

České vysoké učení technické v Praze

Fakulta stavební

Katedra hydrauliky a hydrologie



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Studie záplavového území na řece Šembera v okolí města Sadská

Vedoucí bakalářské práce: doc. Ing. Aleš Havlík, CSc.

Květen 2018

Adéla Hřebřinová



ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Hřebřinová Jméno: Adéla Osobní číslo: 438937
Zadávající katedra: 11141 - Katedra hydrauliky a hydrologie
Studijní program: Stavební inženýrství
Studijní obor: Vodní hospodářství a vodní stavby

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce: Studie záplavového území na řece Šembera v okolí města Sadská

Název bakalářské práce anglicky: The study of flood plain on the river Šembera near the City Sadská

Pokyny pro vypracování:

Stanovení průběhu hladin povodňových průtoků pomocí 2D modelu HEC-RAS v záplavovém území říčky Šembera v okolí města Sadská. Studie se zvláště zaměří na možnost převodu části povodňových průtoků podél tělesa dálnice do sousedního povodí Milčického potoka.

Seznam doporučené literatury:

HEC-RAS version 5.0, 2D Modeling User's Manual. US Army Corps of Engineers. USA, Davis, 2010

Jméno vedoucího bakalářské práce: Doc. Ing. Aleš Havlík, CSc.

Datum zadání bakalářské práce: 19.2.2018 Termín odevzdání bakalářské práce: 27.5.2018
Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku

Podpis vedoucího práce

Podpis vedoucího kateary

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v bakalářské práci a při citování postupovat v souladu s metodickou příručkou ČVUT „Jak psát vysokoškolské závěrečné práce“ a metodickým pokynem ČVUT „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.

19.2.2018

Datum převzetí zadání

Podpis studenta(ky)

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracovala samostatně a že jsem uvedla veškeré použité informační zdroje v souladu s metodickým pokynem ČVUT č.1/2009 „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.

V Praze dne 11.5.2018

.....

Adéla Hřebřinová

Chtěla bych tímto poděkovat vedoucímu bakalářské práce doc. Ing. Aleši Havlíkovi, CSc. za odborné vedení práce, ochotu a jeho drahocenný čas. Dále bych chtěla poděkovat zaměstnancům Povodí Labe, s.p. za poskytnutí informací a podkladů ke zpracování této práce. V neposlední řadě patří dík mé rodině za vřelou podporu.

ANOTACE

Bakalářská práce se zabývá hydraulickou studií záplavového území vodního toku Šembera v okolí města Sadská. Rozsah záplavového území je stanoven pomocí dvourozměrného modelu proudění vody v otevřeném korytě. Součástí práce je i odhad míry ovlivnění vodního režimu přítoku Šembery – Milčického potoka v případě vyšších průtoků.

ANOTATION

The main aim of this bachelor thesis is an assessment of an extent of the flood plain on the river Šembera near the city Sadská. The extent of the flooded area is determined by a two-dimensional model of water flow in the open channel. Part of the thesis is also an estimation of the proportion of influence of the water regime of the Šembera's affluent - Milčický stream in the case of higher flows.

KLÍČOVÁ SLOVA

Hydraulika otevřených koryt, záplavové území, 2D model, HEC-RAS, Manningův drsnostní součinitel, DMR 5G

KEY WORDS

Open-channel hydraulics, flood plain, 2D model, HEC-RAS, Manning's roughness coefficient, DMR 5G

OBSAH

1. ÚVOD A CÍL PRÁCE	3
2. ZÁKLADNÍ INFORMACE O LOKALITĚ	4
2.1. Charakteristika vodního toku Šembera.....	4
2.2. Klimatické poměry, záplavové území, odtokové poměry.....	6
2.3. Geologické poměry	11
3. ANALÝZA PODKLADŮ PRO VYTVOŘENÍ MODELU.....	13
3.1. Digitální model reliéfu 5. generace.....	13
3.2. Geodetické zaměření a podklady	14
3.3. Hydrologická data	14
3.4. Fotodokumentace	15
3.5. Mapové podklady.....	15
3.6. Studie záplavového území.....	15
3.7. Ostatní podklady	15
4. STUDIE ZÁPLAVOVÉHO ÚZEMÍ Z ROKU 2005.....	16
5. MATEMATICKÉ MODELOVÁNÍ V HYDRAULICE.....	19
5.1. Jednorozměrné proudění	19
5.2. Dvourozměrné proudění.....	21
5.3. Trojrozměrné proudění.....	23
6. PROGRAM HEC-RAS	24
7. VYTVOŘENÍ MODELU.....	25
7.1. Příprava digitálního modelu terénu	25
7.2. Určení odporu povrchu	25
7.3. Vytvoření výpočetní sítě	26
7.4. Stanovení okrajových podmínek.....	27
7.5. Postup výpočtu	28
7.6. Teoretická povodňová vlna	28

8. VÝSTUP A VÝSLEDEK.....	31
9. ZÁVĚR A ZHODNOCENÍ VÝSLEDKU	33
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY A ZDROJŮ INFORMACÍ.....	35
SEZNAM OBRÁZKŮ.....	38
SEZNAM TABULEK	39
SEZNAM ROVNIC.....	40
SEZNAM PŘÍLOH.....	41

1. ÚVOD A CÍL PRÁCE

Tato práce se zabývá rozsahem záplavových území řeky Šembery v okolí města Sadská. Zájmovou lokalitou je území mezi sídly Poříčany, Milčice, Třebestovice a Sadská. Rozsah záplavového území v této lokalitě je důležité stanovit zejména proto, že v případě vyšších průtoků dochází k ovlivňování vodního režimu Milčického potoka přeléváním části průtoku z řeky Šembery, čímž je značně narušen jeho přirozený charakter proudění.

V rámci studie záplavových území v dané lokalitě se řeší:

- 1) Analýza zájmové lokality
- 2) Stanovení rozsahu záplavového území
- 3) Určení míry ovlivnění vodního režimu Milčického potoka

1) Analýza zájmové lokality popisuje geografické, klimatické a pedologické podmínky v daném území. Tyto charakteristiky spolu s rozбором vodního režimu povodí řeky Šembera umožňují pevnější propojení mezioborových souvislostí a získání ucelené komplexní představy o zájmové lokalitě.

2) Rozsah záplavového území je stanoven pomocí digitálního modelu záplavového území vytvořeného pomocí programu HEC-RAS 5.0. s uvažováním dvourozměrného proudění vody.

3) Cílem práce je určení míry ovlivnění Milčického potoka za povodňových stavů na řece Šembera.

Detailně zkoumaným úsekem je úsek v rozsahu ř.km 0.000 – 8.570 na řece Šembera, tzn. ve směru proudu od profilu u železničního mostu na severu Poříčan po ústí do řeky Výrovka.

2. ZÁKLADNÍ INFORMACE O LOKALITĚ

Vodní tok Šembera, kterým se tato práce zabývá, protéká Středočeským krajem poblíž měst Český Brod, Sadská a Nymburk. Tato lokalita je nížinatého, rovinatého charakteru. V Povodí řeky Šembery je vykonávána intenzivní zemědělská činnost. V obr. 2.0. je vyznačena řeka Šembera na podkladu obecné mapy [1].



Obr. 2.0 Vyznačení úseku řeky Šembery v mapovém podkladu [1]

2.1. Charakteristika vodního toku Šembera

Vodní tok Šembera náleží do území Povodí Labe a je levostranným přítokem vodního toku Výrovka ústícího do Labe, do kterého se vlévá východně od města Sadská.

Pramen řeky Šembery se nachází severně od obce Jevany v okrese Praha–Východ. Řeka protéká několika obcemi, jako je Vrátkov a Tuchoraz, kde protéká historicky významnou lokalitou se zbytky několika hradišť a tvrzí. Dalšími sídly na řece

jsou Český Brod, Poříčany, Klučov nebo Třebestovice. Téměř po celé své délce řeka protéká rovinatou krajinnou mezi poli a loukami, pouze nedaleko Doubravčic má charakter balvanitého řečiště ve svažitéjším údolí. Teče směrem k severovýchodu, kde se vlévá do vodního toku Výrovka, někdy také známého jako Vavřínecký potok. Šembera ústí do Výrovky u obce Zvěřinec ve výšce 184 m n. m [2]. Výrovka se poté vlévá zleva do Labe u obce Kostomlátky na Nymbursku.

Šembera má také několik významných přítoků a protéká několika vodními nádržemi. Mezi hlavní přítoky patří například Lázný potok, Bušinec či Milčický potok. Protéká například Mlýnským rybníkem u Vrátkova nebo rybníkem Podviňák v jižní části Českého Brodu.

Celková délka řeky Šembery je přibližně 28,2 km a plocha jejího povodí představuje území o ploše přibližně 190 km² [3]. Tok patří do správy státního podniku Povodí Labe, jeho identifikační číslo je 10100173.

Vodní režim řeky Šembery je charakteristický svým říčním prouděním po většinu své délky, což vyplývá z morfologie okolního terénu. Na toku je umístěn jeden hlásný profil č. 61 kategorie B v Českém Brodě, provozován městským úřadem. Hlásný profil se nachází na mostku poblíž místního koupaliště, v říčním kilometru 16,55. Plocha povodí k tomuto profilu představuje 50,58 km². Průměrný roční průtok v tomto profilu je $Q_A=0,149$ m³/s [4]. Hlásný profil poskytuje data o aktuálním stavu hladiny a průtoku ve vodním toku, která se z krátkodobého hlediska využívají zejména jako ukazatel aktuální povodňové ohroženosti území, z hlediska dlouhodobého se pak využívají ke statistické tvorbě charakteristik příslušného toku. Hodnoty N-letých průtoků řeky Šembery v hlásném profilu č. 61 jsou uvedeny v Tab. 2.1.1 [4].

Tab. 2.1.1. Hodnoty N-letých průtoků řeky Šembery v hlásném profilu č.61 v m³/s [4]

Q_1	Q_5	Q_{10}	Q_{50}	Q_{100}
2,6	8,1	11,5	22,7	29

Vodní tok Výrovka, známý také pod jménem Vavřínecký potok, je levostranným přítokem Labe, do kterého se vlévá v nadmořské výšce 178 m. Pramení jižně od obce Uhlířské Janovice v nadmořské výšce 487 m. Délka vodního toku Výrovka je přibližně 61,9 km a její povodí zaujímá plochu o rozloze 544,2 km². Hodnota

průměrného ročního průtoku na soutoku s Labem je $Q_A=1,94 \text{ m}^3/\text{s}$. Mezi přítoky Výrovky kromě Šembery patří například Bečvářka, Střebovka nebo Blinka [5,6].

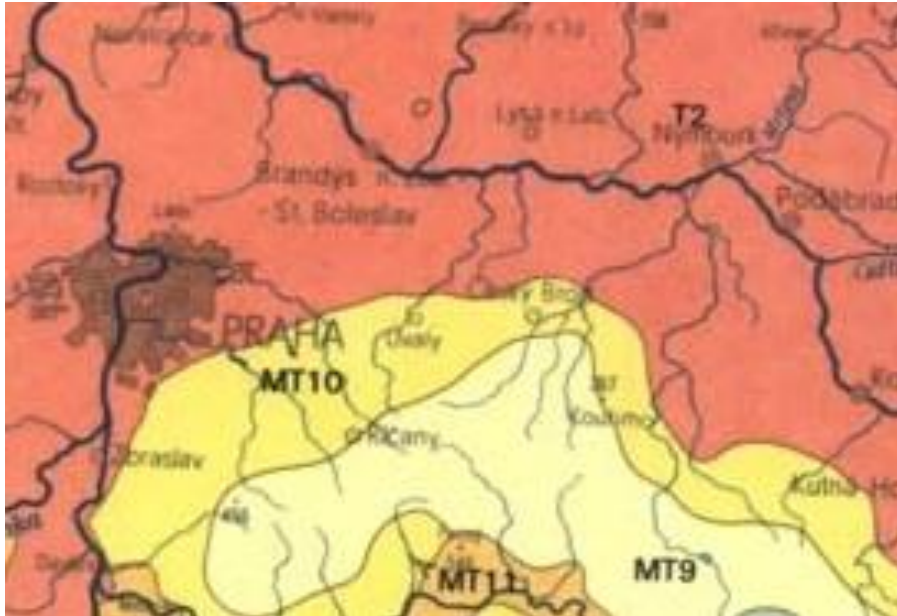
V minulosti povodí Výrovky sužovaly časté povodně, proto bylo realizováno několik opatření. „*Za Radimí vstupuje Výrovka do polabské nížiny, kde v minulosti, spolu se svým největším přítokem Šemberou, divoce meandrovala a při zvýšených průtocích škodila na okolních úrodných pozemcích. Nebylo výjimkou, že voda po měsíce stála na polích. V historických pramenech jsou zmiňovány nejhorší povodně na dolním toku Výrovky v červnu 1750, v prosinci 1769, na jaře 1771, roku 1777, v červnu 1783, v červnu 1804, v červnu 1824, červenci 1829, v květnu 1844, v červnu 1845, v roce 1946 vzdutou labskou vodou, v únoru 1862, v červnu 1879, v srpnu 1800, v srpnu 1882 a v červnu 1883. Koncem 19. století bylo založeno „Vodní družstvo pro úpravu Výrovky a přítoků“, které v letech 1885 - 1906 za vydatné podpory státu a země České provedlo úpravu koryta Výrovky od ústí do Labe u Píst po Radim v délce 16 km, koryta Šembery od ústí do Výrovky ve Zvěřínku po Klučov v délce 11 km a koryta Milčického potoka (přítok Šembery u Sadské) v délce 4,9 km. Kromě těchto úprav bylo celé území zmeliorováno, bylo zřízeno 25 km hlavních odvodňovacích příkopů a 85 km vedlejších odpadů. Na svou dobu to bylo opravdu rozsáhlé dílo a jedno z prvních svého druhu v Polabí“ [5].*

Povodí Výrovky je charakteristické značným množstvím rybníků, zejména vystavěných v 15. a 16. století. Mezi nejvýznamnější nádrže patří Strašík nebo Vavřínecký rybník.

Zajímavostí v povodí řeky Výrovky je tzv. *střed Evropy*, což je průsečík patnáctého poledníku východní délky a padesáté rovnoběžky severní šířky. Tento bod se nachází mezi Kouřimí a Svojšicemi [5].

2.2. Klimatické poměry, záplavové území, odtokové poměry

Oblast povodí řeky Šembery se dle klasifikace E.Quitta nachází ve třech klimatických oblastech, a to MT9, MT10 a T2, Povodí řeky Šembery se nachází v mírně teplé až teplé oblasti. Konkrétní rozložení klimatických oblastí v zájmovém území je zobrazeno na obr. 2.2.1. [7] a jejich charakteristiky jsou uvedeny v Tab. 2.2.1 [7].

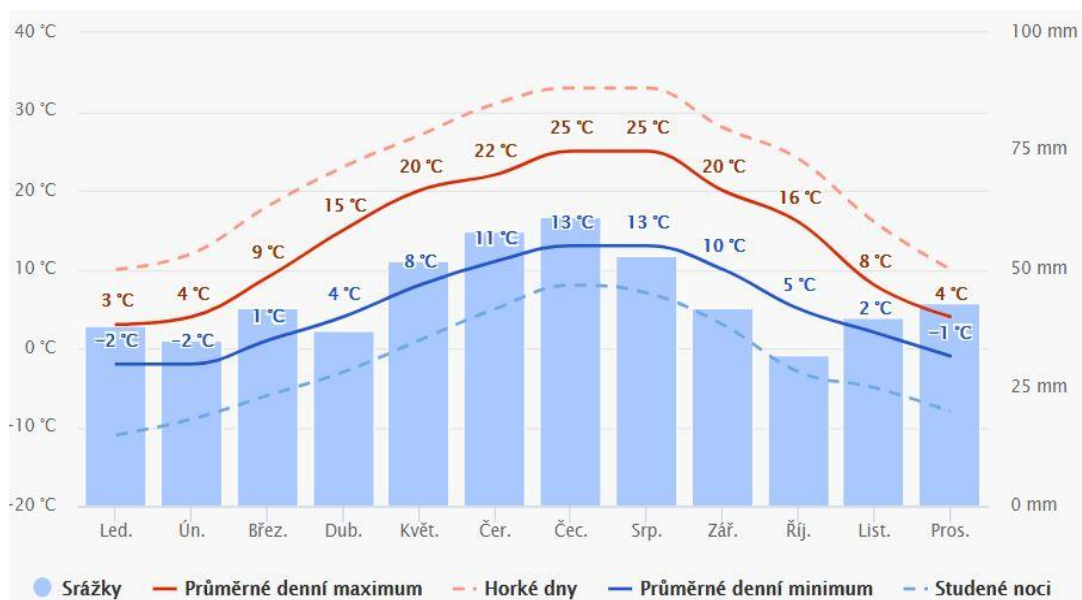


Obr. 2.2.1. Výřez mapy klimatických oblastí dle E.Quitta [7]

Tab. 2.2.1. Charakteristiky klimatických oblastí dle E.Quitta [7]

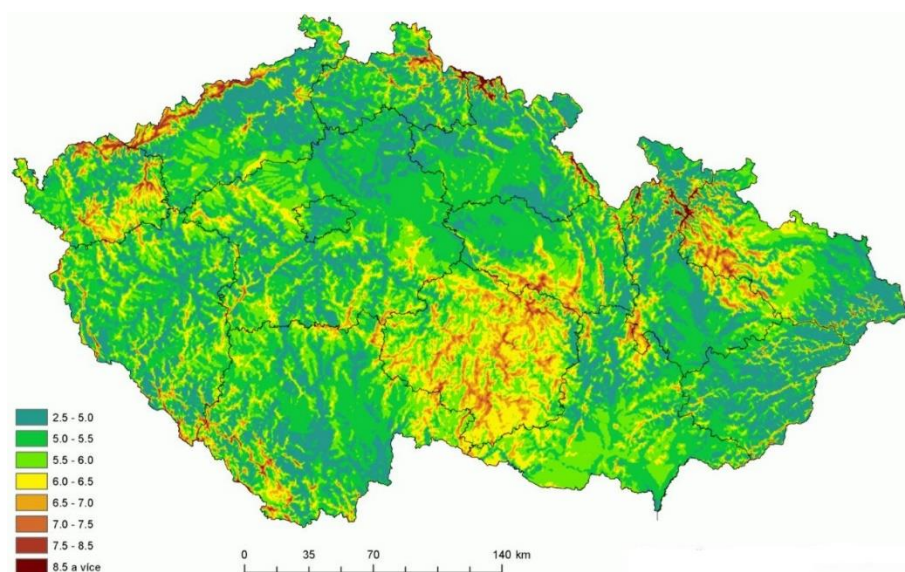
Charakteristiky	T2	MT9	MT10
	teplá	mírně teplá	mírně teplá
Počet letních dnů	50-60	40-50	40-50
Počet dnů s teplotou 10°C a více	160-170	140-160	140-160
Počet mrazivých dnů	100-110	110-130	110-130
Počet ledových dnů	30-40	30-40	30-40
Průměrná teplota v lednu	-2 - -3	-3 - -4	-2 - -3
Průměrná teplota v červenci	18-19	17-18	17-18
Průměrná teplota v dubnu	8-9	6-7	7-8
Průměrná teplota v říjnu	7-9	7-8	7-8
Počet dnů se srážkami 1 mm a více	90-100	100-120	100-120
Srážkový úhrn ve vegetačním období	350-400	400-450	400-450
Srážkový úhrn v zimním období	200-300	250-300	200-250
Počet dnů se sněhovou pokrývkou	40-50	60-80	50-60
Počet dnů zamračených	120-140	120-150	120-150
Počet dnů jasných	40-50	40-50	40-50

Okolí Českého Brodu patří k srážkově podprůměrným oblastem. V období 1901-1950 se hodnota průměrného ročního srážkového úhrnu v Českém Brodě pohybovala kolo 564 mm, v Sadské okolo 535 mm [8]. Průběh teplot a srážkových úhrnů během roku za posledních 30 let pozorování je uveden v obr. 2.2.2 [9].



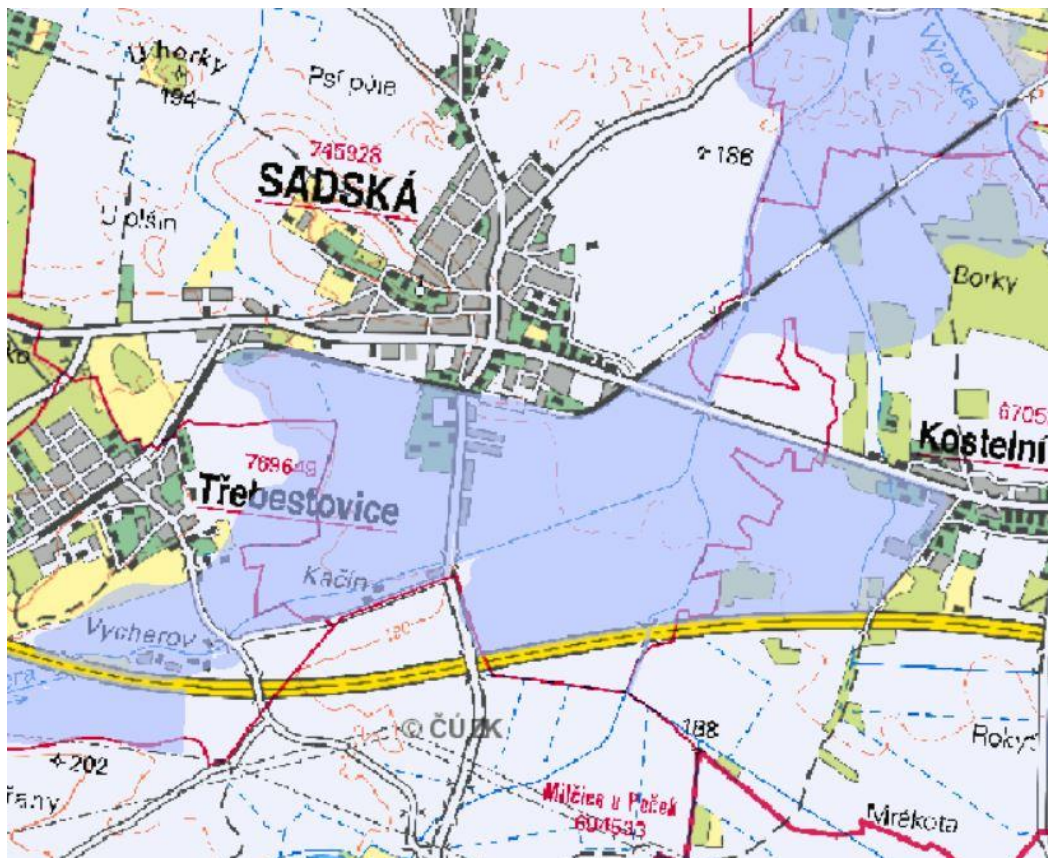
Obr. 2.2.2. Průměrné teploty a úhrn srážek v lokalitě Český Brod [9]

Z hlediska síly a rychlosti větru se lokalita nachází v území mírných větrů, tzn. průměrné rychlosti větru přibližně 5 – 6 m/s, nedochází tedy k významnější větrné erozi na zemědělských plochách v povodí [10]. Průměrné rychlosti větru na území České republiky jsou zobrazeny na obr. 2.2.3 [10].



Obr. 2.2.3. Pole průměrné rychlosti větru ve výšce 100 m nad povrchem [10]

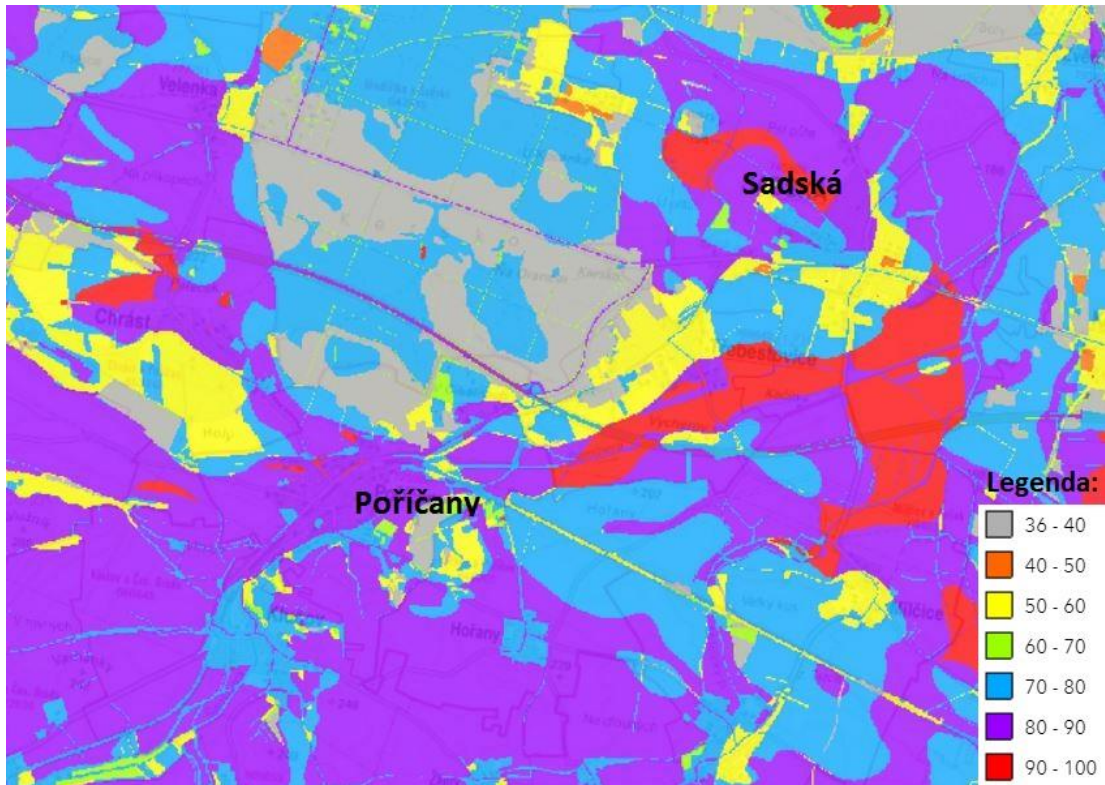
Dolní tok řeky Šembery je charakteristický svými rozlivy a vcelku rozsáhlým záplavovým územím vzhledem k velikosti toku. U obce Poříčany a Třebestovice dochází k rozlivům na okolní zemědělské plochy a dochází k výraznému ovlivňování vodního režimu pravostranného přítoku řeky Šembery – Milčického potoka. Na následujících výřezech jsou zobrazena záplavová území dle Výzkumného ústavu vodohospodářského T.G.Masaryka. Rozsah záplavového území 100-leté vody je zobrazen na obr. 2.2.4 [11].



Obr. 2.2.4. Výřez záplavového území 100-leté vody [11]

K významným rozlivům dochází již při proudění 20-leté vody, kdy záplavové území v okolí soutoku s Milčickým potokem je téměř shodné se záplavovým územím vody 100-leté. Rozsah záplavového území 20-leté vody je zobrazen na obr. 2.2.5 [11].

Konkrétní hodnoty jednotlivých křivek závisí na způsobu obdělávání půdy, výšce vegetačního pokryvu, řádkování zemědělských plodin, apod. Pro lesnaté porosty se hodnoty pohybují zpravidla v rozmezí 30-50, pro zemědělské plochy 65-80, pro komunikace a zpevněné plochy 75-95 [12]. Konkrétní rozložení hodnot křivek CN II pro středně nasycenou půdu v zájmové lokalitě je uvedeno na obrázku 2.2.8.

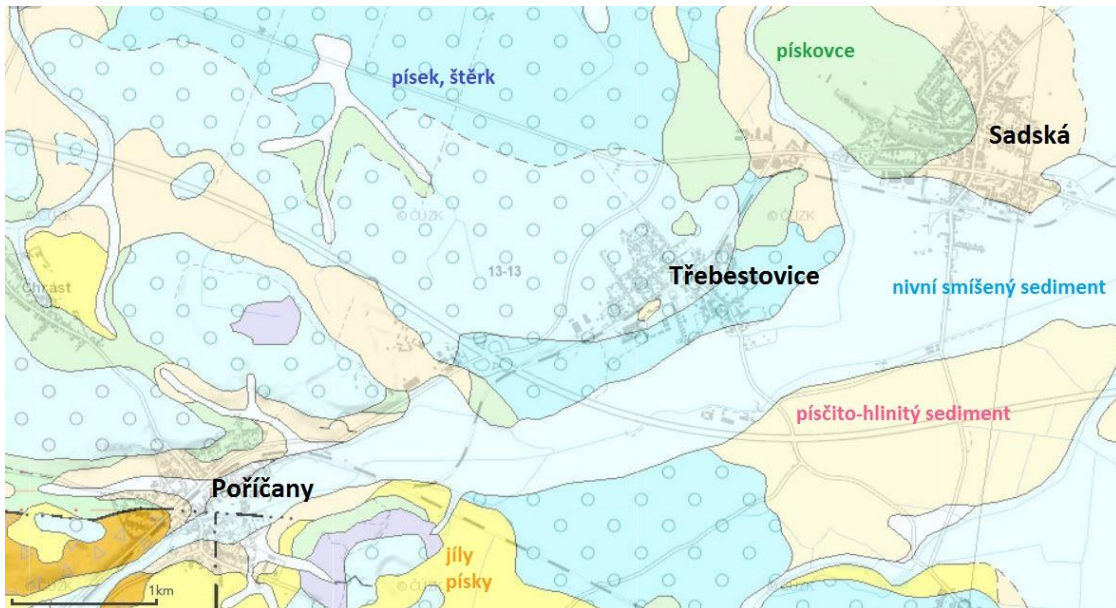


Obr. 2.2.8. Rozložení CN II v zájmové oblasti [13]

2.3. Geologické poměry

Geologické, hydrogeologické a pedologické poměry mají významný vliv na vodní režim daného území, zejména na výskyt a vlastnosti podzemní vody. Charakter horninového a půdního prostředí zásadně ovlivňuje povrchový odtok, a to zejména množstvím infiltrované vody, které je závislé na vlastnostech půdního profilu (hydraulická vodivost, pórovitost, apod.). Z rozložení horninových celků v území lze odhadnout chování vodního toku v minulosti, zejména půdorysnou změnu jeho koryta.

Okolí měst Sadská a Poříčany spadá do území sedimentárních hornin. Vzhledem k nížinatému charakteru oblasti, nedaleké vzdálenosti k významným vodním tokům a jejich přítokům je zde hojně zastoupena skupina fluviálních (říčních) a nivních sedimentů. Fluviální sedimenty v takovýchto oblastech bývají nejčastěji hrubozrnného charakteru, zatímco sedimenty nivní jsou naopak charakteru jemnozrnného, někdy až prachového. Konkrétní geologická skladba je zřejmá z obrázku 2.3.1. [14].



Obr. 2.3.1. Výřez geologické mapy [14]

Z inženýrsko-geologického hlediska, které rozděluje území na jednotky, tzv. rajony, s obdobnými morfologickými vlastnostmi a způsoby vývoje reliéfu, se jedná o oblast sedimentárních hornin – říčních sedimentů, sprašových hlín, pískovců, slepenců či jílovců [15].

3. ANALÝZA PODKLADŮ

Pro vypracování této studie byly použity takové podklady, na jejichž základě bylo možné určit rozsah záplavového území řeky Šembery.

3.1. Digitální model reliéfu 5. generace

Při řešení modelování dvourozměrného proudění vody byl pro vytvoření výškopisných charakteristik zájmového území použit digitální model reliéfu 5. generace (DMR 5G).

DMR 5G je produktem Českého úřadu zeměměřického a katastrálního (ČÚZK) a byl vygenerován z dat pořízených pomocí leteckého laserového skenování. Jedná se o trojrozměrný model, kdy každý bod je charakterizován třemi souřadnicemi; polohopisnými souřadnicemi (X,Y) v systému S-JTSK a výškopisnou souřadnicí H v systému Bpv. Z hlediska přesnosti se jedná o jeden z nejpřesnějších dostupných modelů v současné době, kdy úplná střední chyba výškopisné souřadnice v odkrytém terénu je 0,18 m a v zalesněném terénu 0,30 m [16].

V porovnání s modelem předchozí (čtvrté) generace je výhodou zejména eliminace chyb při zobrazení povrchu způsobených ortogonálním rozdělením bodů. Model 5. generace je tvořen nepravidelnou trojúhelníkovou sítí bodů, která lépe a přesněji vystihuje lokální změny reliéfu. V současné době dochází stále k aktualizaci a zpřesňování digitálních dat [16].

Pro řešené území bylo použito celkem 10 mapových listů o rozměrech 2,5 x 2 km:

- Český Brod 0-0, 0-1, 0-2, 1-1, 1-2, 2-2, 3-2
- Kolín 9-0, 9-1, 9-2

V případě použití DMR pro účely vodního hospodářství je nutno odděleně vyřešit reliéf a charakter vodního koryta, kdy při leteckém skenování vodní hladina brání v zaměření bodů pod ní. Nejčastějším způsobem je tedy geodetické tachymetrické zaměření koryta vodního toku, což bylo použito i v tomto případě.

3.2. Geodetické zaměření a podklady

Pro výše uvedené důvody v kapitole 3.1. bylo nutno charakter a tvar koryta vodního toku vymodelovat na základě tachymetrického zaměření příčných profilů koryta. Příčné profily koryta jsou vždy zaměřovány kolmo na osu vodního toku a četnost jejich zaměření je volena na základě charakteru a četnosti výskytu změn koryta vodního toku. Zaměření, které bylo podkladem ke zpracování této studie, bylo zpracováno společností Geošrafo, s.r.o. se sídlem v Hradci Králové v roce 2004. Ze zaměřených dat bylo vykresleno koryto vodního toku, resp. dnové a břehové linie.

3.3. Hydrologická data

K posouzení záplavového území je nutno znát základní hydrologická data vodního toku. Konkrétní hodnoty N-letých průtoků řeky Šembery v profilu u železničního mostu na severu Poříčan, kde začíná zájmový úsek, jsou uvedeny v tabulce 3.3.1. Uvedená data spadají do III. třídy přesnosti, kdy jsou hydrologické údaje odvozeny na základě krátkodobých pozorování přímo na daném profilu nebo v těsné blízkosti na témže toku. Střední kvadratická chyba v hodnotách N-letých průtoků může dosahovat až 30-40 % [17].

Tab. 3.3.1. Hodnoty N-letých průtoků řeky Šembery

N-letost	1	2	5	10	20	50	100
Q [m³/s]	4,5	7,9	14,0	20,0	27,4	39,3	50,1

Kromě hodnot N-letých průtoků řeky Šembery byly obdrženy hodnoty N-letých průtoků řeky Výrovky, kam se Šembera vlévá, a to ve dvou profilech – v profilu pod soutokem s potokem Káča a v profilu pod soutokem se Šemberou. Konkrétní hodnoty, poskytnuté Povodím Labe, s.p. 28.3.2018, jsou uvedeny v tabulce 3.3.2.

Tab. 3.3.2. Hodnoty N-letých průtoků řeky Výrovky

N-letost		1	2	5	10	20	50	100
Profil pod Káčou	Q [m³/s]	15,8	23,7	36,1	47,0	59,2	77,2	92,4
Profil pod Šemberou	Q [m³/s]	24,0	35,6	54,4	70,7	88,7	115,0	138,0

K orientačnímu stanovení možného vzdušného vodní hladiny mostními objekty na toku Šembera sloužil psaný podélný profil tohoto toku včetně výškových úrovní hladin N-letých průtoků poskytnutý od Povodí Labe s.p. dne 28.3.2018.

V neposlední řadě k výpočtu sloužily hydrogramy teoretických povodňových vln na řece Šembera a Výrovka obdržené od Povodí Labe, s.p. dne 23.4.2018. Postup zohlednění těchto průběhů ve výpočtu je popsán v kapitole 7.6.

3.4. Fotodokumentace

Fotodokumentace koryta řeky Šembery pochází ze dvou pramenů; ze soukromého archivu, kdy fotografie zejména koryta vodního toku byly pořízeny v červnu 2017, a geodetického podkladu, jehož součástí je fotodokumentace mostních objektů na vodním toku pořízena roku 2004. Fotodokumentace lokality je součástí příloh k této práci.

3.5. Mapové podklady

Rastrové mapové podklady odpovídající tištěné podobě byly obdrženy od Povodí Labe, s.p. dne 28.2.2018. Dalšími mapovými podklady jsou letecké snímky (ortofotomapa) dostupné na geoportálu ČÚZK dosahující polohové přesnosti charakterizované střední chybou v rovinném terénu 0,25 m, v terénu členitém 0,5 m [18].

3.6. Studie záplavového území.

Dalším podkladem byla studie záplavového území z roku 2005 (viz kapitola 4).

3.7. Ostatní podklady

Ostatními podklady pro zpracování studie záplavového území jsou další veřejně dostupné dokumenty týkající se dané problematiky modelování v hydraulice, hydraulických jevů, záplavových území či dokumenty týkající se zájmové lokality.

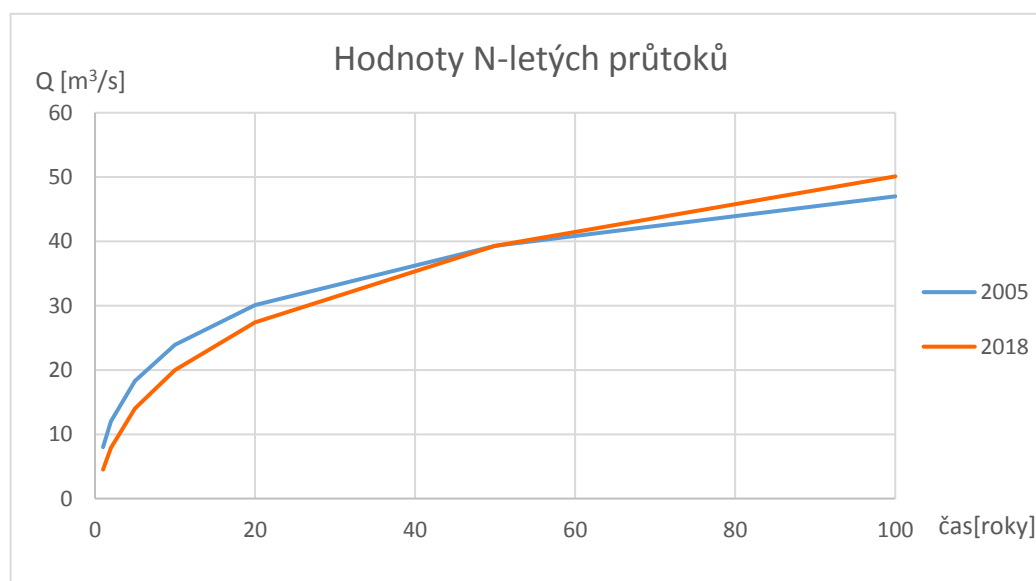
4. STUDIE ZÁPLAVOVÉHO ÚZEMÍ Z ROKU 2005

Pro orientační stanovení rozsahu zájmového území, zejména příčného rozměru inundačního území sloužily záplavové čáry 100letého průtoku poskytnuté Povodí Labe, s.p dne 28.2.2018, které byly stanoveny v roce 2005 společností HYDRO Expert s.r.o.

Záplavové čáry byly stanoveny pomocí jednorozměrného modelu řeky Šembery v programu HEC-RAS, kdy bylo simulováno ustálené nerovnoměrné proudění pomocí využití metody po úsecích. Mapovými a geodetickými podklady byly digitalizované mapy systému ZABAGED a geodetické zaměření příčných profilů Šembery (shodné s podklady v kapitole 3.2.). Vzhledem k vcelku značnému časovému rozdílu ve stanovení jednotlivých modelů (rok 2005 vs. 2018) jsou k dispozici rozdílné hodnoty N-letých průtoků v profilech. Hodnoty N-letých průtoků na řece Šembera v totožném profilu jsou uvedeny v tabulce 4.1 a graficky znázorněny v obr. 4.1.

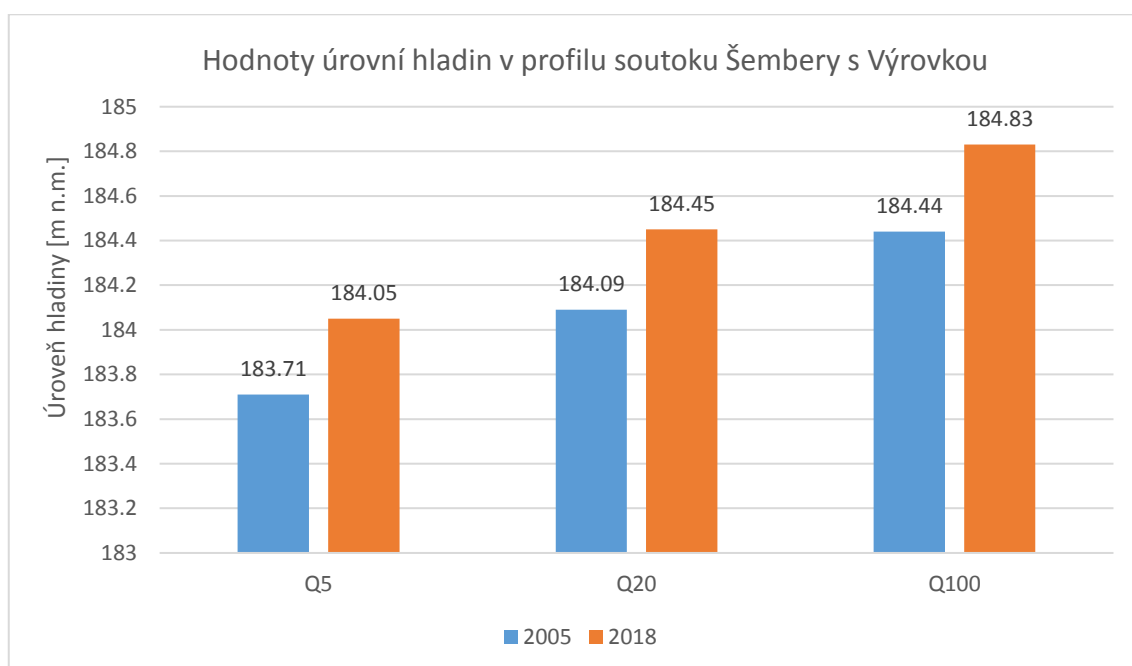
Tab. 4.1. Hodnoty N-letých průtoků na řece Šembera sloužící jako podklad pro studie v jednotlivých letech

	N-letost	1	2	5	10	20	50	100
2005	Q [m³/s]	8,0	12,0	18,3	23,9	30,1	39,3	47,0
2018	Q [m³/s]	4,5	7,9	14,0	20,0	27,4	39,3	50,1



Obr.4.1. Hodnoty N-letých průtoků na řece Šembera sloužící jako podklad pro studie v jednotlivých letech

Modely se liší i v principu stanovení okrajových podmínek, kdy v případě studie z roku 2005 byly velikosti zadávaných průtoků měněny zejména v místech významných přítoků, tzn. docházelo ke změně hodnoty průtoku po trase koryta. V modelu, který byl vytvořen v rámci této práce, byly stanoveny okrajové podmínky pouze na vtokách jednotlivých vodotečí do modelu (viz kapitola 7.4.). Vzhledem k rozdílné hydrologii, viz výše, nastává rozdíl i v dolních okrajových podmínkách, tzn. úrovni hladin v soutoku s Výrovkou. Hodnoty úrovní hladiny v profilu soutoku s Šembery s Výrovkou jsou graficky znázorněny v obr. 4.2.



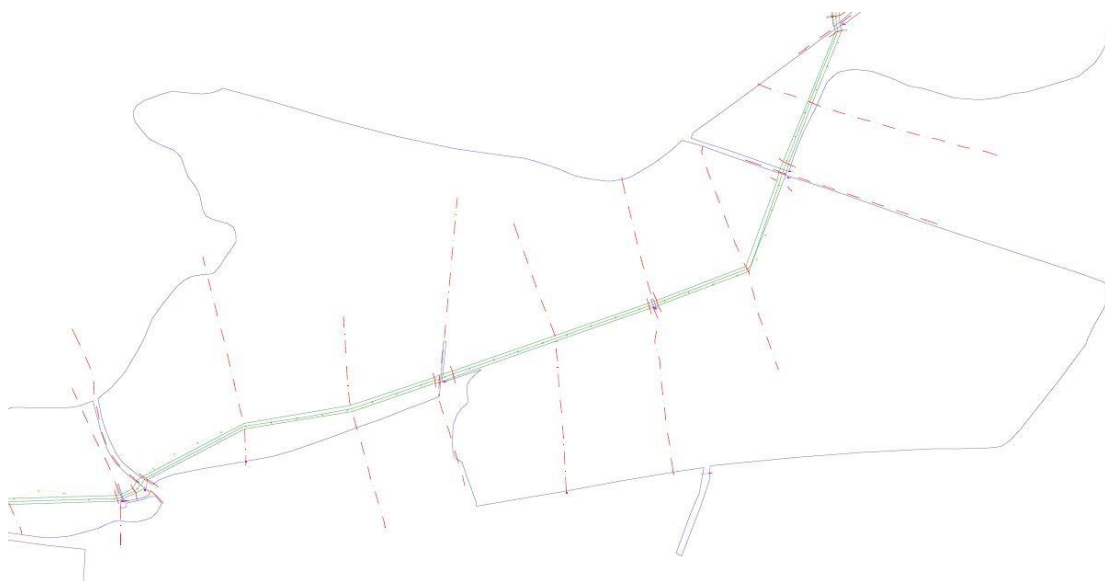
Obr. 4.2. Hodnoty úrovní hladiny v profilu soutoku Šembery s Výrovkou sloužící jako podklad pro studie v jednotlivých letech

Ze studie zpracované roku 2005 vyplývá jasné ovlivnění řeky Šembery průtočným režimem řeky Výrovky. Při různých kombinacích průtoků může docházet k ovlivňování hladiny řeky Šembery na jejím dolním toku právě úrovní hladiny Výrovky, kdy může v případě Q100 na Výrovce úroveň hladiny na Šembeře dosahovat také úrovně hladiny při Q100 i případě, že korytem Šembery poteče průtok nižší N-letosti. Možný vliv Šembery na průtočný režim Milčického potoka není ve studii zmíněn.

Znovuvytvoření studie záplavového území této oblasti bylo iniciováno zejména kvůli jeho zpřesnění a zjištění vlivu řeky Šembery na vodní režim Milčického potoka, který ve výše uvedené studii není řešen. Problémovou oblastí je lokalita mezi komunikacemi č. 334 spojující Sadskou a Milčice a železničním mostem v Poříčanech (ř.km 7.86). V této oblasti za vyšších průtočných stavů dochází k převodu vody z koryta řeky Šembery do Milčického potoka, čímž je jeho vodní režim významně ovlivněn.

Dalším důvodem bylo použití jednorozměrného modelu, jehož výstupem je vodorovná hladina v celém profilu. Zvláště v případě širokých inundačních území, jako je případ řešeného úseku Šembery, může tato skutečnost rozsah záplavového území významně ovlivnit.

V některých místech bylo záplavové území určeno vně použitých příčných profilů, které tedy v tuto chvíli nejsou dostačující pro přesný jednorozměrný model. Ukázka přesahu záplavového území určeného studií z roku 2005 oproti příčným profilům je zobrazena na obr. 4.3.



Obr. 4.3. Přesah záplavového území oproti zaměřeným příčným profilům

5. MATEMATICKÉ MODELOVÁNÍ V HYDRAULICE

Z důvodů neustáleného a trojrozměrného proudění vody a dalších kapalin v přírodě dochází k soustavnému rozvoji výpočetních technik a modelování těchto hydraulických jevů. Modelování může probíhat formou experimentální, které se však využívá převážně pouze na části projektů, například konkrétní funkční objekty, a to zejména z finančních důvodů. Druhou formou modelování je modelování matematické, kdy dochází k jeho rozvoji, vývoji nových nástrojů a softwarů a zpřesňování jejich výpočtů.

Z hlediska vnímání časového průběhu proudění vody jsou známy dva typy; proudění ustálené (stacionární) a neustálené (nestacionární). Při ustáleném proudění nedochází ke změně rychlosti ani průtoku v závislosti na čase. Při proudění neustáleném jsou objemový průtok korytem i střední průřezová rychlost funkcí času a podélné vzdálenosti koryta [24].

Z hlediska vnímání prostorového působení vody je možné rozlišit jednorozměrné, dvourozměrné a trojrozměrné proudění.

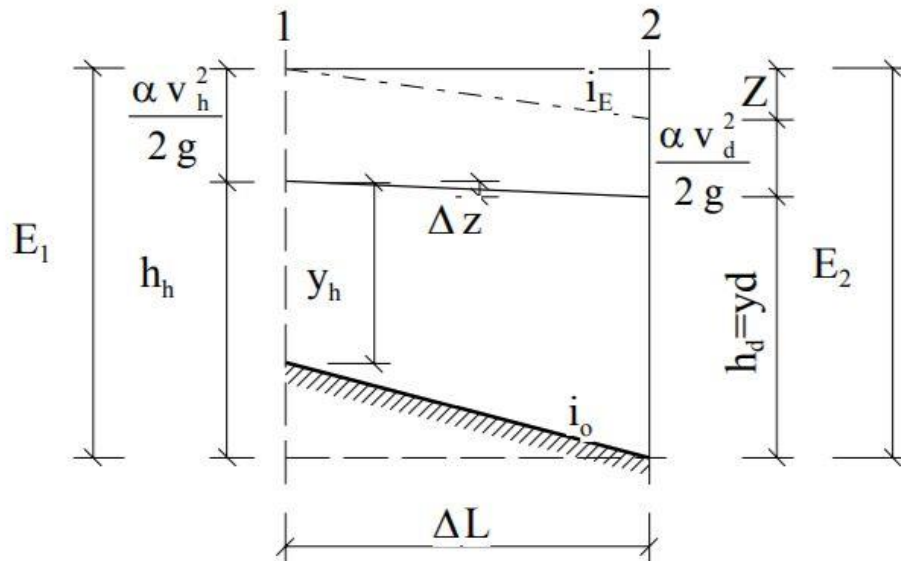
Pro stanovení rozsahu záplavového území na dolním toku řeky Šembery bylo použito matematické modelování s uvažováním dvourozměrného proudění vody s volnou hladinou.

5.1. Jednorozměrné proudění

Základními předpoklady pro modelování jednorozměrného proudění je zanedbání příčné a svislé složky rychlosti. Jedinou nenulovou složkou rychlosti je složka podélná. Terén pro jednorozměrné modelování je charakterizován skutečným povrchem a příčnými profily koryta a inundačního prostoru. V profilech je uvažována konstantní, tj. vodorovná, hladina a rychlostní pole je rovnoměrné; je uvažována průměrná rychlost proudění v příčném řezu, tzv. průřezová rychlost. Vliv turbulence je zahrnut do hodnoty Manningova drsnostního součinitele [19].

Základní řídicí rovnicí je rovnice Bernoulliho, vycházející ze zákona zachování energie, a rovnice spjitosti, vycházející ze zákona zachování hmoty. Řešení probíhá

metodou po úsecích, kdy úsek je prostor mezi dvěma sousedními příčnými profily [19]. Schéma s vyznačením výpočtových veličin je zobrazeno na obr. 5.1.1 [20].



Obr. 5.1.1 Výpočtové schéma pro metodu po úsecích [20]

Mezi dvěma sousedními příčnými profily je aplikována Bernoulliho rovnice ve tvaru uvedeném v rovnici (5.1.1).

$$h_h + \frac{\alpha v_h^2}{2g} = h_d + \frac{\alpha v_d^2}{2g} + Z \quad (5.1.1)$$

Pro převýšení hladin mezi profily $\Delta z = h_h - h_d$ při uvažování vztahu pro výpočet rychlosti proudění jako podíl průtoku ku průtočné ploše, tedy $v = Q/S$ platí vztah uveden v rovnici (5.1.2).

$$\Delta z = \frac{\alpha Q^2}{2g} \left(\frac{1}{s_d^2} - \frac{1}{s_h^2} \right) + Z \quad (5.1.2)$$

Ztrátová výška Z je součtem výšky ztrát třením Z_t a ztrát místních Z_m nejčastěji způsobenou změnou průřezu. Vztahy pro výpočet složek ztrátové výšky, tedy Z_t a Z_m , jsou uvedeny v rovnicích (5.1.3), resp. (5.1.4).

$$Z_t = i_E * \Delta L, \text{ kdy } i_E = \frac{Q^2}{K_p^2} \quad (5.1.3)$$

$$Z_m = Z_{zp} = \pm \xi \frac{\alpha(v_d^2 - v_h^2)}{2g} \quad (5.1.4)$$

Znaménko v rovnici pro výpočet místních ztrát vlivem změny průřezu (5.1.4) je voleno dle režimu proudění a průběhu hladin tak, aby výsledná hodnota ztrátové výšky způsobené změnou průřezu byla kladné číslo. V případě vzniku vzduť vodní hladiny je použito záporné znaménko, v případě snížení vodní hladiny v podélném profilu pak znaménko kladné.

Po dosazení vztahů pro výpočet ztrátových výšek (5.1.3) a (5.1.4) do vztahu pro výpočet převýšení, tedy rozdílu hladin mezi danými profily (5.1.2) dostaneme vztah uveden v rovnici (5.1.5), po úpravě pak (5.1.6).

$$\Delta z = \frac{\alpha Q^2}{2g} \left(\frac{1}{s_d^2} - \frac{1}{s_h^2} \right) + \frac{Q^2}{K_p^2} * \Delta L + \xi \frac{\alpha(v_d^2 - v_h^2)}{2g} \quad (5.1.5)$$

$$\Delta z = Q^2 \left[(1 \pm \xi) \frac{\alpha}{2g} \left(\frac{1}{s_d^2} - \frac{1}{s_h^2} \right) + \frac{1}{K_p^2} * \Delta L \right] \quad (5.1.6)$$

Výhodou jednorozměrného modelování je snadná příprava modelů pro samotný výpočet, který probíhá relativně krátkou dobu a dostupnost matematických modelů. Nevýhodou je předpoklad konstantní hladiny v příčných profilech, který zejména v případě povodňových stavů není splněn, a relativně nepřesný průběh hladin, který je počítán pouze z charakteristik sousedních příčných profilů [19].

5.2. Dvourozměrné proudění

Základním předpokladem pro modelování dvourozměrného proudění vody je zanedbání svislé složky rychlosti. Pro podélné a příčné složky rychlosti se uvažují po výšce zprůměrované hodnoty. 2D model je vhodný pro proudění v mělkých vodách, kde recirkulace vody ve svislém směru není významná. V profilech koryta je použita průměrná svislicová rychlost. Povrch koryta a inundačního území je charakterizován sítí výpočtových bodů o souřadnicích [x,y,z][19].

Základními rovnicemi popisující prostorové neustálené proudění s volnou hladinou jsou diferenciální Navier-Stokesovy pohybové rovnice, vycházející ze zákona zachování hybnosti, a rovnice spojitosti, popisující zákon zachování hmoty. Obecný tvar rovnic se pro modelování dvourozměrného proudění s volnou hladinou zjednodušuje zejména kvůli zanedbání svislicových rychlostí. Pro vytvoření dvourozměrného modelu proudění se poté tyto zjednodušené rovnice používají jako rovnice řídicí v programu HEC-RAS [19].

Upravené a zjednodušené pohybové rovnice jsou uvedeny ve vztazích (5.2.1a) a (5.2.1b), rovnice spjitosti pak ve vztahu (5.2.2).

$$\frac{\partial \mathbf{u}_x}{\partial t} + \mathbf{u}_x \cdot \frac{\partial \mathbf{u}_x}{\partial \mathbf{x}} + \mathbf{u}_y \cdot \frac{\partial \mathbf{u}_x}{\partial \mathbf{y}} + \mathbf{g} \cdot \frac{\partial Z}{\partial \mathbf{x}} + \mathbf{g} \cdot \mathbf{u}_x \cdot \frac{n^2}{H^{4/3}} - \mu \cdot \left(\frac{\partial^2 \mathbf{u}_x}{\partial \mathbf{x}^2} + \frac{\partial^2 \mathbf{u}_x}{\partial \mathbf{y}^2} \right) - \mathbf{f} \cdot \mathbf{u}_x = \mathbf{0} \quad (5.2.1a)$$

$$\frac{\partial \mathbf{u}_y}{\partial t} + \mathbf{u}_x \cdot \frac{\partial \mathbf{u}_y}{\partial \mathbf{x}} + \mathbf{u}_y \cdot \frac{\partial \mathbf{u}_y}{\partial \mathbf{y}} + \mathbf{g} \cdot \frac{\partial Z}{\partial \mathbf{y}} + \mathbf{g} \cdot \mathbf{u}_y \cdot \frac{n^2}{H^{4/3}} - \mu \cdot \left(\frac{\partial^2 \mathbf{u}_y}{\partial \mathbf{x}^2} + \frac{\partial^2 \mathbf{u}_y}{\partial \mathbf{y}^2} \right) - \mathbf{f} \cdot \mathbf{u}_y = \mathbf{0}_x \quad (5.2.1b)$$

$$\frac{\partial Z}{\partial t} + \frac{\partial (\mathbf{H} \cdot \mathbf{u}_x)}{\partial \mathbf{x}} + \frac{\partial (\mathbf{H} \cdot \mathbf{u}_y)}{\partial \mathbf{y}} = \mathbf{0} \quad (5.2.2)$$

Významy a jednotky veličin rovnic (5.2.1a), (5.2.1b) a (5.2.2) jsou uvedeny v tabulce 5.2.

Tab.5.2 Významy a jednotky parametrů řídicích rovnic pro 2D model

veličina	význam	jednotka
u_x, u_y	po výšce zprůměrované hodnoty rychlosti proudění ve směru osy x a y	m/s
Z	úroveň hladiny	m
H	hloubka vody	m
n	Manningův drsnostní součinitel	$\sqrt{\text{m/s}}$
F	Coriolisův parametr	-
g	tíhové zrychlení	Pa/s
μ	dynamická viskozita	m/s^2

Pro modelování dvourozměrného proudění je možno využít několik způsobů numerického řešení, které spočívá v rozdělení modelu reálného povrchu na prvky různých tvarů a proporcí dle konkrétní metody. Sousední prvky disponují společnými body, tzv. uzly. Základním principem numerického řešení je převod a zjednodušení základních diferenciálních rovnic na rovnice většinou lineární, jejichž řešením jsou získány konkrétní hodnoty hledaných jevů a veličin [21].

První možností numerického řešení je metoda konečných diferencí, kdy je vytvořena ortogonální výpočetní síť, jejíž zásadní nevýhodou je fakt, že ji nelze přizpůsobit tvaru koryta v místech zakřivení a objektům na vodním toku. Výhodou tohoto řešení je zejména snadné sestavení výpočetní sítě a kratší doba výpočtu. Metoda konečných diferencí se používá například při výpočtu ustáleného i neustáleného proudění v záplavových území velkého rozsahu [19].

Druhou možností numerického řešení je metoda konečných prvků, kdy je výpočetní síť tvořena prvky trojúhelníkového a čtyřúhelníkového tvaru a snadno se tak přizpůsobí i složitým zakřivením povrchu koryta a tvaru funkčních objektů. Největší nevýhodou této metody je nejdlejší potřebná doba pro výpočet, která se u složitějších modelů pohybuje v řádu měsíců. Metoda konečných prvků se používá pro výpočet ustáleného proudění v záplavových územích se složitým reliéfem a pro detailní modely proudění funkčních objektů a překážek jako jsou plavební komory nebo mostní pilíře [19].

Třetí možností je metoda konečných objemů, kdy je výpočetní síť tvořena elementy čtyřúhelníkového tvaru s možností změny úhlů a rozměrů. Tato metoda představuje kompromis mezi dvěma výše zmíněnými metodami [19].

5.3. Trojrozměrné proudění

Základním předpokladem pro modelování trojrozměrného proudění je prostorový průběh proudění, tzn. žádná složka rychlosti není zanedbána. V současné době se modelování trojrozměrného proudění využívá zatím pouze pro detailní modelování proudění objekty na vodních tocích vzhledem k extrémním nárokům na výpočetní techniku [19].

6. PROGRAM HEC-RAS

Program HEC-RAS (Hydrologic Engineering Center – River Analysis System) byl vyvinut v roce 1995 Sborem inženýrů armády Spojených států amerických. Starší verze softwaru umožňovala modelování 1D ustáleného i neustáleného proudění v otevřených korytech. Nejnovější verze programu byla rozšířena o modelování dvourozměrného proudění vody [22].

Základním výpočetním postupem softwaru při užití 2D modelu proudění je numerické řešení složitých diferenciálních rovnic a řešení jednorozměrné energetické rovnice. Uživatel má na výběr dvě možnosti základních fyzikálních rovnic, ze kterých program vychází, a to Saint-Venantovy rovnice nebo reakčně difuzní rovnice. Energetické ztráty jsou určeny na základě Manningovy rovnice tření.

Program je schopen namodelovat charakter proudění objekty na vodním toku (mosty, propustky, stupně) a umožňuje zohlednit objekty v inundačním území ovlivňující proudění. HEC-RAS lze použít pro říční, bystřinné i smíšené režimy proudění. Pro dvourozměrné modely proudění vody software využívá metodu konečných objemů. [22,24].

Verze HEC-RAS 5.0 se v dnešní době hojně využívá pro stanovení průběhu hladin, rozsahu záplavového území nebo určení míry protipovodňové ochrany městských sídel [22].

Pro stanovení rozsahu záplavového území řeky Šembery v okolí města Sadská byla použit model dvourozměrného neustáleného proudění verze HEC-RAS 5.0.3.

7. VYTVOŘENÍ MODELU

7.1. Příprava digitálního modelu terénu

Stěžejním podkladem pro vytvoření kompletního modelu terénu v zájmové lokalitě byl digitální model reliéfu 5. generace (viz kapitola 3.1.).

DMR byl doplněn o tachymetrické zaměření koryta vodního toku Šembera, skládající se z křivek břehových a dnových linií. Linie byly opatřeny prostorovou křivkou, jejíž body jsou určeny souřadnicemi $[x,y,z]$. Břehové a dnové linie Milčického potoka jsou také určeny souřadnicemi $[x,y,z]$, jejich půdorysná poloha byla určena dle leteckých snímků. Výškové uspořádání břehových linií bylo provedeno tak, aby odpovídalo bodům DMR, hloubka koryta byla dle místního šetření kvalifikovaným odhadem určena 0,5 m.

V zájmovém území se nachází části několika místních obcí, například Sadská, Třebestovice a Poříčany. Během přípravy digitálního modelu terénu bylo nutné tuto obytnou zástavbu zohlednit. Jednotlivé domy byly dle ortofotomapy vyneseny do digitálního modelu terénu tak, aby byl dodržen jejich půdorysný tvar. Výškově byly domy umístěny dle úrovně okolního terénu podle DMR. Byla uvažována půdorysná shodnost spodní a horní linie domů a výška staveb byla uvažována konstantní 10 m.

7.2. Určení odporu povrchu

Odpor povrchů koryta řeky Šembery a Milčického potoka a přilehlého inundačního území lze vyjádřit Manningovým součinitelem drsnosti.

Manningův drsnostní součinitel n vyjadřuje odpor určitého typu povrchu proti proudění vody. Hodnota součinitele n se používá pro výpočet Chézyho rychlostního součinitele. Vzájemný vztah Manningova a Chézyho součinitele se dle různých autorů liší. Největší výhodou určení součinitele n je jeho komplexnost, kdy hodnota n již v sobě zahrnuje veškeré vlivy, které jsou tedy reprezentovány jediným číslem. Na druhou stranu právě komplexnost součinitele n je jeho nevýhodou, kdy se jeho hodnota může měnit například s ročním obdobím, kdy dochází k zásadním proměnám doprovodné vegetace v okolí koryt vodních toků, změně splaveninového režimu nebo kolísání hladiny. Určení konkrétní hodnoty Manningova drsnostního součinitele zejména pro vodní toky je velmi obtížné a subjektivní [22].

Konkrétní hodnoty Manningova drsnostního součinitele byly určeny kvalifikovaným odhadem. Určené hodnoty drsnostního součinitele jsou uvedeny v Tab. 7.2.1.

Tab. 7.2.1. Hodnoty Manningova drsnostního součinitele pro plochy v zájmovém území

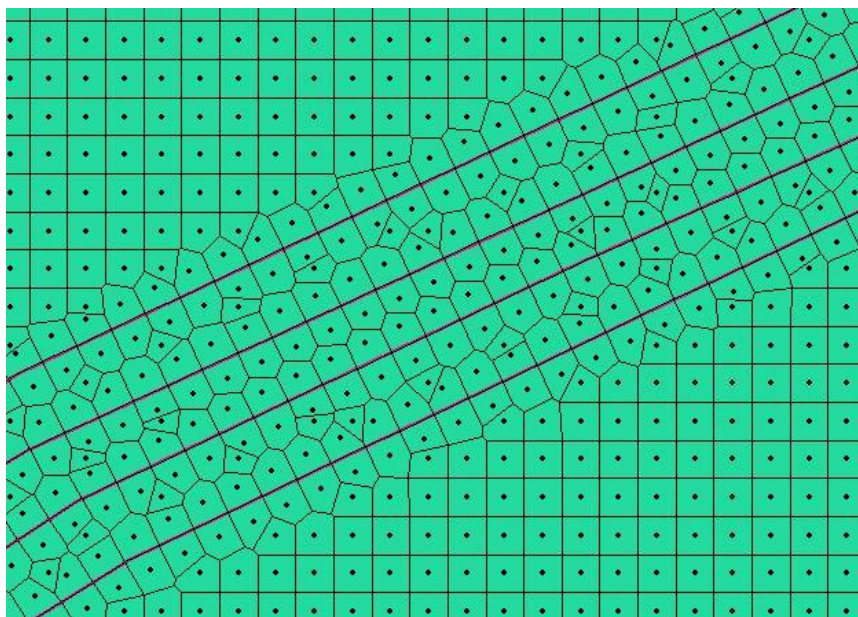
Materiál	<i>n</i>
Koryto	0,05
Pole	0,07
Les	0,20
Louky	0,04
Zpevněné plochy	0,03
Zástavba	0,15

7.3. Vytvoření výpočetní sítě

Sestavená výpočetní síť se skládá ze základních čtyřúhelníkových prvků s hranami o délce 4 m. V místech náhlých změn terénu, zejména u břehových a dnových linií koryt vodních toků a u mostních objektů byla síť zhuštěna, aby odpovídala skutečnému terénu v co největší možné míře. Elementy u těchto lomových hran jsou mnohoúhelníkového charakteru, ne však s více než 8 vrcholy.

Výpočtovou síť tvoří celkem 979 500 prvků, jejichž průměrná plocha je 15.92 m². Maximální a minimální plocha prvku je 29.33 m², resp. 3.44 m². Výřez výpočtové sítě s vyznačenými lomovými liniemi koryta vodního toku Šembera je zobrazen na obrázku 7.3.1. Rozsah výpočetní sítě je zobrazen ve výkresové příloze A.1.

Rozměry prvků mají velký vliv na přesnost a vypovídající hodnotu celého výpočtu; čím jsou rozměry prvků výpočetní sítě menší, tím je výpočet přesnější a síť dokonaleji vystihuje skutečný povrch. S přesností a hustotou výpočetní sítě však rostou časové nároky na výpočet. Dalším parametrem ovlivňujícím stabilitu výpočtu je tvar jednotlivých elementů, kdy čtyřúhelníkové výpočetní sítě zajišťují oproti sítím s trojúhelníkovými prvky stabilnější výpočet [19].



Obr. 7.3.1. Výřez výpočetní sítě

7.4. Stanovení okrajových podmínek

Charakter okrajových podmínek je závislý na předpokládaném režimu proudění. V případě řeky Šembery bylo předpokládáno proudění říční, což vedlo ke stanovení okrajových podmínek v následující podobě; horní okrajové podmínky ve formě hodnoty průtoku v profilu, kde voda vtéká do modelované oblasti a dolní okrajové podmínky ve formě úrovně hladiny vody v dolním profilu, tzn. kde voda vytéká z modelované oblasti.

Horní okrajové podmínky (HOP) byly stanoveny celkem tři, a to hodnoty průtoků v horním profilu každého vodního toku přitékajícího do modelované oblasti, tedy na řekách Šembera a Výrovka a Milčickém potoce. Dolní okrajová podmínka (DOP) je pouze jedna, a to úroveň hladiny na řece Výrovka v profilu pod soutokem se Šemberou.

Hodnoty průtoků pro zadání horních okrajových podmínek byly získány z hydrologických podkladů od Povodí Labe, s.p., stejně tak úroveň hladiny pro zadání dolní okrajové podmínky, které byly získány z psaného podélného profilu řeky Výrovka poskytnutého od Povodí Labe, s.p.

Hodnota průtoků pro stanovení horní okrajové podmínky na řece Výrovka byla uvažována jako dopočet hodnoty průtoků na řece Šembera do hodnoty průtoku na řece

Výrovka se stejnou N-letostí tak, aby mohla být převzata úroveň hladiny Výrovky v dolním profilu.

Při modelování rozsahu záplavového území byly uvažovány v modelované oblasti pouze tři vodoteče, a to zmíněné řeky Šembera, Výrovka a Milčický potok. Sezónní vodoteče a odvodňovací strouhy byly zanedbány. Zároveň není uvažováno se žádným úhrnem srážek ovlivňující modelovanou oblast.

Hodnoty okrajových podmínek jsou uvedeny v tabulce 7.4.1. pro jednotlivé povodňové průtoky, pro které byl model tvořen.

Tab. 7.4.1. Hodnoty okrajových podmínek

	HOP Šembera	HOP Výrovka	HOP Milčický p.	DOP
Q_N	[m ³ /s]	[m ³ /s]	[m ³ /s]	[m n.m.]
Q₅	14,0	28,0	3,0	184.05
Q₂₀	27,4	41,6	4,0	184.45
Q₁₀₀	50,1	56,5	6,0	184.83

7.5. Postup výpočtu

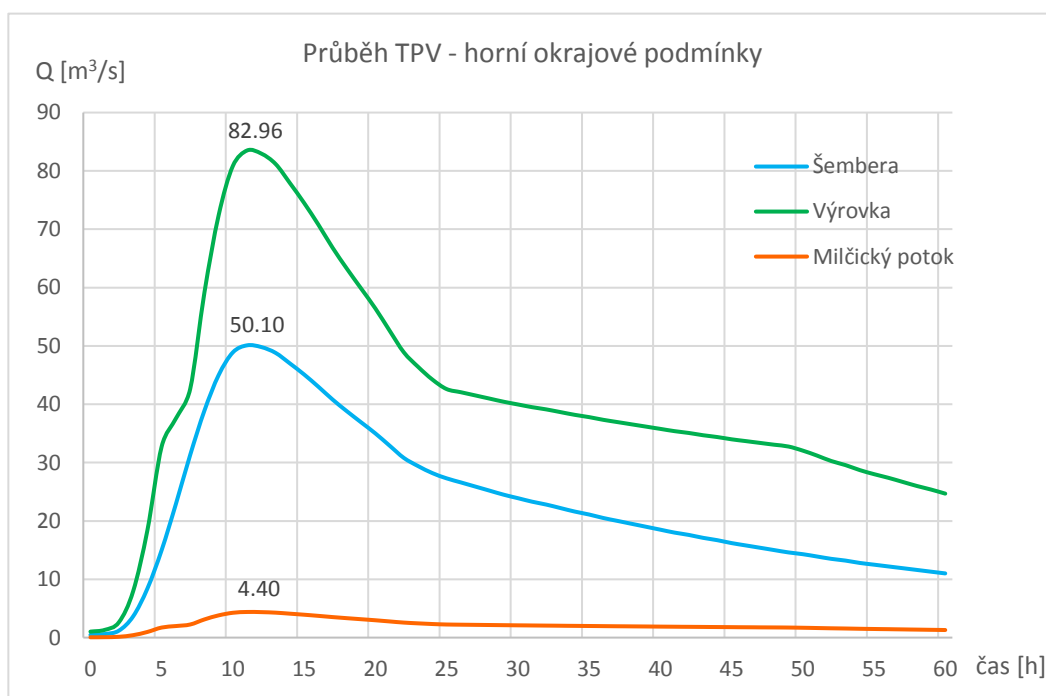
Stanovení rozsahu záplavového území bylo stanoveno pro tři možné scénáře, a to pro průtoky Q₅, Q₂₀ a Q₁₀₀. Pro jednotlivé situace byly použity okrajové podmínky uvedené konkrétně v kapitole 7.4. Záplavové území bylo vymodelováno vždy až do ustálení výpočtového modelu, kdy již nedocházelo ke kolísání úrovně hladiny.

Mostní objekty byly uvažovány pouze v rámci digitálního modelu reliéfu. Výšky spodních hran mostovek jsou vždy výše než úroveň hladiny v korytě, a tak nedochází k jejímu vzduť vlivem mostních objektů. V inundačním území mají liniové stavby vliv na proudění zejména v případě, kdy jsou cesty vybudovány v náspech a dochází k akumulaci vody před těmito stavbami.

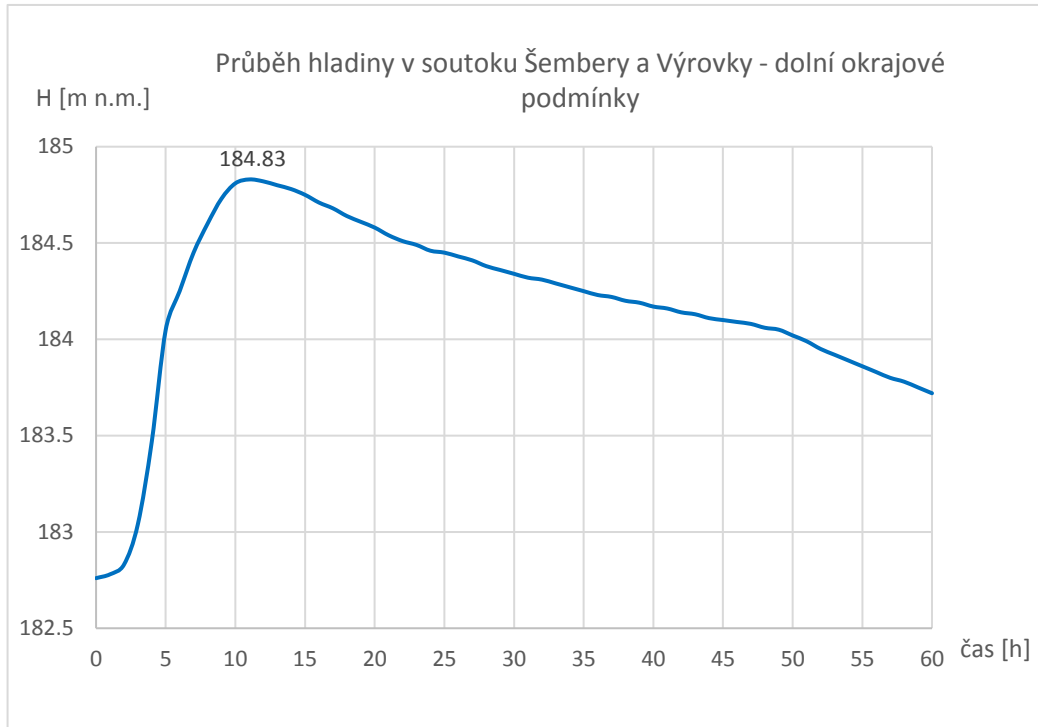
7.6. Teoretická povodňová vlna

Výpočet rozsahu záplavového území byl kromě situací popsaných v kapitole 7.5. proveden i pro případ teoretické povodňové vlny, jejíž průběh byl poskytnut v rámci podkladů Povodí Labe s.p.

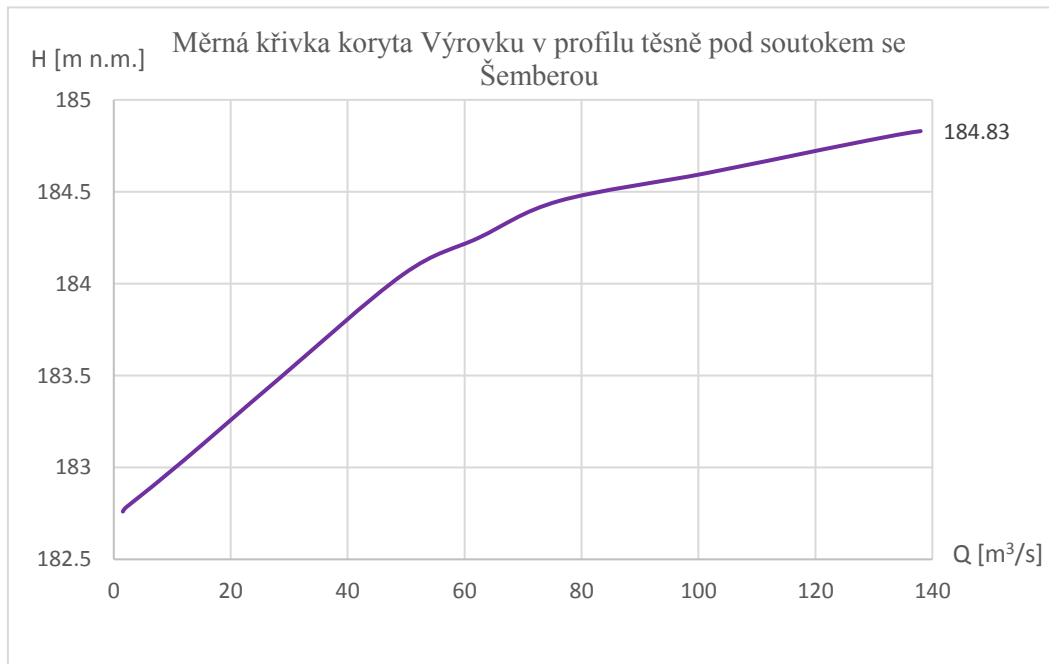
Průběh teoretických povodňových vln (TPV) byl poskytnut pro řeku Šemberu a Výrovku. Pro vytvoření modelu záplavového území v zájmové oblasti byly hodnoty průtoků TPV použity jako horní okrajové podmínky modelu. Modelováno bylo celkem 60 h průběhu TPV, kdy ke kulminaci povodňových průtoků dochází v 11. hodině v obou tocích. Hodnoty průtoků řeky Šembery byly uvažovány shodné s průběhem TPV, hodnoty průtoků řeky Výrovky byly uvažovány jako dopočet do průtoků řeky Výrovky se stejnou N-letostí tak, aby bylo možné použít známé úrovně hladiny v profilu soutoku obou toků. Průběhy povodňových vln, které byly použity pro vytvoření modelu, tedy jako horní okrajové podmínky jsou graficky znázorněny v obr. 7.6.1. Průběh úrovní hladiny, který byl použit pro vytvoření modelu jako dolní okrajová podmínka je graficky znázorněn v obr. 7.6.2. Měrná křivka koryta v profilu těsně pod soutokem Šembery a Výrovky je zobrazena v obr. 7.6.3. Ve všech grafech jsou vyznačeny maximální hodnoty.



Obr. 7.6.1. Průběh teoretických povodňových vln použitých jako horní okrajové podmínky



Obr. 7.6.2. Průběh hladiny v profilu soutoku Šembery a Výrovky použitý jako dolní okrajová podmínka



Obr. 7.6.3. Měrná křivka koryta v profilu těsně pod soutokem Šembery a Výrovky

8. VÝSTUP A VÝSLEDEK

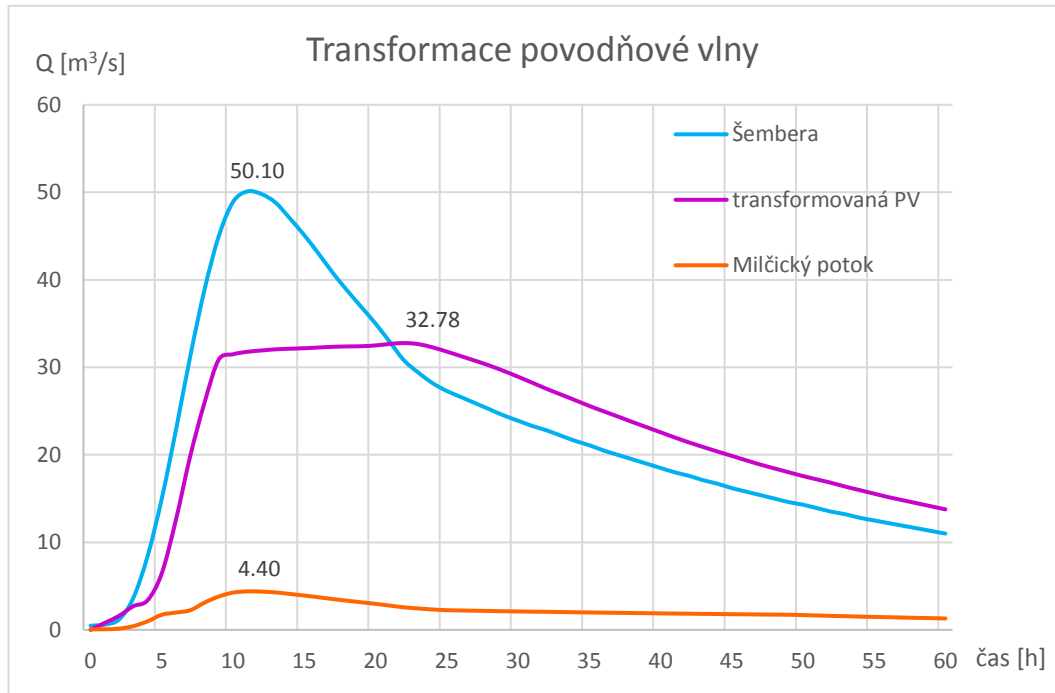
Výstupem této studie rozsahu záplavového území jsou zejména situační výkresy se znázorněním rozsahu záplavového území při různých průtocích, rychlostí proudění a úrovni vodní hladiny. Tyto mapové výkresy jsou přílohami této práce spolu s psaným podélným profilem řeky Šembery a fotodokumentací zájmové lokality.

Výpočtem bylo zjištěno ovlivnění vodního režimu Milčického potoka významným způsobem u proudění 100-leté vody, kdy se až 16% hodnoty průtoku řeky Šembery před křížením s dálnicí D11 široce rozlévá do inundačního území směrem k Milčickému potoku, který je tímto poté výrazně ovlivněn. V případě modelu 100-letého průtoku, kdy korytem řeky Šembery teče $50,1 \text{ m}^3/\text{s}$, dojde k převodu až $7,93 \text{ m}^3/\text{s}$ právě směrem k Milčickému potoku. Při uvážení průběhu teoretické povodňové vlny 100-letého průtoku dojde k převodu až $7,55 \text{ m}^3/\text{s}$.

V případě proudění průtoku s nižší N-letostí, jako je 20-letý nebo 5-letý průtok, k výraznému ovlivňování nedochází.

Výskyt situace, která je simulována v modelu 100-leté vody až do ustálení tohoto modelu, je méně pravděpodobný než výskyt situace podobné průběhu teoretické povodňové vlny, a to zejména kvůli průběhu průtoků v čase, kdy při TPV dochází k postupnému nárůstu průtočných hodnot a tím i ke kratší době vrcholné kulminace, zatímco při modelování 100-leté vody až do ustálení modelu dochází k několikahodinovému konstantnímu proudění 100-letého průtoku, které je ve skutečnosti málo pravděpodobné.

V případě průběhu teoretické povodňové vlny na řece Šembera dochází k její transformaci. Kulminační průtok na vtoku do modelu byl roven hodnotě $50,1 \text{ m}^3/\text{s}$ na řece Šembera a $4,4 \text{ m}^3/\text{s}$ na Milčickém potoce. Díky transformaci povodňové vlny se celková hodnota kulminačního průtoku v korytě Šembery pod soutokem s Milčickým potokem snížila o 40 % z hodnoty $54,5 \text{ m}^3/\text{s}$ na hodnotu $32,8 \text{ m}^3/\text{s}$. Kulminace byla v čase posunuta o 11 hodin. Transformace povodňové vlny je graficky znázorněna na obr. 8.1.



Obr. 8.1. Transformace povodňové vlny

Modelem byl zároveň potvrzen závěr studie z roku 2005, kdy proudění řeky Výrovky ovlivňuje vodní režim v dolním toku řeky Šembery, kdy dochází k přelévání vody z inundačního území řeky Výrovky do koryta řeky Šembera, a to již v případě proudění 20-leté vody. Hladina na dolním toku Šembery je tak ve vyšší úrovni, než odpovídá neovlivněné hladině při shodném průtoku.

9. ZÁVĚR A ZHODNOCENÍ VÝSLEDKU

Cílem této práce bylo zejména určení rozsahu záplavového území řeky Šembera v okolí města Sadská. V rámci stanovení daného rozsahu bylo nutno vyřešit:

- 1) Analýzu zájmové lokality
- 2) Stanovení rozsahu záplavového území
- 3) Určení míry ovlivnění vodního režimu Milčického potoka

1) V rámci získání širších a komplexních souvislostí o zájmové lokalitě byla provedena její analýza včetně rozboru hydrologických, pedologických a klimatických poměrů včetně rozboru režimu proudění v povodí Šembery a Výrovky.

2) Rozsah záplavového území byl stanoven pomocí matematického modelu dvourozměrného proudění vody v softwaru HEC-RAS 5.0.3. Při vytváření modelu terénu byl využit digitální model reliéfu (DMR) 5. generace spolu s tachymetrickým zaměřením koryta řeky Šembera. Zájmové území bylo rozděleno na plochy s různou hodnotou Manningova součinitele drsnosti, které byly ve výpočtu uvažovány. Výpočet byl proveden pro celkem 3 scénáře, a to proudění Q_5 , Q_{20} a Q_{100} , kdy byl výpočet prováděn až do ustálení modelu. Povodňový průtok byl v čase neměnný a možný vliv srážek na území daného povodí byl zanedbán.

Výsledný rozsah záplavového území se liší od rozsahu záplavového území stanoveného ve studii z roku 2005. Tato odlišnost může být dána například odlišným postupem výpočtu, kdy byl oproti dvourozměrnému modelu proudění použitému v této práci použit model jednorozměrného proudění a s tím související přesnost zobrazení skutečného terénu i prostorového charakteru proudění. Dalšími faktory mohou být uvažování odlišných hodnot N -letých průtoků či hodnot Manningova drsnostního součinitele.

Základním rozdílem mezi záplavovým územím (ZÚ) určeným v roce 2005 a oběma modely (Q_{100} , TPV) v této práci je v případě studie z roku 2005 zaplavení území mezi Třebestovicemi a Sadskou a lokality Borky. V západní části dochází k rozlivům až po obytnou zástavbu Kostelní Lhoty. Naopak bez rozlivů je dle studie území jižně od dálnice D11 mezi Šemberou a Milčickým potokem, které právě bylo podnětem pro vytvoření studie nové. Co se týče rozdílů mezi jednotlivými scénáři modelu vytvořeném v rámci této práce, tedy Q_{100} a TPV, dochází k menším

vzájemným rozdílem v rozsahu ZÚ než v případě porovnání se ZÚ určeným studií z roku 2005. V případě TPV dochází ke zvětšení rozsahu ZÚ východně směrem ke Kostelní Lhotě, ale nedosahuje takových rozměrů jako ve studii z roku 2005. Dalším rozdílem je v případě TPV zaplavení zemědělské půdy východně od obce Sadská až ke komunikaci č. 330 mezi Sadskou a Zvěřínkem.

Grafické porovnání záplavového území ze studie z roku 2005 s rozsahy záplavových území určených v této práci je součástí výkresových příloh (A.4).

3) V případě proudění Q_{100} bylo zaznamenáno výrazné ovlivnění vodního režimu Milčického potoka, kdy dochází k převodu až $7,93 \text{ m}^3/\text{s}$ z koryta řeky Šembery do inundačního území směrem k Milčickému potoku. V případě uvažování teoretické povodňové vlny je maximální hodnota převodu rovna $7,55 \text{ m}^3/\text{s}$.

V případě průběhu teoretické povodňové vlny dochází na řece Šembera k její transformaci. Na vtoku do modelu byly hodnoty kulminačních průtoků na řece Šembera a Milčickém potoce rovny hodnotám $50,1 \text{ m}^3/\text{s}$, resp. $4,4 \text{ m}^3/\text{s}$. Transformací povodňové vlny došlo ke snížení celkové hodnoty kulminačního průtoku v korytě Šembery pod soutokem s Milčickým potokem o 40 % z hodnoty $54,5 \text{ m}^3/\text{s}$ na hodnotu $32,8 \text{ m}^3/\text{s}$. Došlo také k časovému posunu kulminace, a to o 11 h.

Kromě ovlivnění Milčického potoka prouděním v korytu Šembery, dochází také k ovlivnění dolního toku řeky Šembery (zvýšení úrovně hladiny) prouděním řeky Výrovky, kdy dochází k přelévání vody z inundačního území Výrovky do koryta Šembery již při Q_{20} .

K práci byly přiloženy situační výkresy záplavového území, psaný podélný profil řeky Šembery a fotodokumentace zájmové lokality.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY A ZDROJŮ INFORMACÍ

- [1] *Mapy.cz* [online]. [cit. 14-01-2018]. Dostupné z: www.mapy.cz
- [2] Šembera. *Infoglobe.cz* [online]. [cit. 14-01-2018]. Dostupné z: <http://www.infoglobe.cz/reky/evropa/ceska-republika/sembera/>
- [3] Šembera. *Wikipedia* [online]. [cit. 14-01-2018]. Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/%C5%A0embera_\(%C5%99eka\)](https://cs.wikipedia.org/wiki/%C5%A0embera_(%C5%99eka))
- [4] Evidenční list hlásného profilu č.61. *Hlásná a předpovědní povodňová služba* [online]. [cit. 14-01-2018]. Dostupné z: http://hydro.chmi.cz/hpps/hpps_prfbk_detail.php?seq=307025
- [5] Výrovka. *Povodí Labe* [online]. [cit. 15-01-2018]. Dostupné z: http://www.pla.cz/planet/webportal/internet/cs/obsah/vyrovka_961.html?AspxAutoDetectCookieSupport=1
- [6] Výrovka. *Wikipedia* [online]. [cit. 15-01-2018]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/V%C3%BDrovka>
- [7] PIVEC, Jan: Porovnání klimatické regionalizace ČR podle Moravce – Votýpky (1998) a Quitta (1971). *Jan Pivec -autobiografie* [online]. [cit. 15-01-2018]. Dostupné z: <http://janpivec.wz.cz/pivec.htm>
- [8] Tabulky srážek. *Hydromeliorace.cz* [online]. [cit. 17-01-2018]. Dostupné z: http://www.hydromeliorace.cz/czu/cviceni/tabulky_srazek.pdf
- [9] Podnebí Český Brod. *meteoblue.com* [online]. [cit. 17-01-2018]. Dostupné z: https://www.meteoblue.com/cs/po%C4%8Das%C3%AD/p%C5%99edpo v%C4%9B%C4%8F/modelclimate/%C4%8Cesk%C3%BD-brod_%C4%8Cesko_3077898

- [10] Větrné mapy. *Ústav fyziky atmosféry AV ČR* [online]. [cit. 17-01-2018]. Dostupné z: <http://www.ufa.cas.cz/struktura-ustavu/oddeleni-meteorologie/projekty-egp/vetrna-energie/vetrne-mapy.html>
- [11] Prohlížečka záplavových území. *Výzkumný ústav vodohospodářský T.G. Masaryka, v.v.i.: Oddělení geografických informačních systémů a kartografie* [online]. [cit. 17-01-2018]. Dostupné z: <http://www.dibavod.cz/70/prohlizecka-zaplavovych-uzemi.html>
- [12] JANEČEK, Miloslav. *Ochrana zemědělské půdy před erozí: metodika*. Praha: Powerprint, 2012. ISBN 978-80-87415-42-9.
- [13] Erozní ohrožení zemědělské půdy. Mapové kompozice. *Voda v krajině* [online]. [cit. 15-02-2018]. Dostupné z: <http://vuv.maps.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html>
- [14] Geovědní mapy 1:50 000. *Česká geologická služba* [online]. [cit. 15-02-2018]. Dostupné z: <https://mapy.geology.cz/geocr50/>
- [15] Svahové nestability. *Česká geologická služba* [online]. [cit. 15-02-2018]. Dostupné z: https://mapy.geology.cz/svahove_nestability/
- [16] ČÚZK, Geoportál ČÚZK [online]. [cit. 17-03-2018]. Dostupné z: [http://geoportal.cuzk.cz/\(S\(kllo1xm1d4kk4mjkti3zyqwc\)\)/Default.aspx?mode=TextMeta&side=vyskopis&metadataID=CZ-CUZK-DMR5G-V&head_tab=sekce-02-gp&menu=302](http://geoportal.cuzk.cz/(S(kllo1xm1d4kk4mjkti3zyqwc))/Default.aspx?mode=TextMeta&side=vyskopis&metadataID=CZ-CUZK-DMR5G-V&head_tab=sekce-02-gp&menu=302)
- [17] Hydrologické údaje, ČHMÚ. [cit. 19-03-2017], osobní komunikace
- [18] ČÚZK, Geoportál ČÚZK [online]. [cit. 22-03-2018]. Dostupné z: [http://geoportal.cuzk.cz/\(S\(d1xqfappwsobbctaz3hp01m\)\)/Default.aspx?mode=TextMeta&side=ortofoto&metadataID=CZ-CUZK-ORTOFOTO-R&productid=63410&mapid=83&menu=231](http://geoportal.cuzk.cz/(S(d1xqfappwsobbctaz3hp01m))/Default.aspx?mode=TextMeta&side=ortofoto&metadataID=CZ-CUZK-ORTOFOTO-R&productid=63410&mapid=83&menu=231)

- [19] HAVLÍK, Aleš. *Matematické modelování proudění vody s volnou hladinou* [online]. [cit. 22-03-2018]. Dostupné z: http://www.bakalarsi.cz/data/KA2/vystupy/prednasky/Matematicke_modelovani_Havlik.pdf
- [20] HAVLÍK, Aleš, PICEK, Tomáš. *Hydraulika otevřených koryt* [online]. [cit. 26-04-2018]. Dostupné z: http://hydraulika.fsv.cvut.cz/Hydraulika/Hydraulika/Predmety/HY2V/ke_stazeni/prednasky/HY2V_05_Ustalene_proudeni_v_korytech.pdf
- [21] MARŠÍK, František. *Numerické metody mechaniky kontinua*. Praha: Ústav termomechaniky AV ČR v.v.i., 1990.[online]. [cit. 22-03-2018]. Dostupné z: http://www.it.cas.cz/files/u1771/Num_metody_mech_kontinua.pdf
- [22] Hydrologic Engineering Center, *US Army Corps of Engineers* [online]. [cit. 24-03-2018]. Dostupné z: <http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/>
- [23] Součinitel drsnosti. *Wikipedia* [online]. [cit. 24-03-2018]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Sou%C4%8Dinitel_drsnosti
- [24] HEC-RAS version 5.0, 2D Modeling User's Manual. *US Army Corps of Engineers*, USA, Davis, 2010 [online]. [cit. 01-04-2018]. Dostupné z: <http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/documentation/HEC-RAS%205.0%202D%20Modeling%20Users%20Manual.pdf>
- [25] MATOUŠEK, Václav. *Proudění s volnou hladinou (tj. v otevřených korytech)*[online]. [cit. 05-04-2018]. Dostupné z: http://hydraulika.fsv.cvut.cz/Hydraulika/Hydraulika/Predmety/HYAR/ke_stazeni/prednasky/HYAR_pr_07.pdf

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 2.0. Vyznačení úseku řeky Šembery v mapovém podkladu [1].....	4
Obr. 2.2.1. Výřez mapy klimatických oblastí dle E.Quitta [7].....	7
Obr. 2.2.2. Průměrné teploty a úhrn srážek v lokalitě Český Brod [9].....	8
Obr. 2.2.3. Pole průměrné rychlosti větru ve výšce 100 m nad povrchem [10].....	8
Obr. 2.2.4. Výřez záplavového území 100-leté vody [11].....	8
Obr.2.2.5. Výřez záplavového území 20-leté vody [11].....	10
Obr. 2.2.8. Rozložení CN II v zájmové oblasti [13].....	11
Obr. 2.3.1. Výřez geologické mapy [14].....	12
Obr.4.1. Hodnoty N-letých průtoků na řece Šembera sloužící jako podklad pro studie v jednotlivých letech	16
Obr. 4.2. Hodnoty úrovní hladiny v profilu soutoku Šembery s Výrovkou sloužící jako podklad pro studie v jednotlivých letech.....	17
Obr. 4.3. Přesah záplavového území oproti zaměřeným příčným profilům.....	18
Obr. 5.1.1. Výpočtové schéma pro metodu po úsecích [20]	20
Obr. 7.3.1. Výřez výpočetní sítě.....	27
Obr. 7.6.1. Průběh teoretických povodňových vln použitých jako horní okrajové podmínky.....	29
Obr. 7.6.2. Průběh hladiny v profilu soutoku Šembery a Výrovky použitý jako dolní okrajová podmínka.....	30
Obr. 8.1. Transformace povodňové vlny.....	32

SEZNAM TABULEK

Tab. 2.1.1. Hodnoty N-letých průtoků řeky Šembery v hlásném profilu č.61 v m ³ /s [4].....	5
Tab. 2.2.1. Charakteristiky klimatických oblastí dle E.Quitta [7].....	7
Tab. 3.3.1. Hodnoty N-letých průtoků řeky Šembery.....	14
Tab. 3.3.2. Hodnoty N-letých průtoků řeky Výrovky.....	14
Tab. 4.1. Hodnoty N-letých průtoků na řece Šembera sloužící jako podklad pro studie v jednotlivých letech.....	16
Tab. 5.2. Významy a jednotky parametrů řídicích rovnic pro 2D model.....	22
Tab. 7.2.1. Hodnoty Manningova drsnostního součinitele pro plochy v zájmovém území.....	26
Tab. 7.4.1. Hodnoty okrajových podmínek.....	28

SEZNAM ROVNIC

(5.1.1.) Bernoulliho rovnice pro výpočet metodou po úsecích.....	20
(5.1.2.) Rovnice pro výpočet převýšení mezi dvěma profily.....	20
(5.1.3.) Rovnice pro výpočet ztrát třením.....	20
(5.1.3.) Rovnice pro výpočet ztrát místních.....	20
(5.1.5.) Rovnice pro výpočet převýšení po dosazení vztahů pro ztrátové výšky.....	21
(5.1.6.) Upravená rovnice pro výpočet převýšení.....	21
(5.1.1a.) Pohybové diferenciální Navier-Stokesovy rovnice.....	22
(5.2.2.) Rovnice spojitosti.....	22

SEZNAM PŘÍLOH

- A Mapové výkresy
 - A.1 Základní mapa modelované oblasti
 - A.2 Mapové výkresy pro model Q100
 - A.2.1. Mapa svislicových rychlostí pro Q100
 - A.2.2. Mapa úrovní hladiny pro Q100
 - A.2.3. Mapa hloubek vody pro Q100
 - A.3 Mapové výkresy pro TPV
 - A.3.1. Mapa svislicových rychlostí pro TPV
 - A.3.2. Mapa úrovní hladiny pro TPV
 - A.3.3. Mapa hloubek vody pro TPV
 - A.4 Rozsahy záplavových území pro jednotlivé modely
- B Psaný podélný profil řeky Šembery pro Q100 a TPV
- C Fotodokumentace