a živočichové a rostliny tak mohou dobře migrovat. Migrace zvyšuje především biodiverzitu ryb a obojživelníků v oblasti.

6.1.7 Charakteristika land use

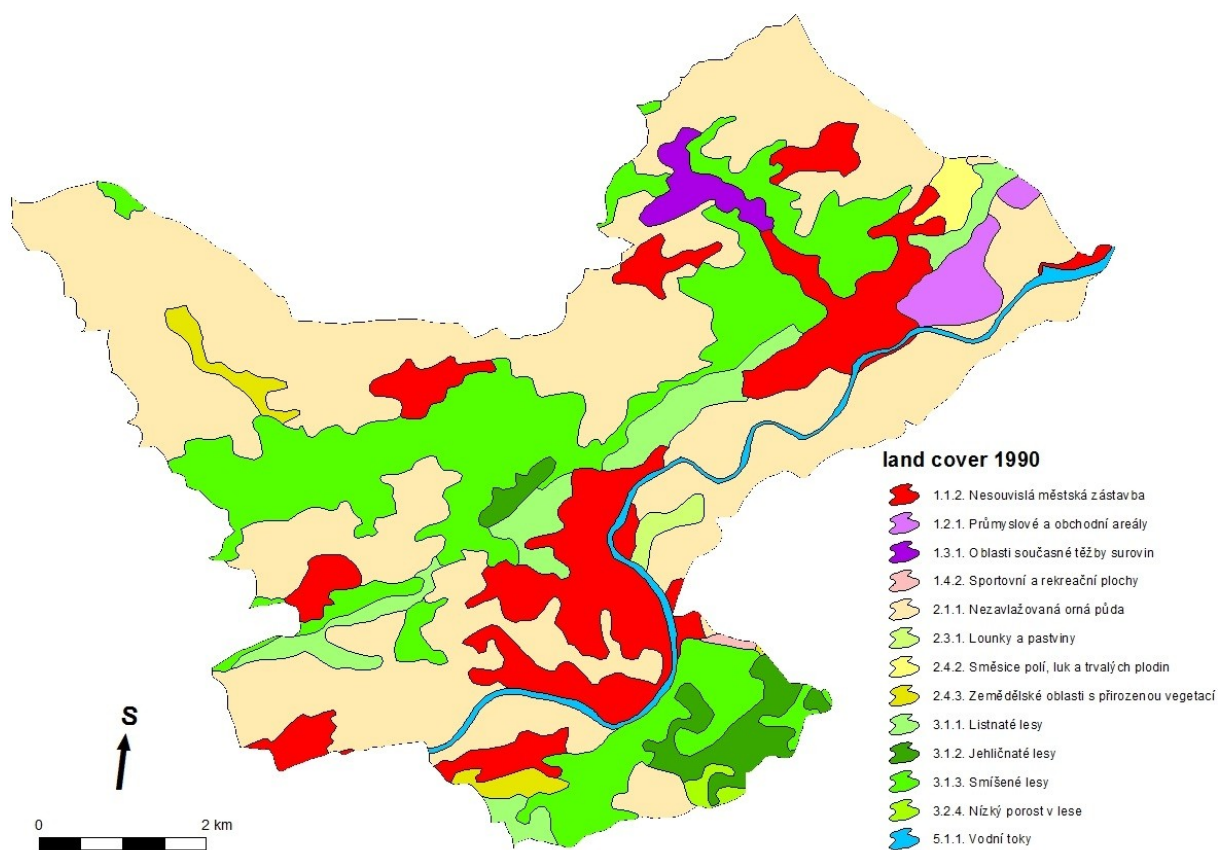
Subpovodí Berounky v oblasti I. zasahuje na území 12 obcí, přičemž v Praze zasahuje do 7 městských částí (ArcČR 500). Jedná se ovšem o nesouvislou zástavbu dle CORINE (2015). Největší podíl zastoupení mají zemědělské oblasti a to v podobě nezavlažované orné půdy. V Tab. 11 je uvedena rozloha jednotlivých typů využití krajinného pokryvu v rámci oblasti I. a jejich změna v letech 1990 a 2012. Na Obr. 16 a 17 lze změnu land use mezi roky 1990 a 2012 porovnat i graficky. Více jak polovinu rozlohy oblasti tvoří zemědělské oblasti

a městská zástavba. Lesní porost zaujímá necelou čtvrtinu oblasti, naopak louky a pastviny s trávovbylinnou vegetací se zde vyskytují jen sporadicky.

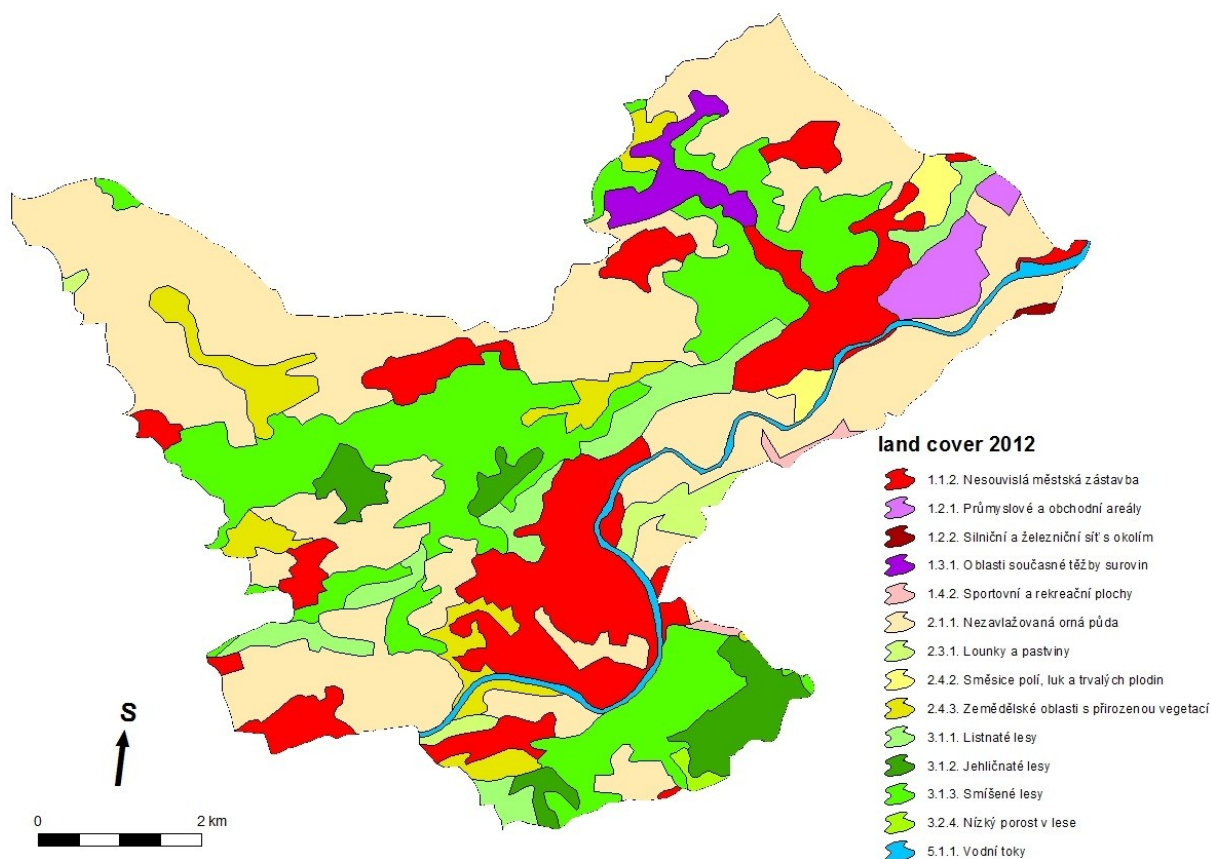
Hlavní změnou po roce 1990 je úbytek nezavlažovaných orných ploch na úkor především zemědělských oblastí s přirozenou vegetací, nesouvislé městské zástavby a luk a pastvin. K rozšíření plochy zástavby došlo především v obcích Černošice a Třebotov a je způsobeno suburbanizací, při níž dochází k přesunu obyvatelstva z centra Prahy do jejího zázemí. Říční niva je tvořena především areály zemědělských ploch (nezavlažované orné plochy, zemědělské oblasti s přirozenou vegetací) a nesouvislou městskou zástavbou. Výjimku tvoří pouze úsek toku na vnější straně Černošického meandru, kde se vyskytují smíšené lesy. V tomto místě se ovšem nachází strmé svahy a niva je zde velice úzká. Využití krajinného pokryvu v nivě především jako zemědělských ploch a zástavby výrazně snižuje drsnost povrchu a snižuje její retenční schopnost. V nivě se také nachází starý průmyslový areál Radotínských skleníků. Tento areál je určený k rekultivaci a jeho plocha může být využita jako součást přírodě blízkého opatření, např. jako rekreační plocha.

Tab. 11: Rozloha jednotlivých kategorií pokryvu v letech 1990 a 2012 (CORINE 2015)

kategorie pokryvu	rozloha v roce 1990 (km ²)	rozloha v roce 2012 (km ²)	změna plochy mezi roky 1990 a 2012 (%)
Nesouvislá městská zástavba	10,2	10,73	+ 0,9
Průmyslové a obchodní areály	1,01	1,16	+ 0,2
Silniční a železniční síť s okolím	0	0,1	+ 0,2
Oblasti současné těžby surovin	0,71	1,03	+ 0,5
Sportovní a rekreační plochy	0,06	0,2	+ 0,2
Nezavlažovaná orná půda	29,04	24,63	- 7,3
Louky a pastviny	0,28	0,86	+ 1,0
Směsice polí, luk a trvalých plodin	0,39	0,63	+ 0,4
Zemědělské oblasti s přirozenou vegetací	0,74	2,84	+ 3,5
Listnaté lesy	2,74	2,71	- 0,1
Jehličnaté lesy	1,56	2,27	+ 1,2
Smíšené lesy	12,32	11,95	- 0,6
Nízký porost v lese	0,18	0,12	- 0,1
Vodní toky	0,92	0,92	0



Obr. 16: Mapa land use 1990 oblasti I.
Zdroj: DIBAVOD (2015), CORINE (2015)



Obr. 17: Mapa land use 2012 oblasti I.
Zdroj: DIBAVOD (2015), CORINE (2015)

6.1.8 Protipovodňová opatření v oblasti I.

Niva v okolí soutoku řek Vltavy a Berounky byla v minulosti značně antropogenně ovlivněna. Především díky neustálému rozšiřování zástavby a dopravní infrastruktury došlo nejen ke změně využití nivy, ale také k přemodelování tras toků. Především došlo k napřímení koryta, které vytvářelo ve spodní části nivy zákruty. Zákruty byly upraveny a stabilizovány zástavbou a není tak umožněn jejich přirozený vývoj směrem ke vzniku meandrů. Při povodňových událostech, v letech 2002, 2009 a 2013, se ukázalo, že oblast může sloužit jako retenční plocha. Zástavba v nivě je při povodních pravidelně zaplavována a vznik nové výstavby v inundačním území by byl ze sociálně-ekonomického a ekologického hlediska nevhodný. Po povodních v roce 2002 vznikly nové územní plány Městských částí Prahy 5 a 16, které pozměnily využití nivních území (Knotek 2012). V původním plánu městských částí Prahy měly vzniknout čtyři laguny doprovázené plážemi, sportovišti a přístavem motorových člunů, jež se měly nacházet mezi Radotínem a Zbraslaví. Jezera nacházející se na území Městské části Zbraslav měla sloužit především ke koupání a rekreaci, kdež to jezera na území Městské části Radotín byla určena pro sportovní rekreaci a jako přístaviště motorových člunů a výletních lodí mířících na Zbraslav a Slapy.

Podle územního plánu měla vodní plocha na území Radotína v oblasti skleníkového areálu Brudra mít rozlohu 36,7 ha (Přístav Radotín, trvale propojena s Berounkou), vodní plocha na území Lahoviček mezi Výpadovou ulicí a chuchelským závodíštěm měla mít rozlohu 8,7 ha (Lahovičky, nepropojena s Berounkou) a v katastrálním území Lahovic na pravé straně Berounky měly vzniknout dvě vodní plochy o rozloze 59,6 ha (ložisko Lahovice I., bez propojení s Berounkou) a 11,1 ha (ložisko Lahovice, trvale propojena s Berounkou) (Fencel 2007). Přístav Radotín, jezero Lahovičky a ložisko Lahovice by vzhledem ke stálému propojení s Berounkou byly zaplaveny a to by znamenalo minimální retenční kapacitu pro povodňové vody. Jediné ložisko Lahovice I. by tvořilo jakýsi polosuchý poldr, který by při vyběžení vody z koryta sloužil k retenci vody. Kromě plánované výstavby lagun bylo uvažováno o výstavbě dvou jezů na řece Berounce, které by měly sloužit k úpravě vodní hladiny. První jez je navržen na ř. km 1,65, jako pohyblivý s malou vodní elektrárnou, malou plavební komorou, propustí pro vodáky a rybím přechodem. Tento jez by měl snížit eutrofizaci rekreačních vodních ploch. Druhý jez, zatím pouze jako záměr, na říčním km 5. V případě vybudování navrhovaných jezů by se zvýšila hladina vodních ploch ložiska Lahovice I. o cca 0,9 m a přístav Radotín o cca 2,2 m (Fencel 2007).

Původní projekt byl ovšem v roce 2013 zredukován z podezření z možného ekonomického zneužití těžby štěrkopísků a machinace s pozemky (Bouzek 2014). Jak je vidět na Obr. 18 ze čtyř plánovaných jezer by mělo dojít k realizaci jednoho (přístav Radotín). Radotínské jezero by mělo být zmenšeno o přístav pro velké lodě, jehož místo by mělo být využito jako udržovaná louka se stromy a keři, která je vhodná k rekreačním účelům (Bouzek 2014).

Oblast je známé kvalitnější zemědělskou půdou a významnou zásobou pitné vody na území Prahy, do oblasti zasahuje ochranné pásmo 2. stupně vodárny Podolí. Za nepříznivý efekt výstavby je považováno narušení jímací a filtrační funkce štěrkopískové vrstvy Lahovické nivy a narušení režimu podzemních vod. Podzemních voda by mohla být znečištěna říční vodou z lagun. Těžební prostor má podle záměru pokrývat větší území, než které je územním plánem určeno pro rekreační vodní plochy. Zbylé vytěžené plochy mají být zavezeny inertními materiály a odpady obtížně kontrolovatelného původu, což by mohlo dále narušit režim podzemních vod, kontaminovat je a narušit i rekreační funkci oblasti (Fencel 2007). Zároveň by mohlo dojít ke znečištění při nakládání s kaly vzniklými při těžbě. Plánovaná výstavba by znamenala významný zásah do znaků a hodnot krajinného rázu. Dále by mohlo dojít k ohrožení přírodní památky Krňov a jejího lužního lesa u Lipanského potoka.

Fencel (2007) uvádí, že voda v Berounce je pro vysoký obsah chlorofylu obecně nevhodná ke koupání, což omezí rekreační funkci vodních ploch propojených s Beroučkou.



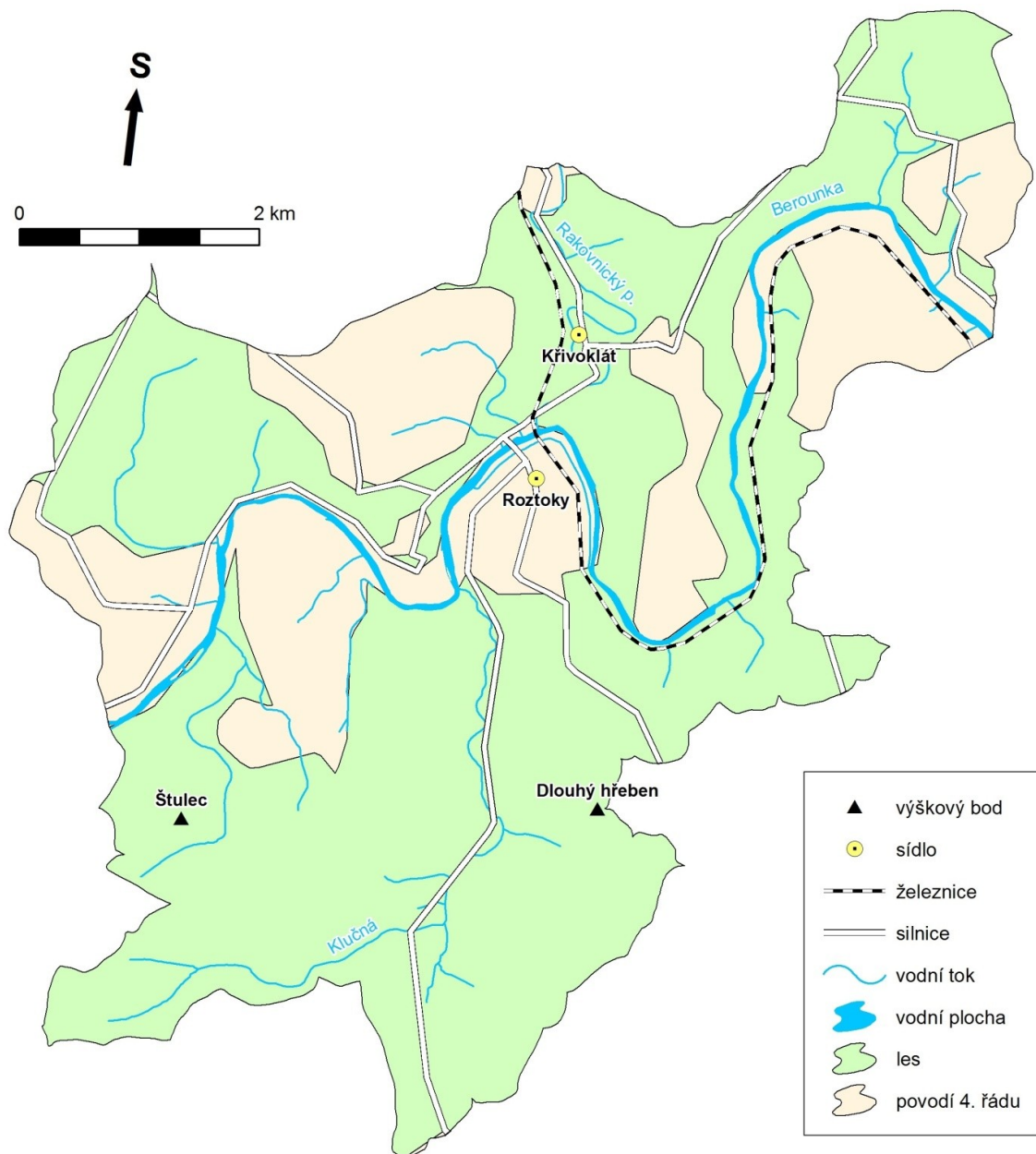
Obr. 18: Schválený územní plán přístaviště Radotín a jezera na ř. km 1,65. Tlustá žlutá čára značí terénní stupeň, který má sloužit jako protipovodňový val
Zdroj: Bouzek (2014)

Předpokladem vybudování Radotínské laguny je i její protipovodňová funkce. Revitalizovaná niva má být v případě povodňových událostí využita jako retenční prostor. Pouze prostory zástavby by měly být ochráněny protipovodňovými valy. Po povodních v roce 2002, jak uvádí Exner (2007), se začaly hledat cesty, jak zmírnit sílu vody hrnoucí se do Prahy. Poukazovalo se na Vídeň, kde byly vytvořeny v okolí Dunaje suché poldry, které rozlévající se vodu z koryta z části pohlčí. Niva v okolí soutoku řek Vltavy a Berounky je vhodná pro retenci díky dostatečnému nezastavěnému prostoru. Původní myšlenka vytvoření velkého suchého poldru se ukázala, jako nerealizovatelná z důvodu mnoha vlastníků pozemků. Místo poldru vznikl návrh realizace Radotínského jezera, které by v době povodní i s revitalizovaným okolím snižovalo povodňové stavy. Schválený návrh ovšem nedosahuje tak výrazného retenčního objemu jako např. polosuchý poldr. V období sucha může jezero navíc sloužit jako zásobárna vody. Důležité ale je vytvořit protipovodňová opatření i výše na tocích, aby byla ochrana účinná. Jelikož se oblast nachází na soutoku dvou velkých řek, může dojít v těchto místech pouze k menší redukci výšky a rychlosti povodňové vody.

Samotné jezero i s revitalizovaným okolím splňuje spíše rekreační funkci než funkci ochrany před hydrologickými extrémy.

6.2. Zájmová oblast II.

Zájmová oblast II. leží na středním toku Berounky mezi 53,6 - 68,6 ř. km. Oblast se nachází v CHKO Křivoklátsko mezi obcemi Zbečno a Nezabudice - U Rozvědčíka. Říční niva je jen minimálně antropogenně ovlivněna a zachovává si přírodě blízký charakter. Délka Berounky dosahuje 15 km a plocha nejbližšího subpovodí, povodí 4. řádu dle DIBAVOD (2015), činí 40 km². Celková plocha říční nivy Berounky dosahuje v této oblasti 2,4 km². Charakteristika jednotlivých poměrů je zaměřena na subpovodí, ve kterém se zájmová oblast nachází. Na Obr. 19 je vidět, že v oblasti se nachází dvě větší obce (Křivoklát a Roztoky) a mezi hlavní přítoky patří Klučná a Rakovnický potok. Mezi 53,6 - 62,3 ř. km se podél toku nachází železniční komunikace a mezi 62,3 - 68,6 ř. km se podél toku nachází silniční komunikace. Lesy v této oblasti zaujímají 69 % rozlohy oblasti subpovodí a kromě toku Berounky se zde nenachází žádná jiná významná vodní plocha.



Obr. 19.: Zájmová oblast II.
Zdroj: DIBAVOD, ArcČR 500 (2015)

6.2.1 Geologické poměry

Z hlediska geologických poměrů se oblast II. řadí do jednotek: proterozoika severozápadního křídla Barrandienu a to blovickým souvrstvím náležejícím kralupsko-zbraslavské skupině. Následující jednotkou jsou vulkanity křivoklátsko-rokycanského pásma, náležející již ke staršímu paleozoiku Barrandienu (svrchní kambrium) (Vorel a kol. 2007).

V Prvohorách, období středního kambria, se jihozápadně od oblasti vyskytoval mělký mořský záliv, kde se usazovali pískovce a břidlice se zbytky tehdejší fauny. Tyto zbytky

se v průběhu kvartéru dostali fluvialní činností i do nižších oblastí dále po proudu. Na konci kambria, vlivem suchozemských výlevů sopečných hornin, vzniklo zhruba 5 km široké vulkanické křivoklátsko-rokycanské pásmo. V průběhu čtvrtohor rozdělila řeka Berounka Křivoklátskou vrchovinu na Lánskou pahorkatinu (levobřežní část) a Zbizožskou vrchovinu (pravobřežní část) (Balatka, Kalvoda 2006).

V nivě a příbřežní zóně Berounky jsou zastoupeny především deluviální a fluvialní písčitohlinité sedimenty, které mohou dosahovat mocnosti až 5 m. Nivní sedimenty vytváří pod hnědou humózní hlínou písčitojílovité sutě a velkými valouny. V podloží se vyskytují světle rezavohnědé až hnědošedé, zvětralé, rozpukané břidlice (Balatka, Kalvoda 2006).

6.2.2 Geomorfologické poměry

Z hlediska geomorfologických poměrů je oblast II. řazena do celku Křivoklátské vrchoviny, viz Tab. 12. V rámci oblasti se nachází podcelky Zbizožská vrchovina a Lánská pahorkatina, které tvoří několik okrsků.

Tab. 12: Geomorfologické zařazení oblasti (Balatka, Kalvoda 2006)

Geomorfologické zařazení	
systém	Hercynský systém
subsystém	Hercynské pohoří
provincie	Česká vysočina
subprovincie	Poberounská soustava
celek	Křivoklátská vrchovina
podcelek	Zbizožská vrchovina a Lánská pahorkatina

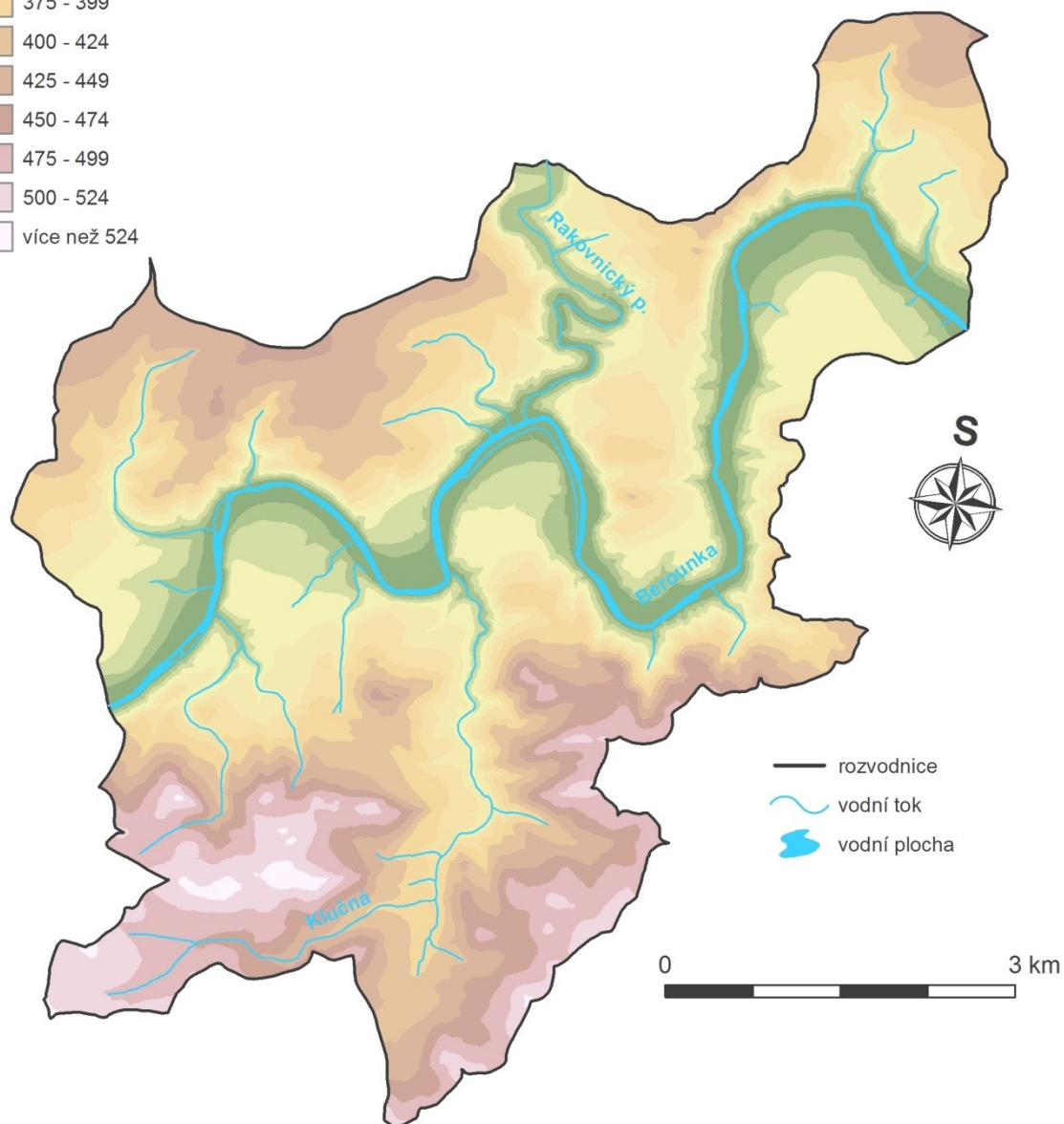
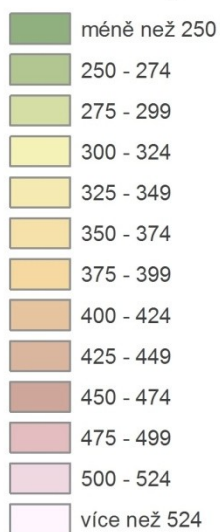
Vývoj říční sítě a fluvialně-morfologické činnosti povodí Berounky je blíže popsán v předešlé kapitole 6.1.2.

Pravá část subpovodí je situována v rámci Zbizožské vrchoviny. Jihovýchodní část je tvořena proterozoickými prachovci, břidlicemi a droby a zvrásněnými ordovickými břidlicemi a křemenci. Severozápadní část tvoří kambriické ryolity, dacity a andezity křivoklátsko-rokycanského pásma. Vrchovina je tvořena hluboce zaříznutými erozními údolími, která byla vymodelována v horninách křivoklátsko-rokycanského pásma. Jihovýchodní část Zbizožské vrchoviny má mírně zvlněný reliéf denudačních plošin a mírných svahů, který se vytvořil na proterozoických břidlicích (Balatka, Kalvoda 2006).

Levá část povodí se rozkládá převážně v Lánské pahorkatině. Pro Lánskou pahorkatinu je charakteristický mírně členitý reliéf, který je rozčleněn údolími Kačáku a Klíčavy. Jedná se o denudační plošiny a mírné svahy, které směrem k jihu přecházejí do strmých strání hluboce zaříznutého údolí Berounky. Nejvyšším bodem je Tuchonín, 487 m n. m. Jedná se o pahorkatinu tvořenou z prvohorních břidlic a drobů s vložkami buližníků a spilitů (Balatka, Kalvoda 2006).

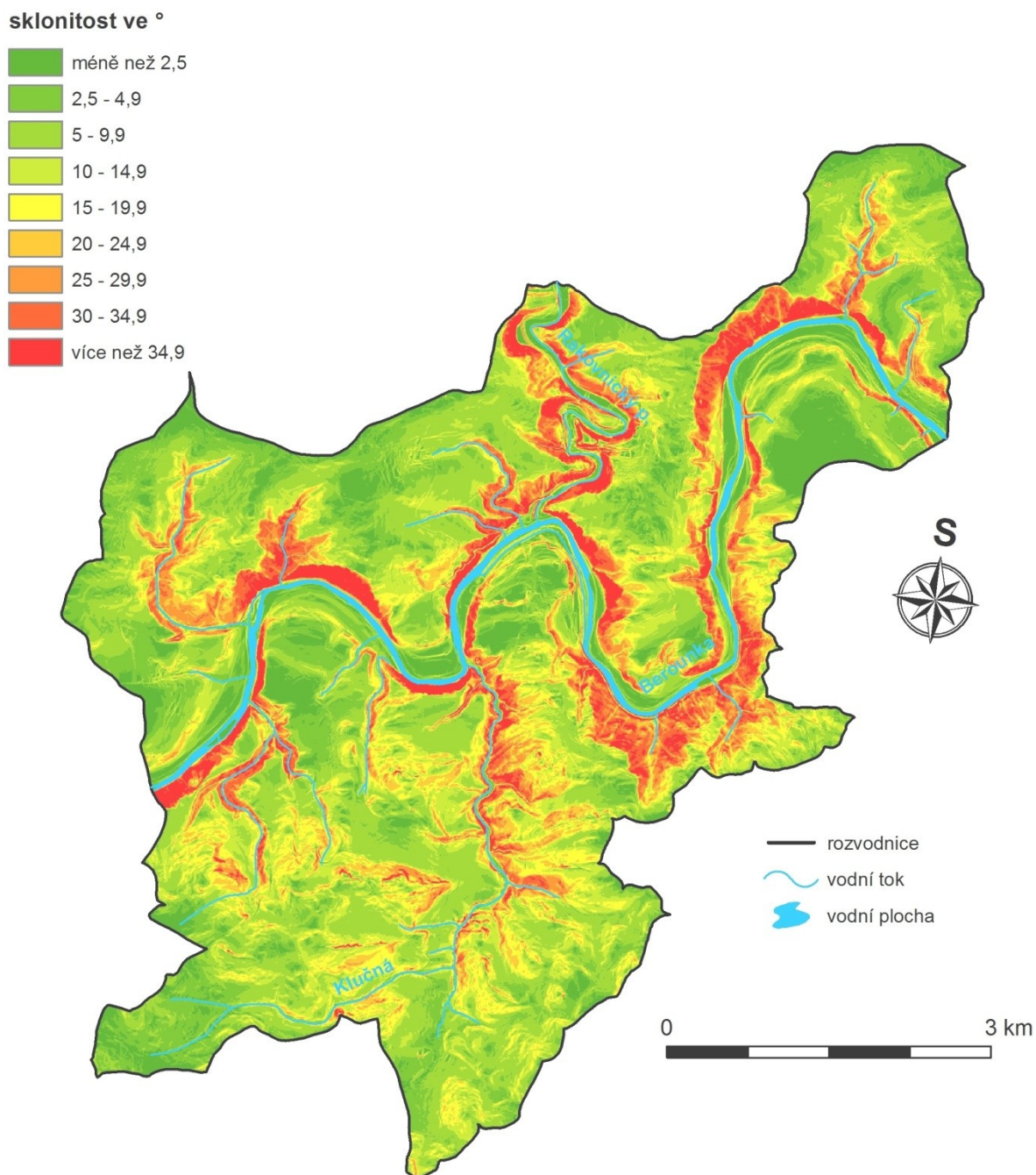
Fluviální činnost vytvořila řadu zařízých údolí, skalnatých vrcholků a členitý reliéf. Řeka Berounka vytváří po celé délce toku v oblasti morfologicky významné a nápadné zakleslé meandry. Na Obr. 20 je vyobrazena mapa nadmořských výšek v subpovodí. Nejvyšší bod měří 546 m n. m. a nachází se po levé straně prameniště pravostranného přítoku Berounky, říčky Klučná. Nejnižší bod leží na soutoku Berounky a Klíčavy v obci Zbečno ve výšce 227 m n. m.

nadmořská výška v m n. m.



Obr. 20: Mapa nadmořských výšek pro povodí v oblasti II.
Zdroj: DIBAVOD (2015), ČÚZK (2015b)

Na Obr. 21 je vidět sklonitost oblasti, která ukazuje na výrazné sklony hlubokých údolí, jež jsou prořezány vodními toky. Největší sklonitost se projevuje na vnější straně meandrů a zákrutů Berounky a Rakovnického potoka, kde může dosahovat hodnot až 68° .



Obr. 21: Mapa sklonitosti pro povodí v oblasti II.
Zdroj: DIBAVOD (2015), ČÚZK (2015)

6.2.3 Klimatické poměry

Celé subpovodí spadá do mírně teplé klimatické oblasti, podoblast MT11. Území ležící v klimatické jednotce MT11 se vyznačuje dlouhým, teplým a suchým létem, zima je krátká, mírně teplá, suchá s krátkým trváním sněhové pokrývky, přechodná období jsou krátká s mírným teplým podzimem (Tolasz a kol. 2007), viz Tab. 13.

Tab. 13: Klimatické charakteristiky oblasti MT11 (Tolasz a kol. 2007)

Klimatické charakteristiky	Hodnoty
Počet letních dnů	40 - 50
Počet mrazových dnů	110 - 130
Počet ledových dnů	30 - 40
Průměrná teplota v lednu (°C)	-2 - (-3)
Průměrná teplota v červenci (°C)	17 - 18
Průměrný počet dnů se srážkami 1 mm a více	90 - 100
Srážkový úhrn ve vegetačním období (v mm)	350 - 450
Srážkový úhrn v zimním období (v mm)	200 - 300
Počet dnů se sněhovou pokrývkou	50 - 60

Průměrná roční teplota se zde pohybuje mezi 7,5 - 8,5 °C a průměrné roční srážky činí 530 mm (Správa CHKO Křivoklátsko 2015). Klimatické poměry v oblasti ovlivňuje řeka Berounka, především vyšší teplotou v zimních měsících, a také srážkový stín, především Krušných hor a Brd. Tolasz a kol. (2007) uvádí, že za sledované období 1950-1999 činili průměrné roční srážky jen 530 mm a ve vegetačním období pouhých 350 mm. Nejvíce srážek spadlo v červenci, okolo 80 mm, minimální úhrn srážek připadal na únor, kolem 27 mm. Výška sněhové pokrývky průměrně nepřekračuje 20 cm a udrží se zde jen minimální dobu.

6.2.4 Hydrologické poměry

V oblasti II. dosahuje délka Berounky 15 km a plocha subpovodí, dle DIBAVOD (2015), činí 40 km². Říční niva se rozkládá mezi svahy hluboce zaříznutých meandrů a zákrutů a není zde tolik místa k rozlivu. Samotná plocha nivy činí 2,4 km². V zájmové oblasti se do Berounky vlévají přítoky z levé strany Tyterský potok, Rakovnický potok a Klíčava, z pravé strany pak říčka Klučná. Větší vliv na celkový odtok z oblasti mají především Rakovnický potok a Klíčava, na které je i stejnojmenná vodní nádrž. Vzhledem ke geologickým poměrům je tato oblast celkově chudá na podzemní vody. Nedaleko počáteční hranice zájmové oblasti se nachází hydrologická stanice Zbečno na 53,4 ř. km, díky které lze získat přesné údaje o odtoku z oblasti. Průměrný roční průtok na hydrologické stanici Zbečno je 32,8 m³.s⁻¹, při stoleté vodě pak dosahují hodnoty až 1440 m³.s⁻¹ (ČHMÚ

2015), viz Tab. 14. Řeka vtéká do oblasti v nadmořské výšce 242 m n. m. a vytéká ve 227 m n. m., spád toku činí 15 m. Průměrný sklon úseku toku je 1 %. Podrobná hydrologická charakteristika odtokových poměrů a hydrologických extrémů pro celou řeku Berounku je uvedena v kapitole 6.3.

Tab. 14: N-leté průtoky dosažené v měrném profilu Zbečno (ČHMÚ 2015)

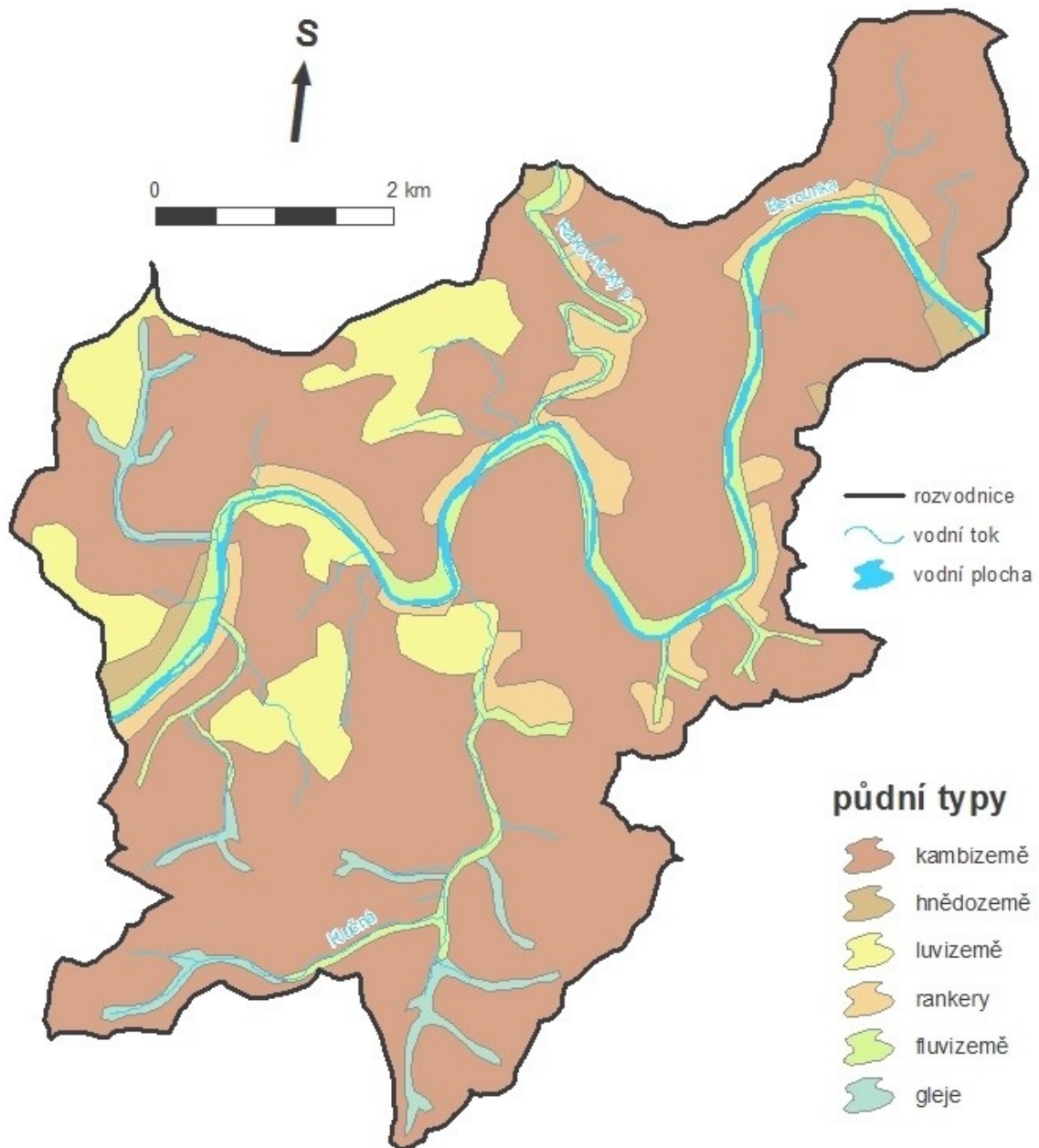
N-letý průtok	Q ₁	Q ₂	Q ₅	Q ₁₀	Q ₂₀	Q ₅₀	Q ₁₀₀
m³.s⁻¹	257	378	571	790	928	1210	1440

Podle hydrogeologické rajonizace ČR (Olmer a kol. 1990) spadá zájmová oblast do hydrogeologického rajónu 6230 - Krystalinikum, neoproterozoikum a paleozoikum v povodí Berounky. Oživený oběh povrchové vody se uskutečňuje v připovrchové zóně rozvolnění hornin puklinovou propustností, která přechází ve zvětralinách a eluviích v průlinovo-puklinou. Mocnost tohoto připovrchového kolektoru nepřesahuje hloubku 15-20 m (Vorel a kol. 2007).

6.2.5 Půdní poměry

Půdní poměry v oblastech jsou důležité z hlediska své infiltrační a retenční charakteristiky a podílejí se na povrchovém, podpovrchovém a základním odtoku. Vzhledem ke sklonitosti terénu hrají půdní typy důležitou roli z hlediska erozního ohrožení. Jak je patrné z Obr. 22, že nejvýznamněji jsou v oblasti II. zastoupeny kambizemě. Dále pak to jsou půdní typy fluvizem, luvizem, hnědozem, ranker a glej.

Výrazně se zde vyskytují různé druhy kambizemí (mesobasická, modální, dystrická). Na plošinách a mírných svazích z proterozoických břidlic je kambizem velmi uléhavá a špatně provzdušněná. Kambizemě bohaté na živiny se hojně vyskytují především v zalesněných pahorkatinách a vrchovinách podél zákrutů a meandrů toků. Na skalnatém podkladu kolem meandrů a zákrutů se vytvořili rankery, většinou o malé mocnosti (cca 30 cm). Říční niva Berounky je převážně tvořena fluvizemí se špatně vyvinutými horizonty. Úzké nivy a koryta přítoků Berounky jsou tvořeny převážně glejemi (modálními) a glejovou fluvizemí s výraznými horizonty spraší. Na mírně členitém reliéfu krytém soliflukčními hlínami se vyskytují polygenetické nebo vícevrstevné půdy (Vorel a kol. 2007). Místy se objevují polygony luvizemí a hnědozemí, které se vytvářejí převážně v místech mělkých depresí denudačních plošin.



Obr. 22: Mapa půdních typů v oblasti II.
Zdroj: DIBAVOD (2015), ČGS (2015)

6.2.6 Biogeografické poměry

Z biogeografického hlediska se dle Culka (2005) oblast řadí do 1. Hercynské podprovincie a 1.19 Křivoklátského bioregionu. Nivě se nacházejí typy biochory -3UM, -3UJ, -3UQ. To znamená, že niva se nachází v suché oblasti s převažujícím dubobukovým vegetačním stupněm a její georeliéf tvoří výrazná zaříznutá údolí. Mění se ovšem půdní

substrát a jeho vlhkost. V případě typu -3UM se jedná o substrát tvořený z drob, slepenců a břidlic, v případě -3UJ jde o slabě bazické krystalinikum a u -3UQ o "pestré" metamorfity. Nejbližší severní okolí tvoří typy -3BM a -3BQ, což značí opět suché oblasti s dubobukovým vegetačním stupněm s reliéfem rozřezaných plošin s mělkými údolími na substrátech drob, slepenců a břidlic a substrátech "pestrých" metamorfítů. Severněji se pak vyskytuje převážně typ -4BM, kde převažuje už bukový vegetační stupeň. Jižně od toku se nalézají typy 3BN, -4VO a -4VJ. Kde typ 3BN značí oblast rozřezaných plošin s mělkými údolími na zahliněných štěrkopiscích a vegetačním stupněm dubobukovým, která se nachází n vnitřní straně meandru u obce Zbečno. Zbylé dva typy označují suchou oblast ve vrchovinách s převažujícím bukovým vegetačním stupněm a liší se pouze v půdních substrátech. U typu -4VO jde o substrát neutrálních vulkanitů a u -4VJ o slabě bazické krystalinikum.

Celá oblast se nachází v CHKO Křivoklátsko a zachovává si svůj přírodě blízký charakter s minimálním antropogenním ovlivněním. Kromě zastavěného území kolem obce Roztoky se zde nachází jen pár chatových oblastí a kempů. To je dáno především tvarem reliéfu, který je značně zvlněný a neumožňuje tak rozšiřování zástavby a zemědělství. Lesy zde mají významné zastoupení a to v podobě listnatých a smíšených porostů. Více než 50 % oblasti pokrývají převážně listnaté a smíšené lesy, které si zachovaly přírodě blízký ráz. Na skalnatých vrcholech se vyskytují zakrslé doubravy a skalní stepi se suchomilnou vegetací označované jako pleše (Ložek a kol. 2005). Z lesních společenstev jsou pro nejnižší polohy charakteristické dubohabrové háje, ve vyšších polohách převažují bučiny a různé typy doubrav. Strmé svahy hlubokých údolních zářezů jsou porostlé druhově pestrými suťovými lesy s hojným výskytem tisu červeného (Pergl 2013). Na lužních loukách lze nalézt i chráněné byliny z Červeného seznamu ČR jako jsou např. kapradina vratička měsíční či koniklec luční český. V nivě toku se ovšem nalézá i řada invazních rostlin např. křídlatka, netýkavka žláznatá, zlatobýl kanadský či javor jasanolistý.

Lesní porosty jsou vhodným útočištěm celé řady živočichů. Mezi velkými savci zde najdeme např. jelena evropského, daňku skvrnitou či muflona lesního. Na Křivoklátsku pravidelně hnízdí celkem 120 druhů ptáků včetně vzácného výra velkého a čápa černého (Pergl 2013). Významná svou biodiverzitou je i řeka Berounka a její okolí, které spolu opět tvoří biokoridor. V řekách můžeme najít významné zastoupení řady druhů ryb, obojživelníků a korýšů. Dobře se zde také daří řadě plazů, měkkýšů, pavoukovců a hmyzu. Mezi nejvzácnější patří třeba mlok skvrnitý, čolek horský, kuňka žlutobřichá, rak kamenáč nebo stepník černoohý.

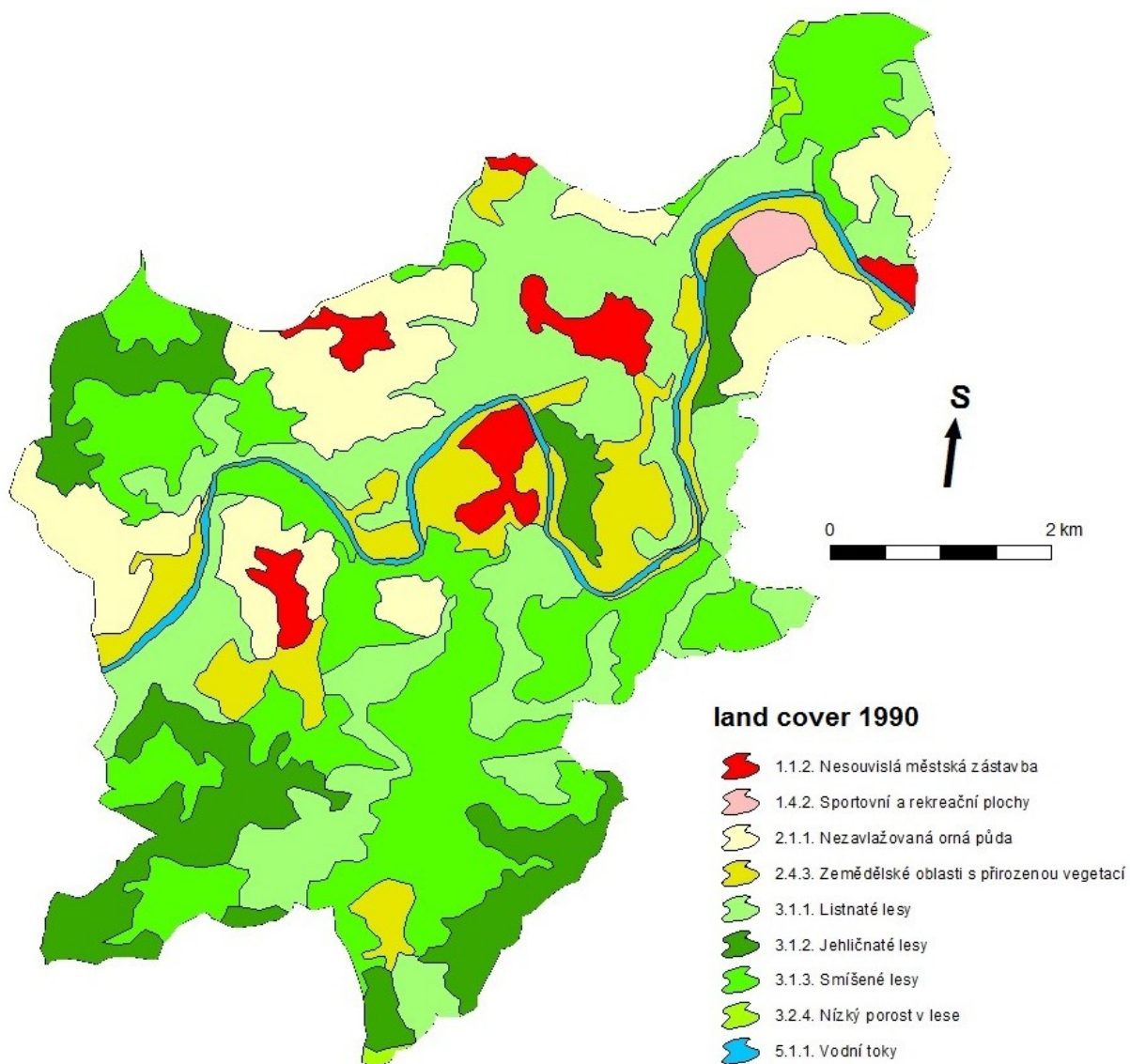
6.2.7 Charakteristika land use

Subpovodí Berounky v oblasti II. je přírodě blízkého rázu a zasahuje na území 9 obcí (ArcČR 500). Nejrozšířenějším pokryvem v oblasti jsou lesy, ať už se jedná o listnaté, smíšené či jehličnaté. Ploché části říční nivy se ovšem často využívají jako zemědělská plochy. V Tab. 15 a na Obr. 23 a 24 lze porovnat změnu land use v oblasti II. mezi roky 1990 a 2012. Skoro tři čtvrtiny rozlohy oblasti tvoří areály lesů (listnaté, jehličnaté i smíšené) a luk a pastvin s trávobylinnou vegetací. Zastavěné (nesouvislá městská zástavba) a zemědělské plochy (zemědělské oblasti s přirozenou vegetací a nezavlažovaná orná půda) zabírají čtvrtinu plochy oblasti.

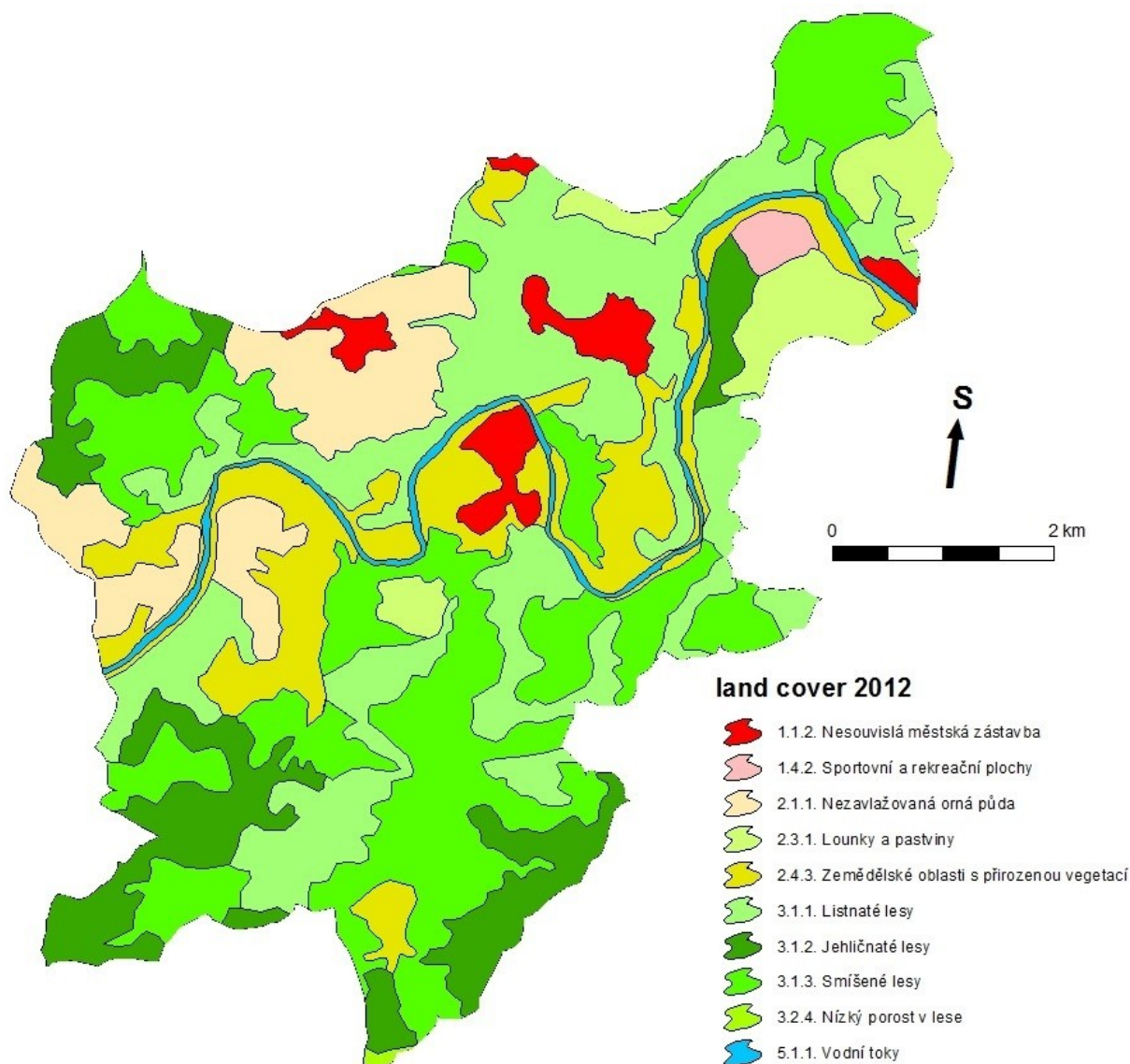
Hlavní změnou po roce 1990 je nárůst ploch luk a pastvin a zemědělských oblastí s přirozenou vegetací na úkor nezavlažovaných orných ploch. Rozloha zastavěných oblastí se za sledované období prakticky nezměnila. I přesto, že se oblast II. nachází v CHKO Křivoklátsko, je říční niva tvořena především areály zemědělských oblastí s přirozenou vegetací. Během sledovaného období dokonce došlo k přeměně smíšeného lesu na zemědělskou oblast nedaleko obce Branov. Plochy v nivě využívané k zemědělské činnosti, mají malou drsnost povrchu a malou retenční schopnost. Z hlediska zvýšení retenční kapacity oblasti by bylo vhodné tyto úseky zalesnit.

Tab. 15: Rozloha jednotlivých kategorií pokryvu v letech 1990 a 2012 (CORINE 2015)

kategorie pokryvu	rozloha v roce 1990 (km ²)	rozloha v roce 2012 (km ²)	změna plochy mezi roky 1990 a 2012 (%)
Nesouvislá městská zástavba	1,63	1,35	-0,7
Sportovní a rekreační plochy	0,30	0,30	0
Nezavlažovaná orná půda	6,04	3,68	- 5,9
Louky a pastviny	0,00	2,20	+ 5,5
Zemědělské oblasti s přirozenou vegetací	4,13	5,20	+ 2,7
Listnaté lesy	10,68	10,31	- 0,9
Jehličnaté lesy	5,48	4,89	- 1,5
Smíšené lesy	10,82	11,25	+ 1,1
Nízký porost v lese	0,14	0,05	- 0,2
Vodní toky	0,79	0,79	0



Obr. 23: Mapa land use 1990 oblasti II.
Zdroj: DIBAVOD (2015), CORINE (2015)

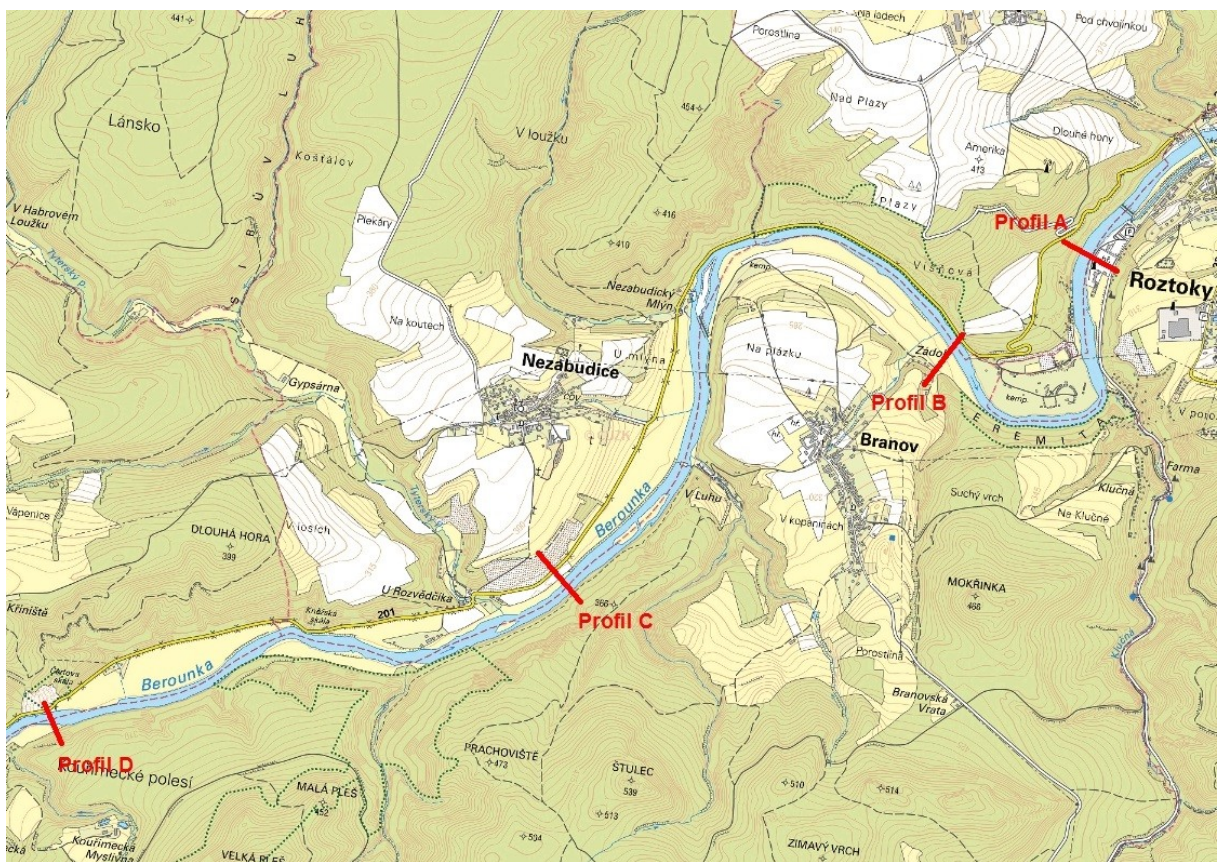


Obr. 24: Mapa land use 2012 oblasti II.
Zdroj: DIBAVOD (2015), CORINE (2015)

6.2.8 Protipovodňová opatření v zájmové oblasti II.

Vzhledem ke geomorfologii střední části toku Berounky se zdá oblast vhodná pro vytvoření retenční nádrže, která by měla sloužit jako ochrana před hydrologickými extrémami. Již v minulosti vznikaly různé návrhy a studie na tvorbu vodní přehrady na řece Berounce. První zmínka se objevuje již v roce 1911 a v průběhu 20. století vznikaly další a další návrhy na výstavbu a redukci toku v různých oblastech střední části toku. Blíže se historickým návrhům přehrad na Berounce věnuje Kramný (2002). Zatímco v minulosti měla přehrada vzniknout spíše kvůli zisku elektrické energie či splavnění toku, v současnosti se uvažuje o vzniku retenční nádrže, označované jako VD Křivoklát, za účelem ochrany před povodněmi a suchy. Nejčastěji se uvažuje o umístění přehrad do oblasti CHKO Křivoklátsko nedaleko

obce Roztoky. Návrh Povodí Vltavy uvažuje o možnosti výstavby hráze nádrže ve 4 profilech, viz Obr. 25 Profil A je situován na ř. km 63,35 a nachází se nedaleko obce Roztoky, profil B se nachází na ř. km 65,05 a leží u obce Branov, profil C je na ř. km 68,35 nedaleko obce Nezabudice a profil D je situován na ř. km 71,10 u Čertovy skály (Povodí Vltavy 2016). Lokality A, B a C mají podobný charakter kombinace prudkého svahu na jedné straně a pozvolné stoupání nivy na druhém břehu. Charakter lokalita v profilu D je odlišný. Jedná se o oboustranně úzké sevřené údolí, které je vizuálně umocněné přítomností Čertovy skály, která v podstatě zasahuje přímo do průtočného profilu Berounky (Povodí Vltavy 2016). Bližší informace o jednotlivých variantách jsou uvedeny v Tab. 16.



Obr. 25: Situace navrhovaných profilů hráží VD Křivoklát
Zdroj: Povodí Vltavy (2016), ČUZK (2015e)

Dle Povodí Vltavy (2016) by výstavbou nádrže v povodí Berounky vznikl významný retenční prvek, jenž by měl pozitivní dopad na odtokové poměry celého dolního toku Berounky a také Vltavy pod soutokem. Tab. 16 ukazuje změnu 100-letého průtoku na dolním toku Berounky po realizaci VD Křivoklát v profilu A. Modelovaný průtok by se dle Tab. 16 v oblastech položených níže na toku snížil o 64 - 74 %. Toto snížení je ovšem počítáno pro

přehradu, jejíž kapacita by byla zcela k dispozici. Ve skutečnosti by se jednalo o mnohem menší hodnoty snížení, protože by přehrada byla do určité výšky naplněna a její kapacita, by nedosahovala takových hodnot.

Tab. 16: Průběh nárůstu průtoků Q_{100} na toku dolní Berounky v profilu A (Povodí Vltavy 2016)

Staničení [ř. km]	Popis	Q_{100} současný stav [m ³ /s]	Q_{100} po realizaci VD Křivoklát [m ³ /s]
63,35	Profil hráze VD Křivoklát	1 370	369
62,40	Nad soutokem s Rakovnickým potokem	1 370	369
62,35	Zleva přítok Rakovnického potoka		
53,40	Zbečno, hlásný profil č. 198	1 440	372
34,50	Nad soutokem s Litavkou	1 460	459
34,40	Zprava přítok Litavky		
34,20	Beroun, hlásný profil č. 205	1 560	559
30,80	Zleva přítok Loděnice		
29,30	Srbsko, operativní profil	1 570	569
0,00	Ústí do Vltavy	1 580	579

Stavba VD Křivoklátsko by znamenala vytvoření kamenité, zemní, popřípadě betonové hráze o délce nejméně 220 metrů a výšce přibližně 40 metrů. Takováto stavba by výrazně narušila přírodě blízký ráz doposud zachovalé krajiny. V době povodní by měla hráz vytvářet retenční prostor s předpokládanou délkou zátopy až 36 km, končící u obce Liblín (102 ř. km). Muselo by dojít k vystěhování zhruba 130-ti trvalých obyvatel a několika stovek až tisíců přechodných obyvatel. Odstraněno by bylo přibližně 980 budov, včetně rekreačních chat a kulturních památek. Došlo by k úplnému či částečnému zatopení území 22 obcí, a zároveň k zatopení části I. zóny CHKO Křivoklátsko či národních přírodních rezervací Velká Pleš a Týřov. Z Tab. 17 lze vyčíst vyhodnocení pozitivních a negativních dopadů jednotlivých variant profilů. U jednotlivých profilů došlo k posouzení např. typu hráze, výšky hráze, délky a objemu zátopy, potenciálně dotčených obyvatel, atd. Z hlediska povodňové transformace a minimalizace škod mají všechny čtyři varianty velmi pozitivní vliv. Podobné negativní dopady mají všechny čtyři varianty v oblasti pořizovacích nákladů, ať už se týkají samotné výstavby či poplatků spojených s vystěhováním několika obcí. Z hlediska vlivu na životní prostředí jsou následky také negativní, jelikož by došlo k narušení chráněné krajinné oblasti. Při porovnání všech parametrů se ukazuje, že výstavba jakékoli varianty je nevhodná.

Podle Povodí Vltavy (2016) se nejlépe vyhovující zdá varianta s hrází v profilu D, která je nejšetnější k okolí a dochází zde k nejmenšímu rozlivu.

Problematicke VD Křivoklátsko, jednotlivým variantám umístění hrázných profilů a jejich účinkům na povodňové situace se blíže věnuje studie Povodí Vltavy (2016).

Tab. 17: Hodnocení pozitiv a negativ navrhovaných variant. Ovlivnění: zelená - pozitivní, žlutá - neutrální, oranžová - negativní, červená - velmi negativní (Povodí Vltavy 2016)

Hodnocené kritérium	Varianta			
	Profil A	Profil B	Profil C	Profil D
transformace průtoků do Q_{100} na max. Q_2	ano	ano	ano	ano
vliv VD na zamězení povodň. škod pod hrází	velmi pozitivní	velmi pozitivní	velmi pozitivní	velmi pozitivní
počet ocháněných obyvatel	3 326	3 324	3 320	3 319
vliv VD na vznik povodň. škod nad hrází	velmi negativní	velmi negativní	velmi negativní	velmi negativní
počet trvale bydlicích obyvatel v zátopě	77	76	90	133
odhad IN pro stavbu hráze	3 404,8 mil. Kč	2 977,5 mil. Kč	3 214,5 mil. Kč	2 891,5 mil. Kč
odhad IN v zátopě	1632,0 mil. Kč	1627,1 mil. Kč	1622,56 mil. Kč	1590,4 mil. Kč
výška / objem hráze	39,5m / 545 000m ³	38,45m / 806 000m ³	44,1m / 231 500m ³	45,65m / 135 500m ³
délka / plocha zátopy při $Q_{1.000}$	38,3km / 10 669 294m ²	38,0km / 10 618 259m ²	37,45km / 10 588 786m ²	37,9km / 10 378 969m ²
kóta hladiny / objem zátopy při $Q_{1.000}$	271,55 / 140 189 330m ³	272,66 / 139 550 230m ³	275,14 / 139 794 777m ³	277,54 / 139 617 060m ³
vliv na životní prostředí	velmi negativní	velmi negativní	velmi negativní	velmi negativní
zásah do území ochrany přírody	významný	významný	významný	významný
migrační prostupnost pro vodní živočichy	ano	ano	ano	ano
vliv na turistiku a vodní turistiku	velmi negativní	velmi negativní	velmi negativní	velmi negativní
vliv na sjízdnost / splavnost řeky	neutrální	neutrální	neutrální	neutrální
vliv na památkové hodnoty	velmi negativní	velmi negativní	velmi negativní	velmi negativní
počet památek NPÚ v zátopě	5	5	5	5

6.3. Hydrologické poměry a sezonalita povodní Berounky

Tato kapitola se věnuje zhodnocení odtokového režimu a sezonalitě povodní Berounky. K vyhodnocení byla použita dat poskytnuta ČHMÚ (2015b) za období 1951 - 2014 z měrného profilu Beroun (32,4 ř. km). Tento profil je zvolen jako reprezentativní pro obě zájmové oblasti na řece Berounce z hlediska polohy na toku a taky délky měření.

6.3.1 Hydrologické poměry zájmových oblastí

Monitoring vodních stavů Berounky probíhá na několika místech toku. Od soutoku zdrojnic v Plzni až po soutok Berounky a Vltavy v Praze se na toku nachází 6 měrných profilů. Prvním měřeným místem od soutoku zdrojnic je profil Plzeň - Bílá Hora (136,9 ř. km), který je v provozu od roku 1930. Za soutokem Berounky a Střely se nachází profil Liblín (101,3 ř. km), který monitoruje vodní stavy na Berounce od roku 1994. V CHKO Křivoklátsko za soutokem Berounky a Klíčavy se nachází měrný profil Zbečno (53,4 ř. km), který funguje od roku 1981. Nejdlejší monitoring vodních stavů na toku probíhá v profilu Beroun (34,2 ř. km), který je v provozu od roku 1911. Nejnověji se měří vodní stavy

na toku v měrných profilech Srbsko (29,3 ř. km) a Praha - Radotín (3,3 ř. km), které byly uvedeny do provozu po povodni v roce 2002. Všechny měrné profily jsou ve správě ČHMÚ, pouze profil Praha - Radotín je ve správě obce Radotín.

Míra variability průtoků byla vyhodnocena na základě dat z měrného profilu Beroun, která byla zakoupena z ČHMÚ (2015b). Data odpovídají sledovanému období 1951 - 2014. Dlouhodobý průměrný průtok na stanici činí $36,4 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (ČHMÚ 2015b). Průměrné roční hodnoty pro povodí Berounky (ČHMÚ 2015):

Srážky $H_s = 607 \text{ mm}$

Odtok: $H_o = 129 \text{ mm}$

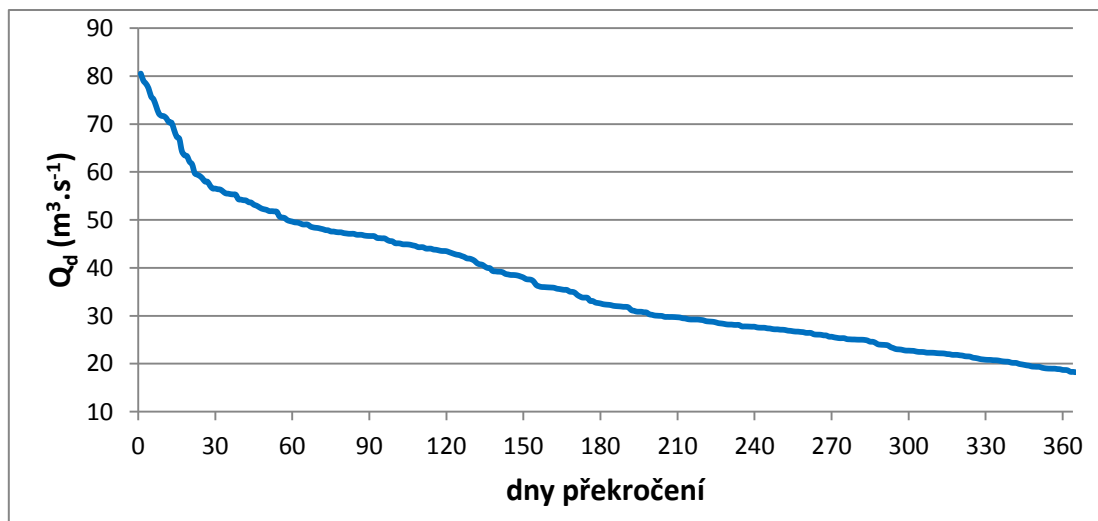
Odtokový součinitel: $c = 0,21$

Specifický odtok: $q = 4,11 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$

Variabilita denních průtoků za období 1951 – 2014 z profilu Beroun je vyhodnocena za pomoci variačního koeficientu, který se počítá jako podíl mezi směrodatnou odchylkou denních průtoků a dlouhodobým průměrným průtokem. Variační koeficient dosahuje hodnoty 1,2, což značí velmi vysokou variabilitu průtoků. Variabilitu průtoků dále hodnotí čára překročení průměrných M-denních průtoků, která je zobrazena na Obr. 26. Z obrázku lze vyčíst, že průměrný roční průtok ($36,4 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) je překročen přibližně za 175 dní v roce. M-denní průtoky za období 1951 - 2014 jsou také uvedeny v Tab. 18.

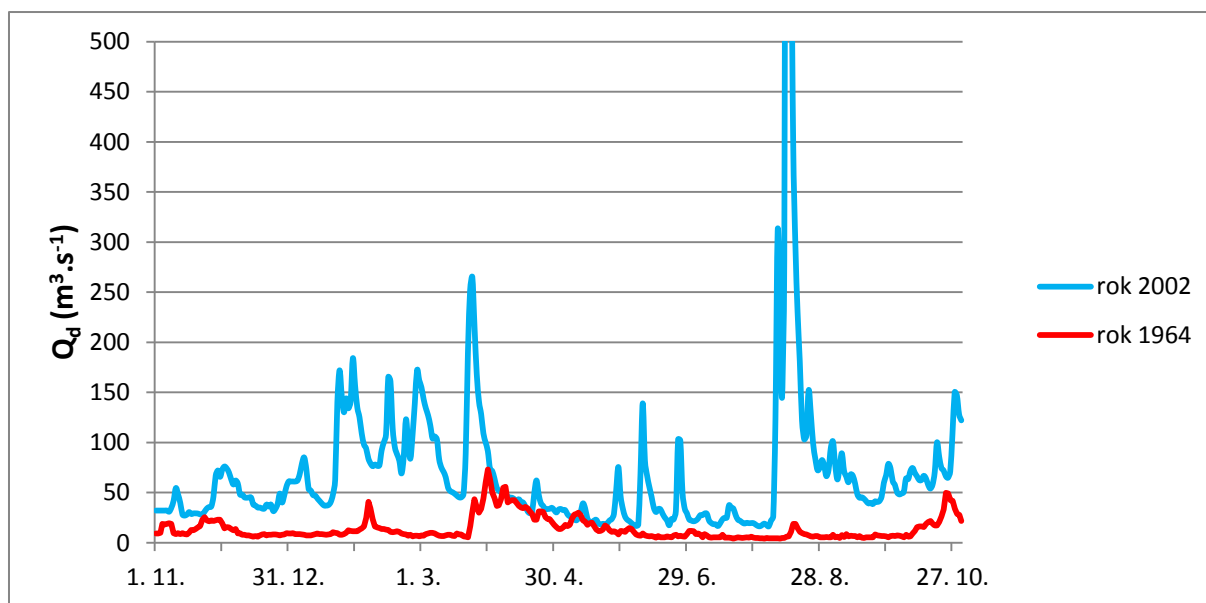
Tab. 18: M-denní průtoky v období 1951-2014 v měrném profilu Beroun (ČHMÚ 2015)

M-dny	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	364
$Q (\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1})$	66.92	53.09	47.82	44.84	40.40	35.13	30.92	28.56	26.70	24.30	21.88	19.56



Obr. 26: Křivka překročení průměrných M-denních průtoků v profilu Beroun (1951 – 2014)
Zdroj: ČHMÚ (2015)

Na Obr. 27 je znázorněna variabilita M-denních průtoků nejvodnatějším roce 2002 a nejsušším roce 1964. V roce 2002 je vidět obrovská variabilita průtoků a to především od konce ledna do začátku dubna a od začátku srpna až do konce října. Abnormální denní průtoky v období srpna jsou následkem povodní, kdy denní průtoky v profilu Beroun dosahovali hodnoty až $1680 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Při porovnání obou let je patrný výrazný rozdíl vodnosti. Výjimku tvoří období mezi začátkem dubna a koncem května, kdy jsou denní průtoky velmi podobné.



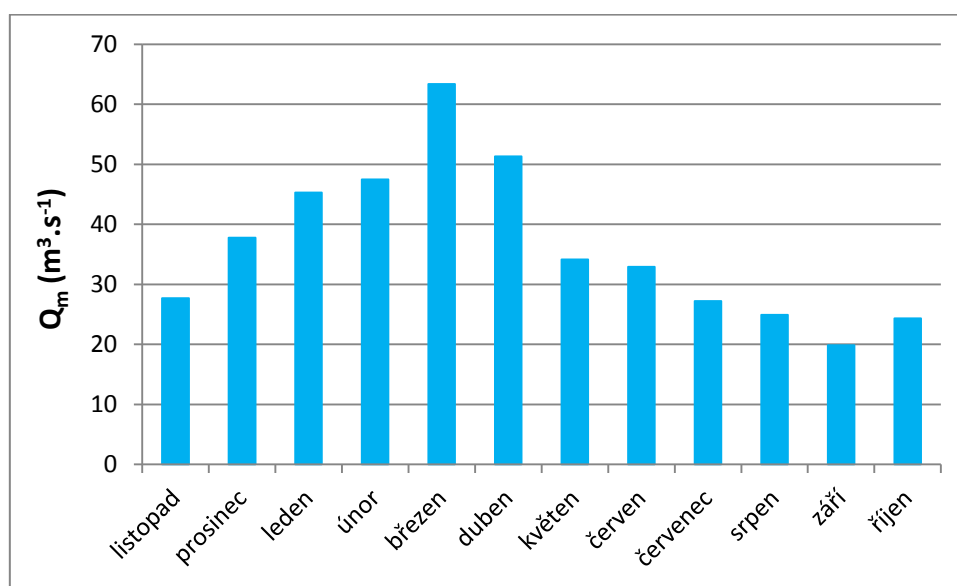
Obr. 27: Variabilita M-denních průtoků v roce 1964 a 2002 v měrném profilu Beroun
Zdroj: ČHMÚ (2015)

Variabilita měsíčních průtoků je vyhodnocena za pomoci variačního koeficientu a K_r koeficientu. Variační koeficient průměrných měsíčních průtoků dosahuje hodnoty 0,36. Koeficient K_r získáme:

$$K_r = \frac{\sum |(p_i - 8,3)|}{8,3}$$

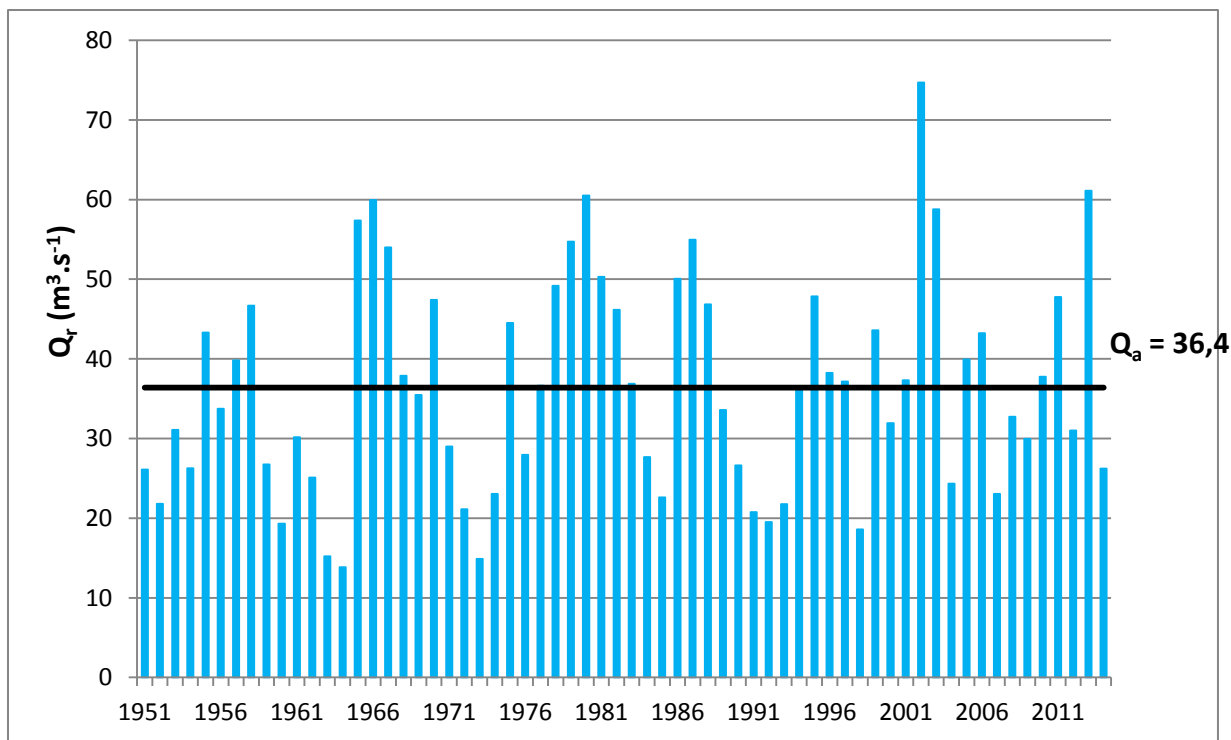
Kde p_i je procentuální podíl každého z měsíců na ročním odtoku. Hodnota 8,3 značí průměrný podíl každého z měsíců ($100/12 = 8,3$). Koeficient K_r dosahuje hodnot od 0 do 22, a čím blíže je 0, tím je průtok vyrovnanější. K_r pro profil Beroun dosahuje hodnoty 3,49, což značí relativně vyrovnaný odtok.

Na Obr. 28 jsou patrné průměrné měsíční průtoky za období 1951 - 2014. Největších průtoků je dosahováno v jarních měsících, a to v březnu ($63,4 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) a dubnu ($51,3 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$). Naopak nejnižších průtoků je dosaženo na podzim, a to především v září ($19,8 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$).



Obr. 28: Průměrné měsíční průtoky v profilu Beroun (1951 – 2014)
Zdroj: ČHMÚ (2015)

Na Obr. 29 jsou znázorněny průměrné roční průtoky za celé sledované období (1951 - 2014) doplněny čarou průměrného dlouhodobého ročního průtoky za sledované období. Průměrný dlouhodobý roční průtok má hodnotu $36,4 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Z obrázku vyplývají nejvodnatější roky - 1966, 1981, 2002 ($74,7 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$), 2003 a 2013. V těchto letech se v povodí vyskytovaly povodňové stavy. Zároveň jsou patrné i suché roky - 1963, 1964 ($13,9 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$), 1973 a 1998, kdy povodí zasaženo nedostatkem vody.



Obr. 29: Průměrné roční průtoky v profilu Beroun (1951 – 2014)
Zdroj: ČHMÚ (2015)

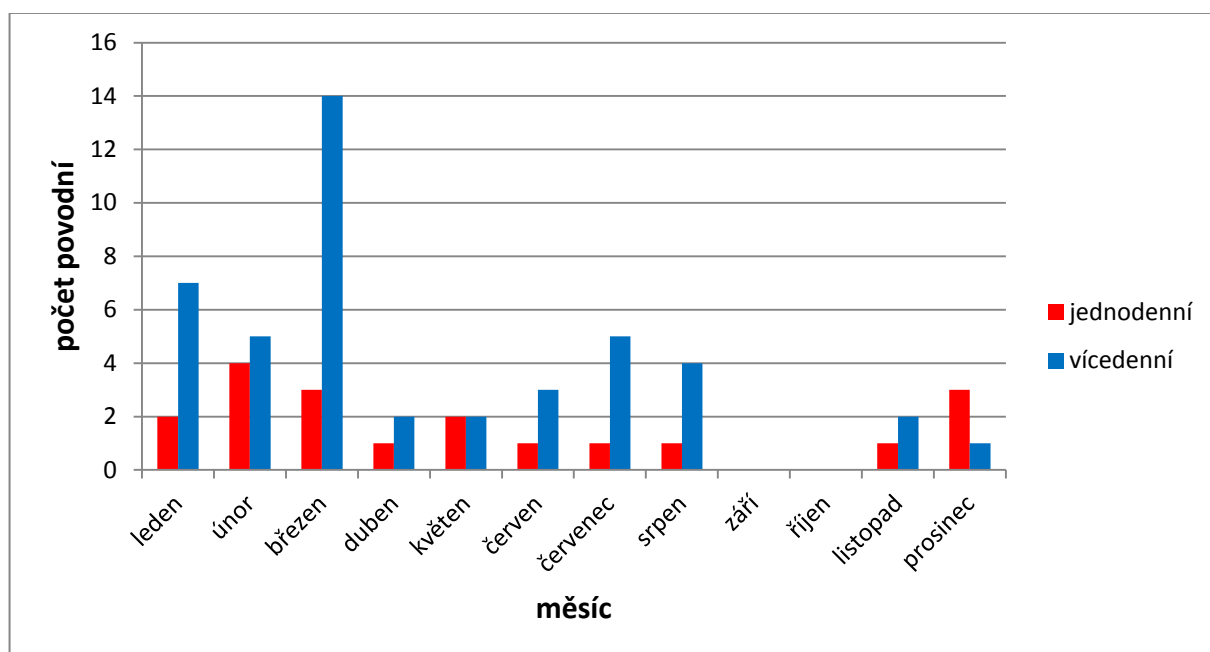
6.3.2 Sezonalita povodňových řek Berounky

Povodňové situace mohou nastávat v průběhu celého roku. Můžeme je rozdělit v rámci výskytu v daném ročním období na jarní, letní, podzimní a zimní povodně. V České republice se vyskytují převážně jarní povodně vzniklé táním sněhové pokrývky a dále pak letní povodně vzniklé přívalovými dešti. Často se mohou objevovat i zimní povodně, které nejčastěji vznikají nadržением ledových bariér v korytě. Led v korytě zapříčiní vzduť hladiny řeky, která se následně vybřeží do inundace.

Pro zjištění sezonality povodňových řek byla opět využita data z měrného profilu Beroun za období 1951 - 2014 (ČHMÚ 2015). Pro určení výskytu povodňových situací v rámci roku je nutné nejprve stanovit mezní hodnotu průtoku, která určuje povodňový stav v rámci měrného profilu. Mezní hodnota byla vypočítána dle Smith a Ward (1998). Nejprve stanovíme podíl maximálního ročního průtoku za sledované období a průměru maximálních ročních průtoků. Mezní hodnota je pak určena součinem podílu maximálních průtoků a průměrným dlouhodobým ročním průtokem. Pro měrný profil Beroun dosahuje mezní hodnota průtoků hodnoty $204.83 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Dalším krokem pro zjištění sezonality je výběr denních průtoků překračujících mezní hodnotu za celé sledované období. Tento výběr nám určí konkrétní povodňové situace, které můžeme rozdělit na jednodenní a vícedenní.

U vícedenních povodní určíme den kulminačního průtoku, který danou povodňovou situaci reprezentuje.

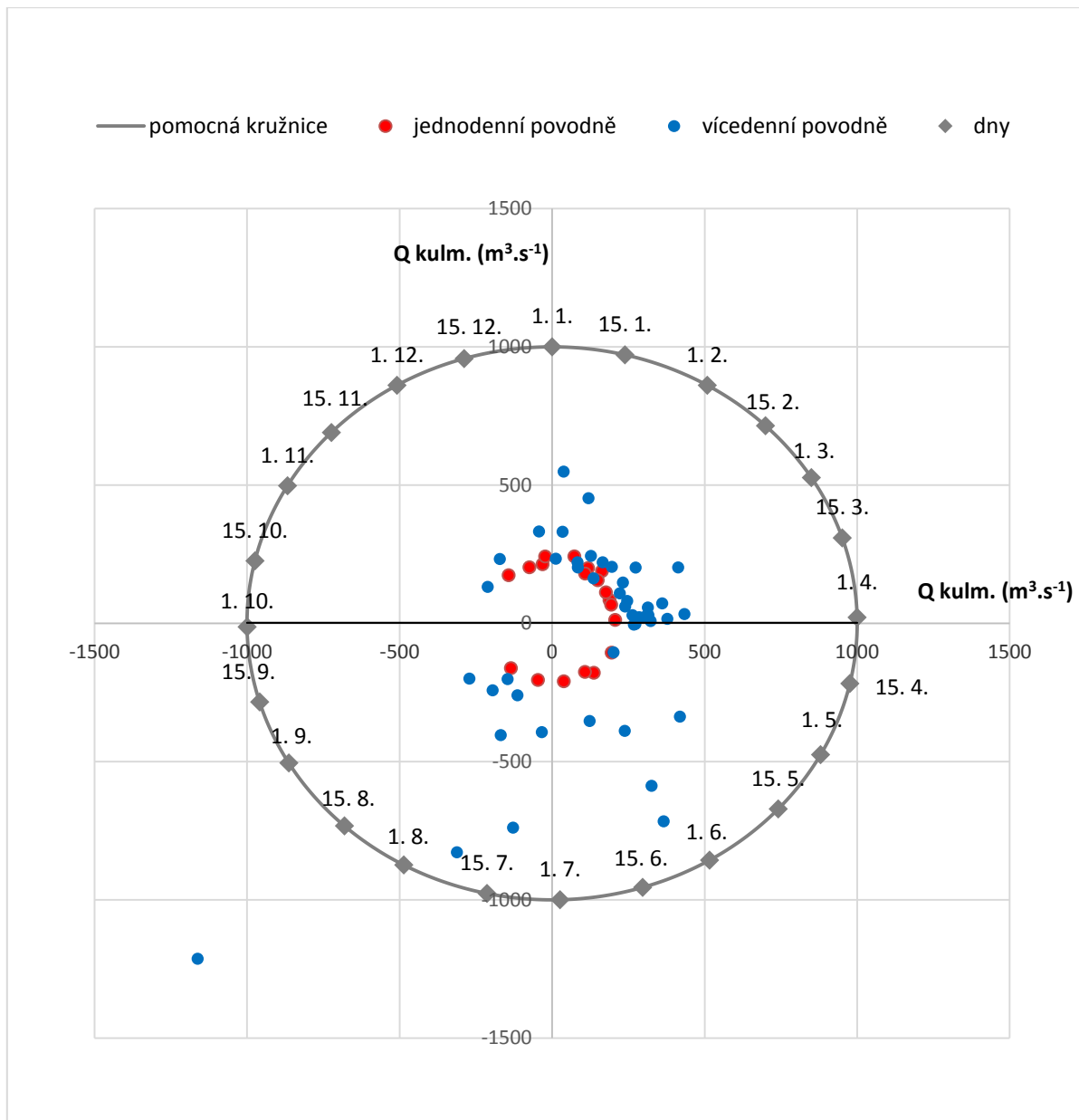
Na Obr. 30 je vidět rozvržení jednodenních a vícedenních povodňových stavů v rámci roku. Výskyt jednodenních povodní za sledované období není tak častý jako vícedenních. Jednodenní povodně se nejčastěji vyskytují od prosince do března. Vícedenní povodně se nejčastěji vyskytují v březnu, což je následkem tání sněhu. Z obrázku taky jasně vyplývá, že během podzimu dochází jen výjimečně k povodňovým situacím. Během sledovaného období se v měsících září a říjen nevyskytly žádné jednodenní či vícedenní povodně.



Obr. 30: Výskyt povodní v rámci roku v měrném profilu Beroun (1951 – 2014)
Zdroj: ČHMÚ (2015)

Na Obr. 31 je znázorněna sezonalita povodní s kulminačními průtoky za sledované období. Jednodenní povodně vykazují částečnou sezonalitu, a to právě od druhé poloviny ledna do konce března. Nejvyšší průtoky jednodenních povodní se pohybují kolem $220 - 250 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Největší výskyt vícedenních povodňových událostí se pohybuje mezi začátkem ledna a začátkem dubna. Hlavní zdrojem vodnosti jsou sněhové a dešťové srážky v zimních měsících a tání sněhu v jarních měsících. Tání sněhu je často doprovázeno dešťovými srážkami. Častý je také výskyt povodní v letním období, kde zdrojem vodnosti jsou přívalové a dlouhotrvající letní srážky. Hodnoty kulminačních průtoků nedosahují u zimních a jarních povodní takových hodnot jako u letních povodní. Nejvyšší průtoky při zimních a jarních povodní se pohybují kolem $500 - 550 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Nejvyšší průtok v letním období byl dosažen při

srpnové povodni 2002 a měl hodnotu $1680 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Z obrázku je patrné, že od začátku září až do konce října se v oblasti nevyskytovaly žádné povodňové stavy.



Obr. 31: Sezonalita povodní řeky Berounky v měrném profilu Beroun (1951 – 2014)
Zdroj: ČHMÚ (2015)

7. Výsledky

V následujících kapitolách jsou popsány výsledky hydromorfologického průzkumu pomocí metodiky HEM (Langhammer, Hartvich 2014), výpočtu pasivního retenčního objemu a transformace povodňové vlny v 1D modelu v obou zájmových oblastech. Výsledky hydromorfologického průzkumu jsou využity jako vstupní data pro analýzu transformace

povodňové vlny a nalezení úseků vhodných pro návrh přírodě blízkých retenčních opatření v zájmových oblastech. Hlavní pozornost je tedy kladena na antropogenní modifikaci příbřežní zóny a inundačního území a následně pak na šířku, délku, členitost a land use říční nivy.

7.1. Výsledky HEM

Výsledky hydroekologického monitoringu toku jsou vyhodnoceny u každé zájmové oblasti zvláště pro koryto a trasu toku, příbřežní zónu, nivu. Pro obě oblasti je na konci vyhodnocen celkový hydromorfologický stav toku. Rozdělení jednotlivých úseků hodnocených pomocí HEM je uvedeno v kapitole 5.2.1 v Tab. 1 pro zájmovou oblast I. a v Tab. 2 pro zájmovou oblast II. Hodnocení oblasti I. proběhlo na konci srpna 2014, oblasti II. na konci července 2013. Obrázky dokládající hydromorfologický stav oblastí byly pořízeny během terénního průzkumu.

7.1.1 Koryto a trasa toku, oblast I.

Úseky v dolní části toku, BER001 - BER005, jsou hodnoceny třetím stupněm hydrofomorfologické kvality. Dno koryta v úsecích vykazuje známky úprav. K těmto úpravám dochází především po povodních, kdy je zde koryto pravidelně vybagrováno. Dnový substrát tvoří převážně písek, štěrk a kameny. V úsecích se nevyskytují žádné podélné překážky, které by uměle vzdouvaly hladinu a omezovaly průchodnost koryta. Variabilita šířek koryta je zde velmi malá a průměrná šířka je 65 m. Vzhledem k šířce a hloubce toku se v korytě nevytvářejí žádné lavice či ostrovy. V úsecích BER001 a BER002 došlo k prohloubení a napřímení koryta z důvodu lodní dopravy. Tato úprava koryta má za následek snížení variability hloubek jak v podélném, tak i v příčném profilu koryta a ovlivňuje charakter proudění.

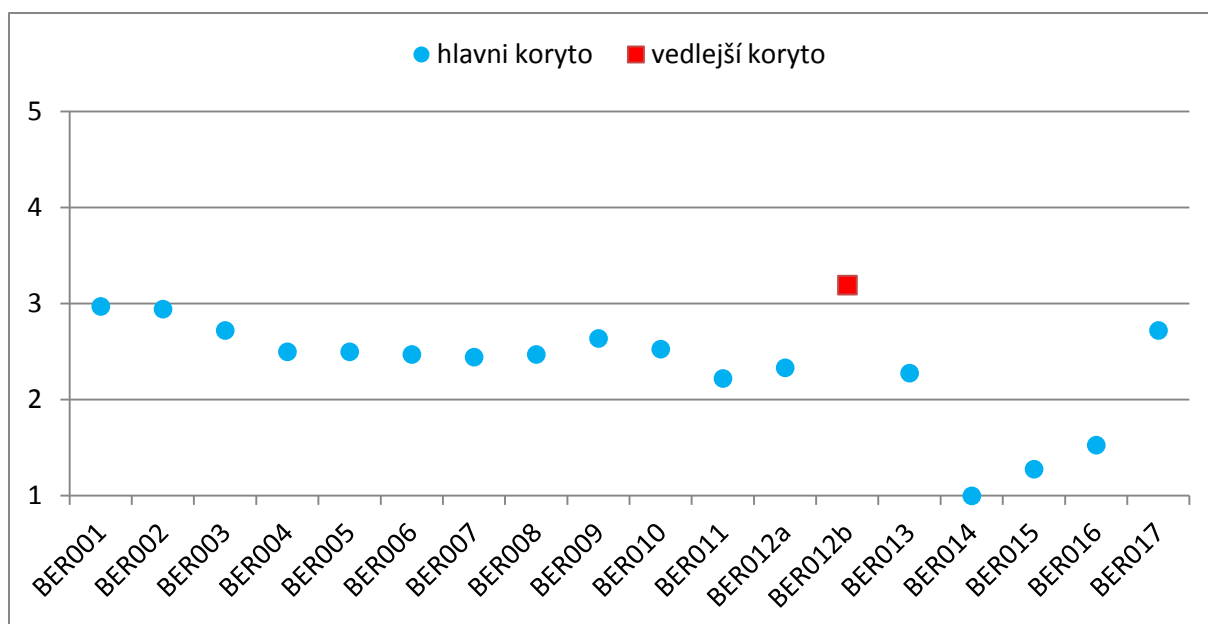
U úseků střední části oblasti, BER006 - BER010, má trasa toku tvar zákrutů, které ovšem nesou mírné známky napřímení. Hydromorfologická kvalita u úseků dosahuje převážně třetího stupně kvality. Hloubka v korytě dosahuje jak v příčném, tak ale i v podélném profilu větší variability. Na vnitřní straně zákrutů se mohou vytvářet menší štěrkové lavice a ostrovy s tůněmi a mělčinami. Variabilita šířek koryta je podstatně větší než v dolní části. Na konci úseku BER006 se nachází uměle vytvořený brod, který mění charakter proudění a částečně omezuje průchodnost koryta. Dnový substrát tvoří opět převážně písek, štěrk a kameny.

V horní část oblasti I. se úseky nachází v Černošickém meandru, BER011 -BER017. Úseky zde většinou dosahují prvního a druhého stupně kvality. Výjimku tvoří pouze úsek BER017, který se nachází ještě před Černošickým meandrem. Tento úsek dosahuje třetího stupně kvality. Variabilita šířek koryta je v úsecích vysoká, zatím co variabilita zahloubení koryta v podélném profilu je menší. Dno je převážně bez úprav a tvoří ho kamenný, balvanový a štěrkový substrát. Na vnitřní straně meandru se mohou opět vytvářet štěrkové lavice, především při korytových vod, viz Obr. 32 vlevo. Při vyšších vodních stavech se mohou na vnější straně meandru vytvářet břehové nátrže. Břehové nátrže nedosahují velkých rozsahů vlivem podloží, které je v těchto místech tvořeno skálou a balvany. V úsecích BER011 a BER016 se vyskytují příčné překážky v podobě jezů, které snižují migrační a sedimentační průchodnost koryta, viz Obr. 32 vpravo. V této části toku se také nachází jedno vedlejší koryto označené jako BER012b, které vykazuje jasné známky umělých úprav a dosahuje třetího stupně kvality.



Obr. 32: Vlevo - štěrkové lavice (BER014)), vpravo - příčná překážka v podobě jezů (BER016)

Celkově dosahuje celá oblast I. v zóně koryta a trasy toku druhého hydromorfologického stupně kvality. Mapa vyhodnocení kvality se nalézá v Příloze č. 6. Na Obr. 33 je zobrazena kvalita v jednotlivých úsecích od dolní po horní část oblasti. Nejlepších hodnot dosahují úseky BER014, BER015 a BER016, které se nachází v místě Černošického meandru. Nejhorších výsledků dosahují úseky BER001 - BER010 a také úsek BER017, který se nachází před Černošickým meandrem. Samostatně je vyobrazeno vedlejší koryto, BER012b, které dosahuje třetího stupně kvality v celé oblasti.



Obr. 33: Vývoj kvality zóny koryta a trasy toku v podélném profilu v oblasti I.

7.1.2 Břeh a příbřežní zóna, oblast I.

HEM břehu a příbřežní zóny se hodnotí pomocí 3 parametrů uvedených v kapitole 5.2.2. Příbřežní zóna v zájmové oblasti I. dosahuje zpravidla až 50 m. Velká část úseků se nachází v blízkosti intravilánů, popřípadě jejich okolí bylo různě modifikováno. Dolní část toku, BER001 - BER005, dosahuje převážně pátého stupně hydromorfologické kvality. Břehy jsou uměle navýšeny místy až o 2 m a jsou zpevněny převážně betonem, kamennou dlažbou a vegetačním opevněním v podobě zatravnění viz Obr. 34 vlevo. Toto navýšení břehů sťažuje přirozené vylití vody z koryta do nivy při povodňových stavech a omezuje retenční schopnost nivy při malých povodních. Břehovou vegetaci tvoří hlavně trávy a byliny přerušované místy bez vegetace. Trávobylinná vegetace je ojediněle doplněna liniovou stromovou vegetací tvořenou topoly, lískami a vrby. Příbřežní zóna je využita převážně jako intravilán, zemědělská plocha či louka.

Střední část oblasti, BER006 - BER011, je na tom lépe než dolní část. Dosahuje čtvrtého stupně kvality až na úseky BER010 a BER011. Tyto úseky dosahují pátého stupně, jelikož břehy jsou opevněny a navýšeny a příbřežní zóna leží na obou stranách v intravilánu. Zbylé úseky ve střední části mají přírodnější charakter. Břehy jsou zatravněny a místy navýšeny. Zatravnění doplňuje liniová vegetace tvořená opět topoly, lískami, vrby a dále pak habřinami a břízy. Příbřežní zónu tvoří především zemědělské plochy a louky. V úseku BER008 se nachází i plochy ponechané přirozenému vývoji, které zvyšují drsnost povrchu a zpomalují povodňové vody, viz Obr. 34 vpravo. V plochách ponechaných přirozenému

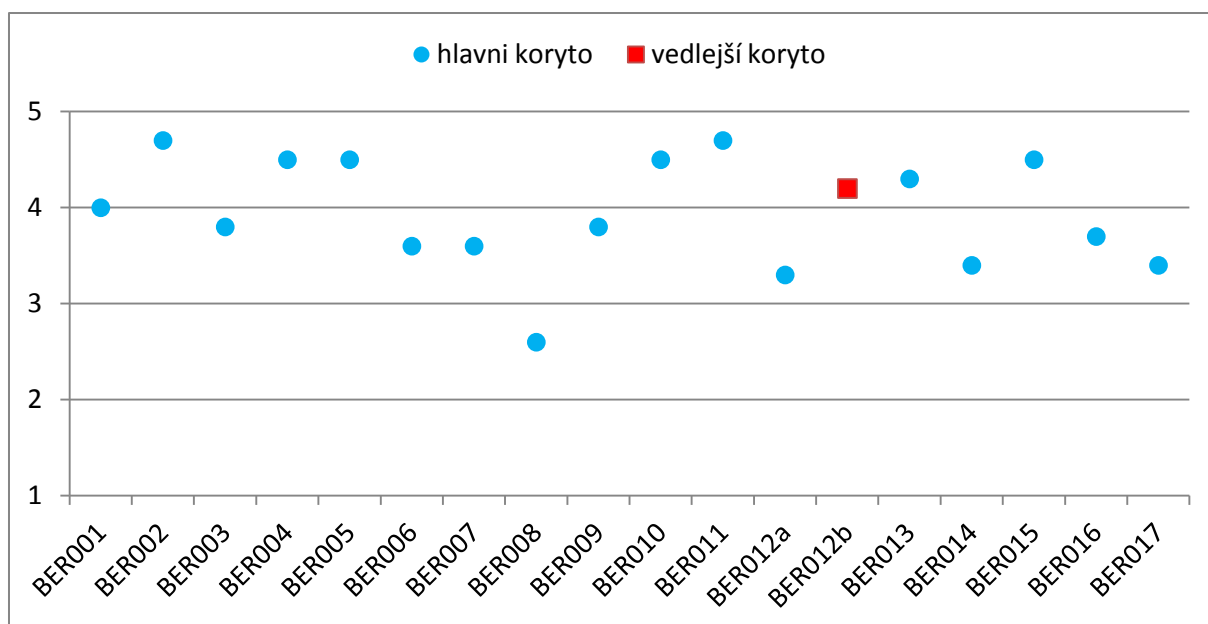
vývoji se vytváří tůňe a ostrovy, které kromě protipovodňové funkce zvyšují i biodiverzitu oblasti.

Horní část oblasti, BER012 - BER017, dosahuje třetího a čtvrtého stupně kvality. Pouze v úseku BER015 je zaznamenán pátý stupeň hydromorfologické kvality. To vyplývá z většího navýšení a zpevnění břehu než tomu je u ostatních úseků v této části. Všechny úseky se nacházejí především na levém břehu v zastavěném území. Naopak na pravý břeh je využito různorodě. Kromě roztroušené zástavby (BER012, BER013 a BER017) se zde nachází les se skalním podložím (BER014) a zemědělské plochy s loukami (BER015 a BER017). Břehy jsou zpevněny a navýšeny pouze v intravilánech a jedná se o zpevnění vegetací. Kromě lesního porostu v úseku BER014 tvoří břehy trávobylinná vegetace a liniová vegetace opět tvořená topoly, lískami, vrbinami, habřinami a břízy.



Obr. 34: Vlevo- zvýšený a zpevněný břeh (BER003), vpravo - pestrá vegetace v příbřežní zóně (BER008)

Celkově dosahuje celá oblast I. v břehové a příbřežní zóně čtvrtého stupně hydromorfologické kvality. Graficky jsou výsledky kvality znázorněny v Příloze č. 7. Na Obr. 35 je vidět celkově špatný stav kvality v jednotlivých úsecích od dolní po horní část oblasti. Jednoznačně nejlépe je na tom úsek BER008, ve které se nachází plocha ponechaná přirozenému vývoji. Z hlediska retenční schopnosti tato plocha zadržuje a zpomaluje povodňové vody. Ale z hlediska celé zájmové oblasti I. je to zanedbatelný retenční prostor. Bylo by vhodné ponechat břehům více volnosti a umožnit tak vybřežení toku i při menších povodňových stavech, především v místech mimo intravilán. Nejhorších výsledků dosahují úseky BER002, BER004, BER005, BER010, BER011 a BER015, které jsou přímo ovlivněny zástavbou a břehy zde jsou navýšeny a opevněny. Opět je samostatně zobrazeno vedlejší koryto označeno jako BER012b.



Obr. 35: Vývoj kvality příbřežní zóny v podélném profilu v oblasti I.

7.1.3 Inundační území, oblast I.

Z hlediska povodňových extrémů je hydromorfologická kvalita inundační zóny velmi důležitá. Jednotlivé parametry ovlivňují retenční funkčnost nivy a schopnost tranfosformace povodňové vlny. Dolní část oblasti I., BER001 - BER005, dosahuje čtvrtého a pátého stupně kvality. Šířka nivy zde dosahuje až k 1 200 m na obě strany, což představuje značný prostor pro retenci vody. Břehy jsou v těchto úsecích stabilní bez nátrží a fluvialních akumulací. Vzhledem k jejich zpevnění není toku umožněna migrace po inundaci. Na Obr. 36 vlevo je patrné zpevnění břehu betonovou zdí v úseku BER002, která stabilizuje břeh u Radotínského přístavu. Inundační zónu tvoří hlavně intravilán a zemědělská plocha doplněná loukami. Toto využití nivy značí její malou drsnost a povodňová voda tak velmi rychle odtéká z oblasti. V této části procházejí napříč celou nivou dvě příčné stavby v podobě silničních mostů - Radotínský a Lahovický most. Zároveň jsou v levé části nivy přítomné liniové stavby vedené paralelně s korytem, které představuje především městská zástavba, areál starých skleníků a silniční komunikace. Silniční komunikace paralelní s korytem se nachází v pravé části nivy.

Ve střední část oblasti, BER006 - BER010, je dosaženo čtvrtého stupně kvality. Variabilita šířek nivy je v těchto úsecích značná. Minimální délka dosahuje 150 m a maximální až 2 000 m. Břehy nejsou tak výrazně stabilní a na vnější straně zákrutů se mohou tvořit i nátrže větší než 5 m. Naopak na vnitřní straně zákrutů se mohou ukládat fluvialní akumulace větší jak 100 m². I přes menší stabilizaci břehů koryto nijak výrazně nemigruje v rámci nivy. Inundační území je využito hlavně jako zemědělská plocha a louka,

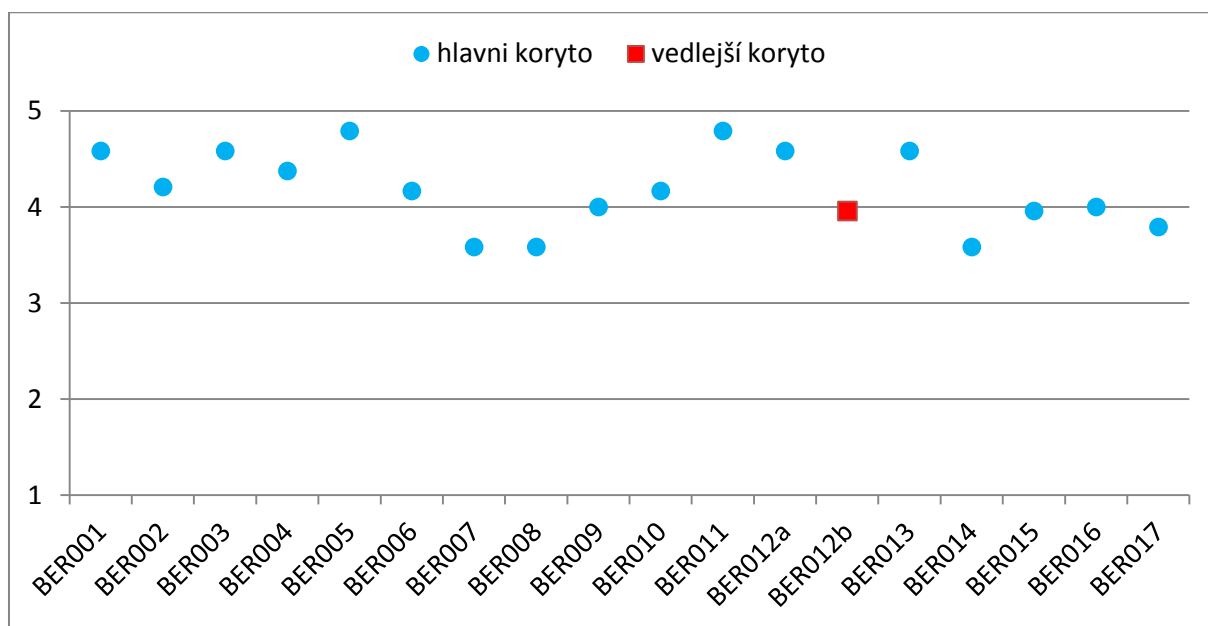
což opět značí minimální drsnost povrchu. Výrazné příčné překážky se v nivě nenachází. Paralelně s korytem se jen místy nachází roztroušená zástavba. Podél koryta jsou na obou stranách nivy silniční komunikace, které leží v minimální vzdálenosti od koryta 100 m na levém břehu a 500 m na pravém břehu.

Horní část oblasti, BER011 - BER017, je vyhodnocena čtvrtým a pátým stupněm kvality. Pátý stupeň se vyskytuje u úseků BER011, BER012 a BER013. Tyto úseky se nachází v Černošicích a niva je využita především po obou stranách jako zástavba. Břehy jsou stabilizovány, tak aby zde nevznikali velké nátrže a akumulace. V levé části nivy vede paralelně s korytem zástavba a v pravé části se nachází roztroušená zástavba. Úseky BER014 - BER017 dosahují čtvrtého hydromorfologického stupně. Oproti předchozím úsekům z horní části oblasti I. je niva využita jako zástavba pouze na jedné straně. Druhá strana inundačního území je využita jako zemědělská oblast, louka či les se skalnatým podložím. Úseky se nachází v místě Černošického meandru a údolní niva je značně asymetrická. Pravá část nivy je široká a postupně se zvedá, zatímco levá část nivy je krátká a strmě stoupá. Na začátku úseku BER014 je niva na pravé straně prakticky nulová, jelikož přímo od břehů se zvedají svahy přírodního parku Hřebený, viz Obr 36 vpravo. Výraznou příčnou i podélnou překážkou v nivě je železniční most, který vede podél všech úseků v této části. Most vytváří příčnou překážku v úseku BER016, která omezuje rozliv povodňových vod a zpomaluje odtok z oblasti.



Obr. 36: vlevo- zpevnění břehu betonovou zdí (BER002), vpravo – prakticky nulová niva na levém břehu (BER014)

Zájmová oblast I. celkově nabývá v inundační zóně čtvrtého stupně hydromorfologické kvality. Hlavní vliv na negativní hodnocení má část nivy, která se nachází převážně v intravilánu a korytu zde není umožněna boční migrace v inundačním území. Zástavba a zemědělská plocha představuje víc jak 70 % využití plochy nivy. Mapa výsledků je uvedena v Příloze č. 8. Na Obr. 37 je znázorněna kvalita v jednotlivých úsecích od dolní po horní část oblasti. Nejhorších výsledků dosahují úseky BER001 - BER005 a úseky BER011 – BER013, které dosahují především pátého stupně kvality. Nejlépe jsou na tom úseky BER007, BER008 a BER014, kde jsou břehy nezpevněny a v případě povodňových stavů může dojít k volnému vybřežení do inundačního území. Land use inundačního území, je důležité z hlediska drsnosti povrchu, který zpomaluje a zadržuje povodňové vody. V zájmové oblasti I. je niva výrazně široká, až 1 200 m po obou stranách, a inundační území tak představuje poměrně rozsáhlý prostor, který by mohl být využit pro snížení negativních dopadů hydrologických extrémů. Úsek BER012b je tvořen vedlejším korytem, které je zobrazeno samostatně.

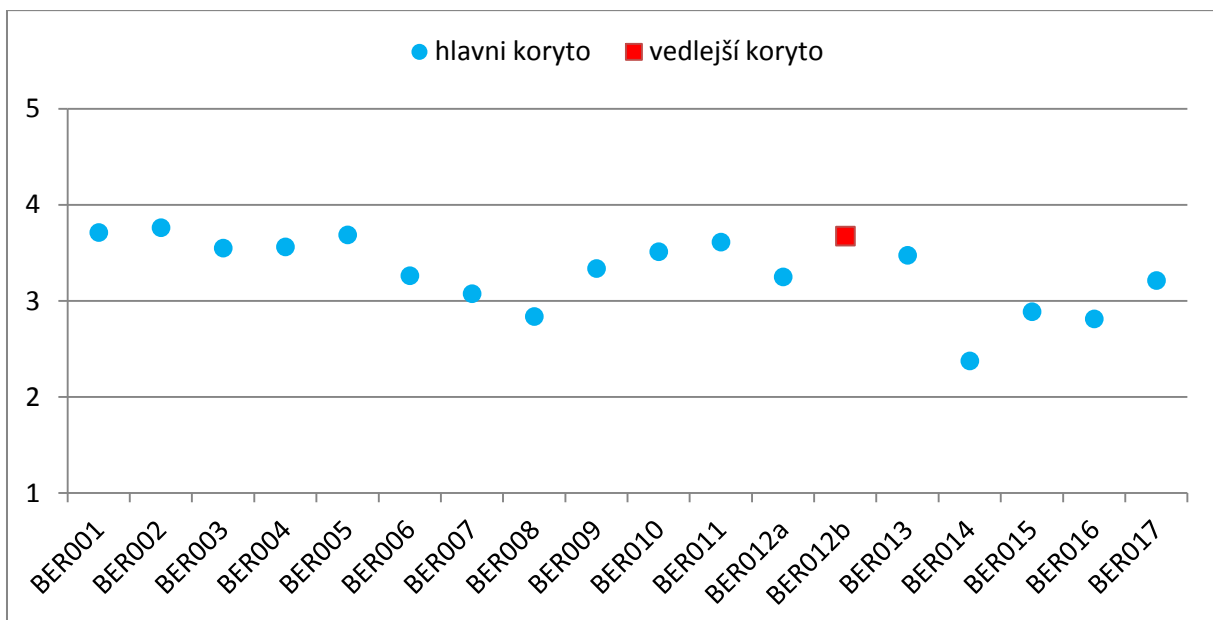


Obr 37: Vývoj kvality inundačního území v podélném profilu v oblasti I.

7.1.4 Celkový hydromorfologický stav, oblast I.

Celkový hydromorfologický stav zájmové oblasti I. je klasifikován čtvrtým stupněm kvality. Variabilita hloubek v příčném profilu je poměrně vysoká. Dno je až na výjimky, v místech jezů (BER011 a BER016), bez známek úprav a tvoří ho převážně písčité a šterkovité substrát. V úsecích BER011 - BER017, Černošický meandr, se objevuje také

kamenitý a balvanovitý substrát. Naopak v úsecích BER001 – BER005 se může vyskytovat i prachový a bahnitý substrát. Proudění je spíše klouzavého a slapového charakteru, s občasnými tůněmi. Podélná průchodnost koryta je narušena dvěma příčnými překážkami, které tvoří jezy vyšší než 1 m. Tok svou akumulací a erozní činností může vytvářet lavice či tůně (BER006 - BER010, BER014). Břehy jsou výrazně zpevněny a navýšeny a nedovolují přirozenou boční migraci toku v příbřežní zóně a v nivě. Břehy jsou zpevněny kamenným pohozem, vegetačním opevněním a místy, např. u BER001 i kamennou dlažbou a betonem. Břehová vegetace je tvořena převážně liniovou vegetací, jednotlivými stromy a keři či trávobylinnou vegetací. Nejvíce jsou zastoupeny topoly, lísky, vrby, habřiny a břízy. V některých úsecích jsou i břehy bez vegetace (BER001 a BER002). Příbřežní zóna je využita většinou pro zástavbu, roztroušenou zástavbu či zemědělskou oblast, ale např. u úseku BER008, BER009 a BER016 se nachází plochy ponechané přirozenému vývoji či louky. Říční niva je v oblasti I. výrazně široká a její plocha je využita hlavně pro zástavbu a zemědělství. Průchodnost inundačním územím je omezena zástavbou a dopravní komunikací, které jsou vedeny paralelně s korytem toku. Do toku Berounky se v oblasti I. vlévají pouze menší přítoky, které mají jen minimální vliv na hydrologický režim toku. Z Obr. 38 lze vyčíst kvalita v jednotlivých úsecích od dolní po horní část oblasti. Zájmová oblast I. se dělí na 3 specifické části.



Obr. 38: Vývoj kvality celkového hydromorfologického stavu v podélném profilu v oblasti I.

Pro první část, mezi úseky BER001 - BER005, je typická silná regulace toku. V minulosti zde došlo k napřímení, prohloubení a rozšíření koryta. Což mělo komplexně špatný vliv na hydromorfologickou kvalitu nejen koryta, ale celé nivy. Hydromorfologická kvalita nabývá čtvrtého stupně. V druhé části, mezi úseky BER006 - BER010, má trasa toku tvar zákrutů, které ovšem nesou známky částečné regulace. Celková hydromorfologická kvalita se pohybuje okolo třetího stupně. Třetí část, BER011 - BER017, se nachází v blízkosti intravilánu a tok vytváří meandr okolo města Černošice. Inundace a příbřežní zóna je po obou březích ovlivněna převážně zástavbou a zemědělskou plochou, které způsobují minimální drsnost povrchu a velmi špatnou hydromorfologickou kvalitu. Výrazný pozitivní vliv na celkovou kvalitu tohoto úseku má však koryto a to i přes existenci překážek v podobě jezů, které mají negativní funkci z pohledu hydromorfologie, jelikož vytváří migrační překážky. Koryto je široké a dostatečně členité. Hydromorfologická kvalita dosahuje čtvrtého a třetího stupně, pouze BER014 nabývá druhé stupně kvality. Levá část příbřežní zóny a inundace BER014 není sice příliš široká, ale je ponechána přirozenému vývoji. Celkově je v oblasti I. zastoupeno 8 úseků čtvrtého stupně hydromorfologické kvality, 9 třetího stupně hydromorfologické kvality a pouze jeden druhého stupně hydromorfologické kvality. Výsledky jsou graficky vyobrazeny v Příloze č. 9.

Zjištěním výsledků hydromorfologického průzkumu a provedením analýzy příbřežní zóny a inundačního území v zájmové oblasti I. jsou vytipovány 4 lokality (A, B, C a D) vhodné pro návrh přírodě blízkých retenčních opatření. Jednotlivé lokality jsou graficky znázorněny v kapitole 7.4.1 na Obr. 58. Lokalita A se nachází na pravé straně nivy úseků BER003 - BER010, kde převládá souvislá zemědělská plocha s rekreační plochou v podobě golfového hřiště. Niva je široká místy až 1,2 km a délka nivy vybrané lokality dosahuje 5 km. V celé lokalitě se nenachází žádná příčná nebo podélná překážka ani zástavba, které by komplikovali vznik a funkci retenčních opatření. Lokalitu je možné dále napojit na pravou část nivy úseku BER012, čímž by vzrostla délka nivy v lokalitě až na 5,7 km. Lokalitu B představuje levá část nivy úseků BER008 a BER009, která tvoří vnitřní stranu zákrutu mezi obcemi Černošice a Radotín. Maximální šířka nivy činí 800 m a její délka je 1 km. Nivou probíhá paralelně s korytem silniční komunikace. Lokalitu C představuje pravá strana nivy v úseku BER016 a šířka i délka retenčního prostoru je ovlivněna roztroušenou zástavbou. Délka lokality činí 1,5 km a šířka 400 m. Záplavová plocha je navíc ovlivněna příčnou překážkou v podobě železničního mostu, na kterou navazuje podélná překážka v podobě náspu železniční tratě, který je vysoký až 3 m. Tím dochází při povodni k usměrnění a soustředění proudu v inundaci zpět do koryta. Lokalitu D tvoří levá strana nivy úseku

BER017, která leží mezi obcemi Dobřichovice a Černošice. Levý okraj nivy lemují silniční komunikace, která ovšem nijak neomezuje maximální rozliv. Délka nivy činí 1,7 km a její šířka dosahuje až 1 km.

Plocha všech lokalit je převážně využívána pro intenzivní zemědělskou činnost, čímž dochází k zarovnání reliéfu a nízké různorodosti vegetace. Takováto niva je degradována z hlediska retenčních schopností a její povrch vykazuje nízké hodnoty drsnosti. Nedostatečná drsnost povrchu způsobuje rychlý odtok záplavových vod a malou transformaci povodňové vlny.

7.1.5 Koryto toku a trasa toku, oblast II.

Trasa toku v celé zájmové oblasti II. má podobu rozsáhlých meandrů a zákrutů. Úseky v oblasti lze dělit na tři části. Na úseky nacházející se v zastavěných oblastech, BER018 - BER019 a BER027a - BER029a. Na úseky ležící v místech s přírodě blízkou nivou - mimo zástavbu, mezi meandry a zákruty, BER020 - BER026 a BER30 - BER037. Zvláštní skupinu vytváří vedlejší koryta, která jsou uměle vytvořena a slouží jako náhony, BER027b - BER029b a BER34b.

V zastavěných oblastech dosahuje hydromorfologická kvalita prvního a druhého stupně. Převládá zde klouzavý proud, viz Obr. 39 vpravo, a dnový substrát tvoří především kameny, štěrk a písek. U úseků BER018 a BER019 se vyskytuje druhý stupeň kvality z důvodu vyšší variability hloubek jak v podélném, tak i v příčném profilu. Dále zde nedochází k ovlivnění hydrologického režimu a nevyskytují se zde, žádné pozorované struktury dna. U úseků BER027a - BER029a se místy mohou vytvářet lavice tůň či peřeje. Hydromorfologická kvalita zde dosahuje prvního stupně. V úseku BER029a se nachází příčná překážka v korytě v podobě jezu vyššího jak 1 m, který vzdouvá hladinu a při povodních zaplavuje přilehlou zástavbu. Mezi úseky BER028a a BER029a se vlévá do Berounky Rakovnický potok, který výrazněji ovlivňuje hydrologický režim toku.

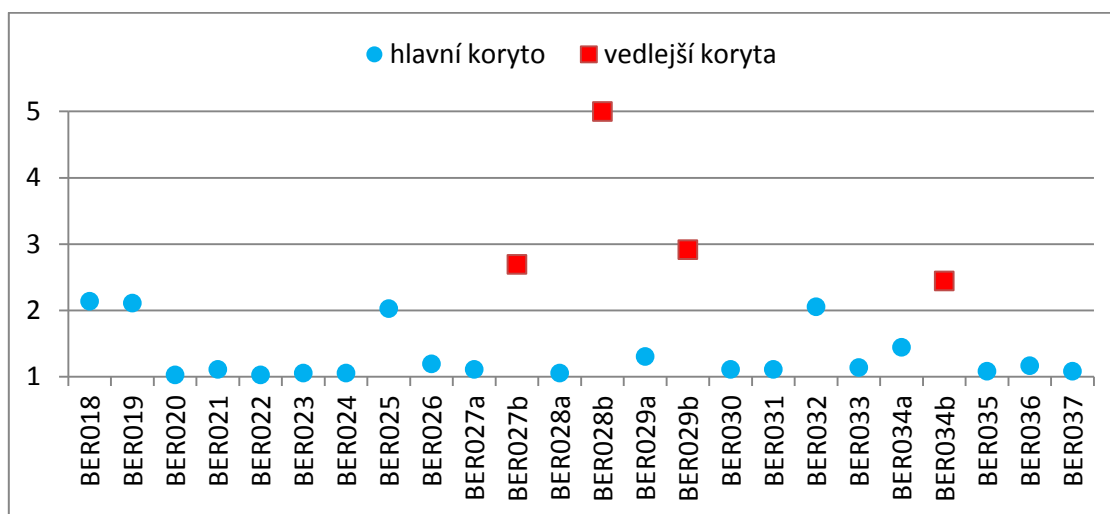
Úseky ležící mimo zástavbu nabývají převážně prvního stupně kvality. Variabilita šířek koryta je vysoká a variabilita zahloubení koryta malá. Maximální šířka koryta je 80 m a minimální 26 m. Dno je bez úprav a tvoří ho převážně kamenný, štěrkový, písčité a prachový substrát. Místy se vyskytuje i skalní podloží a dno je bez známek úprav. V korytě se vytváří hlavně na vnitřní straně meandrů a zákrutů štěrkové lavice, ostrovy, mělčiny a tůň, viz Obr. 39 vpravo. Převládá slapový proud a místy se vytváří peřeje. V úseku BER034a se nachází jez vyšší jak 1 m, který vytváří příčnou překážku v korytě.

Úseky tvořící vedlejší koryta dosahují zejména třetího stupně kvality. Koryto je uměle vytvořeno a dno tvoří kamenná dlažba. Variabilita šířek a zahloubení koryta je prakticky nulová. Vzhledem k opevnění dna v úsecích BER027b – BER029b nejsou v úsecích zjištěny žádné dnové struktury. Úsek BER028b se nachází v průmyslovém areálu a je celý zatrubněn, což vykazuje pátý stupeň kvality.



Obr. 39: vlevo - klouzavý proud (BER018), vpravo – akumulční tvary v korytě (BER030)

Celkově dosahuje celá oblast II. v zóně koryta a trasy toku druhého hydromorfologického stupně kvality. Mapa vyhodnocení kvality se nalézá v Příloze č. 10. Na Obr. 40 je zobrazena kvality v jednotlivých úsecích od dolní po horní část oblasti. Nejhorších hodnot nabývají úseky tvořící vedlejší koryta, BER027b - BER029b a BER034b. V hlavním korytě to poté jsou úseky BER018 - BER019, ležící v zastavěné oblasti a dále pak BER025 a BER032.



Obr. 40: Vývoj kvality zóny koryta a trasy toku v podélném profilu v oblasti II.

7.1.6 Příbřežní zóna, oblast II.

Příbřežní zóna v zájmové oblasti II. dosahuje průměrně 30 m, na vnitřní straně meandrů a zákrutů to může být až 50 m. Velká část úseků se nachází mimo intravilán v přírodní nivě. Úseky mimo zástavbu nabývají většinou třetího stupně kvality. Břehy nevykazují žádné známky úprav. Pouze v místech v blízkosti roztroušené zástavby se objevuje opevnění břehu vegetací s to v podobě zatravnění, např. BER031. Břehovou vegetaci tvoří trávobylinná vegetace, přirozený smíšený les a liniová vegetace. V blízkosti toku se objevují hlavně habry, lísky, olše a vrby, dále od toku se nacházejí i duby, buky, borovice a smrky. Příbřežní zóna je u těchto úseků využita většinou alespoň z jedné strany jako zemědělská plocha. Dále je využita jako les, viz Obr. 41 vlevo, louka či se zde vyskytují plochy ponechané přirozenému vývoji, např. BER026.

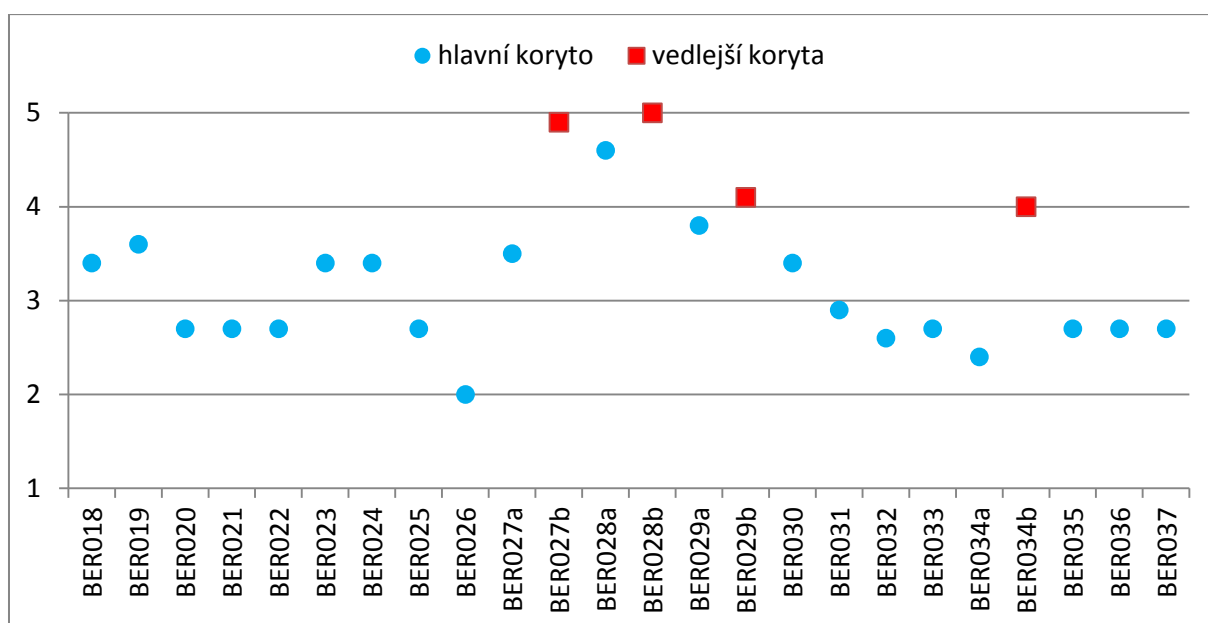
U úseků ležících v intravilánu se vyskytuje hlavně čtvrtý stupeň kvality. Břehy jsou minimálně na jedné straně upraveny a opevněny a to především zatravněním. Vyskytuje se i opevnění kamenným pohozením, gabiony, kamennou dlažbou či betonem. Břehovou vegetaci tvoří hlavně trávy a byliny doplněné jednotlivými stromy a keři. Zároveň se v úsecích objevují i břehy bez vegetace, např. BER028a. Příbřežní zóna je využita minimálně na jednom břehu jako roztroušená zástavba a intravilán, které jsou na druhém břehu doplněny hlavně lesy, zemědělskými plochami a loukami. Úsek BER028a dosahuje pátého stupně kvality. V úseku je pravý břeh opevněn betonovou zdí, která slouží jako částečná protipovodňová ochrana pro starý průmyslový areál Permon Křivoklát, který se nachází na 53 ř. km na pravém břehu Berounky v obci Roztoky.

Úseky vedlejších koryt, které jsou umělými vodními útvary, dosahují čtvrtého a pátého stupně kvality a příbřežní zóna je široká 5 - 30 m. Břehy jsou zatravněny a místy zpevněny kamennou dlažbou a gabiony, viz Obr. 41 vpravo. Kromě travin se na březích vyskytuje liniová vegetace zastoupena lískami a habřinami. Příbřežní zónu tvoří převážně intravilán, roztroušená zástavba a místy i louky. V úseku BER028b, který je zatravněn, se žádná příbřežní zóna nevyskytuje.



Obr. 41: vlevo- vegetace v příbřežní zóně (BER026), vpravo - zpevněný břeh gabiony (BER034b)

Celkově dosahuje celá oblast II. v břehové a příbřežní zóně třetího stupně hydromorfologické kvality. Graficky jsou výsledky kvality znázorněné v Příloze č. 11. Na Obr. 42 je vidět různorodý stav kvality v jednotlivých úsecích od dolní po horní část oblasti. Nejlépe jsou na tom úseky BER026 a BER034a, kde se vyskytují plochy ponechané přirozenému vývoji. Nejhorších výsledků dosahují vedlejší koryta a úsek BER028a, které jsou přímo ovlivněny zástavbou a břehy zde jsou uměle zpevněny. Z hlediska retenční schopnosti se v oblasti vyskytuje řada míst, kde dochází či by mohlo docházet k retenci vody i při menších povodních. Břehy nejsou nijak výrazně a souvisle uměle navýšeny, pouze v místech intravilánu, a umožňují tak snadné vybřežení vody z koryta.



Obr. 42: Vývoj kvality příbřežní zóny v podélném profilu v oblasti II.

7.1.7 Inundační území, oblast II.

Z hlediska povodňových extrémů je hydromorfologická kvalita inundační zóny, především úseků mimo intravilán, velmi důležitá. Jednotlivé parametry ovlivňují retenční funkčnost nivy a schopnost transformace povodňové vlny. Úseky mimo zástavbu dosahují především třetího stupně kvality. Niva dosahuje šířky až 350 m, ale pouze na jednu stranu. To značí, že v oblasti II. se nevyskytuje výrazný prostor pro retenci vody. Na březích se vytvářejí na vnější straně meandrů a zákrutů nátrže delší více jak 5 m. Naopak na vnitřní straně zákrutů se mohou ukládat fluvialní akumulace větší jak 100 m². V úsecích dochází k postupné migraci koryta v rámci nivy. U většiny úseků je niva využita jako les, zemědělská plocha a louka. Ve většině případů slouží les jako plocha ponechaná přirozenému vývoji, která výrazně zdrsňuje nivu, viz Obr. 43 vlevo. Paralelně s korytem vede v úsecích BER020 - BER026 v pravé části nivy železniční trať maximálně vzdálená 180 m a v úsecích BER030 - BER037 zase v levé části nivy silniční komunikace maximálně vzdálená 350 m. Tyto dvě komunikace vytváří v případě povodní podélné překážky v nivě a omezují rozliv povodňových vod.

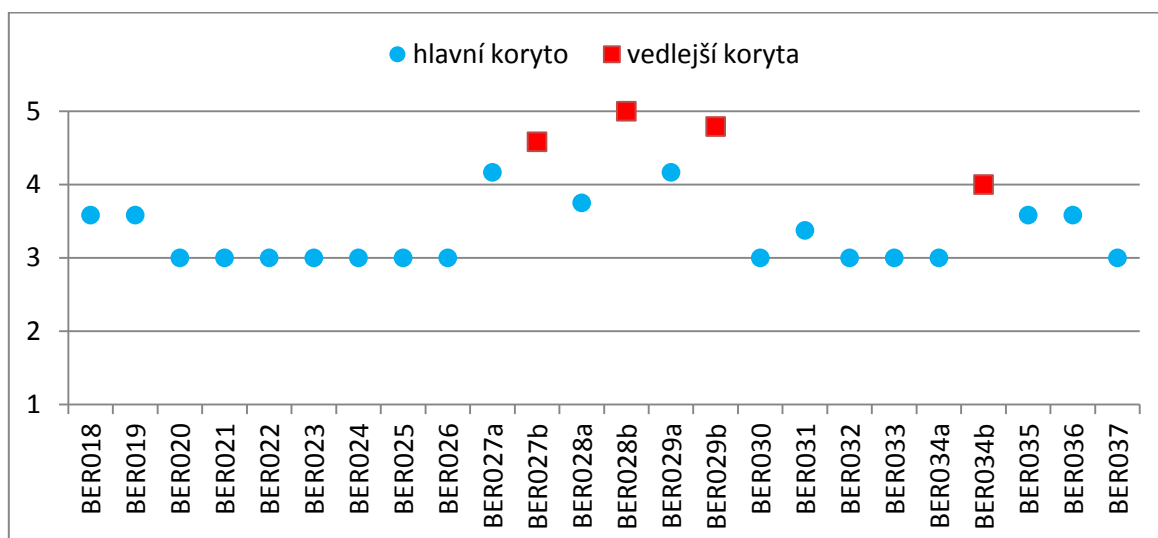
Úseky nacházející se v zastavěných oblastech dosahují čtvrtého stupně kvality. Břehy jsou stabilizovány a nevytváří se na nich žádné nátrže či akumulace. Minimálně jedna strana nivy je využita jako souvislá či roztroušená zástavba, viz Obr. 43 vpravo, a druhá strana je využita jako les či zemědělská plocha. U všech těchto úseků se v nivě nacházejí budovy a dopravní komunikace vedoucí paralelně s korytem a omezující průchodnost inundačního území.

Vedlejší koryta dosahují pátého stupně kvality a nivu zde tvoří inundační území hlavního koryta. Niva je tedy totožná s nivou úseků umístěných v zástavbě. Výjimku představuje úsek BER034b, který dosahuje čtvrtého hydromorfologického stupně kvality, vzhledem k tomu, že leží mimo zastavěnou plochu.



Obr. 43: vlevo- plocha ponechaná přirozenému vývoji (BER020), vpravo - land use nivy (BER018)

Zájmová oblast II. celkově nabývá v inundační zóně čtvrtého stupně hydromorfologické kvality. Hlavní vliv na negativní hodnocení využití nivy jako souvislé a roztroušené zástavby a zemědělské plochy. Zástavba a zemědělská plocha představuje víc jak 60 % využití plochy nivy. Mapa výsledků je uvedena v Příloze č. 12. Na Obr. 44 je znázorněna kvalita v jednotlivých úsecích od dolní po horní část oblasti. Nejhorších výsledků dosahují úseky vedlejších koryt a úseky nacházející se přímo v intravilánu obcí Zbečno, BER018 - BER019 a Roztoky, BER27a - BER29a., které dosahují především čtvrtého a pátého stupně kvality. Nejlépe jsou na tom úseky ležící mimo intravilán, BER020 - BER026 a BER030 - BER034a., kde jsou břehy nezpevněny a v případě povodňových stavů může dojít k volnému vybřežení do inundačního území. V zájmové oblasti II. je niva méně široká jak v oblasti I. a inundační území, tak nepředstavuje významný prostor z hlediska retenční kapacity.



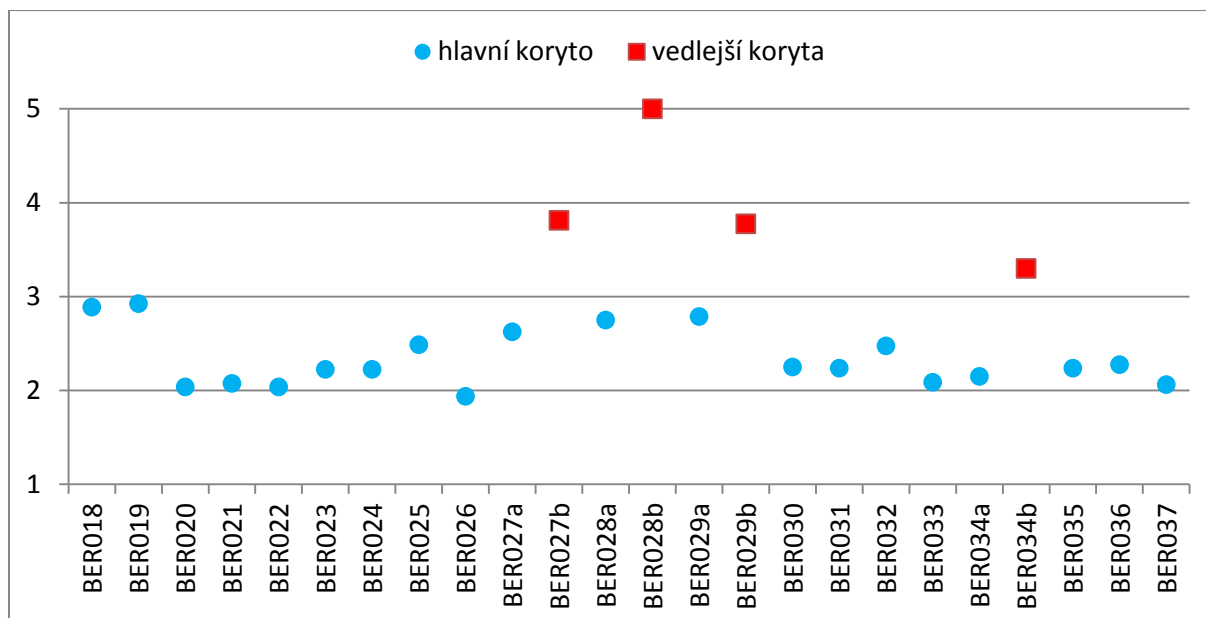
Obr. 44: Vývoj kvality inundačního území v podélném profilu v oblasti II.

7.1.8 Celkový hydromorfologický stav, oblast II.

Celkový hydromorfologický stav zájmové oblasti II. je klasifikován třetím stupněm kvality. Trasa toku v daném úseku je meandrující a místy vytváří zákruty. Koryto nevykazuje žádné známky výrazného napřímení, ale zároveň ani vodohospodářské revitalizace. V daném úseku se nachází 2 příčné překážky v korytě, které tvoří migračně průchodné stupně či jezy o výšce nad 1 m. Průměrná šířka hladiny se pohybuje 40 - 50 m a šířka údolní nivy je výrazně asymetrická z důvodů širokých meandrů. Tvar údolí řeky je převážně asymetrický, na jedné straně strmě klesá a na druhé pozvolna stoupá. Mezi jednotlivými zákruty a meandry se vytváří i úvalovité údolí. Stěny údolí tvoří převážně lesy a skalní povrch. Podélné zahloubení je malé (1 - 2 m), pouze v oblastech jezů může dosahovat 2 - 4 m. Variabilita hloubek v příčném profilu je převážně přirozeně nízká až střední. Dno je bez známek úprav, pouze v místech jezů a kempů se objevuje zpevnění dna kamenným pohozením. Dno tvoří převážně štěrko-kamenné podloží, které v místech zvýšené akumulace přechází do podloží balvanovitého (u břehu) a písčitého. Proudění má spíše charakter slapového až klouzavého proudu, místy se objevují peřeje a tůň. Akumulační a erozní činnost vytváří v toku lavice, ostrovy, mělčiny a tůň. Břehy převážně nejeví známky úprav. Výjimkou jsou úseky v zastavěných oblastech, kde dochází k zatravnění břehů a opevnění betonovou zdí či gabiony, např. BER034b. Břehovou vegetaci tvoří převážně jednotlivé stromy a keře a trávobylinná vegetace. Příbřežní zóna a inundační území je využito převážně pro zemědělské účely a místy do nich zasahuje i intravilán a roztroušená zástavba. V některých místech jsou, ale ponechány svému přirozenému vývoji a zasahuje do nich les. Průchodnost inundačním územím narušují stavby vedené paralelně s korytem, jako budovy a násypy komunikací, které se vyskytují minimálně na jedné straně nivy v celé zájmové oblasti II. Z Obr. 45 a z Přílohy č. 13 lze úseky rozdělit do tří skupin.

První skupina, úseky mimo zástavbu (BER020 - BER026 a BER030 - BER037), představují většinu úseků v oblasti II. a dosahují především druhého hydromorfologického. Je pro ně charakteristický přírodě blízký stav toku. Mají velmi dobré hydromorfologické charakteristiky koryta, ať už co se týče malého zahloubení v podélném profilu či klouzavého a slapového charakteru proudění. Příbřežní zónu a inundaci často tvoří hlavně louky, les či zemědělská plocha. Druhou skupinou jsou úseky ležící přímo v intravilánech, BER018, BER019, BER027a, BER028a a BER029a. Tyto úseky nabývají třetího stupně kvality a to především vlivem špatné kvality příbřežní zóny a inundace. Poslední skupinu vedlejší koryta BER027b, BER028b, BER029b a BER034b, tvoří uměle vytvořené náhony podél hlavního

toku. Úseky jsou ohodnoceny převážně čtvrtým stupněm kvality, jenž je následkem opevněním břehů a dna. Celkově je zde zastoupeno 13 úseků s druhým stupněm hydromorfologické kvality, 8 s třetím stupněm kvality, 2 se čtvrtým stupněm kvality a 1 s pátým stupněm kvality. Výsledky jsou graficky znázorněny v Příloze č. 13.



Obr. 45: Vývoj kvality celkového hydromorfologického stavu v podélném profilu v oblasti II.

Zjištěním výsledků hydromorfologického průzkumu a provedením analýzy příbřežní zóny a inundačního území v zájmové oblasti II. je vytipováno 8 lokalit (E, F, G, H, CH, I, J a K) vhodných pro návrh přírodně blízkých retenčních opatření. Jednotlivé lokality jsou graficky znázorněny v kapitole 7.4.2 na Obr. 61. Všechny lokality mají stejný charakter, liší se pouze šířkou, délkou a land use nivou. Výskyt lokalit se střídá jak na levé, tak i na pravé straně nivy. Lokality se nacházejí na vnitřní straně meandrů a zákrutů nacházejících se mezi jednotlivými meandry. Niva v oblasti II. je značně zařízlá do geologického podloží a prostor pro retenční opatření je tak omezený. U všech lokalit výrazně převažuje délka nad šířkou. Až na lokalitu I, leží všechny lokality mimo zástavbu a nejsou nijak omezeny příčnými či podélnými překážkami, které by ovlivňovali retenční schopnost krajiny. Nejdelších délek dosahuje niva u lokalit E, J a K a to 1,5 - 1,8 km a jejich maximální šířka nivy se pohybuje mezi 150 - 200 m. Lokalitu E tvoří pravá část nivy úseků BER019 - BER021, lokalitu J pravá část nivy úseků BER032 - BER034a a lokalitu K levá část nivy úseků BER035 - BER037. Nejkratších délek nabývá niva u lokality F a H, kde délka nivy činí 800 m a maximální šířka je 100 - 150 m. Lokalita F se nachází na levé straně nivy úseku BER022 a lokalita H na levé

straně úseku BER024. Lokality G a CH dosahují délky až 1,2 km a maximální šířka se pohybuje mezi 100 - 150 m. Lokalitu G tvoří pravá část nivy úseku BER023 a lokalitu CH levá část nivy úseku BER026. Všechny zmíněné lokality jsou v současnosti využívány jako plochy určené k zemědělské činnosti, u některých se ovšem vyskytuje i přirozená vegetace, která částečně zdrsňuje povrch. Zvláště je vyčleněna lokalita I, která se nachází na vnitřní straně meandru a tvoří ji levá část nivy úseku BER031. Land use lokality tvoří roztroušená zástavba v podobě kempu. I přes přítomnost zástavby je lokalita vytipována vzhledem k šířce, délce a morfologii nivy. Délka nivy dosahuje 500 m a maximální šířka 250 m.

7.2. Výsledky pasivního retenčního objemu

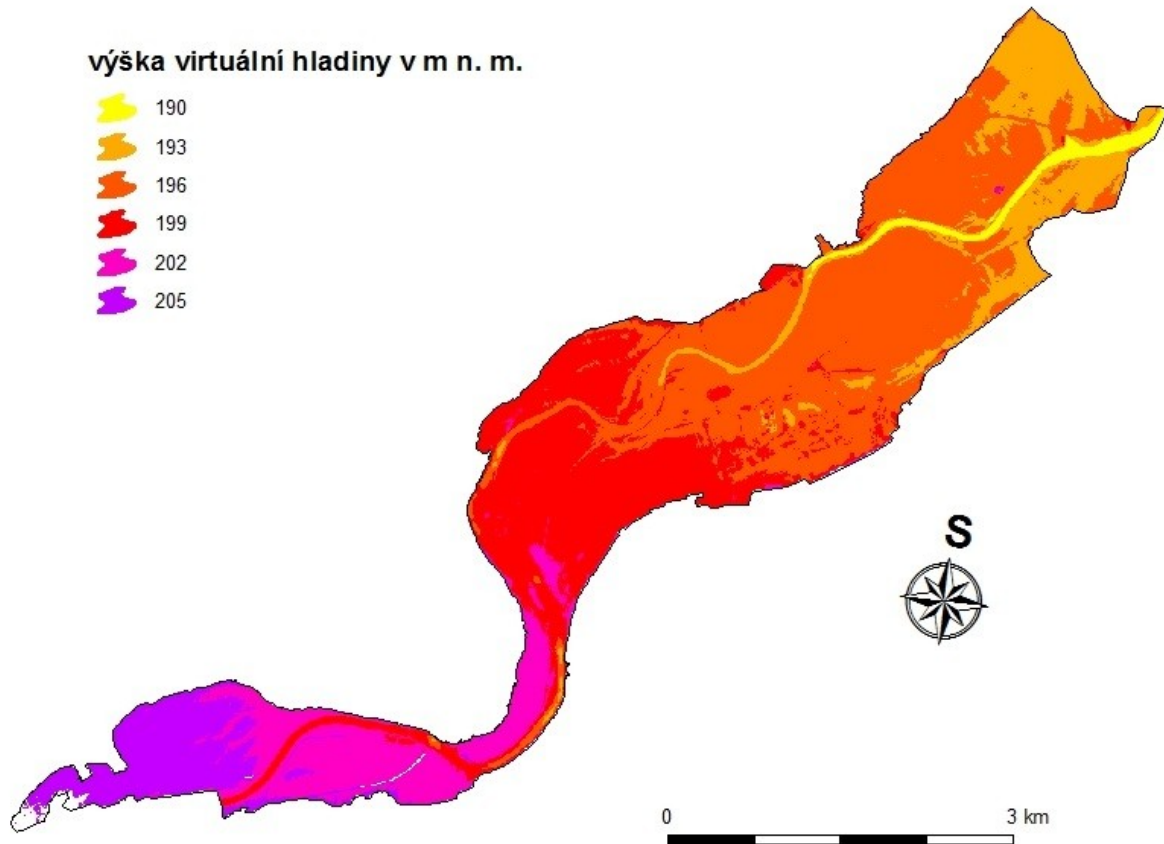
Postup výpočtu pasivního retenčního objemu v nivě je uveden v kapitole 5.2.3. K analýze byly využity softwary ArcGIS a Microsoft Excel. Pro obě zájmové oblasti jsou využita data o průtocích a rozsahu rozlivu při 100-leté a 20-leté povodni z měrných profilů Liblín, Zbečno, Beroun a Radotín, dostupné z DIBAVOD (2015) a zakoupené z ČHMÚ (2015). Dále byly využity data DMT 4G zakoupené z CÚZK (2015c).

7.2.1 Pasivní retenční objem oblasti I.

V oblasti I. Berounka vytváří širokou nivu s celkovým podélným sklonem 0,74 % a příčným profilem plochého údolí, až na úsek v blízkosti Černošického meandru. Dle metodiky byly nejprve vypočteny hladiny pro jednotlivé výškové stupně hladin, jak je vidět na Obr. 46. Výškový stupeň je na Obr. 46 upravený po 3 metrech, tak aby byly lépe patrné rozdíly výšek hladin. Vzhledem k ploché a široké nivě zasahují virtuální zátopové hladiny s nízkou úrovní poměrně daleko proti proudu. Následně byly odstraněny polygony spojené s dolní hranicí říční nivy, překryté vyšší hladinou a také nacházející se přímo v toku. Zbylé polygony, tvořící deprese, byly sloučeny do jedné vrstvy.

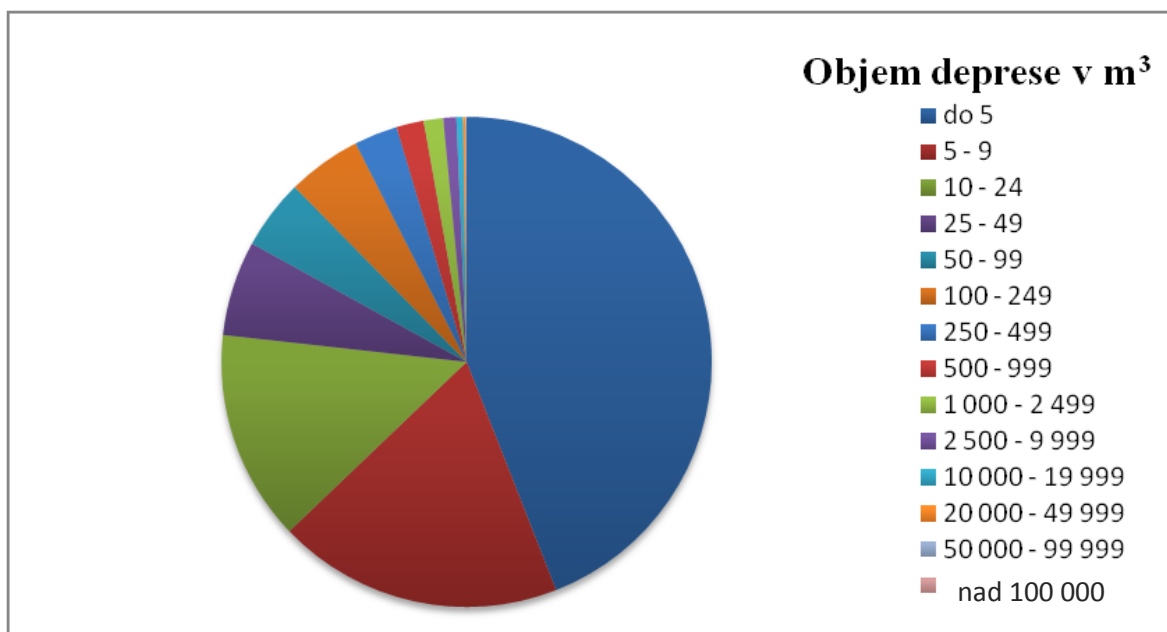
V atributové tabulce byla vypočtena průměrná hloubka jednotlivých depresí. Dále pak plocha a následně za pomoci těchto dvou atributů objem jednotlivých depresí. V Příloze č. 14 je zobrazena mapa rozložení depresí a jejich průměrné hloubky v oblasti I. Z přílohy vyplývá, že nejvíce depresí se nachází mezi soutokem Berounky a Vltavy a Černošickým meandrem, kde má niva dostatečný prostor pro rozliv. V tomto místě se také nacházejí nejhlubší a největší deprese, které mají největší objem. V nivě se nachází také řada mikrodepresí, jejichž objem nepřesahuje 5 m³. Na Obr. 47 je znázorněno procentuální zastoupení mikrodepresí v oblasti I. dle jejich objemu. Více jak tři čtvrtiny tvoří deprese do objemu 25 m³, největší objem jedné deprese činí 104 923 m³. Celková hodnota výpočtu objemu pasivního retenčního prostoru

pro 100-letou povodeň je $684\,212\text{ m}^3$. Pro zátopovou čáru 20-leté doby opakování pak $624\,294\text{ m}^3$.



Obr. 46: Mapa záplavových území odvozených na základě reklasifikace DMT (výběr hladin) v oblast I.

Celkový objem pasivního retenčního prostoru je vzhledem k ploše nivy (14 km^2) relativně velmi malý. Pokud by byl teoreticky převeden retenční prostor na celou plochu nivy, představoval by výšku vodního sloupce 4,9 cm. Takový to objem je významný pro retenci vody ze srážek, ale z hlediska transformace a zachycení povodňového průtoku je zanedbatelný. Tento fakt lze názorně ukázat na příkladu průtoku Q_{100} , který má hodnotu $1580\text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$, je tento objem zaplněn během 7,5 minut, za předpokladu zaplnění všech depresí. Při Q_{20} , který má hodnotu $1018\text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$, by došlo k zaplnění za 11,5 minuty. Vzhledem k plošnému rozsahu nivy nemá pasivní retenční objemu v oblasti I. významný vliv na velké a střední povodně. Při malých a bleskových povodních, by se ovšem projevila málo členitá morfologie nivy a došlo by k zaplnění větších částí depresí i při průtoku Q_5 . To by se projevilo zadržením povodňových vod v nivě a zpomalením odtoku vody z oblasti.

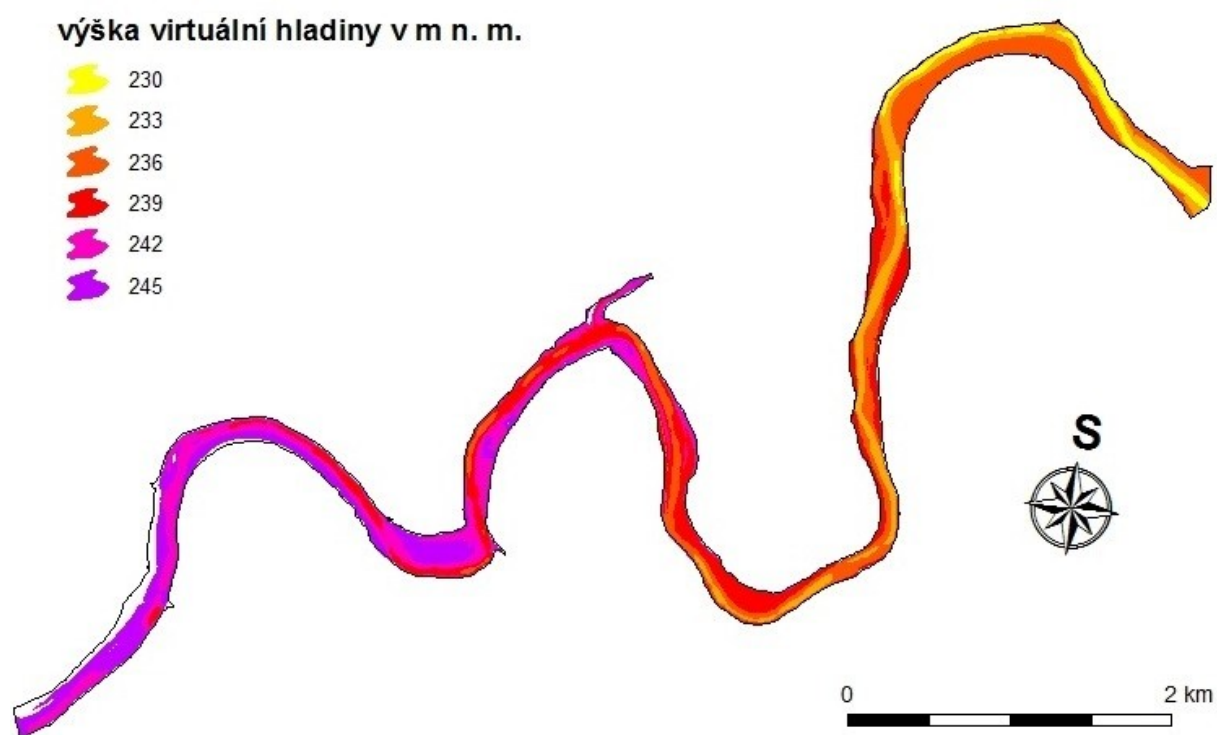


Obr. 47: Rozložení depresí dle jejich objemu v oblasti I.

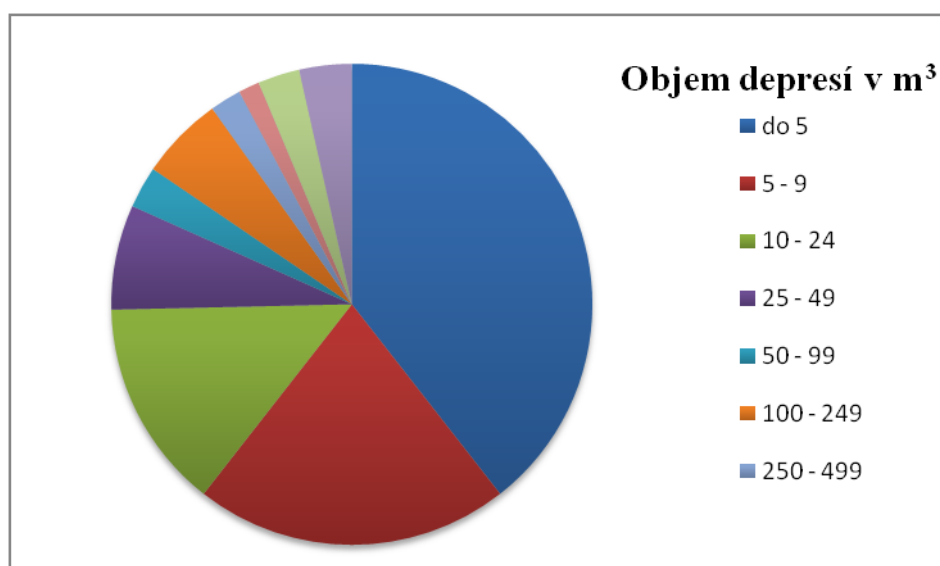
7.2.2 Pasivní retenční objem oblasti II.

V oblasti II. se podél toku nachází úzká niva s celkovým podélným sklonem 1,9 %. Říční niva v místech meandrů a zákrutů vytváří převážně asymetrický tvar, na jedné straně strmě klesá a na druhé pozvolna stoupá. Mezi jednotlivými zákruty a meandry má tvar úvalovitého údolí. Virtuální zátopové hladiny s nízkou úrovní nezasahují tak daleko proti proudu, jako u oblasti I. Opět byly nejprve reklasifikovány hladiny pro jednotlivé výškové stupně, viz Obr. 48. Výškový stupeň je opět zvolen po 3 metrech, tak aby byly lépe patrné rozdíly výšek hladin. Následně byly odstraněny všechny problematické polygony a sloučeny zbylé polygony, které vytváří deprese v nivě

U jednotlivých depresí byla dopočítána průměrná hloubka, plocha a objem. Příloha č. 15 je zobrazena mapa záplavových území odvozených na základě reklasifikace DMT (výběr hladin) v zájmové oblasti II. Z přílohy je patrný výskyt malého počtu depresí a to značí nízkou pasivní retenci oblasti II. Většinou se v nivě vyskytují mikrodeprese na vnitřní straně meandrů a zákrutů v těsné blízkosti toku, což je dáno morfologií říčního údolí. Na Obr. 49 je zobrazeno procentuální zastoupení depresí dle objemu. V oblasti II. se vyskytují především mikrodeprese a depresí o malé ploše a objemu. Skoro tři čtvrtiny všech depresí v oblasti představují terénní sníženiny o objemu do 25 m³. Největší objem jedné deprese činí 6 905 m³. Celková hodnota výpočtu objemu pasivního retenčního prostoru pro 100-letou povodeň je 30 260 m³. Pro zátopovou čáru 20-leté doby opakování pak 30 214 m³, to je prakticky stejný objem jako u 100-leté povodně.



Obr. 48: Mapa záplavových území odvozených na základě reklasifikace DMT (výběr hladin) v oblasti II.



Obr. 49: Rozložení depresí dle jejich objemu v oblasti II.

Celkový objem pasivního retenčního prostoru je vzhledem k ploše nivy (2,4 km²) výrazně malý. Pokud by byl teoreticky převeden retenční prostor na celou plochu nivy, představoval by výšku vodního sloupce 1,2 cm. Při průtoku Q_{100} , který má hodnotu 1440

$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, je tento objem zaplněn během půl minuty, za předpokladu zaplnění všech depresí. Výsledek výpočtu značí zanedbatelný efekt při transformaci a zachycení povodňového průtoku depresemi. Po provedení výpočtů lze konstatovat, že pasivní retenční objem v nivě nemá žádný vliv na povodňové stavy v této oblasti.

7.3. Výsledky transformace povodňové vlny pomocí 1D hydraulického modelu

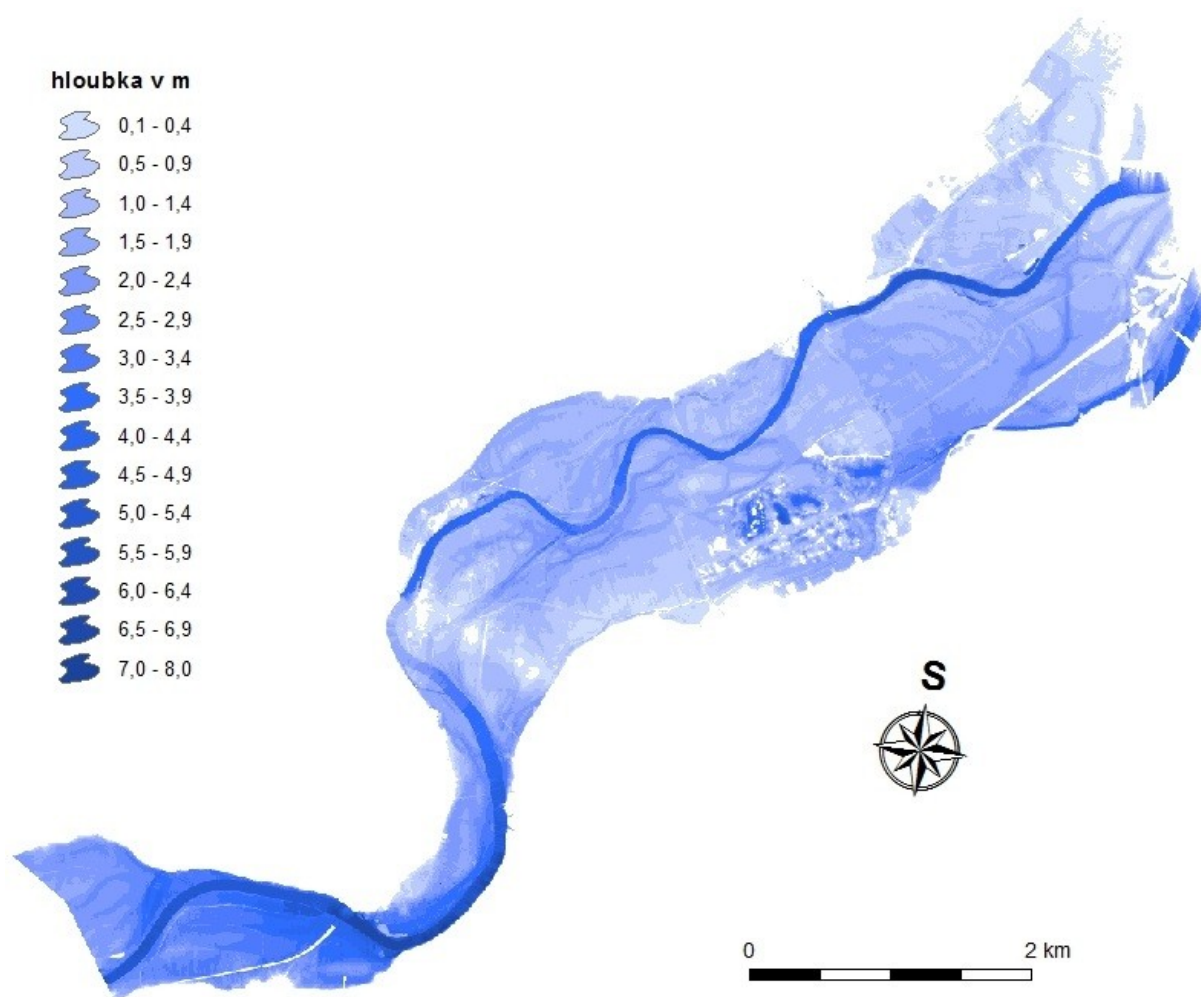
Pro obě oblasti byla analyzována transformace povodňové vlny pomocí 1D hydraulického modelu. K analýze byly využity softwary ArcGIS a HEC-RAS. Využita jsou data o průtocích a rozsahu rozlivu při 100-leté a 20-leté povodni z měrných profilů Liblín, Zbečno, Beroun a Radotín, dostupné z DIBAVOD (2015) a zakoupené z ČHMÚ (2015). Dále byly využity data DMT 5G zakoupená z CÚZK (2015d).

7.3.1 Výsledky transformace povodňové vlny v oblasti I.

Výsledky transformace povodňové vlny v oblasti I. jsou interpretovány pomocí map vymezujících záplavové území, rychlost proudění a hloubku vody při N-letých průtocích. Výsledná mapa hloubek v nivě pro Q_{100} se nachází v Příloze č. 16. Mapa hloubek v nivě při Q_{20} je zobrazena na Obr. 50. Při porovnání map obou průtoků je patrné, že niva má na dolním toku tvar širokého a plochého údolí. Celá její šíře je využita i při 20-leté vodě, což výrazně transformuje povodňové vody menších a středních povodní. Z logického hlediska je v nivě při Q_{20} nižší hladina zatopené oblasti a více se tak uplatňuje drsnost povrchu než při Q_{100} . Díky tomu je voda v oblasti zpomalena a částečně zadržena. Tím je i snížena a utlumena kulminace povodňové vlny na níže položených tocích dále po proudu. Maximální hloubky jsou dosaženy v místě koryta toku a to především v místě meandru a zákrutů, kde je niva z morfologického hlediska užší. Další místa s větší hloubkou jsou depresní sníženiny, které jsou už uvedeny v kapitole 7.2.1.

Mapy hloubek vody N-letých průtoků zobrazují místa, kde se v nivě nacházejí příčné a podélné překážky, které mohou významnou měrou ovlivňovat rychlost a směr proudění a také retenční dobu povodňových vod v dané oblasti. Maximální hloubka je v obou případech prakticky stejná, při 100-leté vodě hodnota činní 7,97 m a při 20-leté 7,87 m. V Příloze č. 17 se nachází mapa rychlosti proudění v nivě při Q_{100} , která je největší v korytě toku. Je patrné, že v širokém plochém inundačním území působí drsnost povrchu, která tlumí rychlost proudění a zpomaluje odtok z oblasti. Největší rychlosti proudění jsou dosaženy v užší části říčního údolí, v místě Černošického meandru. Ve výstupní části meandru se

nachází jez, který svým navýšením a sklonem urychluje proudění. V mapě jsou patrné vlivy příčných a podélných překážek v nivě. Příčné překážky zpomalují proudění v inundační zóně dle jejich rozsahu napříč nivou. Naopak podélné překážky soustřeďují proudění do jednoho místa, čímž dochází ke zrychlení proudění snížení doby retence v oblasti I. v inundační zóně. Maximální hodnota rychlosti proudění při Q_{100} v oblasti I. činí $3,85 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

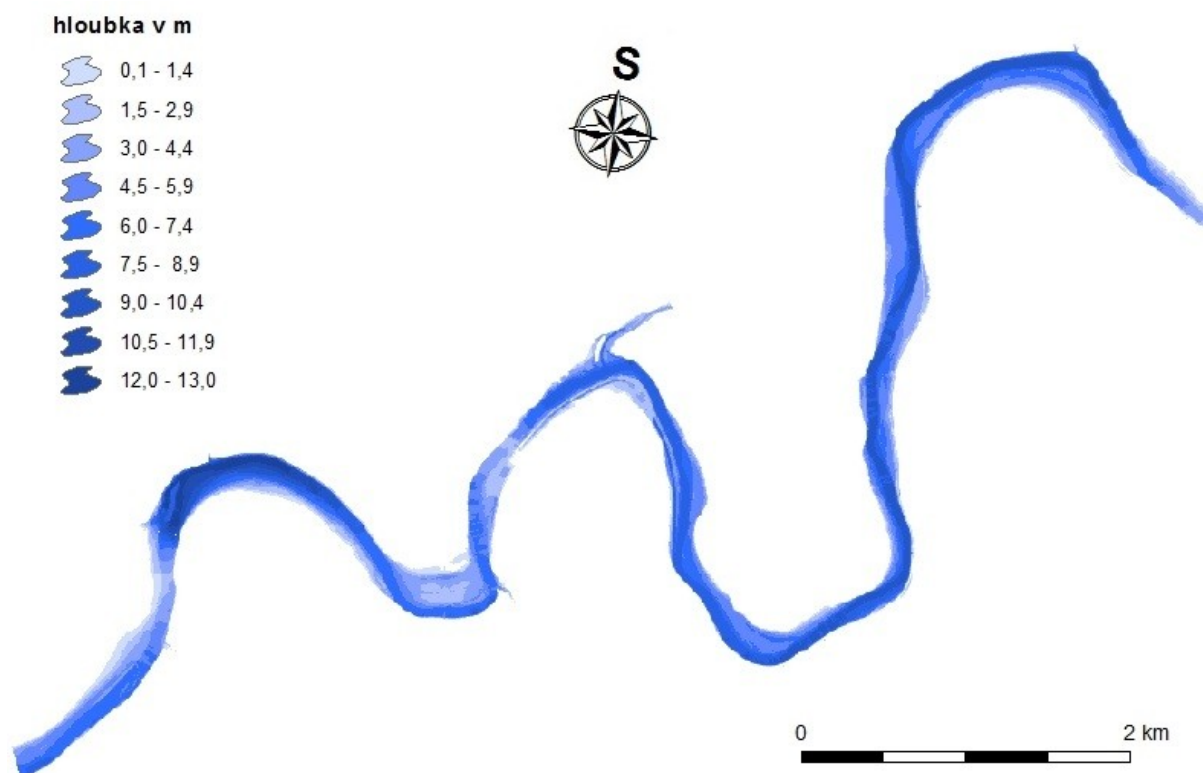


Obr. 50: Mapa hloubky vody při průtoku Q_{20} nivou v oblasti I.

Z map je patrné, že povodňové vlny jsou nejvíce transformovány v oblasti za Černošickým meandrem, kde je niva dostatečně široká a plochá. Současné využití nivy v této části ovšem způsobuje nedostatečnou drsnost povrchu, která ovlivňuje povodňové vody do 0,5 m hloubky. Z výsledku lze potvrdit předpoklad, že k transformaci povodňové vlny v rámci zpomalení postupu vlny mají největší vliv ploché části údolí, které ovšem postrádají hustou a pevnou vegetací (stromy, keře).

7.3.2 Výsledky transformace povodňové vlny v oblasti II.

Niva je v oblasti II. užší a její morfologie je značně asymetrická, což sice zpomaluje průtok, ale na území oblasti ho dlouho nezadržuje. Jak ukazují mapy hloubek, v Příloze č. 18 pro Q_{100} a na Obr. 51 pro Q_{20} , tak největší hloubky při povodni jsou dosaženy v místech meandrů a zákrutů v korytě toku. Díky morfologii úzkého údolí sevřeného vyššími vrcholky, jsou zde dosaženy i vyšší hodnoty hloubek zátopových oblastí. Maximum při 100-leté vodě tvoří 14,96 m a při 20-leté 12,88 m. Vlivem větších hloubek je zde omezen vliv drsnosti povrchu, který je účinný při velkých povodních pouze v zalesněných oblastech a okrajových částech nivy.



Obr. 51: Mapa hloubky vody při průtoku Q_{20} nivou v oblasti II.

Rychlost proudění při Q_{100} v nivě je zobrazena v Příloze č. 19. Z mapy je patrné, že proudění je výrazně ovlivněno jak morfologií terénu, tak i příčnými překážkami. Především v místech jezů, kde dochází opět ke zvýšení hladiny a poté rychlému skluzu vody,

je zvýšená rychlost proudění. Směr a rychlost proudění ovlivňují také podélné překážky vedené paralelně s korytem a to především silniční komunikace, která se místy nachází přímo vedle toku. Maximální rychlost proudění zde dosahuje hodnot $5,61 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, ale na většině území oblasti se pohybuje kolem $1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

Z výsledků je patrné, že v oblasti nedochází k výrazné transformaci povodňové vlny. Dochází zde pouze k určitému pozdržení a zpoždění kulminace povodně dále po proudu. Vliv na tomto jevu má především charakteristika trasy koryta a nivy, která je výrazně meandrovitá. K transformaci povodňové vlny v této oblasti dochází pouze při malých povodních, kdy je účinek veliký. Při středních a velkých povodňových situacích je tato funkce výrazně omezena.

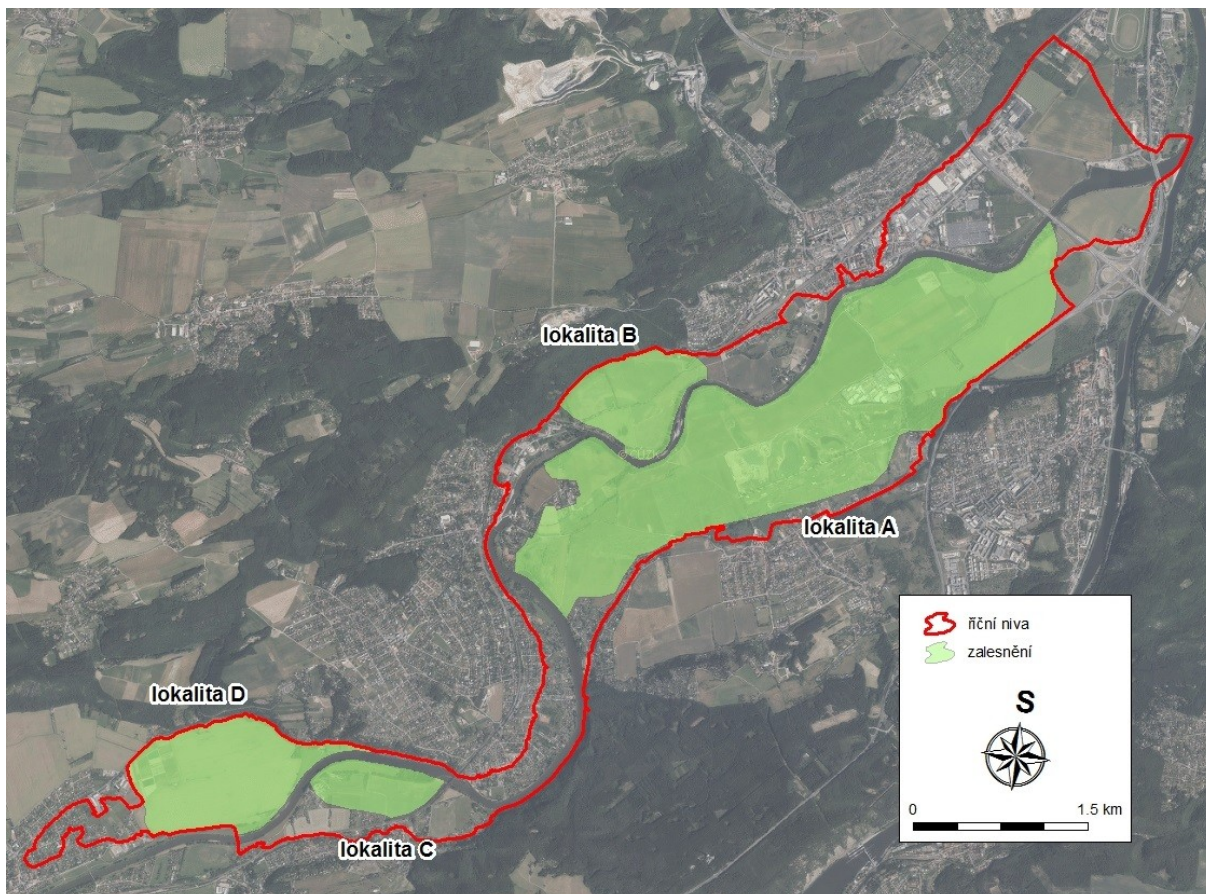
7.4. Návrh opatření zvyšující retenci vody

V rámci výsledku hydromorfologického průzkumu jsou vytipovány lokality vhodné pro návrh přidě blízkého protipovodňového opatření. Na základě odborné rešerše přírodě blízkých protipovodňových opatření, je vybráno opatření, které by vzhledem k současným fyzicko-geografickým a socio-ekonomickým podmínkám oblastí mělo největší účinek na retenci vody v krajině. Jako nejvýhodnějším se u obou oblastí zdá být za současných podmínek změna land use s doprovodnými opatřeními. Změna zemědělsky využívaných území na zalesněné plochy ponechané přirozenému vývoji, by zvýšila drsnost povrchu nivy. Zalesněné plochy by v nivě vytvořily přírodě blízký lužní les s vhodně zvolenou vegetací a návazností na okolní krajinu. Horní patro vegetace lužního lesa by tvořili stromy, jako jsou topoly, duby, jasany, jilmy, olše, vrby a lípy. V nižším vegetačním patře by byly zastoupeny keře (jako střemcha, zimolez, svída, kalina či bez), doprovázeny trávobylinnou vegetací. Manningův koeficient drsnosti dosahuje dle USACE (2001) v místech zemědělsky využívaných ploch hodnoty 0,04. Pokud by došlo k zalesnění těchto ploch, změnila by se jeho hodnota na 0,15. Takovéto hodnoty drsnosti dosahuje hustý lesní porost ponechaný přirozenému vývoji. Změna land use se týká výhradně zemědělských ploch a opatření výrazně nezasahují do trvale či sezóně obydlených ploch. Výjimku tvoří v oblasti II. sezóně využívaná částečně zastavěná plocha mezi obcemi Roztoky a Branov (kemp Višňová). Kromě vlivu na transformaci povodňové vlny opatření zvyšuje retenci půdy v nivě a evapotranspiraci oblastí. Návrh opatření a jeho vliv na povodňové vody je simulován za pomoci 1D hydraulického modelu softwaru HEC-RAS a ArcGIS. Výsledkem je změna rychlosti proudění a hloubek při povodňových stavech v jednotlivých oblastech. Změna rychlosti proudění v říční nivě je porovnána v levé a pravé části nivy zvlášť.

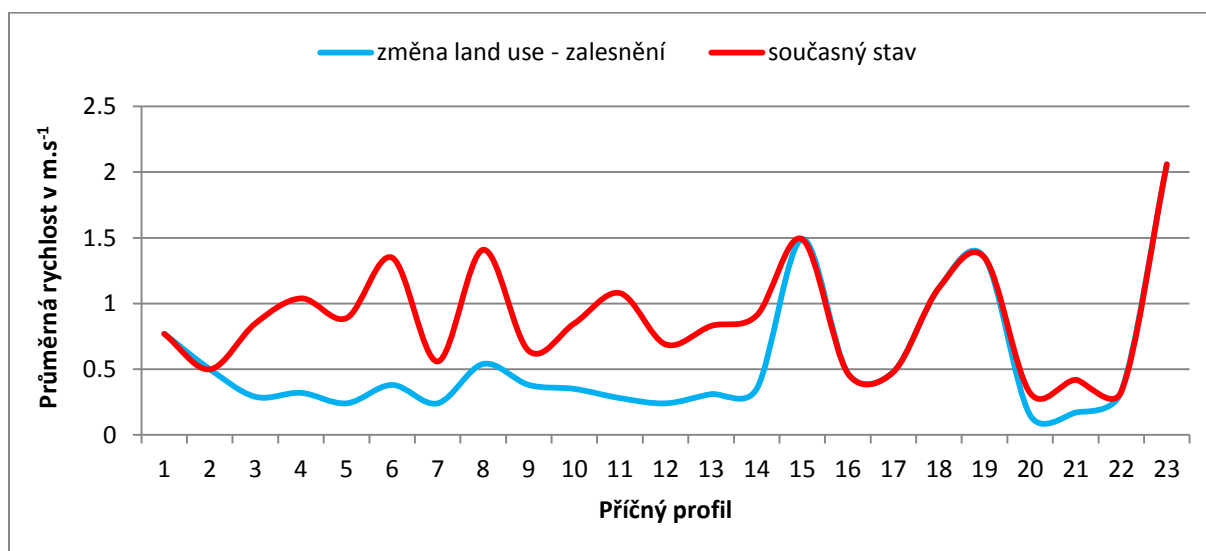
7.4.1. Návrh opatření oblast I.

Z hlediska zvýšení retence vody při povodňových stavech v oblasti I. je nejvhodnější opatření v krajině změna pokryvu a hospodářského využití půdy. V kapitole 7.1.4 jsou vytipovány 4 lokality (A, B, C a D) vhodné pro návrh retenčních opatření v zájmové oblasti I. Tyto lokality jsou znázorněny na Obr. 52. Velká část nivy je dle charakteristiky land use využívána jako zemědělská plocha, viz příloha č. 20. Tento stav prokázal i terénní průzkum a vyhodnocení HEM. Říční niva je široká, plochá a vytváří dostatečný prostor pro retenci, ale vzhledem k jejímu využití není zcela využit její retenční potenciál. V případě přeměny zemědělských ploch na lesní porost, by došlo k výraznému zdrsnění povrchu a zvýšila by se retenční schopnost oblasti při povodňových situacích. Jak je vidět na Obr. 58, největší prostor pro hypotetické zalesnění se nachází v lokalitě A, mezi obcemi Černošice a Lahovice, kterou představuje pravá strana nivy. Celkově dochází k hypotetickému zalesnění 7,56 km² na úkor nezavlažované orné půdy, což představuje 54 % plochy říční nivy v oblasti I. Při zalesnění by došlo ke zvýšení Manningova drsnostního koeficientu nivy z 0,04 (orná půda) na 0,15 (hustý lesní porost). Změna land use se týká hlavně pravé části nivy. Změna drsnosti se projevuje na změně hloubky vody a rychlosti proudění v nivě při povodňových průtocích.

Na Obr. 53 je zobrazena modelová průměrná rychlost proudění v pravé části nivy při Q_{100} v oblasti I. při současném stavu land use a po provedení hypotetického zalesnění. Průměrná rychlost proudění je uvedena pro jednotlivé příčné profily. Při porovnání průměrných rychlostí v pravé části nivy lze konstatovat, že zalesnění široké nivy v dolní části oblasti stabilizuje a snižuje rychlost proudění. V některých profilech došlo ke snížení rychlosti proudění až o 1 m.s⁻¹, což představuje. Z obrázku je patrné, že po zalesnění lokality A (profily 3 - 14) je průměrná rychlost proudění v nivě nízká a vyrovnaná. Oproti současnému stavu se rychlost stabilizovala a snížila až o 70 %. To napovídá vytvoření retenčního prostoru, který zadržuje a zpomaluje povodňové vody. Snížení průměrné rychlosti proudění v pravé části nivy je pozorováno i v lokalitě C (profily 20 a 21) a to až o 50 % oproti současnému stavu.



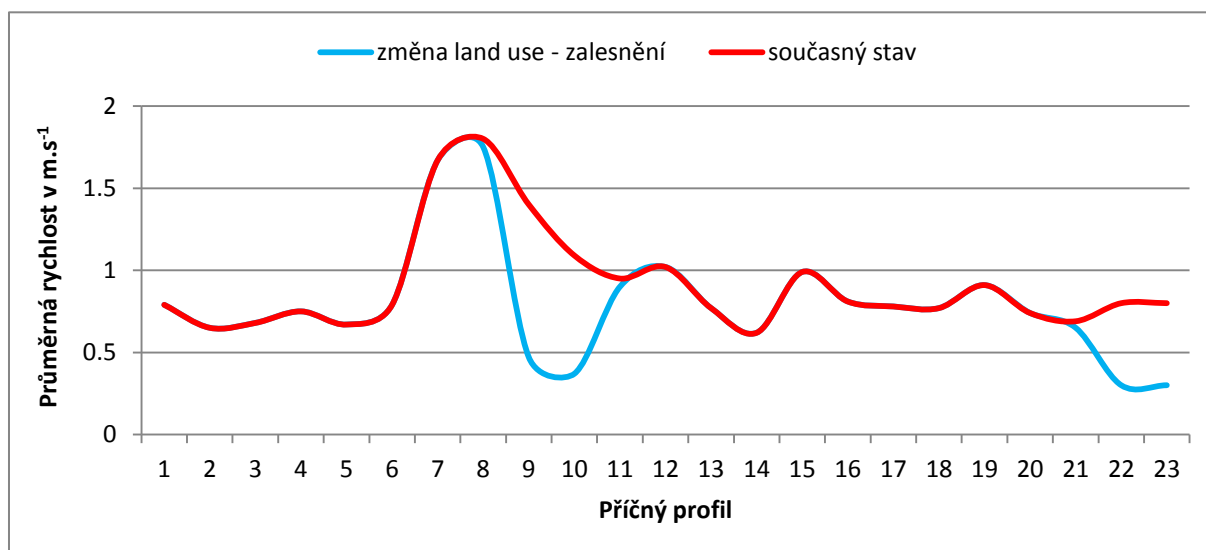
Obr. 52: Návrh zalesněného území v oblasti I.
Zdroj: ČÚZK (2015b)



Obr. 53: Průměrná rychlost proudění v pravé části nivy oblasti I. při Q_{100}

Na Obr. 54 je zobrazena průměrná rychlost proudění v levé části nivy. V levé části hypoteticky nedošlo k zalesnění, tak výrazné plochy jako v pravé části. V retenční lokalitě B

(profily 9 a 10) dochází k hypotetickému snížení rychlosti proudění a to až o $0,7 \text{ m.s}^{-1}$. To představuje snížení rychlosti proudění v nivě o proti současnému stavu až o 70 %. V lokalitě D (profily 22 a 23) dochází ke snížení rychlosti proudění o 50 %.



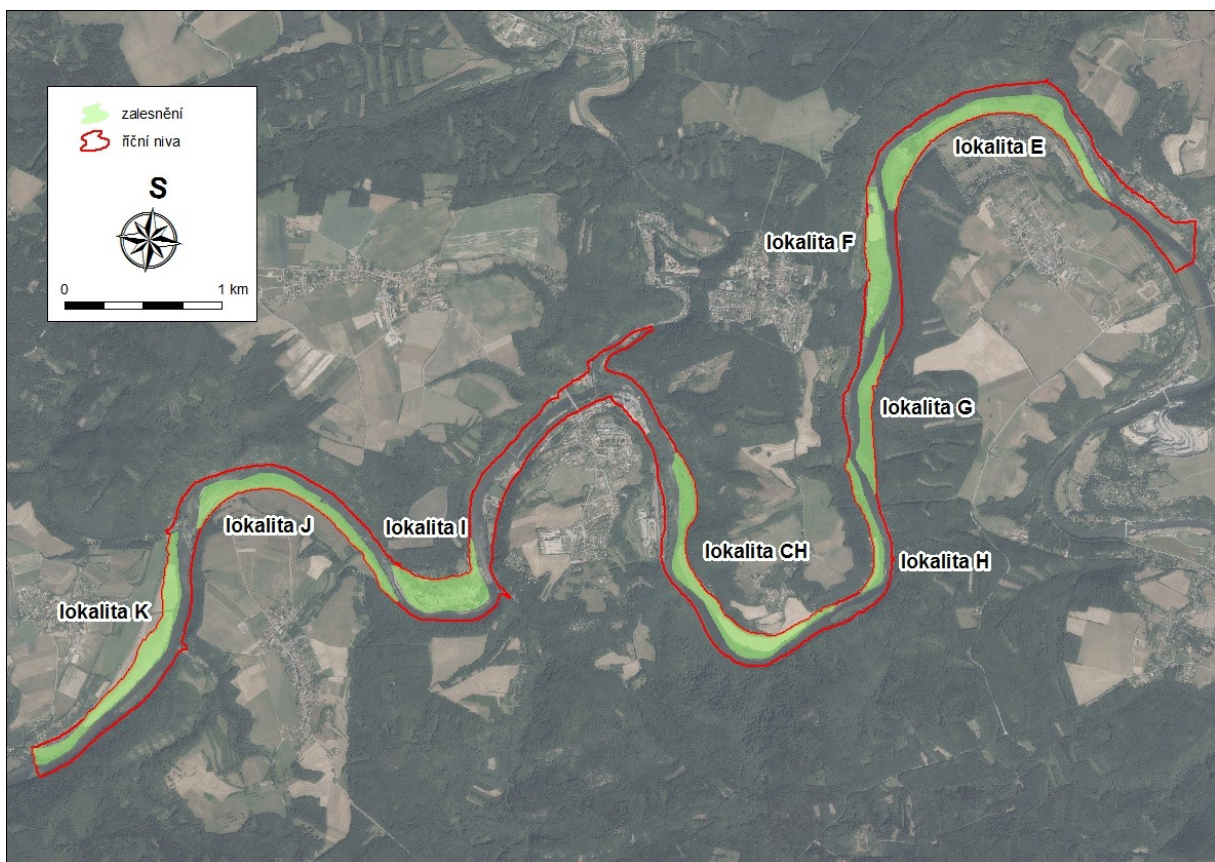
Obr. 54: Průměrná rychlost proudění v levé části nivy oblasti I. při Q₁₀₀

Z Obr. 53 a 54 vyplývá, že retenční opatření v daných lokalitách mají pozitivní vliv na transformaci povodňové vlny v oblasti I. Vzhledem k rozsáhlé široké nivě, která je zaplavena i při menších povodňových stavech, by opatření plnilo svou funkci i při malých povodních. Retenční lokality C a D mohou vytvářet protipovodňovou ochranu obce Černošice a společně s lokalitou B i pro obec Radotín. Lokality A je vhodná pro provedení kombinace retenčních opatření např. změny land use a polosuchého poldru. Celkově retenční lokality hypoteticky snižují rychlost odtoku a zpomalují kulminaci povodňové vlny dále na toku Vltavy. Kromě zvýšení retenční schopnosti nivy by opatření měla i pozitivní vliv na zvýšení biodiverzity oblasti.

7.4.2 Návrh opatření oblast II.

Niva v zájmové oblasti II. nedosahuje takových rozměrů jako niva v oblasti I. V kapitole 7.1.8 je vtipováno 8 lokality (E, F, G, H, CH, I, J a K) vhodných pro návrh retenčních opatření v zájmové oblasti II. Tyto lokality jsou znázorněny na Obr. 55. Inundační území je úzké a obklopené strmými svahy, i přesto lze vytvořením lesních ploch zvýšit drsnost povrchu a retenční potenciál oblasti. Navzdory úzké nivě, je její plocha hojně využívána dle land use jako zemědělská oblast s přirozenou vegetací, viz příloha č. 15.

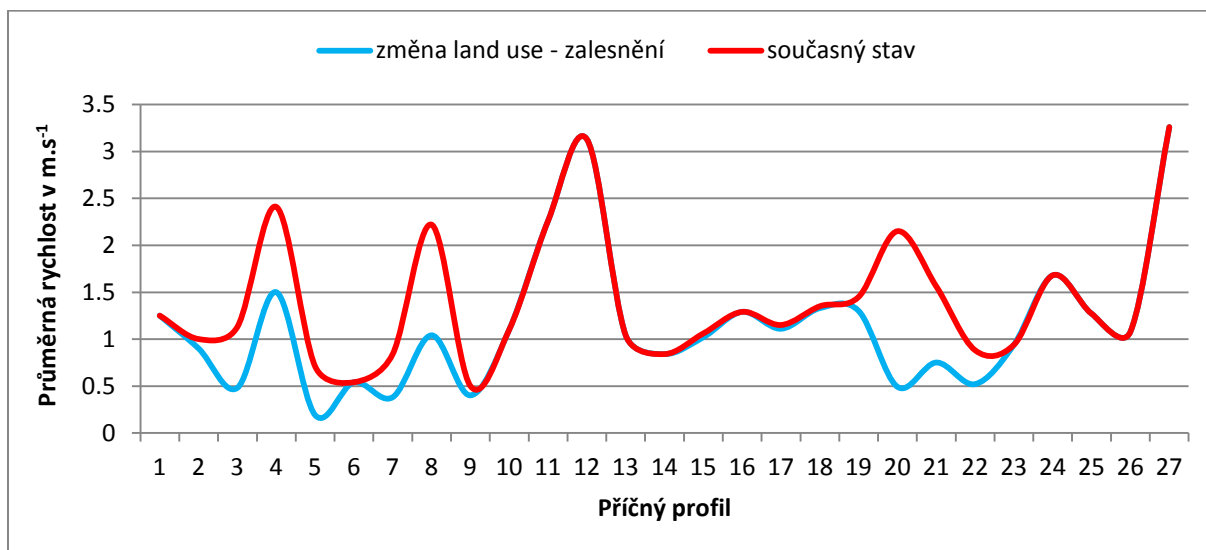
Nevhodné využití nivy a příbřežní zóny dokládá i terénní průzkum a vyhodnocení HEM. Při změně zemědělských ploch na lesní porost, dojde ke zdrsnění povrchu a zvýšení retenční schopnosti oblasti při povodňových situacích. Jak je vidět na Obr. 55 plochu nivy v oblasti II. lze rovnoměrně zalesnění podél celého toku. Největší prostor pro zalesnění se nachází na vnitřní straně meandrů a zákrutů, kde svahy postupně stoupají. Opatření počítá se zalesněním 1,04 km² na úkor především nezavlažované orné půdy, která představuje 50 % plochy říční nivy v oblasti II. V místech zalesnění je změněn opět Manningův drsnostní koeficient na 0,15 (hustý lesní porost) oproti současné hodnoty 0,04 (orná půda). Změna drsnosti ovlivňuje rychlost proudění a hloubku toku během povodňových stavů.



Obr. 55: Návrh zalesněného území v oblasti II.
Zdroj: ČÚZK (2015c)

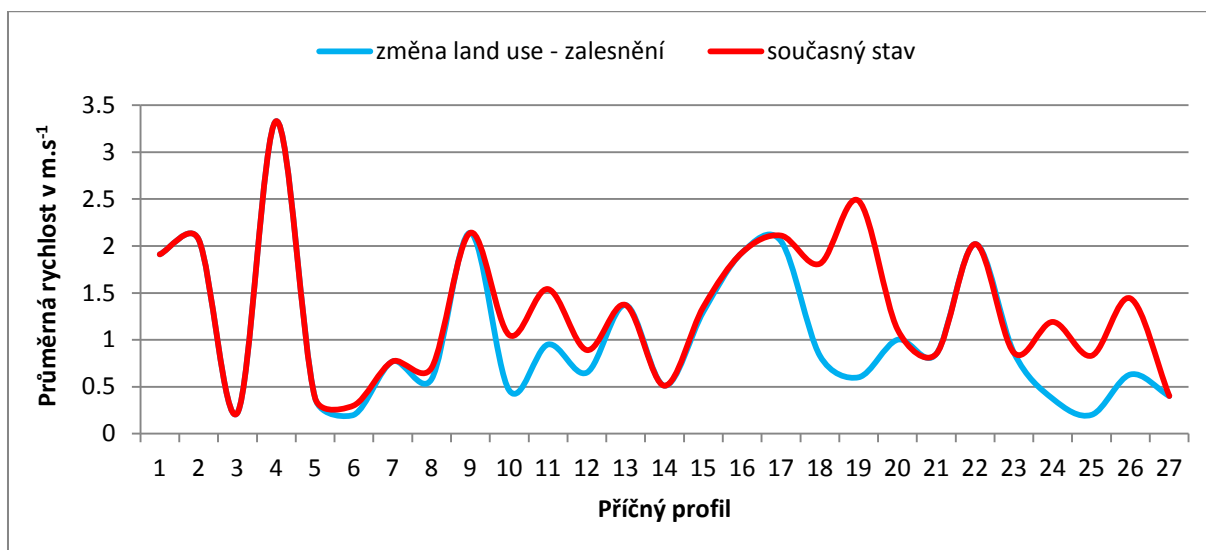
Na Obr. 56 je zobrazena modelová průměrná rychlost proudění v pravé části nivy při Q_{100} v oblasti II. Obrázek zobrazuje průměrnou rychlost proudění povodňových vod v nivě v jednotlivých profilech a porovnává současný stav land use s hypotetickým zalesněním. Při porovnání průměrných rychlostí v pravé části nivy je patrné snížení rychlosti proudění v retenčních lokalitách E (profily 3, 4 a 5), G (profily 7 a 8) a v lokalitě J (profily 20, 21 a 22). V těchto lokalitách se rychlost proudění snižuje a odtok vody zpomaluje, což vede ke zvýšení

retence v oblasti II. Největší vliv na rychlost proudění má lokalita J, kde dochází ke snížení průtoku až o $1,6 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. To představuje lokální snížení až o 77 % proti současnému stavu.



Obr. 56: Průměrná rychlost proudění v pravé části nivy oblasti II. při Q_{100}

Průměrná rychlost proudění v levé části nivy je zobrazena na Obr. 57. Při porovnání rychlostí proudění je patrné, že retenční účinnost hypoteticky zalesněných lokalit F (profil 6) a H (profil 8) je malá. V lokalitách došlo k minimálnímu snížení rychlosti a to o $0,1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. U lokality H (profil 10 - 12) dochází ke snížení rychlosti o $0,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Nejvýrazněji se projevuje snížení rychlosti u lokalit I (profil 18 a 19) a K (profil 24 - 26) a to až o $1,8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. To simuluje snížení průměrné rychlosti proudění až o 75 % proti současnému stavu.



Obr. 57: Průměrná rychlost proudění v levé části nivy v oblasti II. při Q

Jak je patrné při porovnání obou částí nivy v oblasti II., nelze provést hypotetické zalesnění na obou stranách nivy současně. Zalesněné úseky se střídají na jedné či druhé straně vlivem meandrovité trasy koryta a asymetrického tvaru říčního údolí. Retenční schopnost oblasti je vlivem geomorfologie menší při malých a středních povodních. Ke stabilizaci a snížení rychlosti proudění a odtoku dochází systematicky v celé zájmové oblasti II. Zvýšení retenční schopnosti této oblasti znamená snížení a zpomalení kulminace povodňových vod dále na toku. Zároveň retenční lokality I, J a K mohou sloužit jako protipovodňová ochrana pro obec Roztoky a lokality E, F, G, H a CH pro obec Zbečno.

8. Diskuze

V následující kapitole je prodiskutován postup a úspěšnost provedení výzkumu. Součástí je i kapitola věnující se návrhům opatření zvyšující retenční kapacitu říční nivy.

8.1. Diskuze výzkumu retence

Dle analýzy odborných studií (Lewis a Manton 1975, Bren 1993, Dostál a kol. 2012, atd.) je při vymezení říční nivy vhodné využít hydrologického přístupu. Kdy se niva rovná maximální zaplavené oblasti při určitém N-letém průtoku. Geomorfologické vymezení nivy je používáno sice častěji, ovšem jsou při něm vybrány i oblasti, které nejsou při povodních reálně zaplavovány. Tudíž by mohlo dojít ke zkreslení výsledků, např. objem pasivní retence by mohl dosahovat vyšších hodnot. V práci je využito vymezení záplavových oblastí 100-leté vody, čímž došlo k vybrání území, které je skutečně možné využít pro retenci.

Součástí práce je i terénní průzkum společně s hydromorfologickým průzkumem zájmových oblastí. Smyslem využití hydromorfologického průzkumu je celkové zhodnocení ekomorfologického stavu zájmových oblastí a nalezení úseků pro návrh přírodě blízkých retenčních opatření. Nejvhodnější úseky jsou vybrány na základě antropogenní modifikace a retenčního potencialu nivy, který ovlivňuje její šířka, délka, členitost a land use. Po zjištění těchto faktorů lze výsledky hydromorfologického průzkumu využít pro tvorbu konkrétních přírodě blízkých opatření. Podobný postup využití hydromorfologického průzkumu pro vytipování oblastí vhodných pro tvorbu revitalizačního opatření je použit např. ve studii Šmerousové (2010). Výsledky metodiky HEM jsou, dle očekávání, ovlivněny antropogenní činností a to především využitím krajinného pokryvu nivy jako zemědělských či zastavěných ploch.

Výběr metodiky pro posouzení retenčního potenciálu nivy je dán její geomorfologií a land use. Největší retenční schopnost mají nivy, které jsou ploché, široké a minimálně hospodářsky využívané. Ploché a široké nivy umožňují přirozený rozliv i při menších povodňových stavech. Málo modifikovaná členitost povrchu nivy zase zaručuje přítomnost terénních depresí. Jak uvádí Costa a kol. (2003) u zemědělsky intenzivně využívané plochy dochází k výraznému zarovnání a odstranění přirozené vegetace, čímž se snižuje drsnost povrchu. Naopak studie Edmonse (2000) dokládá, že zalesnění hospodářských ploch zvyšuje retenční schopnost půdy, evapotranspiraci i pasivní retenční schopnost krajiny a výrazně tak zpomaluje povodňové průtoky.

Jednotlivé analýzy retence vody v krajině je vhodné využívat v místech, kde je očekávaný jejich celkový projev na redukcii povodňových vod. Na to má vliv šířka, délka, členitost a land use nivy. Velmi často jsou účinky evapotranspirace a retence vody v půdě, vlivem antropogenní modifikace, zanedbatelné. To se dá říci i o pasivním retenčním objemu nivy, jelikož je významný pouze u širokých niv, které nejsou významně hospodářsky využity nebo v nich nejsou výrazné makrodeprese. Hojně se využívá metoda transformace povodňové vlny, která stanovuje rychlost proudění a hloubky v nivě při určitých N-letých průtocích. Metoda transformace povodňové vlny umožňuje využít 1D a 2D numerické modely, které provedou modelaci transformace. Dle Kaiglové (2010) a Jeníčka (2009) jsou jednorozměrné modely nenáročné na vstupní data, výpočetní techniku a jsou výhodné díky přehlednosti výstupních dat. Dvourozměrné modely se využívají u širokých inundačních území s nepravidelnou morfologií terénu, kde mohou vytvořit dílčí inundační proudy, které mají odlišný směr než proudnice v toku (Karim a kol. 2012). Stanovení potenciálu by se mělo provádět pouze u niv, které jsou ploché, široké a minimálně hospodářsky využívané. Nebo v místech, kde je zapotřebí zjistit úspěšnost plánovaného nebo vytvořeného opatření.

Posouzení evapotranspirace v nivě je výrazně náročné a problematické. Studie Dostála a kol. (2012) poukazuje na náročnost analýz, založených na terénním průzkumu a měření v porovnání s potenciačním efektem a vzhledem k míře nejistoty, obsažené v sezónnosti evapotranspiračního efektu. Studie dokládá zanedbatelné snížení kulminačních průtoků v nivách v řádu hodin, zatímco samotná evapotranspirace se projevuje v rádech dnů až týdnů. Náročnost vzhledem na vstupní data a délku výpočtu dokládá i studie Xu a Singh (2005). Výzkum evapotranspirace má smysl u niv výrazně zarostlých stromy a keři, kde se předpokládá dlouhodobý rozliv ve vegetačním období. Odhad retence vody v půdách je zase náročný z hlediska času pozorování a financí. To dokládají i studie Dostála a kol. (2012), Lichnera a kol. (2004) či Eliáše a kol. (2002), které posuzují především malá povodí

v horních částech povodí. Posouzení retenční schopnosti půd je využito většinou u rozsáhlých niv s častými dlouhotrvajícími rozlivy. Vzhledem k náročnosti měření není analýza evapotranspirace a retenční kapacity půdy součástí této práce.

Odhad pasivní retence území se využívá hlavně u niv, které nejsou výrazně zemědělsky využívány, pokud se v nich nevyskytují makrodeprese. V případě hospodářsky využívaných niv dochází často k zarovnání povrchu terénu a výsledný retenční objem je zanedbatelný. Tento jev je patrný i z výsledků této práce a to především v zájmové oblasti I. Dle studie Wyzgy (1999) má pasivní retence vliv především na menší povodně do Q_{10} , u středních

a velkých povodní dochází pouze ke zpomalení nástupu. To lze potvrdit z výsledků obou zájmových oblastí. Studie Dostála a kol. (2012) potvrzuje, že i u nivy přírodě blízkého charakteru, je objem dostupných pasivních retenčních prostorů v řádu jednotek procent z objemu povodňové vlny, s dobou opakování maximálně do 20 let. U hospodářsky využívaných niv při extrémních povodních bude vliv ještě nižší. Výsledky studie Dostála a kol. (2012) se neshodují s výsledky této práce, kde niva přírodě blízkého charakteru (oblast II.) dosahuje nižších hodnot pasivního retenčního objemu krajiny, než více antropogenně modifikovaná niva (oblast I.). Tyto výsledky jsou dány odlišnou geomorfologií nivy ve střední a dolní části povodí. Z výsledků práce vyplývá, že pasivní retenční objem je z hlediska středních a velkých povodní zanedbatelný u obou oblastí. U menších povodní lze v oblasti I. tento retenční objem uplatnit a dosáhnout tak zadržetí povodňových vod. Výsledky jsou dány především morfologií a land use říční nivy. V oblasti I. i přesto, že se jedná o širokou a plochou nivu, nedosahuje objem depresí takových hodnot, aby výrazně ovlivňoval povodňové rozlivy. To je dáno především zarovnáním reliéfu, který je využíván z velké části jako zemědělská plocha a zástavba. V oblasti II. to je dáno úzkým úvalovitým tvarem údolím, které má místy výrazný asymetrický tvar. V takovém to údolí se většinou nevyskytují rozsáhlé deprese o velkém objemu. Studie Jeffriese a kol. (2003) poukazuje na možnost zvýšení pasivní retence území ponecháním nových elevací v nivě, které vznikají při opadu povodňových vod. Tím dojde ke zvýšení členitosti reliéfu nivy a k vytvoření nových retenčních depresí. Tento postup by se dal částečně uplatnit v oblasti I. na pravé straně nivy u úseků ležících za Černošickým meandrem, kde je reliéf zarovnaný vlivem hospodářského využití. Řešením je odkup pozemků státem a změna land use, tak aby oblast fungovala jako přírodě blízké protipovodňové opatření, kde by nově vzniklé elevace mohli přispívat ke zvýšení retenčních účinků.

Analýza transformace povodňové vlny se vždy řeší za pomoci matematických simulačních modelů, které popisují neustálené proudění. Častěji jsou využívány modely 1D, jež jsou jednodušší, ale jejich využití je omezené. Využití 2D modelů je vhodnější pokud se trajektorie proudnice v inundaci výrazně liší od trasy koryta nebo v případě výrazně prostorově členitých niv (Pasternack a kol. 2004). Při této metodě je vhodné vytvořit simulaci pro několik velikostí vlny, čímž dojde k zohlednění poměru velikosti vlny a disponibilního retenčního prostoru v nivě (Dostál a kol. 2012). Velmi důležitý pro tvorbu modelů je samotný digitální model terénu. DMT musí být co možná nejkvalitnější, tak aby byly zaznamenány i menší změny v geomorfologii terénu, např. pro stanovení objemu terénních depresí. V současné době jsou na našem území nejpřesnější laserová data tzv. digitálního modelu reliéfu 4. a 5. generace (DMR 4G a DMR 5G), která jsou k zakoupení z Českého úřadu zeměměřičského a katastrálního. Z výsledků jednotlivých modelů vyplývá, že pro dosažení nejlepších a nepodrobnějších modelů, je příhodné využít data DMR 5G. Tyto data zaručují vysokou kvalitu modelu, ovšem nejsou volně k dispozici. Data DMR 4G jsou volně k dispozici, ale jejich využití je omezené kvalitou a přesností. Obecně lze konstatovat, že data DMR 4G jsou vhodná pro členitý reliéf, kde je jejich přesnost dostatečná. Naopak u málo členitých lokalit je vhodnější využití dat DMR 5G.

Samotný výběr modelu a použitého softwaru je dán čistě na rozsahu řešené problematiky a dostupnosti jednotlivých softwarů. Model 1D a použitý software HEC-RAS jsou vybrány vzhledem k jednoduchosti, nenáročnosti na vstupní data a vzhledem k menší časové vytíženosti. Program HEC-RAS umožňuje zadání různých parametrů, které ovlivňují výslednou simulaci. Výsledné průtoky ovlivňují vstupní data příčných profilů, jednotlivých průtoků v daném profilu, drsnosti povrchu na levé a pravé straně nivy v daném profilu a údaje o příčných a podélných překážkách. U příčných překážek, jako jsou třeba mosty, se zadávají informace o délce, šířce, výšce a světlosti mostové konstrukce či o umístění v rámci horizontální polohy. Je možné, že využitím jiného softwaru určeného na zjištění transformace povodňové vlny by se dosáhlo rozdílných hodnot. Domnívám se ale, že výsledné hodnoty by se výrazně nelišily od vypočtených hodnot v této práci.

Výsledky transformace povodňové vlny jsou opět významně ovlivněny morfologií a land use nivy a také příčnými a podélnými překážkami v oblastech. Studie Wyzgy (1996) poukazuje na to, že postupnou degradací nivy (odlesnění a vznik nové zástavby) dochází k nárůstu kulminace povodňové vlny. Kulminace povodňové vlny se postupně zrychluje a její doba zkracuje. Naopak vhodnou vodohospodářskou revitalizací nivy a koryta, jakou hodnotí např. Pasternack a kol. (2004), lze dosáhnout pozitivní transformace povodňové vlny.

Ta je prokázána snížením průměrné rychlosti proudění v daném úseku nivy až 65 %. Podobných výsledků bylo dosaženo v obou zájmových oblastech po simulaci vytvořeného hypotetického retenčního opatření. Studie Dostál a kol. (2012) konstatuje, že u přírodní nivy bez přítoků lze dosáhnout až 10 % snížení kulminačního průtoku. A zároveň dochází k časovému posunu kulminace až o 10 hodin. U intenzivně hospodářsky využívané nivy, která má menší drsnostní podmínky, jsou transformační účinky podstatně menší. V oblasti I. se prokazuje schopnost transformace i větších povodňových vln, kdy dochází rozložení zátopové vody relativně rovnoměrně po celé nivě. Problémem je ovšem přítomnost většího toku, kterým je Vltava. Dosažená transformace je možná pouze v případě povodňového stavu na Berounce. Pokud dojde k povodňovým stavům na obou tocích, což je běžný případ, dochází k zaplavení nivy Berounky i povodňovou vodou z Vltavy a výrazně se sníží transformační funkce oblasti. V případě oblasti II. dochází pouze k transformaci malých povodňových vln. U středních a velkých povodní, je transformační funkce minimální a dochází pouze ke zpoždění kulminační doby dále na toku. Problém navíc u obou oblastí mohou způsobovat povodňové vody z větších přítoků, jako jsou Klabava, Třemošná, Střela, atd.

Vzhledem k neustálému pohybu vody při retenci v inundaci, nelze retenční účinky niv přímo porovnávat s účinky nádrží na základě dostupných retenčních objemů. Metody pro hodnocení retenčních účinků niv jsou mnohem složitější než v případě nádrží (Dostál a kol. 2012). Posouzení retenčního potenciálu by mělo být preventivním opatřením s cílem vytipovat nivy cenné pro jejich tlumivou funkci. Vymezení těchto cenných oblastí je v dnešní době významné z hlediska stále se rozšiřujícího intenzivního hospodářství a zástavby v nivách. Komplexní retenční analýza by měla sloužit jako základní podklad při tvorbě ochranných opatření proti hydrologickým extrémům.

8.2. Diskuze opatření zvyšujících retenci

Přírodě blízkých a revitalizačních opatření zvyšující retenční schopnost krajiny je celá řada. Ne vždy jsou, ale jednotlivá opatření realizovatelná v daném území a to vzhledem k morfologii, antropogennímu ovlivnění, prostorovému vymezení nivy, financím, aj. Při výběru konkrétního opatření je vhodné přemýšlet o protipovodňovém účinku, ekonomických nákladech, sociálních a ekologických dopadech, případně druhotném využití. Komplexním zhodnocením jednotlivých přírodě-blízkých a revitalizačních opatření zvyšující retenční schopnost krajiny a jejich umístěním v rámci toku se blíže zabývala předchozí bakalářská práce Pergl (2013).

Pro zvýšení infiltrační a retenční schopnosti půdy je důležité udržovat dobrou půdní strukturu a zásobu organické hmoty v půdě. Půda se musí zásobit organickými hnojivy a nesmí docházet k její degradaci, např. utužení půdy ovlivňuje infiltraci i retenci (Kern 1993). Rychlost infiltrace vody lze také ovlivnit agrotechnickými opatřeními. Infiltrační schopnost půdy ovlivňuje také vegetační kryt. Např. mulč (odumřelá biomasa na povrchu půdy - sláma, rostlinné zbytky, listí apod.) zvyšuje infiltraci a snižuje povrchový odtok.

Nejběžnějším opatřením pro zvýšení retence je změna krajinného pokryvu. Změna land use a struktury krajiny je ekologicky i sociálně ohleduplné řešení, které má ovšem omezenou účinnost protipovodňové ochrany. V současné době vzniká trend obnovy lužních lesů a luk a změny využití zemědělské půdy. Vegetace lesů a luk zdrsňuje povrch inundační oblasti a tím dochází k zadržení a zpomalení záplavové vody z oblasti. Tyto tvrzení potvrzují např. studie Edmonse (2000), kde došlo k rozsáhlému zalesnění na středním a dolním toku Chang Jiang a vytvoření rozlehlé retenční oblasti, která nejen zpomaluje odtok z lokality, ale i zlepšuje stav biodiverzity. Dle Thomase a Nisbeta (2007) lze zalesněním zemědělských ploch údolní nivy zvýšit retenci vody v krajině až o 70 % při povodních až s 30-letou dobou opakování. Kromě změny land use je běžně používaným opatřením i vytvoření retenčních nádrží a polosuchých poldrů. Tato opatření jsou ovšem limitována vhodnými prostory pro jejich tvorbu. Dle studie Blackwel a Maltby (2006) se vhodné prostory pro vznik polosuchých poldrů nacházejí především v širokých plochých nivách, které nejsou využity pro zástavbu. V takových to místech lze vytvářet i soustavu několika polosuchých poldrů, které mohou být mezi sebou propojeny.

Jedním z výstupů práce je návrh přírodě blízkého retenčního opatření v zájmových oblastech. Retenční opatření je zvoleno vzhledem k současným fyzicko-geografickým a socio-ekonomickým podmínkám oblastí a samotné realizovatelnosti provedení. Na základě těchto parametrů je v práci simulována změna land use a to zalesněním zemědělských ploch. Práce se věnuje hypotetickému modelu zalesnění zemědělsky využívaných ploch v údolní nivě. Tato práce nastiňuje a poukazuje na místa vhodná pro provedení retenčních opatření v zájmových oblastech. Ne všechny plochy, které jsou hypoteticky navrženy k zalesnění lze zalesnit i ve skutečnosti.

V oblasti I. jsou jako nejvhodnější místa pro provedení retenčního opatření vytipovány čtyři lokality. Jedná se o levou část nivy mezi obcemi Dobřichovice a Černošice, která je v současnosti využita jako zemědělská plocha. Pravou část nivy na začátku Černošického meandru, kde je omezený prostor pro retenční opatření roztroušenou zástavbou. Dále pak se

jedná o levou část nivy mezi obcemi Černošice a Radotín, která je také využita jako zemědělská plocha. Největší prosto pro vytvoření účinného retenčního opatření se nachází v pravé části nivy mezi obcemi Černošice a Lahovice. Zde dokonce vzniká prostor i pro vybudování doprovodných opatření např. v podobě polosuchého poldru. Navrhovaný záměr vytvoření Radotínských lagun, blíže popsany v kapitole 6.1.7, je zajímavý projekt, který je ovšem z hlediska ochrany před povodněmi nedostatečný. Vzhledem k tomu že se jedná o nádrže, které budou trvale zaplněny vodou, má jejich objem minimální vliv na povodňové vody. Jediné co by mělo vyšší vliv na retenci, je doprovodná zeleň, která by mohla zpomalovat a zadržovat vodu. Zadržení vody je ovšem ovlivněno výskytem protipovodňových valů, které omezují rozliv a soustředí vodu do blízkosti koryta.

Vhodnějším opatřením by dle mého názoru byla komplexní změna využití krajiny. Především na pravém břehu mezi Berounkou a Vltavou by mohlo dojít ke změně zemědělských ploch na zalesněné plochy, popřípadě vytvoření ploch s pestrou změnou vegetace. Pestrá změna vegetace by znamenala střídání polygonů stromů, keřů a říčních luk. Ty by výrazně zvyšovaly drsnost povrchu a zpomalovaly a zadržovaly vyšší povodňové vody i na delší dobu. Toto tvrzení dokládá i kapitola 7.4.1, kde je uveden návrh opatření zvyšující retenci oblasti I. Návrh ukazuje snížení průměrných rychlostí proudění v nivě při Q_{100} . Opatření je zároveň ekologicky i sociálně ohleduplným řešením, které má ovšem omezenou účinnost protipovodňové ochrany. Změnu land use je dle studií Edmonse (2000), Hooijera (2004) či Blachwella a Maltbyho (2006) vhodné kombinovat s dalšími přírodě blízkými opatřeními. V široké pravé části nivy by mohl vzniknout velký přírodě blízký polosuchý poldr či více menších polosuchých přírodě blízkých poldrů. Poldry by byly obklopeny protipovodňovými valy o různých výškách. Valy o různých výškách by měly mezi sebou určité rozestupy a vytvářely by jaké si umělé terasy. Do poldru či poldrů by mohlo vést i pomyslné koryto, kterým by voda v případě vybřežení byla usměrněna. Dno a protipovodňové valy by byly doplněny různorodou vegetací, tak aby došlo k jejich zpevnění a zvýšení účinků. Při normálních vodních stavech by poldry mohly sloužit druhotným účelům, podle kterých by se zvolila i patřičná vegetace. Například pokud by sloužil jako lesní plocha, zvolila by se vegetace lužních stromů a keřů. V případě využití jako louky by se zvolila bylinná vegetace doplněná keři a stromy po okrajích. Mohlo by navíc dojít k propojení valů, které by druhotně sloužily jako turistická stezka. Takovéto řešení by mohlo mít významný vliv z hlediska retence vody i protipovodňového opatření. Vytvořil by se tak prostor pro ukládání i vyšších povodňových objemů. Toto řešení by bylo ovšem nákladnější oproti pouhé změně pokryvu. Všechna protipovodňová opatření v této oblasti by ovšem měla

být vytvořená v návaznosti na říční nivu Vltavy, jejíž povodňové vody výrazně ovlivňují oblast I.

V oblasti II. jsou jako nejvhodnější místa pro provedení retenčního opatření vytipovány oblasti ležící na vnitřní straně meandrů a menších zákrutů mezi meandry, které se zde nacházejí podél celého toku. V zájmové oblasti II. je vytipováno 8 menších lokalit vhodných pro vytvoření návrhu retenčních opatření. U oblasti II. je pro účel zvýšení retence a protipovodňové ochrany dolního toku Berounky navrhována vodní přehrada, která je blíže specifikována v kapitole 6.2.8. Vodní přehrada by razantně narušila krajinný ráz oblasti a mohla by mít i ekologické následky vzhledem k tomu, že by se měla nacházet v CHKO Křivoklátsko, kde se nachází řada ohrožených druhů rostlin a živočichů. Dle mého názoru, by při budování přehrady vstoupil do hry soukromý subjekt, který by měl vlastní prioritu vzniku přehrady, např. vodní elektrárna. Což by znamenalo, že z hlediska objemu povodňových vod by přehrada neměla zas takový rezervoár, jelikož by byla naplněna ještě před vypuknutím povodňové situace. Takovýto jev by mohl mít opačné důsledky a mohl by zhoršovat stav na dolním toku. Při opadnutí povodňové vody na středním toku by docházelo ke stále vyššímu upouštění vody z přehrady a stálým povodním na dolním toku. Tento nejhorší možný scénář je, ale pouze názorem autora práce. Pokud by navrhovaná přehrada primárně sloužila jako protipovodňová ochrana, tak by docházelo k utlumení rozlivu na dolním toku a zpoždění povodňové vlny tak, aby nedocházelo k synchronizaci s povodňovou vlnou na Vltavě.

Návrhy přírodě blízkých opatření zvyšující retenci v této oblasti jsou vzhledem ke geomorfologii a šířce nivy a trase koryta problematické. Niva je úzká a zařízlá a nedává velký prostor pro vytvoření souvislého a plošně rozsáhlého opatření. Určitě by pro zvýšení retence mělo dojít ke změně pokryvu, a zalesnění zemědělských ploch, které se nachází v blízkosti koryta, případně v nivě. Jak dokládá kapitola 7.4.2, zalesněním zemědělských ploch lze částečně snížit průměrnou rychlost proudění v nivě při povodňových situacích. Vnitřní strany meandrů navíc dávají možnost pro vybudování menších polosuchých přírodě blízkých poldrů, které by v případě vyšších stavů vody byly zaplněny. Kolem nádrží by vznikly protipovodňové valy doplněné vegetací stromů a keřů, což by opět zvyšovalo drsnost povrchu a zvyšovalo dobu zadržení vody. Samotné nádrže mohou být doplněny mokřady a tůňemi, tak, aby bylo zachováno co možná nejvíce přírodní prostředí. Takovéto prostředí by navíc mohlo sloužit jako útočiště živočichům a rostlinám a zvyšovalo by biodiverzitu celé oblasti. Vzniklá opatření by měla vliv pouze na menší a střední povodně. Při velkých povodních (50-leté a vyšší) by docházelo pouze k malému zadržení vody a zpoždění povodňové vlny. Účinná by byla však při opadávání vody, kdy by ulehčila dolnímu toku. Součástí návrhů na

zvýšení retence v oblastech by mělo být i zdrsňení koryta toku pomocí dřevní hmoty či balvanů. Zdrsňení koryta může mít vliv na odtokový režim při menších či náhlých povodňových situacích. Zároveň je přirozeně drsné koryto se štěrkovými sedimentacemi vhodné i pro vývoj a rozmnožování zoobentosu, obojživelníků a ryb.

Vzhledem k celkové délce (139 km) a geomorfologii Berounky nelze na základě dvou zájmových oblastí analyzovat celkový stav retenční kapacity říční nivy Berounky. Pro tuto analýzu by bylo potřeba zvolit více zájmových oblastí, které by byly vhodně situovány podél celého toku. Nicméně výsledky obou zájmových oblastí naznačují, že podél celého toku se nalézají plochy vhodné pro vytvoření retenčních opatření, která by tlumily povodňové stavy na Berounce a dolní Vltavě.

9. Závěr

Hydrologické extrémy představují a budou představovat krajní ohrožení nejen pro lidi a jejich majetek, ale i pro krajinnou sféru jako takovou. V minulosti a současnosti se jednalo především o povodňová ohrožení a s nimi vzniklé škody, v budoucnosti jsou očekávány hydrologická sucha a nedostatek vody. Na obě tyto problematiky lze vytvořit vodohospodářská revitalizační opatření, jež zvyšují retenční schopnost krajiny. Při povodních dochází k zadržení vody a zpomalování a snížení povodňové vlny. Při hydrologickém suchu, se dokáže vytvořit zásoba vody v krajině a podpořit tak odtokovou bilanci území. Přírodě blízká opatření a revitalizační opatření zvyšující retenci vody jsou navíc vlídnější k okolní krajině a celkovému krajinnému rázu oproti technickým opatřením. Vzhledem k fyzickogeografickým podmínkám jednotlivých částí toku, nelze vždy uplatnit jednotlivá opatření. Proto se musí vždy zvolit to nejvýhodnější s ohledem na funkčnost a všechna omezení.

Předkládaná práce se zabývá zhodnocením současného stavu retenční kapacity údolní nivy řeky Berounky a návrhu možných alternativních protipovodňových případně i revitalizačních opatření a to se záměrem zvýšení retence vody v krajině. Za tímto účelem jsou vytipovány dvě zájmové oblasti, na základě charakteristik odlišné antropogenní modifikace nivy, odlišné geografické pozice v rámci celého povodí a podobné morfologie trasy toku.

Sezonalita povodní na Berounce vykazuje výskyt jednodenních povodní od druhé poloviny ledna do konce března. Vícedenní povodňové události se vyskytují nejčastěji od začátku ledna do začátku dubna a částečný výskyt je pozorován i v jarních měsících

I když hydromorfologický průzkum vodních toků není hlavním cílem práce, potvrdila se vhodnost jeho aplikace jako podkladové analýzy pro vytipování lokalit vhodných pro návrh přírodě blízkých retenčních opatření. Pro návrh retenčních opatření jsou vytipovány 4 lokality v oblasti I. a 8 lokalit v oblasti II. Samotné výsledky HEM dokládají horší stav ekologické kvality v oblasti I., která je pod větším antropogenním tlakem než oblast II.

Pasivní retenční objem krajiny se dle očekávání projevuje v obou oblastech pouze při malých a bleskových povodních, při kterých dochází k zadržením povodňových vod v nivě a zpomalením odtoku vody z oblasti. Při extrémních a středních povodňových situacích má na odtok z oblastí pasivní retence prakticky nulový efekt.

Porovnání výsledků rychlosti proudění mezi současným stavem a stavem hypotetického zalesnění daných retenčních lokalit při Q_{100} prokazuje, že v místech zalesnění dochází ke zdrsnění povrchu nivy a tím i ke zpomalení rychlosti proudění. V zájmové oblasti I. je maximální snížení rychlosti proudění až o 70 % a v zájmové oblasti II. až o 77 %.

Očekávaným zjištěním je vyšší retenční schopnosti inundačního území Berounky v oblastech široké a ploché nivy, kde je rozsáhlý prostor pro rozliv povodňových vod. Naopak menší retenční schopnost byla zjištěna v geomorfologicky asymetrických částech nivy, kde dosahují povodňové vody větších hloubek.

Samotný výzkum retenčního potenciálu určité oblasti je základem pro tvorbu a umístění retenčních opatření. Potenciál oblasti je zjišťován na základě stanovení pasivního retenčního objemu, retence vody v půdě, evapotranspirace a posouzení transformace povodňových vln.

Přírodě blízká protipovodňová a revitalizační retenční opatření snižují četnost extrémních povodní v menším povodí nebo omezují "středně velké" záplavy na velkém povodí. Samostatně mají ovšem při extrémních povodňových stavech (100-letá a vyšší voda) pouze minimální účinek, a je nutné, je kombinovat s dalšími opatřeními. Jejich hlavní výhodou je zachování přírodního stavu území a zvýšení ekologické hodnoty krajiny. Retenční schopnost říční nivy hraje důležitou roli nejen při ochraně před povodněmi, ale i před hydrologickým suchem.

Literatura a zdroje dat

Odborná literatura

- BALATKA, B. (2001): Geomorfologické poměry a členění reliéfu. In: KOVANDA, J. et al. (2001): Neživá příroda Prahy a jejího okolí. Praha: Academia, ČGÚ
- BALATKA B., LOUČKOVÁ J. (1991): Kvartérní terasy řeky Berounky (Quaternary terraces of the Berounka River). Sborník České geografické společnosti, 96, s. 145–162
- BALATKA, B., KALVODA, J. (2006): Geomorfologické členění reliéfu Čech. Kartografie Praha, Praha, 76 s.
- BALATKA B., KALVODA J. (2010): Vývoj údolí Sázavy v mladším kenozoiku. Praha: Česká geografická společnost. 198 s.
- Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft (2005): Einfluss von Massnahmen der Gewässerentwicklung auf den Hochwasserabfluss, Materialien Nr. 122, München.
- BLACKWELL, M. S. A., MALTBY, E. (2006): Ecoflood Guidelines: How to use floodplains for flood risk reduction, European Commission, Flood Project, Luxembourg, 144 s.
- BREN, L.J. (1993): Riparian zone, stream, and floodplain issues: a review. Journal of Hydrology, 150(2), p. 277-299
- BRIDGE, J. S. (2003): Rivers and floodplains. Oxford: Blackwell. 491 s.
- BURROUGH, P. A., McDONNELL, R. A. (1998): Principles of Geographical Information Systems. Oxford University Press, Oxford, USA.
- CARROLL, Z. L., BIRD, S. B., EMMETT, B. A., REYNOLDS, B., SINCLAIR, F. L. (2004): Can tree shelterbelts on agricultural land reduce flood risk. Soil Use and Management, 20, s. 257–359
- COLLIN, P. H. (1988): Dictionary of Ecology and the Environment. Teddington Park: Peter Collin Publishing, 198 s.
- COSTA, M. H., BOTTA, A., CARDILLE, J. A. (2003): Effects of large-scale changes in land cover on the discharge of the Tocantins river, South Eastern Amazonia. Journal of Hydrology, 283, s. 206–217
- CULEK, M. (2005): Biogeografické členění České republiky II. díl. AOPK ČR, Praha. 800 s.
- DAVID, V., VALENTA, P., VALENTOVÁ, J. (2011): Posuzování retenční kapacity říčních niv a možnosti jejího zvýšení - metodika. ČVUT, Praha, 45 s.

- DAVID, V., DOSTÁL, T. (2012): Floodplain retention capacity assessment for Lužnice river. *AUC Geographica*, 47 (1): s. 5-12
- DĚD, M. (2013): Údolní nivy – dílo vody na souši. *Životné prostredie – Revue pro teóriu a starostlivosť o životné prostredie*, roč. 47, č. 3. s. 187-189.
- DEMEK, J. (1987a): *Obecná geomorfologie*. Academia, Praha, 476 s.
- DEMEK, J. (1987b): *Zeměpisný lexikon ČSR. Hory a nížiny*. Praha: Academia.
- DONIGIAN, A.S., IMHOFF., J.,C., AMBROSE., R.B. (1995): Modeling watershed water quality. In: *Environmental Hydrology*. Netherlands: Kluwer Academic Publishers. s. 377 - 426.
- DOSTÁL, T., DAVID, V., VALENTOVÁ, J., VALENTA, P., WEYSKRABOVÁ, L., SNĚHOTA, M., ŠANDA, M., PITHART, D. (2012) Procesy, které se uplatňují při retenčním působení niv. In: PITHART, D., DOSTÁL, T., LANGHAMMER, J., JÁNSKÝ, B., a kol. (2012): *Význam retence vody v říčních nivách*. Daphne ČR - Institut aplikované ekologie, České Budějovice, 141 s.
- DRÁP, A. (2005): *Hydroinformatika I. - Využití GIS při řešení 1D úloh proudění vody*. VÚT v Brně, Fakulta stavební, Brno, 29 s.
- EDMONDS, R. L. (2000). Recent developments and the prospects for the Sanxia (Three Gorges) Dam. In: CANNON, T. (2000): *China's economic growth: The impact on regions, migration, and the environment*. St. Martin's Press, New York, 315 s.
- ELIÁŠ V., TESAŘ M., ŠÍR M. & SYROVÁTKA O., 2002: Stabilita a extremalizace hydrologického cyklu pramenných oblastí. In: *Povodně: prognózy, vodní toky a krajina*, PATERA A. (ed.) Fakulta stavební ČVUT v Praze a Česká vědeckotechnická vodohospodářská společnost, Praha, s. 363–385
- GRAF, W. H., ALTINAKAR, M. S. (2003): *Fluvial Hydraulics. Flow and Transport processes in Channels of Simple Geometry*. John Wiley and Sons.
- GUNKEL, G. (1996): *Renaturierung kleiner Fliessgewässer*, Gustav Fisher Verlag Jena, Stuttgart, 471 s.
- GURNELL, A. M., PETTS, G. E. (2002): Island-dominated landscapes of large floodplain rivers, a European perspective. *Freshwater Biology*, No. 47. pp 581-600.
- HAVLÍČEK, V. (2001): Starší paleozoikum. In: KOVANDA, J. et al. (2001): *Neživá příroda Prahy a jejího okolí*. Praha: Academia, ČGÚ

- HOOIJER, A., KLIJN, F., PEDROLI, G. B. M., VAN OS, A. G. (2004): Towards sustainable flood risk management in the Rhine and Meuse river basins: synopsis of the findings of IRMA-SPONGE. *River Research and Applications*, 3, s. 343–357
- HUGGETT, R. J. (2003): *Fundamentals of geomorphology*. London: Routledge, 408 s.
- CHOW, V. T. (1959): *Open Channel Hydraulics*. McGraw-Hill, New York.
- CHUMAN, T. (2008): Vymezení nivy pomocí pedologických a biogeografických podkladů na příkladu povodí Opavy. In: LANGHAMMER, J. (2008): *Údolní niva jako prostor ovlivňující průběh a následky povodní*. Praha: PřF UK, KFGG. s. 178-184.
- JAKUBÍNSKÝ, J. (2014): *Potenciál vymezení nivy a říční krajiny na malých vodních tocích*. Rigorózní práce. Brno: Masarykova univerzita, Přírodovědecká fakulta, Geografický ústav. 113 s.
- JEFFRIES, R., DARBY, S.E., SEAR, D.A. (2003): The influence of vegetation and organic debris on flood-plain sediment dynamics: case study of a low-order stream in the New Forest, England. *Geomorphology*, č. 51, s. 61–80
- JENÍČEK, M. (2009): *Modelování průběhu extrémních povodní v kontextu krajinných změn a integrované protipovodňové ochrany*. Disertační práce. Praha: Univerzita Karlova v Praze, Přírodovědecká fakulta, Katedra fyzické geografie a geoekologie, 128 s.
- JUST, a kol. (2005): *Vodohospodářské revitalizace a jejich uplatnění v ochraně před povodněmi*. Česko: Český svaz ochránců přírody, Praha, 359 s.
- KAIGLOVÁ, J. (2010): *Analýza a modelování změn kvality vody v povodí Olšavy*. Diplomová práce. Praha: Univerzita Karlova v Praze, Přírodovědecká fakulta, Katedra fyzické geografie a geoekologie, 129 s.
- KARIM, F., KINSEY-HENDERSONA, A., WALLACEA, J., ARTHINGTONB, A. H., PEARSONC, R. G. (2012): Modelling wetland connectivity during overbank flooding in a tropical floodplain in north Queensland, Australia. *Hydrological Processes*, č. 26, s. 2710–2723
- KJELDS, J., JACOBSEN, T., HUGHES, J., KREJCIK, J., (2009): Decision support tools for intergrated water resources management. *Horsholm-DHI Water & Enviroment*. 16 s.

- KOVANDA, J. a kol. (2001): Neživá příroda Prahy a jejího okolí. Praha: Academia, ČGÚ, 216 s.
- KRÍŽEK, M., HARTVICH, F., CHUMAN, T., ŠEFRNA, L., ŠOBR, M., ZÁDOROVÁ, T. (2006): Floodplain and its delimitation. Geografie – Sborník ČGS. Roč. 111, č. 3. s. 260-273.
- KUTÍLEK, M. (1978): Vodohospodářská pedologie. SNTL, Praha, 295 s.
- LANGHAMMER, J. a kol. (2007): Povodně a změny v krajině. PřF UK v Praze, Praha, 396 s.
- LANGHAMMER, J. a kol. (2010): Metodika vymezení útvarů povrchových vod. PřF UK, Praha, 47 s.
- LANGHAMMER, J. (2012): Údolní niva a její vymezení. In: PITHART, D., DOSTÁL, T., LANGHAMMER, J., JÁNSKÝ, B., a kol. (2012): Význam retence vody v říčních nivách. Daphne ČR - Institut aplikované ekologie, České Budějovice, 141 s.
- LANGHAMMER, J. (2013): HEM. Hydroekologický monitoring. Metodika pro monitoring hydromorfologických ukazatelů ekologické kvality vodních toků. Aktualizovaná verze s komentáři MŽP. PřF UK, Praha 2013, 66 s.
- LANGHAMMER, J., HARTVICH, F. (2014): Typově specifické hodnocení hydromorfologických ukazatelů ekologické kvality vodních toků. PřF UK, Praha, 38 s.
- LEHOTSKÝ M., GREŠKOVÁ A. (2004): Hydromorphology, riverine landscape and river management strategy. XXIIInd Conference of Danubian Countries on Hydrological Forecasting and Hydrological Bases of Water management. Conference Proceedings – 6.21. CD-ROM. Brno: ČHMÚ.
- LEOPOLD, L. B. (1994): A View of the River. Cumberland: Harvard University Press, 310 s.
- LEWIN, J., MANTON, M. M. M. (1975): Welsh floodplain studies: The nature of floodplain geometry. Journal of Hydrology, Vol. 25, No. 1–2. pp. 37–50.
- LI, Z., ZHU, Q., GOLD, C. (2005): Digital terrain modelling. CRC Press, Boca Raton, US
- LICHNER L., ŠÍR M. & TESAŘ M., (2004): Testování retenční schopnosti půdy. Aktuality šumavského výzkumu II, s. 63-67
- LOŽEK, V. (1981): Změny krajiny v souvislosti s osídlením ve světle malakologických poznatků. Archeologické rozhledy, č. 33. s. 176-188.

- LOŽEK, V. (2003): Naše nivy v proměnách času I. *Ochrana přírody*, roč. 58, č. 4, s. 101-106.
- LOŽEK, V., KUBÍKOVÁ, J., ŠPRYŇAR, P. a kol. (2005): *Chráněná území ČR. Svazek XIII. Střední Čechy. AOPAK ČR*, Brno 902 s.
- MATĚJČEK, T. (2008): Sledování invazních druhů rostlin v říčních nivách. In: LANGHAMMER, J. (2008): *Údolní niva jako prostor ovlivňující průběh a následky povodní*. Praha: PřF UK, KFGG. s. 253-261.
- MATOUŠKOVÁ, M. (2008): Metoda ekomorfologického hodnocení kvality habitatu vodních toků EcoRivHab. In: MATOUŠKOVÁ, M. (ed.): *Ekohydrologický monitoring vodních toků v kontextu evropské Rámcové směrnice o vodní politice*. PřF UK v Praze a GAČR, Praha, p. 209.
- MKOL (2003): *Akční plán povodňové ochrany v povodí Labe. Mezinárodní komise pro ochranu Labe (MKOL), Magdeburg*, 78 s.
- NAIMAN, R. J., DÉCAMPS, H., MCCLAIN, M. E. (2005): *Riparia, Ecology, Conservation, and Management of Streamside Communities*. London: Elsevier Academic Press. 430 p.
- NANSON, G. C., CROKE, J. C. (1992): A genetic classification of floodplains. In: BRAKENRIDGE, G. R., HAGEDORN, J. (1992): *Floodplain Evolution. Geomorphology*, No. 4, pp. 459-486.
- NĚMEC, J., HLADNÝ, J. (2006): *Voda v České republice*. Consult, Praha, 253 s.
- OUDINA, L., HERVIEUA, F., MICHELA, C., PERRINA, CH., ANDRÉASSIANA, W., ANCTILB, F., LOUMAGNEA, C. (2005): Which potential evapotranspiration input for a lumped rainfall–runoff model?: Part 2—Towards a simple and efficient potential evapotranspiration model for rainfall–runoff modelling. *Journal of Hydrology*, č. 303, s. 290–306
- OLMER, M., KESSL, J. a kol. (1990): *Hydrogeologické rajóny. Práce a studie. Sešit 176. - Výzk. úst. vodohospod. Praha*
- PASTERNAK, G.B., WANG, C.L., MERZ, J.E. (2004): Application of a 2d hydrodynamic model to design of reach-scale spawning gravel replenishment on the Mokelumne River, California. *River Research and Applications*, č. 20, s. 205–225
- PERGL, M. (2013): *Přírodě blízká protipovodňová opatření v krajině. Bakalářská práce*. Praha: Univerzita Karlova v Praze, Přírodovědecká fakulta, Katedra fyzické geografie a geoekologie, 82 s.

- SCHOLZ, M., SADOWSKI, A. J. (2009): Conceptual classification model for sustainable flood retention basins. *Journal of Environmental Management*, 90, s. 624-633
- SIMENSTAD, C.A., MORGAN, C.A., CORDELL, J.R., BAROSS, J.A. (1994): Flux, passive retention, and active residence of zooplankton in Columbia River estuarine turbidity maxima, In: DYER, J. and ORTH, M. (Eds.). *Changes in fluxes in estuaries: Implications from science to management*. University of Plymouth. ECSA22/ERF Symposium, s. 473-482.
- SMITH, K., WARD, R. (1998): *Floods*. John Wiley & Sons, Chicester, 382 s.
- ŠMEROUSOVÁ, K. (2010): Návrh revitalizačních opatření v povodí Slubice na podkladě ekohydromorfologického průzkumu. Diplomová práce. Praha: Univerzita Karlova v Praze, Přírodovědecká fakulta, Katedra fyzické geografie a geoekologie, 141 s.
- ŠTĚRBA, O. a kol. (2008): *Říční krajina a její ekosystémy*. 1. vyd., Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci. 391 s.
- TESAŘ M., ŠÍR M., SYROVÁTKA O., PRAŽÁK J., LICHNER L. & KUBÍK F., (2001): Soil water regime in head water regions – observation, assessment and modelling. *Journal of Hydrology and Hydromechanics*, 49, s. 355–375.
- THOMAS, H., NISBET, T. R. (2007): An assessment of the impact of floodplain woodland on flood flows. *Water and Environment Journal*, 2, s. 114-126
- TOCKNER, K., STANFORD, J. A. (2002): Riverine flood plains: present state and future trends. *Environmental Conservation*, No. 3. pp 308-330.
- TOLASZ, R. (2007): *Atlas podnebí Česka*. Český hydrometeorologický ústav, Praha, 255 s.
- TOMÁŠEK, M. (2000): *Půdy České republiky*. Česká geologická služba, Praha, 67 s.
- TYRÁČEK J. (2001): Upper Cenozoic fluvial history in the Bohemian Massif. *Quaternary International*, 79, s. 37–53
- USACE (2001): *HEC-RAS River Analysis System. Hydraulic Reference Manual*. Hydrologic Engineering Center, Davis, California.
- VALENTA, P. (2004): *Dvourozměrné numerické modelování proudění vody v otevřených korytech a inundačních územích*. Habilitační práce. ČVUT, Fakulta stavební, Praha

- VANDENBERGHE, J. (1995): Timescales, climate and river development. *Quaternary Science Reviews*, 14, s. 631-638
- VIEUX, B. E. (2004): *Distributed hydrologic modelling using GIS*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, NL.
- VOREL, T. a kol. (2007): *Vysvětlivky k základní geologické mapě ČR 1:25 000*, MS Česká geologická služba, Praha
- VREUGDENHIL, C. B. (1988): *Numerical methods for shallow water flow*. Kluwer Academic Publishers.
- WARD, R.C. (1963): Observations of potential evapotranspiration (PE) on the Thames floodplain 1959–1960. *Journal of Hydrology*, č. 1, s. 183-194
- WARMERDAMM, P. M. M., EERTWEGH, G.A.P.H. van den, ELIÁŠ, V., ROOIJ, G.H. de, SIR, M., TESAŘ, M. (1997): Process studies in agricultural catchments. In: *Third report: 1994–1997, FRIEND - Flow Regimes from International Experimental and Network Data*, Paris : UNESCO, June 1997, Chapter 6 – Physical processes, S. 330–337
- WITNER, D. B. (1966): *Soils and Their Role in Planning a Suburban Community*
- WYZGA, B. (1996): Changes in the magnitude and transformation of flood waves subsequent to the channelization of the Raba River, polish Carpathians. *Earth Surface Processes and Landforms*, č. 21., s. 749-763
- WYZGA, B. (1999): Estimating mean flow velocity in channel and floodplain areas and its use for explaining the pattern of overbank deposition and floodplain retention. *Geomorphology*, č. 28, s. 281–297
- XU, C.Y., SINGH, V.P., (2005): Evaluation of three complementary relationship evapotranspiration models by water balance approach to estimate actual regional evapotranspiration in different climatic regions. *Journal of Hydrology*, č. 308, s. 105–121

Elektronické zdroje

- ARC ČR 500. Digitální geografická databáze, verze 3.0. Dostupné z: <http://www.arcdata.cz/uvod/>
- BOUZEK, M. (2014): Kauza Radotínská jezera. Dostupné z: <http://www.mcpraha16.cz/Kauza-Radotinska-jezera.html>
- CORINE (2015): Land cover. European Environment Agency. Rastrová data 1990 a 2012. Dostupné z: <http://www.eea.europa.eu/>
- ČGS (2015): Mapový server České geologické služby. Dostupné z: <http://www.geology.cz/extranet/mapy/mapy-online/mapove-aplikace/>
- ČHMÚ (2015a): Průměrné N-leté průtoky ze stanic Praha – Radotín, Beroun, Zbečno, Liblín. Zakoupeno: 10. 11. 2015
- ČHMÚ (2015b): Průměrné denní průtoky z hydrologické stanice Beroun za období 1951 – 2014. Zakoupeno: 10. 11. 2015
- ČÚZK (2015a): Základní mapa 1:10 000. Český úřad zeměměřický a katastrální, WMS služba. Dostupné z: <http://geoportal.cuzk.cz/>
- ČÚZK (2015b): Ortofoto. Český úřad zeměměřický a katastrální, WMS služba. Dostupné z: <http://geoportal.cuzk.cz/>
- ČÚZK (2015c): Digitální model reliéfu 4. generace, Český úřad zeměměřický a katastrální, WMS služba. Zakoupeno: 20. 3. 2015
- ČÚZK (2015d): Digitální model reliéfu 5. generace, Český úřad zeměměřický a katastrální, WMS služba. Zakoupeno: 20. 3. 2015
- ČÚZK (2015e): Základní mapa 1:25 000. Český úřad zeměměřický a katastrální, WMS služba. Dostupné z: <http://geoportal.cuzk.cz/>
- DHI (2008): MIKE 21 Flow Model: Scientific Documentation, DHI: Denmark; 60. Dostupné z: <http://www.dhigroup.com/>.
- DIBAVOD VÚV T. G. M. (2015): Digitální báze vodohospodářských dat, Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka. Dostupné z: <http://www.dibavod.cz/>
- EXNER, O. (2007): Jezera zmírní povodně. Dostupné z: <http://archive.today/3Pmqd#selection-715.0-715.21>
- FENCL, J. (2007): Změny v nivních územích MČ Praha 16. Dostupné z: <http://www.radotinska-jezera.cz/dokumenty/fencl-jiri-zmeny-v-nivnich-uzemich-mc-praha-16.pdf>

- KNOTEK, M. (2012): Co se ví o jezerech. Dostupné z:
http://www.mcpraha16.cz/8435_Co-se-vi-o-jezerech
- KRAML, K. (2002): Vodní dílo Křivoklát na Berounce. Dostupné z:
http://www.karelkraml.czweb.org/Krivoklatska_prehrada.pdf
- Povodí Vltavy (2016): Protipovodňová ochrana dolní Berounky - studie retenční nádrže. Dostupné z: <http://www.pvl.cz/vodohospodarske-informace/ppo-dolni-berounky>
- Správa CHKO Křivoklátsko (2015): Charakteristika území. Dostupné z:
<http://krivoklatsko.ochranaprirody.cz>
- USACE (2016): US Army Corps of Engineers. Dostupné z:
<http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/>

Seznam grafických prvků

Seznam obrázků

- Obr. 1:** Záplavové území 100 leté vody jako podklad pro hydrologické vymezení nivy, Berounka, obec Roztoky.....15
- Obr. 2:** Průběh infiltrace na půdě s odlišnou strukturou.....19
- Obr. 3:** Sumární četnost impulsů v půdě v závislosti na kumulativní infiltraci. Určení retenční schopnosti půdy.....20
- Obr. 4:** Porovnání složek vodní bilance ve všech zájmových oblastech. A - středovýchodní část Švédska, B - východní část Číny, C - severozápadní část Kypru.....22
- Obr. 5:** Změna reliéfu v nivě po zimní povodni 2000/2001, Highland Water, New Forest, Velká Británie.....24
- Obr. 6:** Rychlost a směr proudění A) před- B) po revitalizaci. Snížení rychlosti bílá barva 0-0,5 m.s⁻¹, světle šedá 0,5-1 m.s⁻¹, středně šedá 1-1,5 m.s⁻¹ a tmavě šedá 1,5-2 m.s⁻¹.....26
- Obr. 7:** Ekologické protipovodňové retenční nádrže (SFRB), německá část středního povodí Rýnu.....30
- Obr. 8:** Schéma výpočtu pasivního retenčního objemu pro jednotlivé hladiny.....40
- Obr. 9:** nahoře – Porovnání tvaru hladiny kinematické (vlevo) a dynamické (vpravo) vlny, dole – Porovnání tvaru kinematické (vlevo) a dynamické (vpravo) vlny.....45
- Obr. 10:** Vstupní (nahore) a výstupní (dole) profil v místě Radotínského mostu, uprostřed koryto Berounky, 1,3 ř. km50
- Obr. 11:** Lokalizace zájmových oblastí.....51
- Obr. 12:** Zájmová oblast I.....52
- Obr. 13:** Mapa nadmořských výšek pro povodí v oblasti I.....56
- Obr. 14:** Mapa sklonitosti pro povodí v oblasti I.....57
- Obr. 15:** Mapa půdních typů v oblasti I.....60
- Obr. 16:** Mapa land use 1990 oblasti I.....63
- Obr. 17:** Mapa land use 2012 oblasti I.....64
- Obr. 18:** Schválený územní plán přístaviště Radotín a jezem na ř. km 1,65. Tlustá žlutá čára značí terénní stupeň, který má sloužit jako protipovodňový val.....66
- Obr. 19:** Zájmová oblast II.....68
- Obr. 20:** Mapa nadmořských výšek pro povodí v oblasti II.....71
- Obr. 21:** Mapa sklonitosti pro povodí v oblasti II.....72
- Obr. 22:** Mapa půdních typů v oblasti II.....75

Obr. 23: Mapa land use 1990 oblasti II.....	78
Obr. 24: Mapa land use 2012 oblasti II.....	79
Obr. 25: Situace navrhovaných profilů hrází VD Křivoklát.....	80
Obr. 26: Křivka překročení průměrných m-denních průtoků v profilu Beroun (1951 – 2014)	84
Obr. 27: Variabilita M-denních průtoků v roce 1964 a 2002 v měrném profilu Beroun	84
Obr. 28: Průměrné měsíční průtoky v profilu Beroun (1951 – 2014).....	85
Obr. 29: Průměrné roční průtoky v profilu Beroun (1951 – 2014).....	86
Obr. 30: Výskyt povodní v rámci roku v měrném profilu Beroun (1951 – 2014).....	87
Obr. 31: Sezonalita povodní řeky Berounky v měrném profilu Beroun (1951 – 2014)	88
Obr. 32: Vlevo - šterkové lavice (BER014)), vpravo - příčná překážka v podobě jezu (BER016).....	90
Obr. 33: Vývoj kvality zóny koryta a trasy toku v podélném profilu v oblasti I.....	91
Obr. 34: Vlevo - zvýšený a zpevněný břeh (BER003), vpravo - pestrá vegetace v příbřežní zóně (BER008).....	92
Obr. 35: Vývoj kvality příbřežní zóny v podélném profilu v oblasti I.....	93
Obr. 36: Vlevo - zpevnění břehu betonovou zdí (BER002), vpravo – prakticky nulová niva na levém břehu (BER014).....	94
Obr 37: Vývoj kvality inundačního území v podélném profilu v oblasti I.....	95
Obr. 38: Vývoj kvality celkového hydromorfologického stavu v podélném profilu v oblasti I.	96
Obr. 39: Vlevo - klouzavý proud (BER018), vpravo - dnová struktura v podobě ostrovu (BER030).....	99
Obr. 40: Vývoj kvality zóny koryta a trasy toku v podélném profilu v oblasti II.....	99
Obr. 41: Vlevo - vegetace v příbřežní zóně (BER026), vpravo - zpevněný břeh gabiony (BER034b).....	101
Obr. 42: Vývoj kvality příbřežní zóny v podélném profilu v oblasti II.....	101
Obr. 43: Vlevo - plocha ponechaná přirozenému vývoji (BER020), vpravo - land use nivy (BER018).....	103
Obr. 44: Vývoj kvality inundačního území v podélném profilu v oblasti II.....	103
Obr. 45: Vývoj kvality celkového hydromorfologického stavu v podélném profilu v oblasti II.....	105

- Obr. 46:** Mapa záplavových území odvozených na základě reklasifikace DMT (výběr hladin) v oblasti I.....107
- Obr. 47:** Rozložení depresí dle jejich objemu v oblasti I.....108
- Obr. 48:** Mapa záplavových území odvozených na základě reklasifikace DMT (výběr hladin) v oblasti II.....109
- Obr. 49:** Rozložení depresí dle jejich objemu v oblasti II.....109
- Obr. 50:** Mapa hloubky vody při průtoku Q_{20} nivou v oblasti I.....111
- Obr. 51:** Mapa hloubky vody při průtoku Q_{20} nivou v oblasti II.....112
- Obr. 52:** Návrh zalesněného území v oblasti I.....115
- Obr. 53:** Průměrná rychlost proudění v pravé části nivy oblasti I. při Q_{100}115
- Obr. 54:** Průměrná rychlost proudění v levé části nivy oblasti I. při Q_{100}116
- Obr. 55:** Návrh zalesněného území v oblasti II.....117
- Obr. 56:** Průměrná rychlost proudění v pravé části nivy oblasti II. při Q_{100}118
- Obr. 57:** Průměrná rychlost proudění v levé části nivy v oblasti II. při Q_{100}118

Seznam tabulek

Tab. 1: Vymezení mapovaných úseků v oblasti I.....	35
Tab. 2: Vymezení mapovaných úseků v oblasti II.....	35
Tab. 3: Klasifikace hydromorfologického stavu na základě vypočtené hodnoty hydromorfologické kvality.....	38
Tab. 4: Vymezení příčných překážek v zájmové oblasti I.....	46
Tab. 5: Vymezení příčných překážek v zájmové oblasti II.....	47
Tab. 6: Vymezení příčných profilů v zájmové oblasti I.....	47
Tab. 7: Vymezení příčných profilů v zájmové oblasti II.....	48
Tab. 8: Geomorfologické zařazení zájmové oblasti I.....	53
Tab. 9: Klimatické charakteristiky oblasti T2.....	58
Tab. 10: N-leté průtoky dosažené v měrném profilu Praha - Radotín.....	59
Tab. 11: Rozloha jednotlivých kategorií pokryvu v letech 1990 a 2012.....	62
Tab. 12: Geomorfologické zařazení oblasti.....	69
Tab. 13: Klimatické charakteristiky oblasti MT11.....	73
Tab. 14: N-leté průtoky.....	74
Tab. 15: Rozloha jednotlivých kategorií pokryvu v letech 1990 a 2012 dosažené v měrném profilu Praha - Radotín.....	77
Tab. 16: Průběh nárůstu průtoků Q_{100} na toku dolní Berounky v profilu A.....	81
Tab. 17: Hodnocení pozitiv a negativ navrhovaných variant.....	82
Tab. 18: M-denní průtoky v období 1951-2014 v měrném profilu Beroun.....	83

Seznam Příloh

- Příloha č. 1 - Mapa vymezení úseků HEM v zájmové oblasti I.
- Příloha č. 2 - Mapa vymezení úseků HEM v zájmové oblasti II.
- Příloha č. 3 - Mapovací formulář HEM
- Příloha č. 4 - Mapa umístění příčných překážek a profilů v zájmové oblasti I.
- Příloha č. 5 - Mapa umístění příčných překážek a profilů v zájmové oblasti II.
- Příloha č. 6 - Mapa HEM zóny koryta a trasy toku v zájmové oblasti I.
- Příloha č. 7 - Mapa HEM břehu a příbřežní zóny v zájmové oblasti I.
- Příloha č. 8 - Mapa HEM inundační zóny v zájmové oblasti I.
- Příloha č. 9 - Mapa celkového stavu HEM v zájmové oblasti I.
- Příloha č. 10 - Mapa HEM zóny koryta a trasy toku v zájmové oblasti II.
- Příloha č. 11 - Mapa HEM břehu a příbřežní zóny v zájmové oblasti II.
- Příloha č. 12 - Mapa HEM inundační zóny v zájmové oblasti II.
- Příloha č. 13 - Mapa celkového stavu HEM v zájmové oblasti II.
- Příloha č. 14 - Mapa rozložení depresí a jejich průměrné hloubky v zájmové oblasti I.
- Příloha č. 15 - Mapa rozložení depresí a jejich průměrné hloubky v zájmové oblasti II.
- Příloha č. 16 - Mapa hloubky vody při průtoku Q_{100} nivou v zájmové oblasti I.
- Příloha č. 17 - Mapa rychlosti proudění při průtoku Q_{100} nivou v zájmové oblasti I.
- Příloha č. 18 - Mapa hloubky vody při průtoku Q_{100} nivou v zájmové oblasti II.
- Příloha č. 19 - Mapa rychlosti proudění při průtoku Q_{100} nivou v zájmové oblasti II.
- Příloha č. 20 - Mapa využití krajinného pokryvu nivy v zájmové oblasti I.
- Příloha č. 21 - Mapa využití krajinného pokryvu nivy v zájmové oblasti II.