



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV VODNÍCH STAVEB

INSTITUTE OF WATER STRUCTURES

HYDRODYNAMICKÝ MODEL SVITAVY A SVRATKY NA ÚZEMÍ MĚSTA BRNA

HYDRODYNAMIC MODEL OF THE SVITAVA AND SVRATKA RIVERS IN BRNO

DIPLOMOVÁ PRÁCE

DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Tomáš Račoch

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. ALEŠ DRÁB, Ph.D.

BRNO 2019



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	N3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu	Navazující magisterský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3607T027 Vodní hospodářství a vodní stavby
Pracoviště	Ústav vodních staveb

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Student	Bc. Tomáš Račoch
Název	Hydrodynamický model Svitavy a Svratky na území města Brna
Vedoucí práce	doc. Ing. Aleš Dráb, Ph.D.
Datum zadání	31. 3. 2018
Datum odevzdání	11. 1. 2019

V Brně dne 31. 3. 2018

prof. Ing. Jan Šulc, CSc.
Vedoucí ústavu

prof. Ing. Miroslav Bajer, CSc.
Děkan Fakulty stavební VUT

PODKLADY A LITERATURA

- Odborná literatura z oboru matematického modelování proudění vody, numerických metod a geografických informačních systémů.
- Geodetické zaměření zájmových úseků vodních toků.
- Hydrologická data.
- Mapové podklady.

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

Cílem práce je realizace hydraulických výpočtů proudění vody v tocích a záplavových územích Svitavy a Svatky na území města Brna. K výpočtům bude použit spřažený 1D a 2D numerický model. Výstupy práce budou zahrnovat:

- průvodní a technickou zprávu,
- fotodokumentaci,
- výsledky hydraulických výpočtů proudění vody pro zájmové úseky toků a záplavová území ve formě map povodňového nebezpečí,
- podélné a příčné profily toků se zakreslením vypočtených úrovní hladin.

STRUKTURA DIPLOMOVÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část VŠKP zpracovaná podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (povinná součást VŠKP).
2. Přílohy textové části VŠKP zpracované podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (nepovinná součást VŠKP v případě, že přílohy nejsou součástí textové části VŠKP, ale textovou část doplňují).

doc. Ing. Aleš Dráb, Ph.D.
Vedoucí diplomové práce

ABSTRAKT

Diplomová práce se zabývá posouzením stávajícího stavu povodňové ochrany v tocích a záplavových územích Svitavy (ř. km 0,000 – 2,050) a Svratky (ř. km 26,370 – 33,963) na území města Brna. S použitím spřaženého 1D a 2D numerického modelu proudění vody byly provedeny hydraulické výpočty kulminačních průtoků Q5, Q20 a Q100. Pro výpočet byl použit program HEC-RAS 5.0.6. Výstupy byly zpracovány ve formě map povodňového nebezpečí a výkresové dokumentace.

KLÍČOVÁ SLOVA

Povodeň, protipovodňová ochrana, spřažený 1D/2D numerický model, hydrodynamický model, HEC-RAS, Svitava, Svratka, Brno.

ABSTRACT

The Master's thesis deals with the assessment of the current state of flood protection in the rivers and floodplains of Svitava (km 0.000 - 2,050) and Svratka (km 26,370 - 33,963) in Brno. Using a combined 1D and 2D numerical model of water flow, hydraulic calculations of the peak flows of Q5, Q20 and Q100 were performed. For calculation, HEC-RAS 5.0.6 was used. The outputs were processed in the form of flood hazard maps and drawing documentation.

KEYWORDS

Flood, flood protection, combined 1D/2D numerical model, hydrodynamic model, HEC-RAS, Svitava, Svratka, Brno.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

Bc. Tomáš Račoch *Hydrodynamický model Svitavy a Svratky na území města Brna*. Brno, 2019. 61 s., 156 s. příl. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodních staveb. Vedoucí práce doc. Ing. Aleš Dráb, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané diplomové práce s názvem *Hydrodynamický model Svitavy a Svratky na území města Brna* je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 11. 1. 2019

Bc. Tomáš Račoch
autor práce

PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci s názvem *Hydrodynamický model Svitavy a Svratky na území města Brna* zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 11. 1. 2019

Bc. Tomáš Račoch
autor práce

PODĚKOVÁNÍ

Tímto děkuji doc. Ing. Aleši Drábovi, Ph.D. za odborné rady, cenné připomínky, vstřícný přístup při zpracování diplomové práce a poskytnutí výpočetního výkonu potřebného pro včasné dokončení práce. Také děkuji Ing. Davidu Duchanovi, Ph.D. za jeho ochotu a věnovaný čas. Dále děkuji Ing. Radce Klepárníkové za praktické rady a cenné připomínky. V neposlední řadě děkuji své rodině za podporu při studiu.



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV VODNÍCH STAVEB

INSTITUTE OF WATER STRUCTURES

HYDRODYNAMICKÝ MODEL SVITAVY A SVRATKY NA ÚZEMÍ MĚSTA BRNA

HYDRODYNAMIC MODEL OF THE SVITAVA AND SVRATKA RIVERS IN BRNO

A. PRŮVODNÍ A TECHNICKÁ ZPRÁVA

DIPLOMOVÁ PRÁCE

DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Tomáš Račoch

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. ALEŠ DRÁB, Ph.D.

BRNO 2019

OBSAH

1. ÚVOD.....	1
2. CÍLE PRÁCE	2
3. VŠEOBECNÉ ÚDAJE O ZÁJMOVÉM ÚZEMÍ.....	3
3.1. ZÁJMOVÉ VODNÍ TOKY	3
3.1.1. Svratka.....	3
3.1.2. Svitava	4
3.2. GEOLOGICKÉ POMĚRY	5
3.3. KLIMATICKÉ POMĚRY	6
3.4. HYDROLOGICKÉ POMĚRY	7
3.4.1. Základní hydrologické údaje	9
3.5. HISTORICKÉ POVODŇ	9
3.5.1. Červenec 1997.....	9
3.5.2. Březen-duben 2006.....	10
3.6. REKREAČNÍ VYUŽITÍ	11
4. POPIS ZÁJMOVÉ OBLASTI.....	12
4.1. SVRATKA 1 (Ř. KM 26,370 – 31,958)	13
4.2. SVRATKA 2 (Ř. KM 31,958 – 33,963)	14
4.3. SVITAVA (Ř. KM 0,000 – 2,050)	14
4.4. OBJEKTY NA TOCÍCH.....	14
4.4.1. Svratka 1 (ř. km 26,370 – 31,958).....	14
4.4.2. Svratka 2 (ř. km 31,958 – 33,963).....	16
4.4.3. Svitava (ř. km 0,000 – 2,050)	17
4.5. PROTIPOVODŇOVÁ OPATŘENÍ	19
4.5.1. Opatření ID 3146	19
4.5.2. Opatření ID 3317	19
4.5.3. Opatření ID 3318	19
4.5.4. Opatření ID 3319	20
4.5.5. Opatření ID 3320	20
4.5.6. Opatření ID 3321	20

4.6.	STÁVAJÍCÍ ZÁPLAVOVÁ ÚZEMÍ SVRATKY A SVITAVY.....	21
4.6.1.	<i>Záplavové území Q_5</i>	21
4.6.2.	<i>Záplavové území Q_{20}</i>	22
4.6.3.	<i>Záplavové území Q_{100}</i>	22
5.	HYDRAULICKÉ VÝPOČTY	24
5.1.	1D/2D MATEMATICKÝ MODEL NEUSTÁLENÉHO PROUDĚNÍ VODY	24
5.1.1.	<i>1D matematický model neustáleného proudění</i>	25
5.1.2.	<i>2D matematický model neustáleného proudění</i>	26
5.2.	POPIS VSTUPNÍCH DAT MODELU	28
5.2.1.	<i>Topografická data</i>	28
5.2.2.	<i>Drsnostní součinitel n</i>	29
5.2.3.	<i>Okrajové a počáteční podmínky</i>	31
5.3.	NEJISTOTY VSTUPNÍCH DAT	33
5.3.1.	<i>Velikost elementu výpočtové sítě</i>	33
5.3.2.	<i>Digitální model reliéfu</i>	33
5.3.3.	<i>Geometrie toků</i>	33
5.3.4.	<i>Součinitele drsností</i>	34
5.3.5.	<i>Hydrologické údaje</i>	34
5.4.	KALIBRACE MODELU	34
6.	PŘÍPRAVA TOPOGRAFICKÝCH DAT	35
6.1.	POUŽITÉ PROGRAMY	35
6.2.	POSTUP ŘEŠENÍ	35
6.2.1.	<i>Převedení dat</i>	35
6.2.2.	<i>Identifikace a dopočet souřadnic S-JTSK</i>	35
6.2.3.	<i>Vytvoření osy toku a příčných profilů</i>	36
6.2.4.	<i>Vytvoření rastrů terénu a drsností v programu ArcMap 10.4</i>	37
7.	POSTUP ŘEŠENÍ V PROGRAMU HEC-RAS	38
7.1.	VYTVOŘENÍ GEOMETRICKÝCH DAT.....	39
7.2.	VYTVOŘENÍ TERÉNU	42
7.3.	VYTVOŘENÍ VÝPOČTOVÝCH SÍTÍ.....	43

7.3.1. Breaklines.....	43
7.3.2. Výpočtová oblast	44
7.3.3. Laterální struktury.....	44
7.3.4. Výpočtová síť	46
7.4. NASTAVENÍ VÝPOČTU	48
7.5. NASTAVENÍ OKRAJOVÝCH A POČÁTEČNÍCH PODMÍNEK	49
8. VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ VÝPOČTŮ.....	50
8.1. KULMINAČNÍ PRŮTOK Q_5	50
8.2. KULMINAČNÍ PRŮTOK Q_{20}	50
8.3. KULMINAČNÍ PRŮTOK Q_{100}	51
9. ZÁVĚR	52
10. PŘEHLED VÝCHOZÍCH PODKLADŮ	54
11. SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ	56
12. SEZNAM OBRÁZKŮ	58
13. SEZNAM TABULEK.....	60
14. SEZNAM PŘÍLOH.....	61

1. Úvod

Hydrodynamika je obor zabývající se mechanickým pohybem (prouděním) kapalin. Jedním z nástrojů řešení hydrodynamických problémů je matematické modelování, které umožňuje simulaci abstraktně vyjádřených fyzikálních dějů probíhajících na reálných objektech. Fyzikálními ději jsou v kontextu diplomové práce uvažovány povodňové průtoky na tocích Svratka a Svitava.

Povodní se označuje stav, při kterém dochází k přechodnému výraznému zvýšení hladiny vodního toku, jež má za následek zaplavení území mimo samotné koryto vodního toku. Povodeň může být zapříčiněna přírodními vlivy jako je tání, dešťové srážky a chod ledů (přirozená povodeň), anebo v důsledku havárie vodního díla (zvláštní povodeň).

Diplomová práce se zabývá posouzením stávající protipovodňové ochrany v lokalitě soutokové oblasti Svratky a Svitavy ve městě Brně. Zájmové území je vymezeno jezem Rajhrad (Svratka ř. km 26,370) v dolní části, pokračuje přes soutok obou toků (Svratka ř. km 31,958) a končí v místě křížení vodních toků s tělesem dálnice D1 (Svratka ř. km 33,963, Svitava ř. km 2,050). Naposledy byla zájmová oblast zasažena rozsáhlejšími povodňovými událostmi v letech 1997 a 2006.

2. Cíle práce

Cílem práce je realizace hydraulických výpočtů proudění vody v tocích a záplavových územích Svratky (ř. km 26,370 – 33,963) a Svitavy (ř. km 0,000 – 2,050) na území města Brna.

Při zpracování diplomové práce bylo uvažováno se dvěma základními scénáři. V závislosti na zvoleném scénáři byl simulován N-letý průtok povodně pro jeden z uvedených toků a doplněk v toku druhém. Výsledné mapy byly zpracovány jako obálka maxima obou uvedených scénářů. Pro oba vodní toky byly simulovány povodňové průtoky Q_5 , Q_{20} a Q_{100} . Výpočty průběhů hladin a stanovení rozlivů byly provedeny pomocí spřaženého 1D a 2D numerického modelu. Pro realizaci výpočtů byl zvolen volně šiřitelný software HEC-RAS 5.0.6.

Výsledky hydraulických výpočtů proudění vody pro zájmové úseky toků a záplavová území byly pro jednotlivé povodňové scénáře zpracovány ve formě map povodňového nebezpečí (mapa rozlivů, mapy hloubek a mapy rychlostí), doplněných o podélné a příčné profily toků se zakreslenými úrovněmi vypočtených hladin. V závěru byly výsledné rozsahy rozlivů porovnány se stanovenými záplavovými územími v zájmové lokalitě.

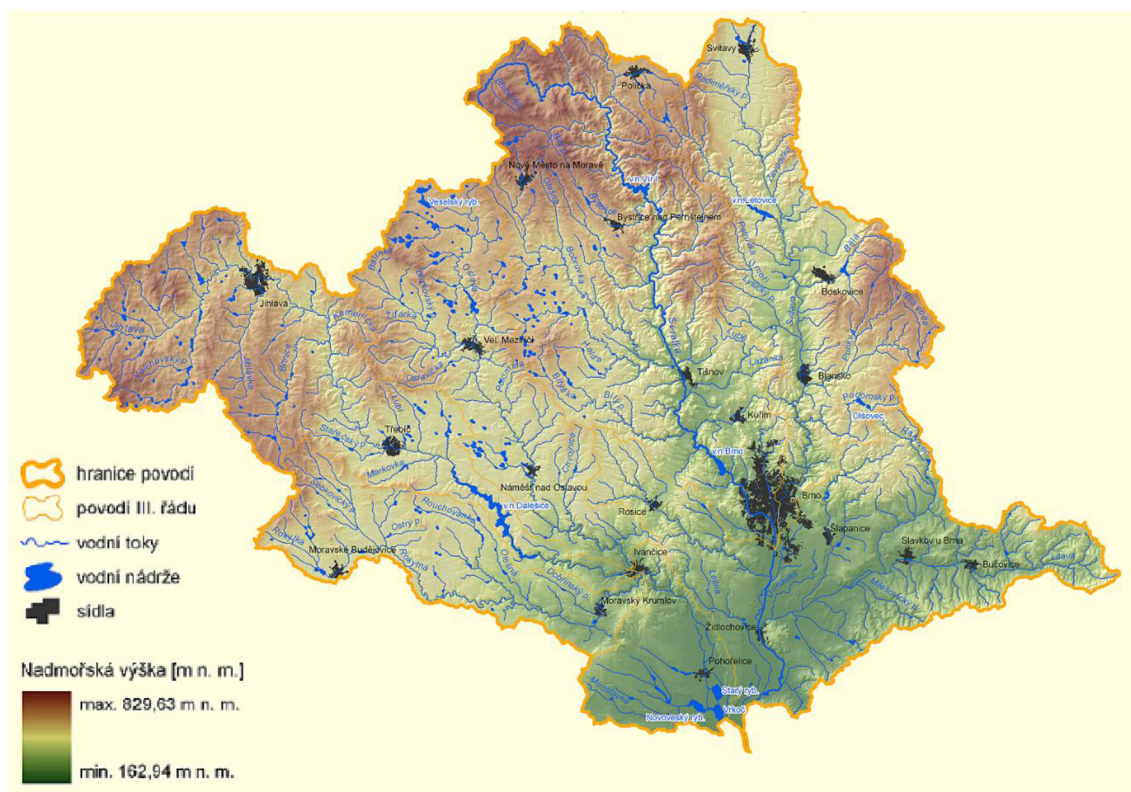
3. Všeobecné údaje o zájmovém území

3.1. Zájmové vodní toky

3.1.1. Svatka

Řeka Svatka (ID: 4127900001000) pramení v kraji Vysočina na Českomoravské vrchovině. Prameniště se nachází severně od Žďáru nad Sázavou nedaleko obce Cikháj ve Žďárských vrších pod Žákovou horou (810 m n. m.) v nadmořské výšce 771,93 m n. m. Na horním toku směřuje Svatka severovýchodně do stejnojmenného města Svatka, kde se poté stáčí na jihovýchod k městu Brnu. Celková délka toku je 168,49 km a plocha povodí činí 7115,60 km². Správcem povodí je podnik Povodí Moravy, s. p. V povodí Svatky se vyskytuje řada vodních nádrží, z nichž se přímo na toku nachází soustava dvou nádrží Vír I a Vír II, níže po toku pak Brněnská přehrada. Největší vodní nádrž v povodí je vodní nádrž Dalešice (462,67 ha). Svatka se vlévá do Dyje jako její levostranný přítok ve vodní nádrži Nové Mlýny – střed (ř. km 53,19) v nadmořské výšce 162,94 m n. m. [1] Přehledná mapa povodí Svatky viz Obr. 3.1.

Řešený úsek Svatky se nachází mezi jezem Rajhrad a silnicí E50 (dálnicí D1) dle podkladů [6] v ř. km 26,370 – 33,963.



Obr. 3.1: Přehledná mapa povodí Svatky [1]

3.2. Geologické poměry

Z hlediska geologických poměrů tvoří většinu zájmového území nivní sedimenty v malé míře doplněné smíšenými a písčito-hlinitými až hlinito-písčitými sedimenty. Na východní straně jsou zastoupeny rovněž písky a šterky. Ojedinele se vyskytuje vápnlitý jíł (tégł), místy s polohami písků a klastika-písky, šterky se zpevněnými polohami pískovce a slepence. Vše výše uvedené je pak lemováno převážně spraší a sprašovou hlínou. Geologická mapa viz Obr. 3.3 a její legenda Obr. 3.4.



Obr. 3.3: Geologická mapa [16]

Tektonické linie GeoČR50			
---	zlom zakrytý		
Hranice homin GeoČR50			
—	hranice zjištěná		
---	hranice předpokládaná		
.....	petrografický přechod homin		
Hominy GeoČR50			
Karpaty			
■	1821 vápnitý jíł (tégł), místy s polohami písků	■	6 nivní sediment
■	1823 klastika - pisky, štěrky se zpevněnými polohami pískovce, slepence	■	16 spraš a sprašová hlína
■	1820 vápenec	■	20 sediment deluvioeolický
■	1813 štěrky, písčité štěrky	■	1 navážka, halda, výsypka, odval
■	1811 štěrk, písčité štěrk	Český masiv - krystalinikum a prevariské paleozoikum	
Český masiv - pokryvné útvary a postvariské magmatity		■	1116 ultramafit, serpentinit
■	24 písek, štěrk	■	1111 biotitit-amfibolický diorit, křemenný diorit
■	7 smíšený sediment		
■	12 písčito-hlinitý až hlinito-písčité sediment		
■	9 slatina, rašelina, hnilokal		

Obr. 3.4: Legenda geologické mapy [16]

3.3. Klimatické poměry

Podle Quittovy klimatické klasifikace spadá zájmové území do teplé klimatické oblasti T4. Podnebí se zde vyznačuje velmi dlouhým, velmi teplým a velmi suchým létem, krátkým a teplým přechodným obdobím a krátkou, mírně teplou a suchou zimou. [15] Charakteristika vybraných klimatických oblastí se nachází v následující Tab. 3.1.

Tab. 3.1: Charakteristika vybraných klimatických oblastí T4 [15]

Charakteristika	T4
Počet letních dnů	60 - 70
Počet dnů s průměrnou teplotou 10 °C a více	170 - 180
Počet mrazových dnů	100 - 110
Počet ledových dnů	30 - 40
Průměrná teplota v lednu [°C]	-2 - (-3)
Průměrná teplota v dubnu [°C]	9 - 10
Průměrná teplota v červenci [°C]	19 - 20
Průměrná teplota v říjnu [°C]	9 - 10
Průměrný počet dnů se srážkami 1 mm a více	80 - 90
Srážkový úhrn ve vegetačním období [mm]	300 - 350
Srážkový úhrn v zimním období [mm]	200 - 300
Počet dnů se sněhovou pokrývkou	40 - 50
Počet zamračených dnů	110 - 120
Počet jasných dnů	50 - 60

3.4. Hydrologické poměry

V zájmovém území se nenachází žádná limnigrafická stanice. Pro vodní tok Svratka je nejbližším hlášeným profilem s přenosem dat hlášený profil kategorie A Brno - Poříčí (Svratka) v ř. km 41,36. Stanice ve správě Povodí Moravy, s. p. je umístěna na pravém břehu toku cca 300 m nad mostem s ev. č. BM-024.

Nejbliže se nacházející limnigrafická stanice pro tok Svitava je hlášený profil kategorie A Bílovice nad Svitavou (Svitava) v ř. km 15,51. Stanice ve správě ČHMÚ je umístěna cca 20 m pod mostem s ev. č. 374-044. Přehled hlášených profilů s online přenosem viz Obr. 3.5.



Obr. 3.5: Hlášené profily s aktuálním měřením [11]

Hlásný profil kategorie A Brno – Poříčí (Svratka) [12]

Provozovatel stanice:	Povodí Moravy Brno
Staničení:	41,36 km
Plocha povodí:	1637,16 km ²
Nula vodočtu:	197,10 m n. m.
Číslo hydrologického pořadí:	4-15-01-153
Zeměpisné souřadnice:	16,591595 v. d., 49,185978 s. š.
Průměrný roční stav:	59 cm
Průměrný roční průtok:	7,76 m ³ .s ⁻¹
Platnost SPA pro úsek toku:	VD Brno - soutok se Svitavou

Tab. 3.2: Stupně povodňové aktivity - hlásný profil kat. A Brno - Poříčí (Svratka)

Stupně povodňové aktivity	Výška hladiny [cm]	Průtok [m ³ .s ⁻¹]
Bdělost	60	40,3
Pohotovost	80	66,6
Ohrožení	120	146,0

Hlásný profil kategorie A Bílovice nad Svitavou (Svitava) [13]

Provozovatel stanice:	ČHMÚ Brno
Staničení:	15,51 km
Plocha povodí:	1119,98 km ²
Nula vodočtu:	217,87 m n. m.
Číslo hydrologického pořadí:	4-15-02-109
Zeměpisné souřadnice:	16,675008 v. d., 49,245396 s. š.
Průměrný roční stav:	97 cm
Průměrný roční průtok:	4,26 m ³ .s ⁻¹
Platnost SPA pro úsek toku:	Adamov - ústí toku

Tab. 3.3: Stupně povodňové aktivity - hlásný profil kat. A Bílovice nad Svitavou (Svitava)

Stupně povodňové aktivity	Výška hladiny [cm]	Průtok [m ³ .s ⁻¹]
Bdělost	200	26,5
Pohotovost	270	47,8
Ohrožení	350	77,8

3.4.1. Základní hydrologické údaje

Pro účely výpočtu průběhů hladin a jejich rozlivů byly pro vodní tok Svratka využity hydrologické údaje od ČHMÚ [9] s třídou přesnosti II a z MŘ pro jez Rajhrad [7]. Pro vodní tok Svitava bylo uvažováno s hydrologickými údaji z Monitorovací stanice Svitava - LG Bílovice nad Svitavou, Povodí Moravy, s. p. [14].

Tab. 3.4: Hodnoty N-letých průtoků pro profil Svratka nad Svitavou – jez Přízřenice [9]

N-leté průtoky	Q ₅	Q ₂₀	Q ₁₀₀
[m ³ .s ⁻¹]	110,4	180,7	285

Tab. 3.5: Hodnoty N-letých průtoků pro profil jez Rajhrad [7]

N-leté průtoky	Q ₅	Q ₂₀	Q ₁₀₀
[m ³ .s ⁻¹]	196	280	386

Tab. 3.6: Hodnoty N-letých průtoků pro Svitavu (LG Bílovice nad Svitavou) [14]

N-leté průtoky	Q ₅	Q ₂₀	Q ₁₀₀
[m ³ .s ⁻¹]	78	122	179

3.5. Historické povodně

3.5.1. Červenec 1997

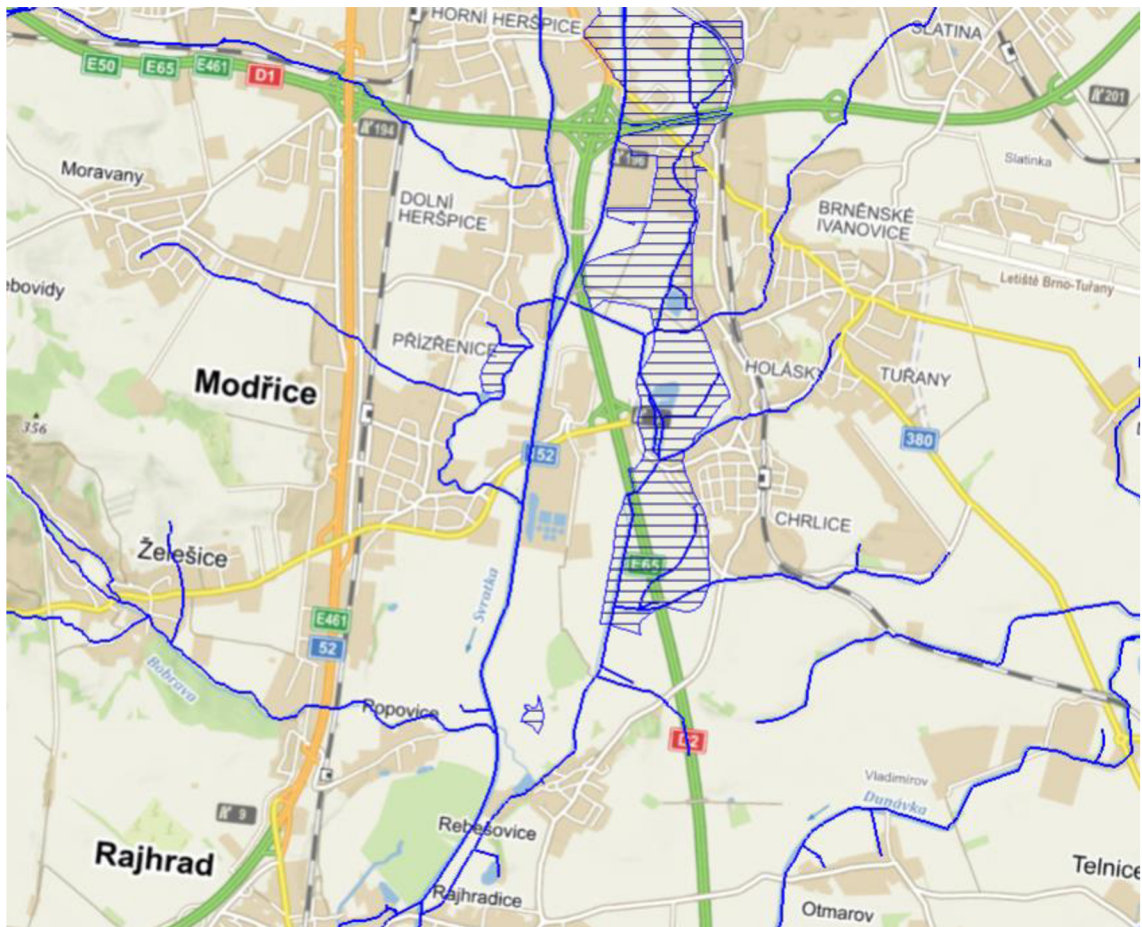
Červencové povodně v roce 1997 měly na území České republiky katastrofální dopady. Zapříčiněny byly vydatnými srážkovými úhrny ve dvou vlnách, a to ve dnech 5.-7. července a 17.-19. července.

V Dalečíně na horním toku Svratky dosáhl kulminační průtok 8. července úrovně Q₅₀. Na Brněnsku však voda neudeřila v takové míře. Z důvodu opravy Vírského vodovodu a rekonstrukce hráze vodní nádrže Vír I, byla hladina v nádrži snížena o 10 m oproti běžnému stavu, a tak její retenční prostor transformoval zmíněný průtok v Dalečíně s hodnotou 128 m³.s⁻¹ na neškodných 35 m³.s⁻¹.

V Bílovicích nad Svitavou přesáhl kulminační průtok Svitavy 9. července úrovně Q₂₀. Na území města Brna bylo postiženo přibližně 250 domů, chaty, garáže, skladové a výrobní objekty v celkem 8 městských částech.

Kulminační průtoky po druhé vlně srážkových úhrnů v Brně již nedosáhly předchozích hodnot. Na Svratce Q₂ a na Svitavě Q₁. Od 20. července začala hladina

pozvolna klesat a průtoky se navracet k běžným hodnotám. Rozlivy historické povodně v červenci 1997 viz Obr. 3.6. [20]

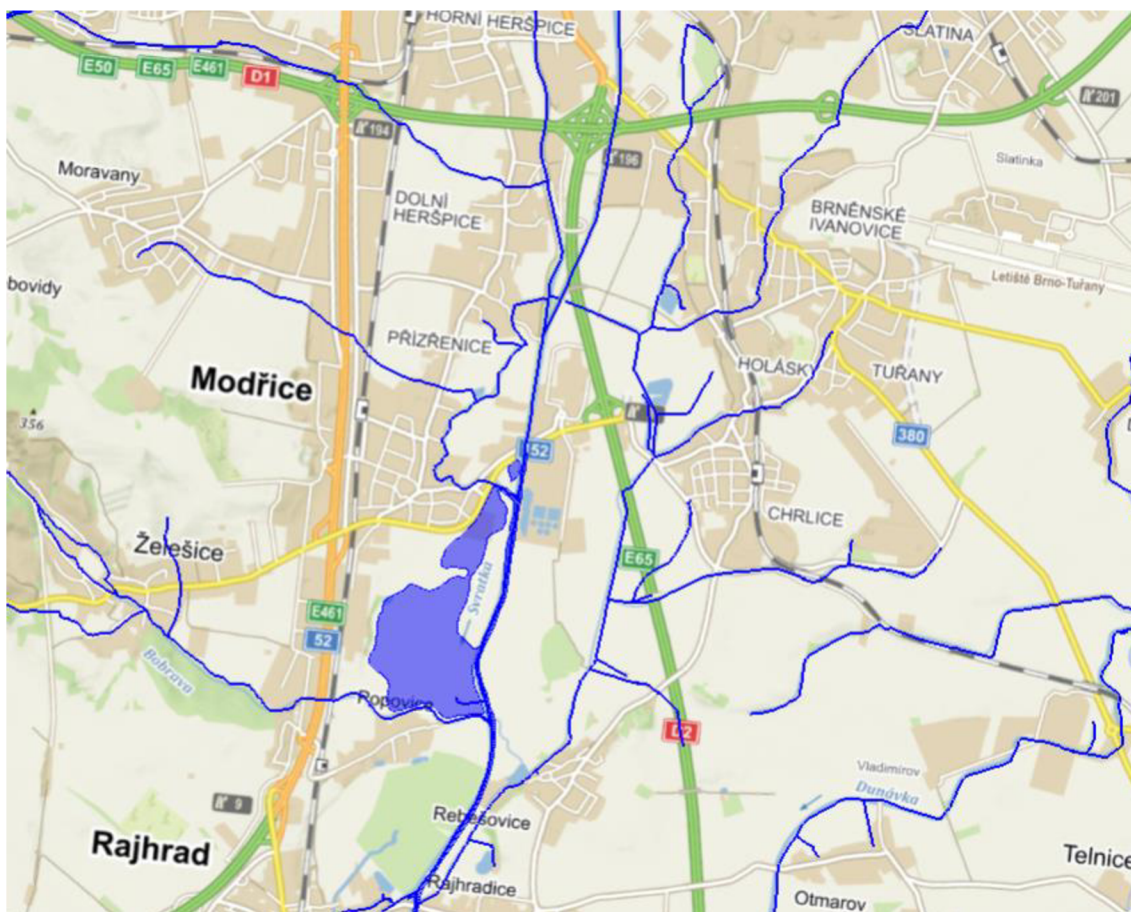


Obr. 3.6: Historická povodeň červenec 1997 [11]

3.5.2. Březen-duben 2006

Povodně na přelomu března a dubna roku 2006 byly zapříčiněny mimořádně mocnou a dlouhotrvající sněhovou pokrývkou na celém povodí Svatavy a Svitavy. Místa se pohybovala i okolo 90 cm. Po náhlém a výrazném oteplení 25. března následovaly o tři dny později vydatné dešťové srážky.

30. března dosáhla kulminace vrcholu na Svitavě, kdy bylo v hlásném profilu dosaženo průtoku Q_{10} . Tyto hodnoty již nebyly překonány. Po částečném snížení hladiny však došlo ke kulminaci na řece Svatce a v hlásném profilu Brno – Poříčí (Svatka) nastoupala hladina až na úroveň Q_{20} . Jak lze vidět na Obr. 3.7, v zájmovém území došlo převážně k rozlívání mimo zastavěné plochy. [20]



Obr. 3.7: Historická povodeň březem-duben 2006 [11]

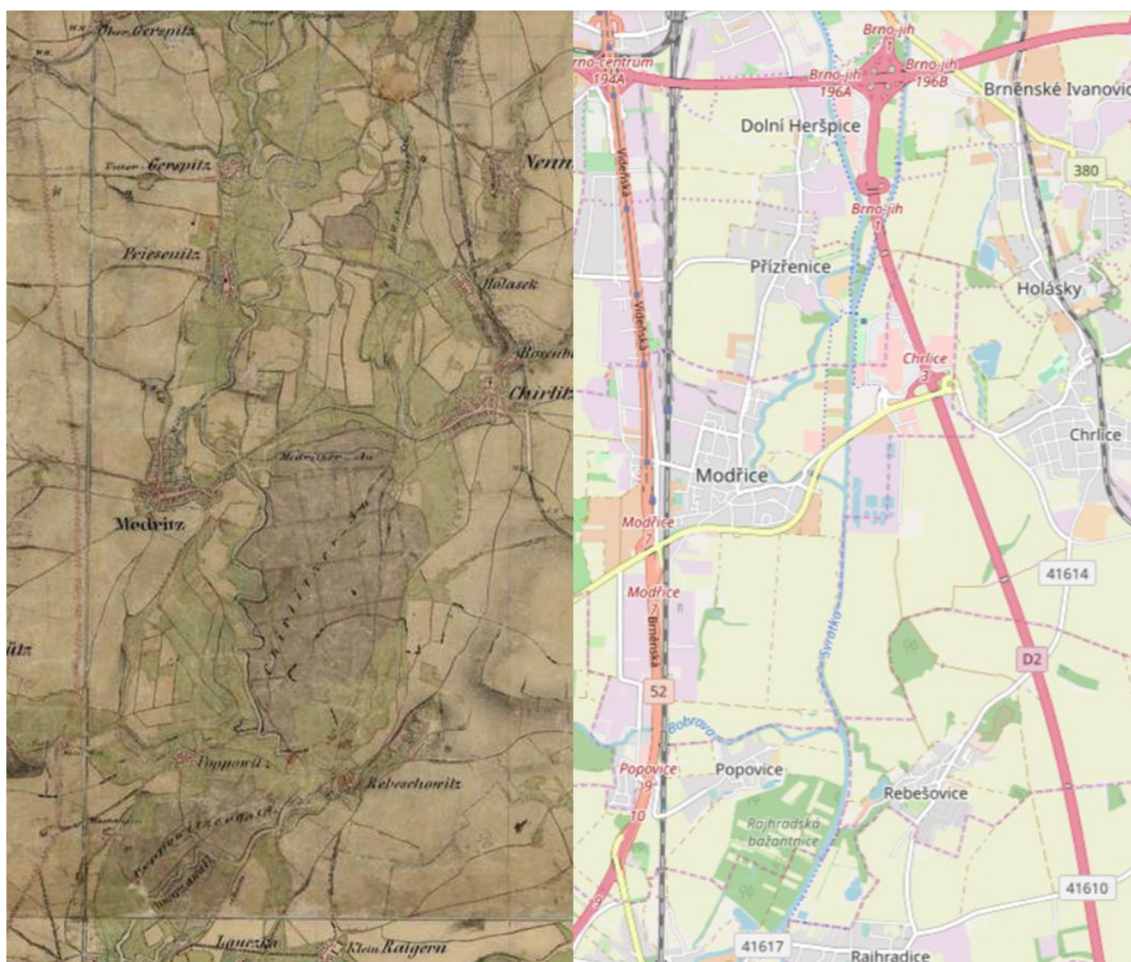
3.6. Rekreační využití

Od ř. km 31,250 řeky Svatky až po konec zájmového území lemují její tok cyklotrasa Brno – Vídeň s označením CS B-W. Podél vodního tok Svitavy vede v řešeném úseku cyklotrasa Krakov – Morava – Vídeň s označením Greenway K-M-W, která se na soutoku obou řek napojuje na dříve zmíněnou CS B-W. Obě spojené trasy se na krátko opět připojují k vodnímu toku Svatky v ř. km 27,450, aby se cca po 1 km, před jezem Rajhrad, odklonily směrem na východ. Svatka i Svitava jsou v závislosti na aktuální hydrologické situaci v řešeném úseku, ač s přerušením, splavné. [22]

4. Popis zájmové oblasti

Jak již bylo zmíněno v předchozí kapitole, zájmová oblast se nachází na vodních tocích Svratka v ř. km 26,370 – 33,963 a Svitava v ř. km 0,000 – 2,050. Celková délka úseku Svratky je tedy 7,593 km. Tok v daném úseku kříží celkem 7 objektů (lávky, mosty). Délka úseku Svitavy je 2,050 km a tok kříží celkem 4 objekty. Popis jednotlivých objektů je uveden v kapitole 4.4 *Objekty na tocích*.

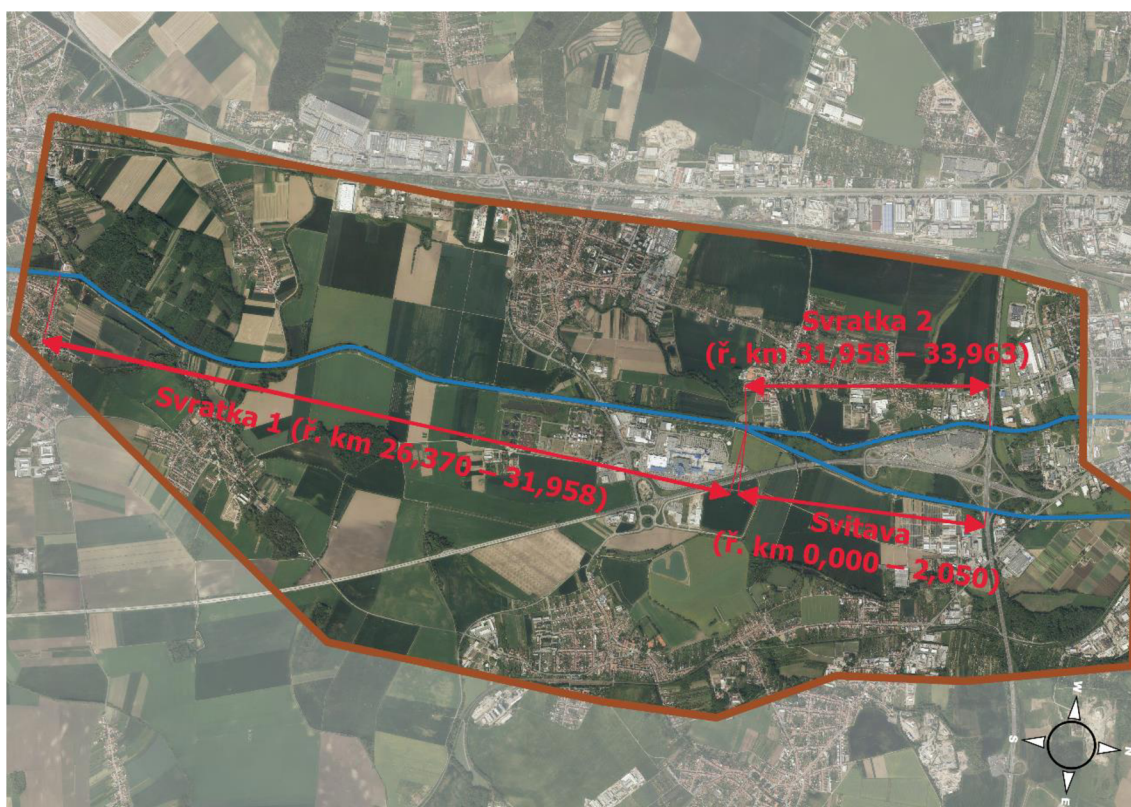
Oproti současnému stavu měly v minulosti oba zmíněné toky naprosto odlišný charakter. V polovině 19. století byla ale jejich meandrující koryta napřimena, soutok přesunut a původní koryto zasypano. [20] V některých místech je na současných ortofoto snímcích trasa původního koryta stále rozeznatelná. Změny trasy řek Svratky a Svitavy lze porovnat v následujícím Obr. 4.1 na základě mapy druhého rakouského vojenského mapování z roku 1938 a současné OpenStreetMap.



Obr. 4.1: Změny toku řeky Svratky a Svitavy [23]

Pro větší přehlednost a také kvůli vytvoření samotného matematického modelu byl zájmová oblast rozdělena do tří dílčích úseků (Obr. 4.2):

- Svratka 1 (ř. km 26,370 – 31,958)
- Svratka 2 (ř. km 31,958 – 33,963)
- Svitava (ř. km 0,000 – 2,050)



Obr. 4.2: Rozdělení řešeného úseku [3]

4.1. Svratka 1 (ř. km 26,370 – 31,958)

První úsek se nachází mezi jezem Rajhrad (ř. km 26,370) a soutokem Svratky se Svitavou (ř. km 31,958). Do Svratky na daném území ústí celkem dva významné přítoky, a to řeka Bobrava (ř. km 28,205) a náhon Modřice (ř. km 30,343), oba jako pravostranné. Jako další významnější zdroj lze zmínit levostrannou výust' z ČOV Modřice (ř. km 30,582). Jediným odběrem je přímo před jezem Rajhrad odbočení Vojkovického náhonu (ř. km 26,415).

Břehy toku Svratky jsou v daném území převážně zarostlé křovinami a stromy. Inundaci tvoří zejména orná půda až na necelý první kilometr úseku, kde se na pravé straně, severovýchodně od města Rajhrad, rozprostírá Rajhradská bažantnice. Další výjimkou je úsek od již zmiňované ČOV Modřice, na kterou plynule navazuje areál obchodního centra Olympie Brno.

4.2. Svratka 2 (ř. km 31,958 – 33,963)

Druhý úsek Svratky v zájmové oblasti se nachází mezi soutokem se Svitavou a dálnicí D1 (ř. km 33,963). Do Svratky se v jejím 33,397 ř. km vlévá vodní tok Leskava. Jediným odbočením je náhon Modřice (ř. km 32,255) nad jezem Přízřenice.

Břehy toku jsou stejně jako v předešlém území převážně zarostlé křovinami a stromy. Inundaci tvoří kombinace orné půdy a areálů účelové zástavby v Přízřenicích a Dolních Heršpicích. Na konci úseku se na levé straně toku v délce cca 1 km rozprostírá nákupní centrum AVION Shopping Park Brno, IKEA Brno a další obchodní domy.

4.3. Svitava (ř. km 0,000 – 2,050)

Posledním úsekem zájmové oblasti je řeka Svitava od jejího soutoku se Svratkou po dálniční most D1 (ř. km 2,050). Vodní tok nemá v uvedeném úseku žádný přítok ani odběr.

Koryto Svitavy je udržované s řídkými keři a stromy na březích. Inundaci opět tvoří zejména orná půda, v druhé polovině se na levém břehu nachází účelová zástavba městské části Brno – Tuřany.

4.4. Objekty na tocích

V následujících podkapitolách je popsán výčet objektů vyskytujících se na vodních tocích Svratka (Obr. 4.3, Obr. 4.4) a Svitava (Obr. 4.5) v zájmové oblasti. Fotografie jednotlivých objektů jsou součástí přílohy D. Fotodokumentace.

4.4.1. Svratka 1 (ř. km 26,370 – 31,958)

Jez Rajhrad – ř. km 26,370

Účelem vodního díla je stabilizace koryta vodního toku a rovněž energetické využití 2 provozovanými malými vodními elektrárnami k nimž vede náhon vybudovaný před jezem.

Těleso jezového objektu tvoří betonový práh, na nějž navazuje pohyblivá hradící konstrukce složená ze dvou polí o světlosti 17 m a 1,6 m široký středový pilíř. Hradícími prvky jsou ocelové nýtové klapky o výšce 1,63 m s rozražeči pro omezení vibrací. Jezová pole jsou přemostěna manipulační lávkou. Provozní hladina je na kótě 187,23 m n.m., maximální provozní hladina je na kótě 187,43 m n.m. [7] Fotografie jezu viz Foto 1 přílohy diplomové práce D. Fotodokumentace.

Most 152-051 – ř. km 30,817

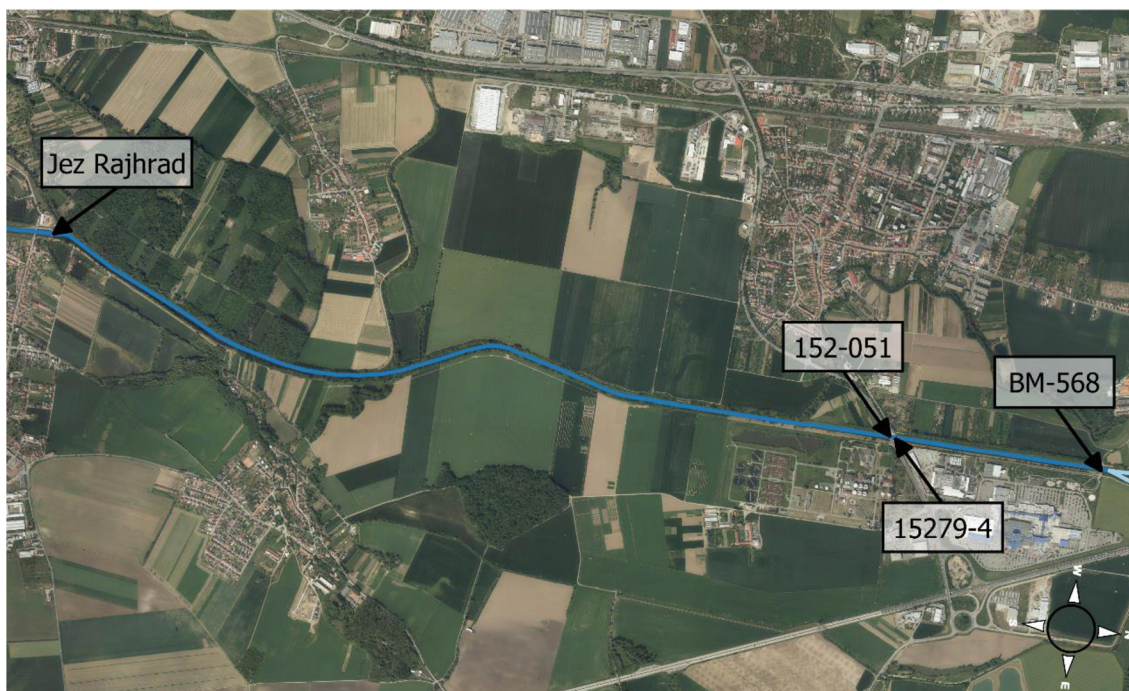
Most s ev. č. 152-051 se nachází v Modřicích u ČOV Brno – Modřice. Jedná se o železobetonový most, který byl v roce 2015 zrekonstruovaný. Most je napojen na komunikaci II. třídy č. 152. Celková šíře mostu je 15 m, po obou stranách je opatřen ocelovým zábradlím. Nadmořská výška horní hrany mostovky je 195,00 m n. m. a dolní hrany mostovky 192,71 m n. m., středový pilíř má šířku 1 m. Fotografie mostu viz Foto 13 přílohy diplomové práce D. Fotodokumentace.

Most 15279-4 – ř. km 30,838

Most s ev. č. 15279-4 se nachází pouze 21 m proti proudu nad výše uvedeným mostem. Stejně jako u výše zmíněného mostu proběhla jeho rekonstrukce v roce 2015. Železobetonový most o šířce 8,5 m využívaný jak automobily, tak i pěšími, je napojen na komunikaci č. III/15279. Po obou stranách je opatřen ocelovým zábradlím, nadmořská výška horní hrany mostovky je 194,38 m n. m. a dolní hrany mostovky 192,98 m n. m. Středový pilíř má šířku 1 m. Fotografie mostu viz Foto 15 přílohy diplomové práce D. Fotodokumentace.

Most BM-568 – ř. km 31,875

Most s ev. č. BM-568 je hospodářský most v městské části Brno-jih v katastrálním území Přízřenice. Železobetonový most sloužící hlavně pro uživatele cyklostezky se nachází u obchodního centra Olympia Brno. Celková šíře mostu je 7 m. Po obou stranách je opatřen ocelovým zábradlím, nadmořská výška horní hrany mostovky je 195,22 m n. m. a dolní hrany mostovky 194,33 m n. m. Most je podepřen třemi pilíři, z nichž každý měří na šířku 0,5 m. Fotografie mostu viz Foto 16 přílohy diplomové práce D. Fotodokumentace.



Obr. 4.3: Objekty na toku – Svratka 1 [3]

4.4.2. Svratka 2 (ř. km 31,958 – 33,963)

Jez Přizřenice – ř. km 32,231

Vodní dílo je stabilizačním a spádovým stupněm sloužící rovněž pro vzdouvání hladiny pro závlahy pod Brnem a provoz MVE Modřice na pravobřežním náhonu.

Pohyblivý stavidlový jez je umístěn šikmo k ose toku. Spodní stavbu tvoří srubokamenná konstrukce střežovitého tvaru s přelivnou železobetonovou deskou, jezové pilíře a nábrežní zdi. Jez je přemostěn manipulační lávkou, ze které je dostupné ruční ovládání třech tabulových uzávěrů. Ty lze ovládat také elektromotory. Tabulové uzávěry mají rozdílnou šíři, a to zleva 11,13 m, 10,69 m a 10,35 m. Kóta provozní hladiny, která zajišťuje přepadem přes stavidla minimální průtok do toku je 192,96 m n. m. Kóta spodní hrany vyhrazených stavidel je 193,96 m n.m. [8] Fotografie jezu viz Foto 21 přílohy diplomové práce D. Fotodokumentace.

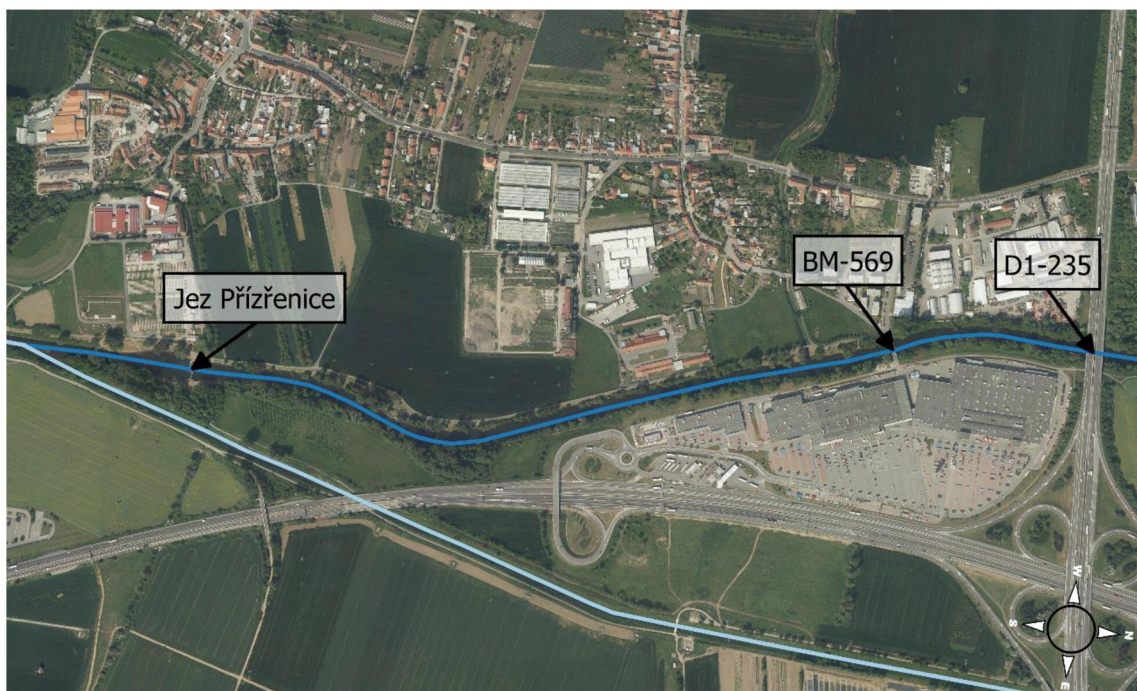
Most BM-569 – ř. km 33,553

Most s ev. č. BM-569 je hospodářský most v městské části Brno-jih v katastrálním území Dolní Heršpice. Železobetonový most sloužící převážně chodcům a uživatelům cyklostezky se nachází u obchodního domu IKEA Brno. Celková šířka mostu je 7 m. Po obou stranách je opatřen ocelovým zábradlím, nadmořská výška horní hrany mostovky je 197,36 m n. m. a dolní hrany mostovky 196,45 m n. m. Most je podepřen

třemi pilíři, z nichž každý měří na šířku 0,53 m. Fotografie mostu viz Foto 29 přílohy diplomové práce D. Fotodokumentace.

Most D1-235 – ř. km 33,963

Posledním objektem křížícím Svratku v zájmovém území je dálniční most D1 na hranici Dolních a Horních Heršpic. Celková šíře mostu je 30 m a slouží výhradně pro automobilovou dopravu. Nadmořská výška horní hrany mostovky je 203,04 m n. m. a dolní hrany mostovky 201,20 m n. m. Most je podepřen 3 pilíři, z nichž dva o šířce 2,0 m jsou umístěny v patách svahů koryta a třetí s šířkou 0,6 m se nachází na pravém břehu toku. Fotografie mostu viz Foto 30 - 32 přílohy diplomové práce D. Fotodokumentace.



Obr. 4.4: Objekty na toku – Svratka 2 [3]

4.4.3. Svitava (ř. km 0,000 – 2,050)

Most D2-002 – ř. km 0,683

Most s ev. č. D2-002 se nachází v městské části Brno-jih v katastrálním území Přízřenice. Jedná se o železobetonový dálniční most, který byl v roce 2017 zrekonstruovaný. Celková šíře mostu je 31 m a slouží výhradně pro automobilovou dopravu. Nadmořská výška horní hrany mostovky je 196,10 m n. m. a dolní hrany mostovky 194,65 m n. m., most je podepřen dvěma pilíři, z nichž každý měří na šířku 0,70 m. Fotografie mostu viz Foto 35 - 36 přílohy diplomové práce D. Fotodokumentace.

Most BM-731 – ř. km 1,270

Most s ev. č. BM-731 se nachází na hranici katastrálního území Dolních Heršpic a Brněnských Ivanovic. Železobetonová lávka určená pro cyklisty a pěší byla postavena v roce 2010, její celková šíře je 3,6 m. Po obou stranách je opatřena ocelovým zábradlím. Niveleta na lávce je ve vrcholovém oblouku, nadmořská výška horní hrany mostovky je 196,08 m n. m. a dolní hrany mostovky v nejvyšším bodě 195,42 m n. m. Fotografie mostu viz Foto 38 přílohy diplomové práce D. Fotodokumentace.

Potrubní lávka – ř. km 1,284

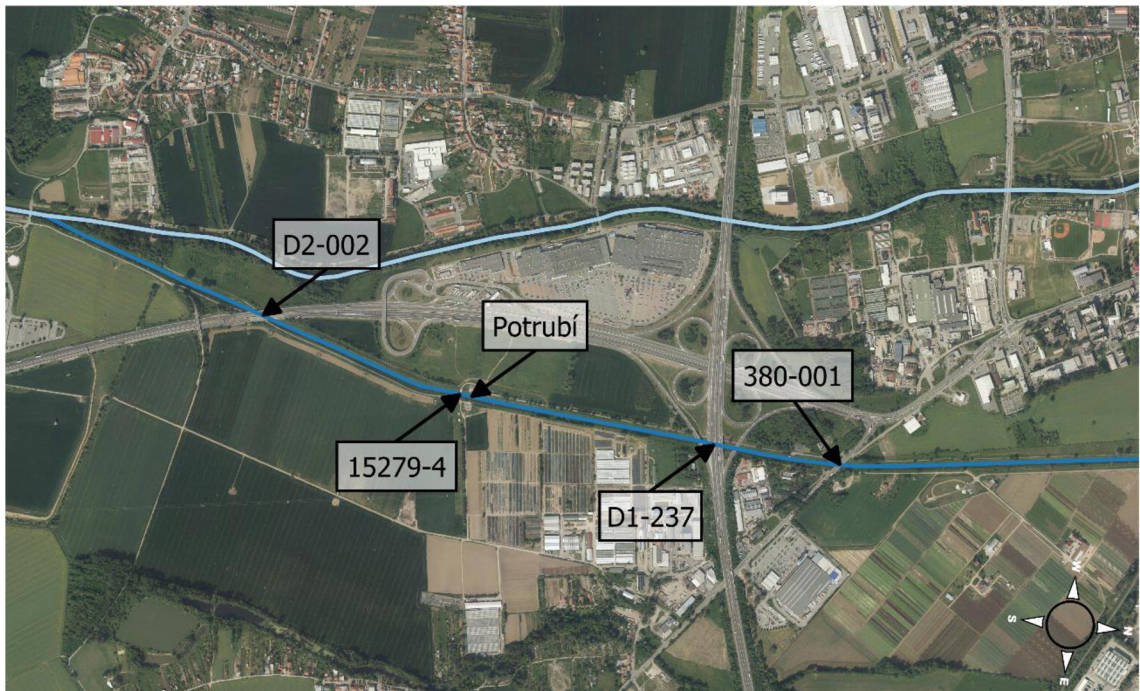
Potrubní lávka se nachází 14 m protiproudě nad výše zmíněnou lávkou. Lávka je součástí vodárenského objektu Brněnských vodáren a kanalizací, a. s. Její horní hrana je na kótě 196,51 m n. m. a dolní hrana na kótě 195,39 m n. m. Fotografie lávky viz Foto 40 přílohy diplomové práce D. Fotodokumentace.

Most D1-237 – ř. km 2,030

Posledním objektem, který kříží Svitavu v zájmovém území je dálniční most D1 se sjezdy na dálnice D2. Šíře mostu je 2 x 17,8 m a slouží výhradně pro automobilovou dopravu. Nadmořská výška horní hrany mostovky je 204,42 m n. m. a dolní hrany mostovky 203,00 m n. m. Most je podepřen 2 pilíři o šířce 1 m, které jsou umístěny na hranách břehů koryta toku. Fotografie mostu viz Foto 44 přílohy diplomové práce D. Fotodokumentace.

Most 380-001 – ř. km 2,390

Dalším objektem, který se zadával do výpočtu je most na ulici Kaštanová. Nepatří již sice do vymezené oblasti, ale bylo s ním počítáno v rámci rozšíření rozsahu modelu viz kap. 5 *Hydraulické výpočty*. Most o šíři 15 m slouží jak pěším, tak i automobilům. Železobetonový most je po obou stranách opatřen ocelovým zábradlím, nadmořská výška horní hrany mostovky je 197,47 m n. m. a dolní hrany mostovky 196,59 m n. m. Most je podepřen 2 pilíři o šířce 0,9 m, které jsou umístěny v patách svahů koryta.



Obr. 4.5: Objekty na toku – Svitava [3]

4.5. Protipovodňová opatření

V řešeném úseku se dle *Digitálního povodňového plánu ČR [11]* vyskytuje celkem 6 protipovodňových opatření (Obr. 4.6), která jsou blíže popsána níže v této kapitole.

4.5.1. Opatření ID 3146

Ve městě Brně je na řece Svatce vybudováno protipovodňové opatření *Berma* o délce 0,45 km. Navrženo je tak, aby bylo zabráněno rozlítí řeky při Q_{20} . Příčný profil tvoří základní spád 1,5 %, který je zakončen vypsádováním 1:2 ke stávajícímu terénu.

4.5.2. Opatření ID 3317

Na pravém břehu bezejmenného toku (ID 415340000200) je ve městě Modřice vybudována *Protipovodňová hráz podél Mlýnského náhonu u ulic Severní, Polní, a K Náhonu*. Protipovodňová hráz o délce 0,67 km chrání obytnou zástavbu v severovýchodní části města.

4.5.3. Opatření ID 3318

Ve městě Modřice je na bezejmenném toku (ID 415340000200) vybudována na levém břehu *Protipovodňová hráz ve východní části obce, ulice Chrlická* o délce 0,2 km.

4.5.4. Opatření ID 3319

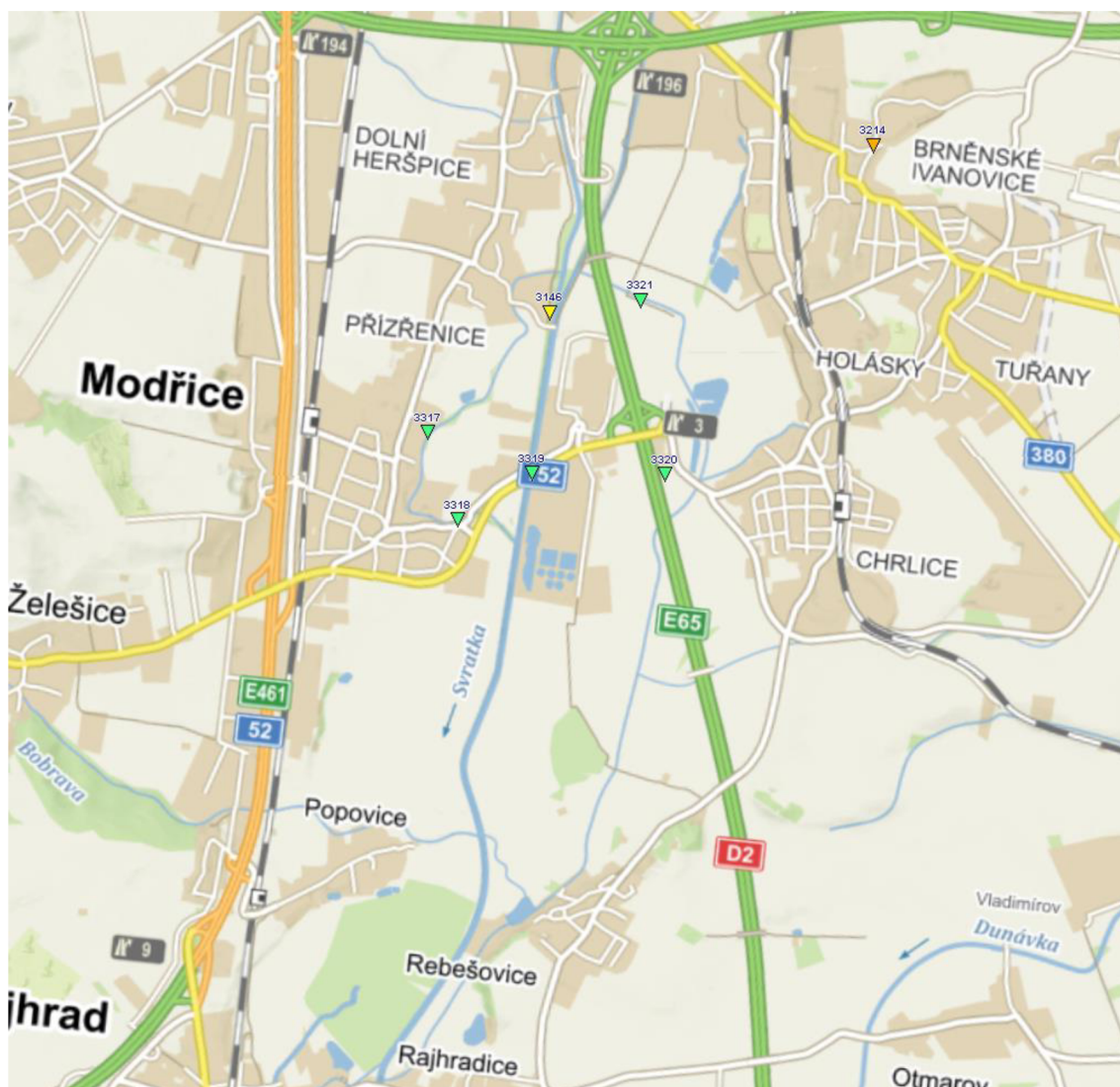
V Modřicích je rovněž vybudována *Protipovodňová hráz podél Svratky* o délce 1,29 km. Protipovodňová hráz se nachází na levém břehu podél Svratky v celé její délce na k. ú. Modřic.

4.5.5. Opatření ID 3320

Na Ivanovickém potoce (ID 415550000100) je v Modřicích vybudována *Protipovodňová hráz podél Ivanovického potoka u dálnice D2*. Protipovodňová hráz na pravém břehu toku v délce 0,36 km slouží k ochraně tělesa dálnice.

4.5.6. Opatření ID 3321

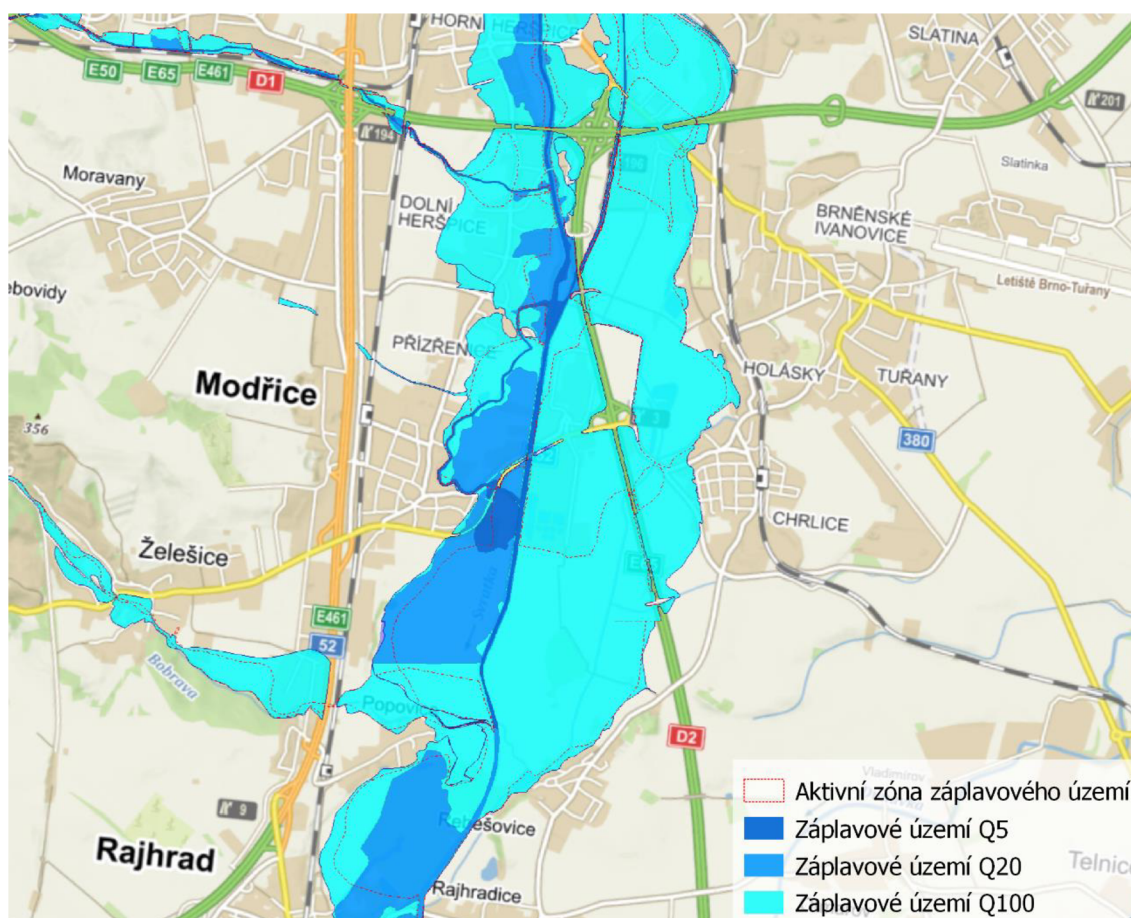
Na bezejmenném toku (ID 414280000200) je v Modřicích vybudována *Protipovodňová hráz v místní části Lichy*. Protipovodňová hráz podél Kanálu K1 u dálnice D2 má délku 0,6 km



Obr. 4.6: Protipovodňová opatření v zájmovém území [11]

4.6. Stávající záplavová území Svatky a Svitavy

Vodní tok Svatka má v řešené oblasti oficiálně stanovené záplavové území včetně aktivní zóny ZÚ v úseku ř. km 29,241 – 33,963, vodní tok Svitava má oficiálně stanovené záplavové území včetně aktivní zóny ZÚ v celém rozsahu řešeného úseku. ZÚ bylo vyhlášené Krajským úřadem Jihomoravského kraje a nabylo platnosti 11. 6. 2018 (č. j. JMK 73535/2018). [11] Vodní tok Svatka má dále v řešené oblasti oficiálně stanovené záplavové území v úseku ř. km 26,370 – 29,241, které bylo vyhlášené Krajským úřadem Jihomoravského kraje a nabylo platnosti 24. 10. 2007 (č. j. JMK 151413/2006). [11] Rozsah stanoveného záplavového území viz Obr. 4.7.



Obr. 4.7: Rozsah stanoveného záplavového území [11]

4.6.1. Záplavové území Q₅

Při průtoku Q₅ dochází k drobným rozlivům na řece Svatce cca v ř. km 32,712 a následně v soutokové oblasti. Vlivem zpětného vzduť vyvolaném v ústí náhonu Modřice (Svatka ř. km 30,343) pak dochází k rozlivu do inundačního území na pravé straně toku.

4.6.2. Záplavové území Q₂₀

Při průtoku Q₂₀ již dochází k rozlivu ve velké části území na pravém břehu toku Svratky. Řeka Svitava je kapacitní i pro průtok Q₂₀.

K místnímu vybřežení dojde na řece Svratce v oblasti ř. km 33,397 u ústí řeky Leskavy. K výraznějšímu rozlivu dochází o cca 400 m níže po toku, kde se voda pravobřežně vylévá z koryta a zaplavuje areál Velkoobchodu AGRO Tuřany v Dolních Heršpicích a přilehlou ornou půdu. Před jezem Přízřenice se vlévá zpět do náhonu Modřice. Ve stejném úseku se voda rozlévá i na levém břehu, kde však dochází jen k mírnému rozlivu na orné půdě.

K dalšímu rozlivu dochází na pravém břehu mezi jezem Přízřenice a soutokem Svratky a Svitavy, kde by ale dle dostupných informací z *Digitálního povodňového plánu České republiky [11]* mělo být od roku 2017 vybudováno protipovodňové opatření ve formě bermy viz kapitola 4.5.1 *Opatření ID 3146*.

Mezi soutokem a silničním mostem 152-051 a následně v úseku mezi zmíněným mostem a ústím toku Bobravy je rozliv zapříčiněn stejně jako v případě Q₅ vlivem zpětného vzduť vyvolaném v ústí náhonu Modřice (Svratka ř. km 30,343). Rozliv Svratky je z neznámého důvodu v ř. km cca 28,800 náhle ukončen a nedosahuje až k toku Bobravy. V úseku mezi Bobravou a jezem Rajhrad dochází k zaplavení Rajhradské bažantnice v důsledku rozlivu na pravém břehu v délce asi 800 m nad jezem.

4.6.3. Záplavové území Q₁₀₀

Při průtoku Q₁₀₀ již dochází k vybřežení a následně značnému rozlivu v zájmovém území obou toků.

Svitava je v úseku mezi dálnicí D1 (ř. km 2,050) a mostem s evidenčním číslem D2-002 (ř. km 0,683) kapacitní i pro průtok Q₁₀₀ až na první zmiňovaný profil, kde dochází k vybřežení. K rozlivu v inundačním území nacházejícím se v oblasti pod dálnicí výrazně přispívá vybřežení Svitavy v části nad dálnicí, kdy se voda do řešeného úseku dostává po komunikaci na ulici Kaštanová skrze most s ev. č. D1-238. Území na levém břehu Svitavy a následně Svratky je pak souvisle zaplaveno až po ř. km 27,300 vyjma místní části Lichy v Modřicích (viz 4.5.6 *Opatření ID 3321*). Hranice rozlivu je tvořena na východě povětšinou intravilánem městských čtvrtí Holásky a Chrlice a ve spodní části úseku intravilánem obce Rebešovice.

V úseku mezi mostem dálnice D2 (ev. č. D2-002) a soutokem obou řek vybřežuje Svitava na pravé straně, kde spolu se Svratkou zaplavují území nacházející se mezi oběma toky.

Svratka se v úseku mezi dálnicí D1 a soutokem se Svitavou rozlévá na obou březích a zaplavuje většinu východní části katastrálního území Dolních Heršpic. Voda se dostává i na zpevněné plochy u obchodního centra IKEA Brno na levém břehu Svratky. V katastrálním území Přízřenic voda oproti Q_{20} překonává ulici Zelnou a zaplavuje obytnou zástavbu na ulici Hliniště. Poté pokračuje do náhonu Modřice, mezi nímž a řekou Svratkou je inundační území již naprosto zaplaveno. Rozsah záplavy mezi náhonem Modřice a řekou Bobravou se příliš neliší od stavu při Q_{20} s rozdílem, že rozliv Q_{100} již dosahuje až ke korytu Bobravy.

Od Bobravy po jez Rajhrad dochází na pravé inundaci Svratky k rozlivu oproti Q_{20} v důsledku zpětného vzduť na řece Bobravě. Rozliv je ohraničen účelovou komunikací spojující obec Popovice a město Rajhrad.

5. Hydraulické výpočty

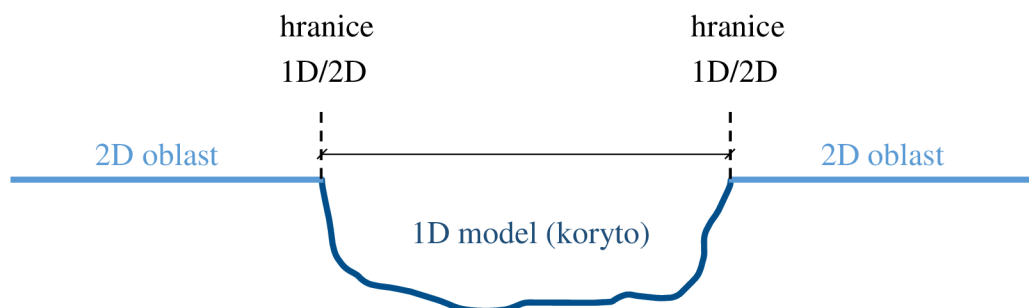
V rámci diplomové práce byly provedeny hydraulické výpočty proudění vody v tocích a záplavových územích Svitavy a Svratky pro vybrané úseky na území města Brna. Simulovány byly průtoky Q_5 , Q_{20} a Q_{100} pro oba uvedené toky. K výpočtům byl použit spřažený 1D a 2D numerický model programu HEC-RAS 5.0.6. Hranice modelu byla v horní části zvolena nad úroveň rozsahu zájmového území z důvodu možného ovlivnění okrajovou podmínkou na hranici oblasti (Svratka ř. km 34,675, Svitava ř. km 3,150).

5.1. 1D/2D matematický model neustáleného proudění vody

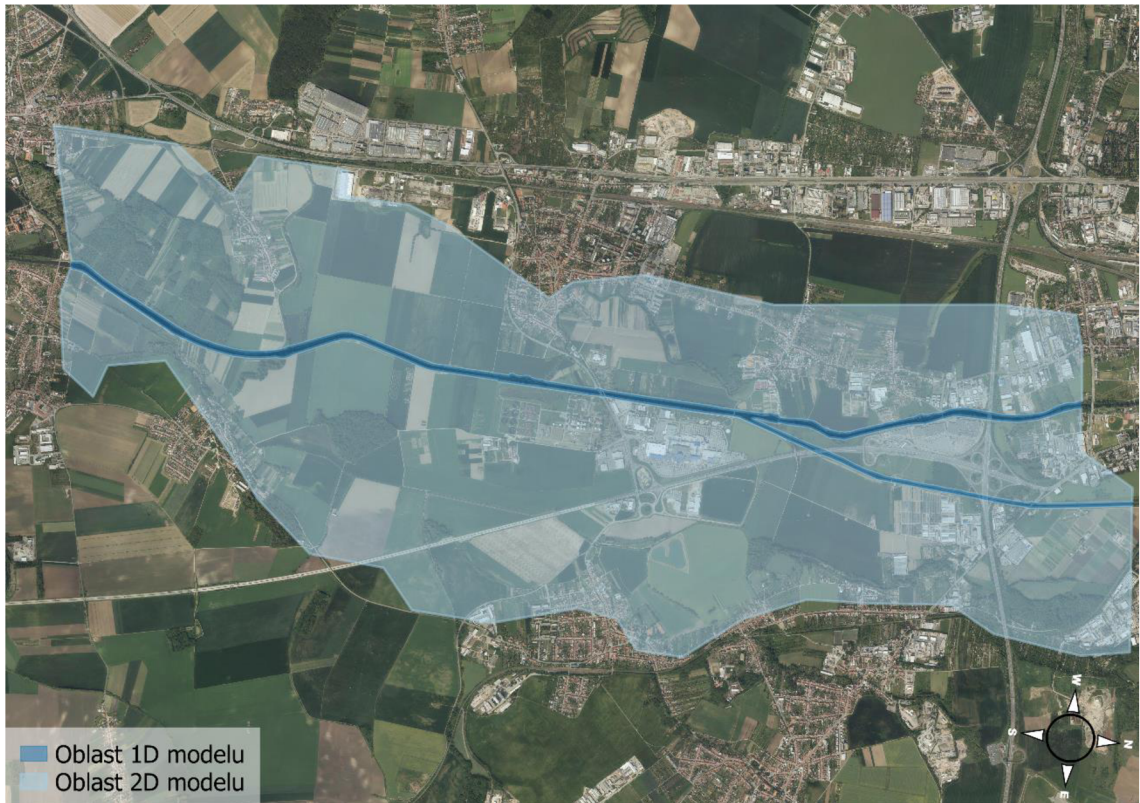
Vzhledem k povaze vstupních podkladů [6], které tvořilo zaměření příčných řezů ve vzdálenosti místy i několika stovek metrů, byl pro koryto zvolen 1D model proudění vody. Jednorozměrný model je vhodný pro výpočet proudění vody v přirozených i upravených korytech. Při neustáleném proudění vody jsou hydraulické veličiny v daném místě závislé na čase, jsou tedy funkcí času a polohy. Předpokladem je možnost nahrazení vektoru rychlosti průřezovou rychlostí a možnost uvažovat konstantní výšku hladiny v celém příčném profilu.

Pro modelování inundačního území byl díky dostupnosti DMR 5G [17] využit 2D model proudění vody, který umožňuje jeho komplexnější řešení. V porovnání s 1D modelem je sice náročnější na vstupní data, na samotnou délku výpočtu a dobu zpracování, avšak zprostředkovává informace o plošném rozdělení rychlostí a hloubek v celém řešeném území.

Oba modely byly vzájemně propojeny na úrovni břehových hran jednotlivých toků. Model neumožňuje přímé řešení ustáleného proudění. Náhradním řešením je v rámci nestacionárního výpočtu uvažovat v čase neměnnou okrajovou podmínku. Okrajové podmínky byly do modelu zadány tak, aby bylo dosaženo ustálení hladiny při daných průtocích (Q_5 , Q_{20} a Q_{100}), z nichž byly následně získány rozlivy, hloubky a rychlosti proudění. Schematizace 1D a 2D modelu viz Obr. 5.1 a Obr. 5.2.



Obr. 5.1: Schematizace 1D a 2D modelu v řezu



Obr. 5.2: Schematizace 1D a 2D oblasti modelu [3]

5.1.1. 1D matematický model neustáleného proudění

HEC-RAS využívá pro numerické řešení metodu konečných diferencí. 1D model neustáleného proudění vody vychází ze dvou základních fyzikálních zákonů. Prvním zákonem je zákon zachování hmotnosti, ze kterého vychází rovnice spojitosti (kontinuity) (5.1) [25]:

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0, \quad (5.1)$$

kde:

A průtočná plocha [m²],

t čas [s],

Q průtok [m³.s⁻¹],

Druhým zákonem je zákon zachování hybnosti, ze kterého vychází pohybová rovnice (5.2) [25]:

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial QV}{\partial x} + gA \left(\frac{\partial h}{\partial x} + S_f \right) = 0, \quad (5.2)$$

kde:

Q průtok [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$],
 t čas [s],
 V průřezová rychlost [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$],
 g tíhové zrychlení [$\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$],
 A průtočná plocha [m^2],
 h úroveň hladiny vody [m],
 S_f sklon čáry energie [-].

Počáteční podmínky pro uvedené Saint-Venantovy rovnice (5.1) a (5.2) mají tvar:

$$Q(x, t_0) = Q_0(x), \quad (5.3)$$

$$h(x, t_0) = h_0(x), \quad (5.4)$$

kde $Q_0(x)$ a $h_0(x)$ jsou známé zadané funkce prostorové proměnné popisující stav v čase $t_0 = 0$.

Okrajovými podmínkami jsou časové průběhy průtoků (hloubky) krajních bodech:

$$Q(x_0, t) = \bar{Q}_0(t), \quad (5.5)$$

$$h(x_L, t) = \bar{h}_0(x). \quad (5.6)$$

Úkolem je najít hledané neznámé veličiny A, Q, v, h, S_f pro rovnice (5.1) a (5.2) splňující počáteční i okrajové podmínky. [27]

5.1.2. 2D matematický model neustáleného proudění

2D model neustáleného proudění vychází při výpočtu z Navier-Stokesových rovnic, které popisují pohyb tekutin ve třech dimenzích. Za předpokladu, že složka rychlosti ve směru osy z (vertikální směr) je mnohem menší, než složky rychlosti ve směru osy x a osy y , lze tento člen zanedbat. HEC-RAS využívá pro numerické řešení metodu konečných objemů. Stejně jako 1D model neustáleného proudění vychází i 2D

model proudění ze dvou základních fyzikálních zákonů. Prvním zákonem je zákon zachování hmotnosti, ze kterého vychází rovnice spojitosti (kontinuity) (5.7) [25]:

$$\frac{\partial H}{\partial t} + \frac{\partial(hu_x)}{\partial x} + \frac{\partial(hu_y)}{\partial y} = 0 \quad (5.7)$$

kde:

H úroveň hladiny vody [m],

t čas [s],

h hloubka vody [m],

u_x, u_y složky vektoru svislicových rychlostí [$m \cdot s^{-1}$],

Druhým zákonem je zákon zachování hybnosti, ze kterého vychází pohybové rovnice (5.8) a (5.9) [25]:

$$\frac{\partial u_x}{\partial t} + u_x \frac{\partial u_x}{\partial x} + u_y \frac{\partial u_x}{\partial y} = -g \frac{\partial H}{\partial x} + v_t \left(\frac{\partial^2 u_x}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u_x}{\partial y^2} \right) - c_f u_x + \alpha u_y \quad (5.8)$$

$$\frac{\partial u_y}{\partial t} + u_x \frac{\partial u_y}{\partial x} + u_y \frac{\partial u_y}{\partial y} = -g \frac{\partial H}{\partial y} + v_t \left(\frac{\partial^2 u_y}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u_y}{\partial y^2} \right) - c_f u_y + \alpha u_x \quad (5.9)$$

kde:

u_x, u_y složky vektoru svislicových rychlostí [$m \cdot s^{-1}$],

t čas [s],

g tíhové zrychlení [$m \cdot s^{-2}$],

H úroveň hladiny vody [m],

v_t koeficient turbulentní viskozity [-],

c_f koeficient tření na dně [-],

α Coriolisovo číslo [-].

Počáteční podmínky jsou tvořeny známými průběhy funkcí $u_{x0}(x, y)$, $u_{y0}(x, y)$ a $h_0(x, y, t)$ ve všech bodech oblasti Ω v čase $t_0 = 0$ [27]:

$$u_x(x, y, t_0) = u_{x0}(x, y), \quad (5.10)$$

$$u_y(x, y, t_0) = u_{y0}(x, y), \quad (5.11)$$

$$h(x, y, t_0) = h_0(x, y). \quad (5.12)$$

Okrajové podmínky jsou vyjádřeny jako známé průběhy funkcí na horní hranici Γ_1 a dolní hranici Γ_2 oblasti Ω [27]:

$$u_x(x, y, t) = u_x(t)/\Gamma_1 \quad (5.13)$$

$$u_y(x, y, t) = u_y(t)/\Gamma_1 \quad (5.14)$$

$$h(x, y, t) = h(t)/\Gamma_2 \quad (5.15)$$

Cílem je nalézt neznámé funkce u_x , u_y , h odpovídající rovnicím (5.7), (5.8) a (5.9) a splňující počáteční a okrajové podmínky vyhovující rovnicím (5.10) až (5.15). [27]

Pro koeficient turbulentní viskozity v_t platí (5.16) [25]:

$$v_t = Dhu_* \quad (5.16)$$

kde:

D empirická konstanta [-],

h hloubka vody [m],

u_* smyková rychlost u dna [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$].

Smykovou rychlost u dna u_* lze vyjádřit ve tvaru (5.17) [25]:

5.2. Popis vstupních dat modelu

Před samotným započítáním zpracování diplomové práce bylo nutné zajistit nezbytné podklady. Jednalo se především o data potřebná pro vytvoření a výpočet spřaženého 1D/2D numerického modelu a doplňující odborné texty. Velmi přínosné bylo také místní šetření v zájmovém území, při němž byla pořízena fotodokumentace, která je přílohou D. diplomové práce.

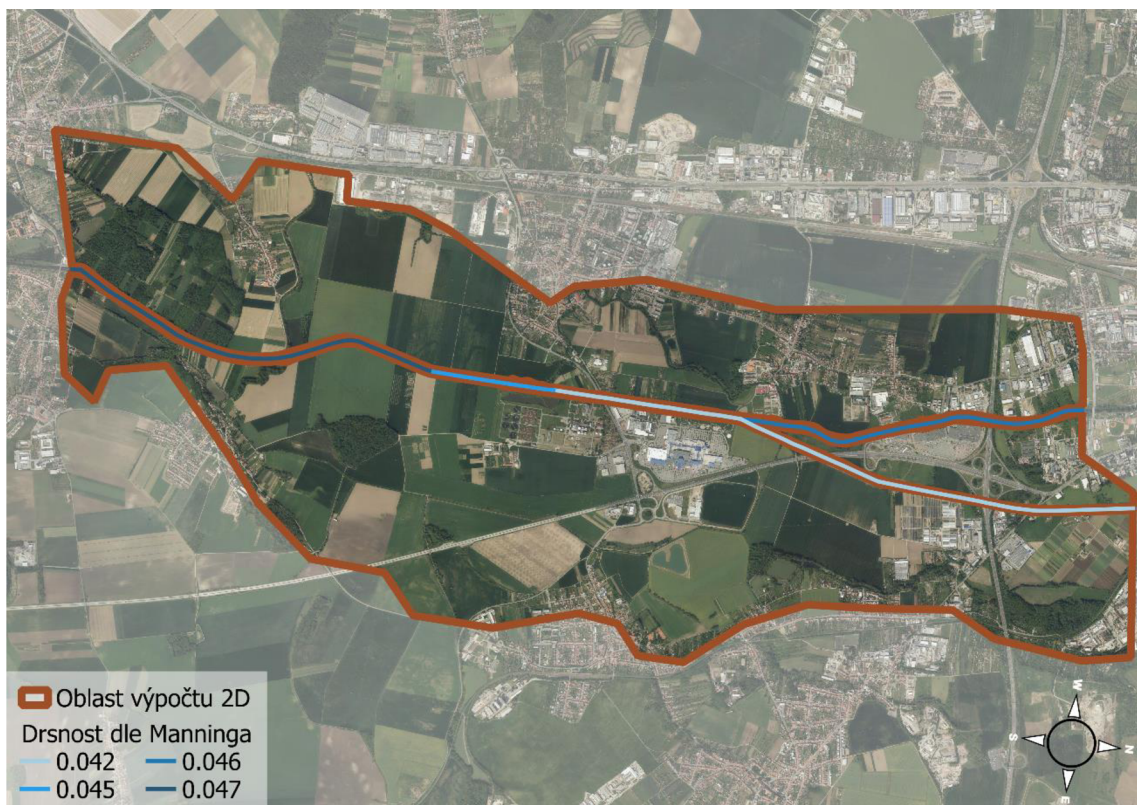
5.2.1. Topografická data

1D část modelu byla vytvořena na základě geodeticky zaměřených příčných a podélných profilů a situací toků Svatky a Svitavy od Povodí Moravy, s. p. [6] doplněných o DSPD Lávky s evidenčním číslem 731 [21], poskytnuté Brněnskými komunikacemi a. s. Celkem bylo využito 51 příčných profilů Svatky a 34 příčných profilů Svitavy. 2D model vychází z Digitálního modelu reliéfu České republiky 5. generace (DMR 5G) [17] poskytnutého Českým úřadem zeměměřickým a katastrálním (ČUZK). Jako další významné podklady od ČUZK lze zmínit data ZABAGED® - polohopis [16] a prohlížečské služby WMS – ortofoto a DMR 5G [3] [4].

Podrobný popis zpracování topografických dat je uveden v kapitole 6 *Příprava topografických dat*.

5.2.2. Drsnostní součinitel n

Údaje o drsnosti koryta toku byly do modelu zadávány ve formě součinitele drsnosti dle Manninga. Ten je možné získat buďto výpočtem, anebo odborným odhadem z tabulkových hodnot. V rámci zpracování diplomové práce bylo po předchozím místním šetření provedeném autorem práce a prostudování odborné literatury (*Výpočet průtoku v otevřených korytech – Mattas [18] a Úprava tokov – Raplík, Výbora a Mareš [19]*), přistoupeno k druhé zmiňované variantě. Součinitele drsnosti lze následně upřesnit v rámci kalibrace modelu. Výsledné hodnoty součinitele drsnosti v korytech Svratky a Svitavy viz Obr. 5.3.



Obr. 5.3: Rozdělení součinitele drsnosti dle Manninga po délce toku [3]

Při vytváření hydrodynamického modelu je nutné stanovit drsnostní součinitele nejen v oblasti koryta vodního toku, ale rovněž v předpokládaném inundačním území. Zájmové území je dle typu využití rozděleno na jednotlivé plochy, z nichž každé je následně přiřazena stanovená drsnost.

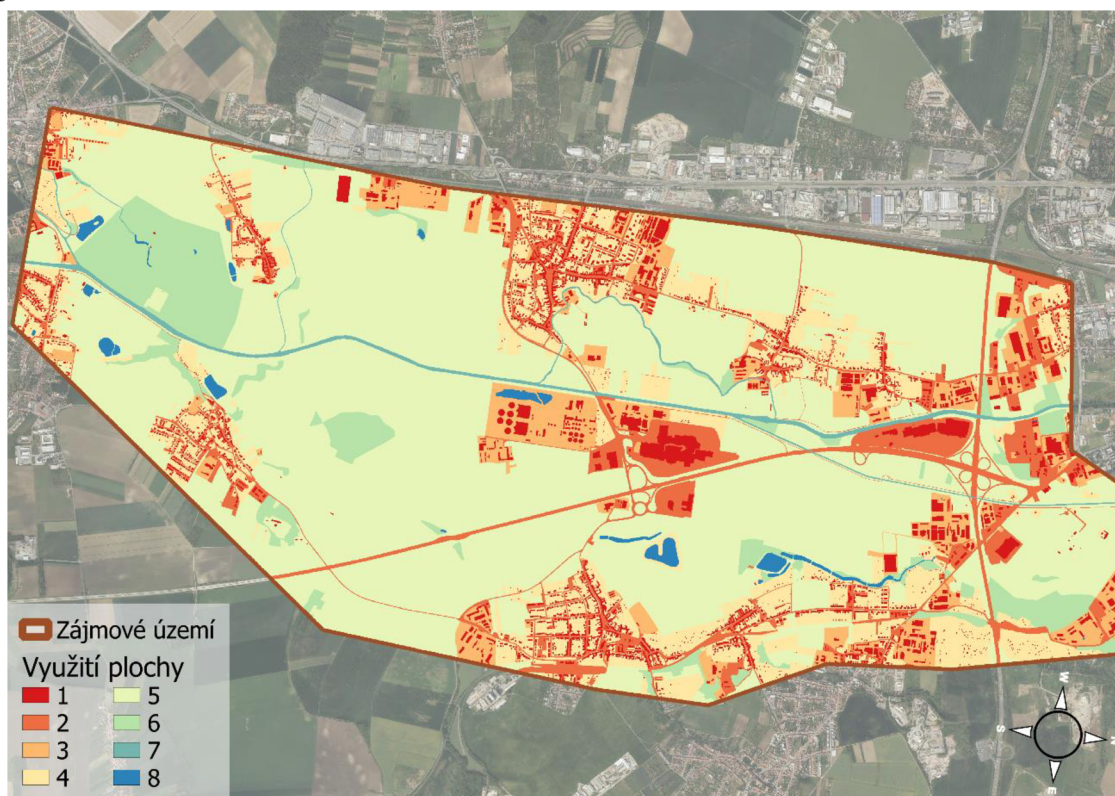
Pro zpracování jednotlivých ploch byla využita data *Základní báze geografických dat České republiky (ZABAGED®) – polohopis [16]*. Data byla upravena a v kombinaci s terénním šetřením bylo provedeno rozdělení zájmového území celkem do 8 typů ploch.

Těm byl na základě odborného odhadu po prostudování příslušné literatury, zabývající se danou problematikou [18] [19], přiřazen drsnostní součinitel viz následující tabulka Tab. 5.1.

Tab. 5.1: Součinitele drsností pro inundační území při výpočtu 1D/2D modelu proudění [18], [19]

ID	Využití území	Výpočet průtoku v otevřených korytech [18]	Úprava tokov [19]	Zvolené n
1	Budovy	-	-	0,500
2	Komunikace a zpevněné plochy	0,013	0,013 – 0,016	0,015
3	Areál účelové zástavby	-	-	0,060
4	Zahrady a parky	0,035 – 0,070	0,035 – 0,070	0,065
5	Orná půda	0,030 – 0,050	0,030 – 0,050	0,050
6	Lesy	0,080 – 0,120	0,080 – 0,120	0,080
7	Vodní toky mimo Svratku a Svitavu	-	-	0,020
8	Nádrže	-	-	0,010

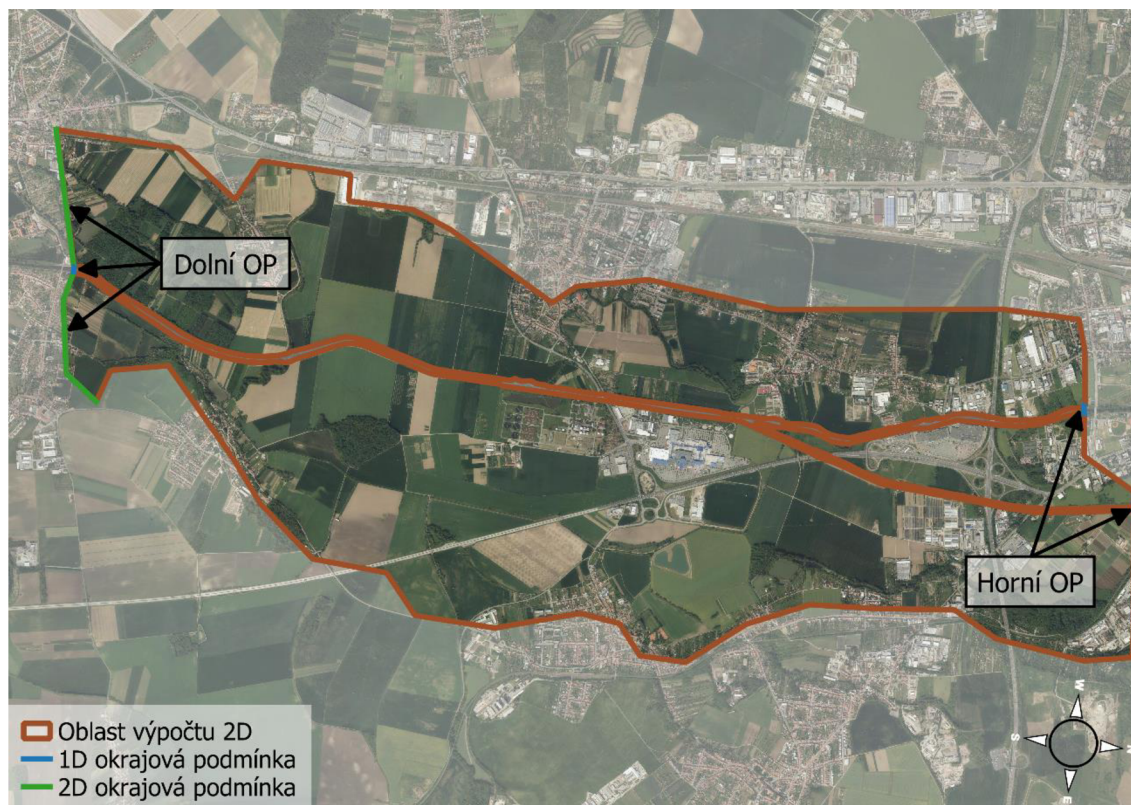
Z upravených dat ZABAGED® byl vytvořen jeden shapefile s atributem dle typu území, který byl poté převeden do podoby rastru o rozměrech elementu 0,5 x 0,5 m. Vytvořený rastr (Obr. 5.4) byl následně importován do programu HEC-RAS 5.0.6 jako tzv. *Land Cover*.



Obr. 5.4: Rastr využití plochy území [3]

5.2.3. Okrajové a počáteční podmínky

Okrajové podmínky (OP) byly do modelu zadány na začátku a na konci zájmového území, rozděleny byly na tzv. horní okrajové podmínky (HOP) a dolní okrajové podmínky (DOP). Schematizace umístění okrajových podmínek viz následující Obr. 5.5.



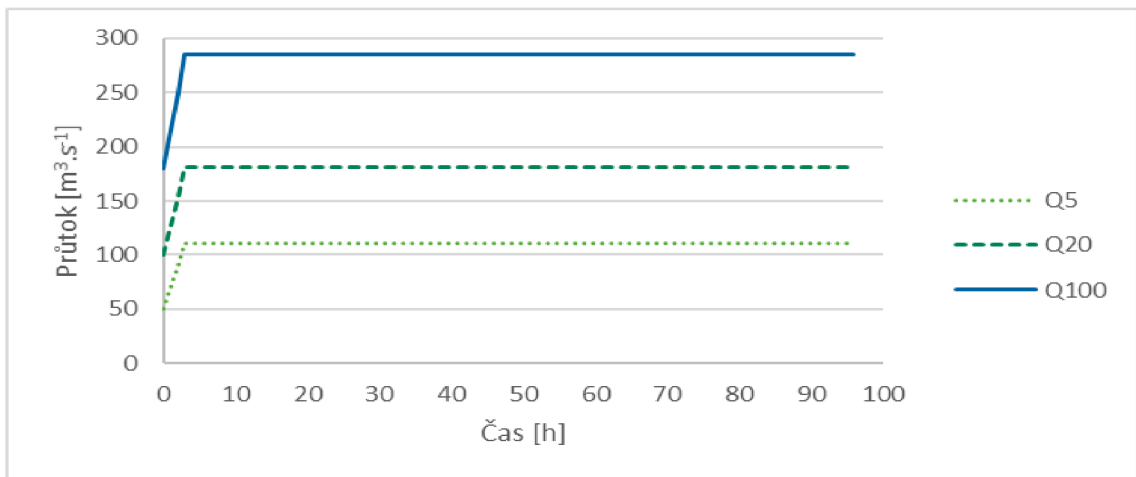
Obr. 5.5: Schematizace umístění OP [3]

Jako horní OP byly použity kulminační průtoky Q_5 , Q_{20} , Q_{100} daného toku dle poskytnutých podkladů [9] [14]. Při zpracování bylo uvažováno se dvěma základními scénáři. Prvním uvažovaným scénářem byl N-letý průtok povodně ve Svatce a teoretický doplněk ve Svitavě zvolený tak, aby bylo pod soutokem obou toků dosaženo příslušné N-letosti. Ve druhém scénáři bylo naopak uvažováno s N-letým průtokem povodně ve Svitavě a teoretickým doplňkem ve Svatce tak, aby bylo pod soutokem opět dosaženo příslušné N-letosti. Dolní okrajovou podmínku pro 1D oblast tvoří úroveň hladiny na jezu Rajhrad dle měrné křivky manipulačního řádu [7]. DOP pro 2D oblast byla stanovena na základě průměrného sklonu inundačního území, a to 2,40 ‰ pro levobřežní stranu a 0,72 ‰ pro pravobřežní stranu. Použité OP viz následující Tab. 5.2.

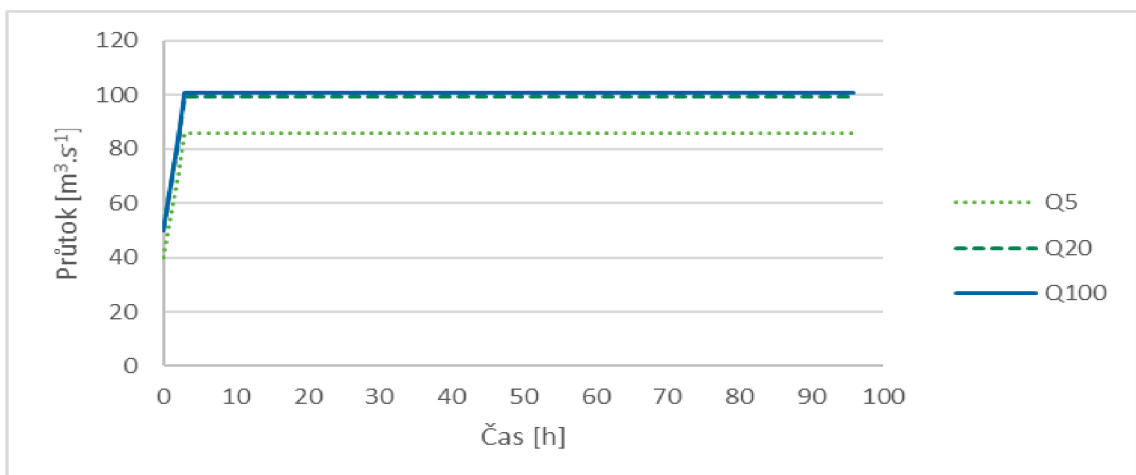
Tab. 5.2: Okrajové podmínky pro řešené scénáře [7] [9] [14]

Scénář	HOP Svatka	HOP Svitava	CELKEM	DOP
	Q [m ³ /s]	Q [m ³ /s]	Q [m ³ /s]	Z [m n. m.]
Q ₅ Svatka	110,4	85,6	196,0	187,43
Q ₅ Svitava	118,0	78,0	196,0	187,43
Q ₂₀ Svatka	180,7	99,3	280,0	187,87
Q ₂₀ Svitava	158,0	122,0	280,0	187,87
Q ₁₀₀ Svatka	285,0	101,0	386,0	188,40
Q ₁₀₀ Svitava	207,0	179,0	386,0	188,40

OP byly zadávány s dostatečně dlouhou dobou trvání pro ustálení výpočtu (96 hod). Časový průběh horní OP pro scénář N-letých průtoků povodně ve Svatce viz následující Obr. 5.6 a Obr. 5.7.



Obr. 5.6: Časový průběh horní OP pro vodní tok Svatka



Obr. 5.7: Časový průběh horní OP pro vodní tok Svitava

V rámci stanovení počátečních podmínek bylo v programu využito možnosti dopočtu úrovní hladin pro zadané průtoky, kdy se předpokládá nulová hloubka v čase

$t_0 = 0$. Průtoky byly zadány zvlášť pro každý dílčí úsek (Svratka 1, Svitava a Svratka 2). Jejich hodnota odpovídala počáteční hodnotě okrajových podmínek viz předchozí Obr. 5.6 a Obr. 5.7.

5.3. Nejistoty vstupních dat

Termínem model označujeme účelově zjednodušené zobrazení reálného světa. Při jeho tvorbě jsou vstupní data zatížena různou mírou nejistoty, která nám více či méně ovlivňuje výsledný výpočet. V následujících podkapitolách jsou uvedeny nejistoty vnesené do modelu, který je předmětem diplomové práce.

5.3.1. Velikost elementu výpočtové sítě

Velikost elementu výpočtové sítě má zásadní vliv nejen na přesnost výpočtu, ale také na jeho délku. V případě, že je zvolen element o malých rozměrech, výsledný výpočet je sice věrnější realitě, avšak za cenu déle trvajícího výpočtu. Jemně diskretizovaná výpočtová oblast může vést i ke kolapsu celé simulace v důsledku nedostatku výpočetního výkonu. Je tedy vhodné předem posoudit rozsah zájmové lokality a učinit kompromis. Z důvodu rozsáhlosti řešeného území byl zvolen element o rozměrech 10 x 10 m. Výpočtová síť pak byla lokálně zjemněna na menší elementy lomovými čarami tzv. *Breaklines*.

5.3.2. Digitální model reliéfu

Stejně jako velikost elementu výpočtové sítě, má i digitální model reliéfu zásadní vliv na přesnost výpočtu. Dle informací o poskytnutých podkladech má DMR 5G [17] úplnou střední chybu výšky 0,18 m v odkrytém terénu a 0,3 m v zalesněném terénu. Právě druhá uvedená odchylka v zalesněném terénu může být v okolí neudržovaného koryta toku rozhodující.

5.3.3. Geometrie toků

Při tvorbě geometrie toků byla využita data pro Záplavové území Svratky a Svitavy od Povodí Moravy, s. p. z roku 2007 [6]. Nelze vyloučit, že při zaměření mohlo dojít k nepřesnostem způsobených lidským faktorem. V některých úsecích jsou od sebe profily vzdáleny více než 500 m, během nichž se charakter koryta může velmi změnit. Vzhledem k tomu, že jsou podkladová data starší 10 let, nemusí být již zaměření z důvodu lokálních změn průtočných profilů zcela aktuální.

5.3.4. Součinitele drsností

Dalším výrazně ovlivňujícím faktorem jsou součinitele drsností dle Manninga v korytě a inundačním území. Drsnosti byly stanoveny na základě odborných odhadů po prostudování odborné literatury (*Výpočet průtoku v otevřených korytech – Mattas [18]* a *Úprava tokov – Raplík, Výbora a Mareš [19]*) viz kapitola 5.2.2 *Drsnostní součinitel n.*

5.3.5. Hydrologické údaje

Nejistoty hydraulických údajů jsou dány jejich třídou přesnosti dle ČSN 75 1400 [24]. Jak již bylo zmíněno v kapitole 3.4.1 *Základní hydrologické údaje*, u použitých podkladů byla uvedena třída přesnosti (II. třída) pouze u dat pro vodní tok Svratka od ČHMÚ [9].

5.4. Kalibrace modelu

Kalibrace modelu spočívá v cílené změně jeho vstupních parametrů za účelem minimalizace rozdílů naměřených hodnot a modelovaných výstupů. Kalibrací se redukuje nejistoty a dochází k přiblížení modelu ke skutečnému stavu.

Kalibrace 1D modelu ustáleného nerovnoměrného proudění byla provedena pomocí přepadového součinitele na jezu Přízřenice z měrné křivky manipulačního řádu při průtoku Q_5 [8]. Průtok Q_5 byl pro kalibraci zvolen z toho důvodu, že při něm téměř nedochází k vybřežení, pouze k lokálním rozlivům, a proto je možné 1D model přesněji nakalibrovat. Dále byly prováděny změny drsností koryta vodního toku na základě místního šetření a zároveň bylo částečně přihlíženo k již zmíněným podkladům od Povodí Moravy, s. p. [6].

Kalibrace 2D modelu bohužel nebyla možná z důvodu absence podkladových dat pro řešené území ve formě povodňových značek, záznamu z hydrometrování či bližší limnigrafické stanice.

6. Příprava topografických dat

6.1. Použité programy

Pro zpracování dat bylo využito softwaru MS Excel, AutoCAD CIVIL 3D 2018, QGIS 3.4.1 a ArcMap 10.4. Simulace proudění vody v zájmovém území byla provedena pomocí HEC-RAS 5.0.6.

6.2. Postup řešení

Před tvorbou modelu bylo nutné zpracovat získané podklady do podoby umožňující jejich import do programu HEC-RAS. V následujících bodech je shrnut postup prací, každý krok je pak dále stručně popsán:

- Převedení dat [6] z *.dxf do *.xlsx,
- identifikace souřadnic S-JTSK levého břehu v daných profilech v programu QGIS 3.4.1 a následný dopočet zbylých souřadnic,
- vytvoření georeferencované osy toku a příčných profilů v programu AutoCAD Civil 3D,
- vytvoření rastrů terénu a drsností v programu ArcMap 10.4

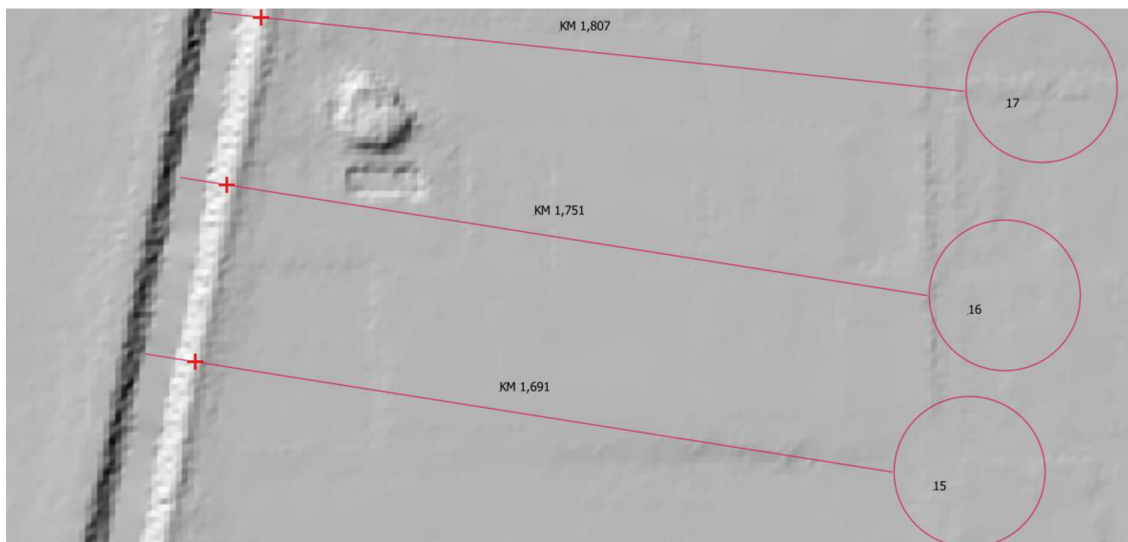
6.2.1. Převedení dat

Nejdříve bylo nutné přenést poskytnutá podkladová data v podobě zaměřených příčných a podélných profilů [6] z formátu *.dxf do *.xlsx. Graficky zpracované příčné řezy z programu AutoCAD CIVIL 3D byly kombinací kopírování a ručního přepisování převedeny do připravené tabulky v programu MS Excel ve formě staničení a příslušných nadmořských výšek.

6.2.2. Identifikace a dopočet souřadnic S-JTSK

Na území České republiky je dle nařízení vlády č. 430/2006 Sb. v platném znění S-JTSK závazným geodetickým referenčním systémem. Veškeré části diplomové práce byly zpracovány v souřadnicovém referenčním systému s označením *S-JTSK / Krovak East North (kód EPSG: 5514)*, definovaném od nultého poledníku Greenwiche.

V následujícím kroku bylo nutné zjistit souřadnice S-JTSK levého břehu v daných profilech pomocí programu QGIS 3.4.1 (Obr. 6.1) a následně v každém profilu dopočítat souřadnice zbylých bodů. Jako podklad sloužily situace z příčných profilů ve formátu *.dgn a prohlížecká služba WMS - DMR 5G (Stínovaný model reliéfu) [4] poskytovaná Českým úřadem zeměměřickým a katastrálním.



Obr. 6.1: Ukázka zvolených bodů na levém břehu [4] [6]

Souřadnice X, Y zvolených bodů byly dopočteny v atributové tabulce pomocí *Field Calculator*. Souřadnice zbylých bodů příčných profilů byly získány na základě zjištěných souřadnic a úhlu natočení příslušného příčného profilu od horizontální roviny za pomoci goniometrických funkcí s využitím dat z prvního kroku v programu MS Excel. Pro další použití byly tyto hodnoty zpracovány ve formátu *.txt.

6.2.3. Vytvoření osy toku a příčných profilů

Pro vytvoření *trasy* (osy toku) bylo nutné nejprve vytvořit v programu AutoCAD Civil 3D tzv. *povrch*. K tomu posloužily souřadnice s údaji o výšce získané v předchozím kroku, které byly importovány ve formě bodů. Ve vytvořeném *povrchu* (Obr. 6.2) pak byly všechny body tvořící jeden příčný řez spojeny tzv. *2D křivkou*. Do vzniklého *povrchu* byly postupně ve směru proudění zakresleny *trasy* (osy toků) tří dílčích úseků (Svratka 1, Svratka 2, Svitava). Z vykreslených *2D křivek* bylo poté pro každou trasu vytvořeno tzv. *Zobrazení příčných řezů*, které je již možné exportovat do programu HEC-RAS ve formátu *.geo.

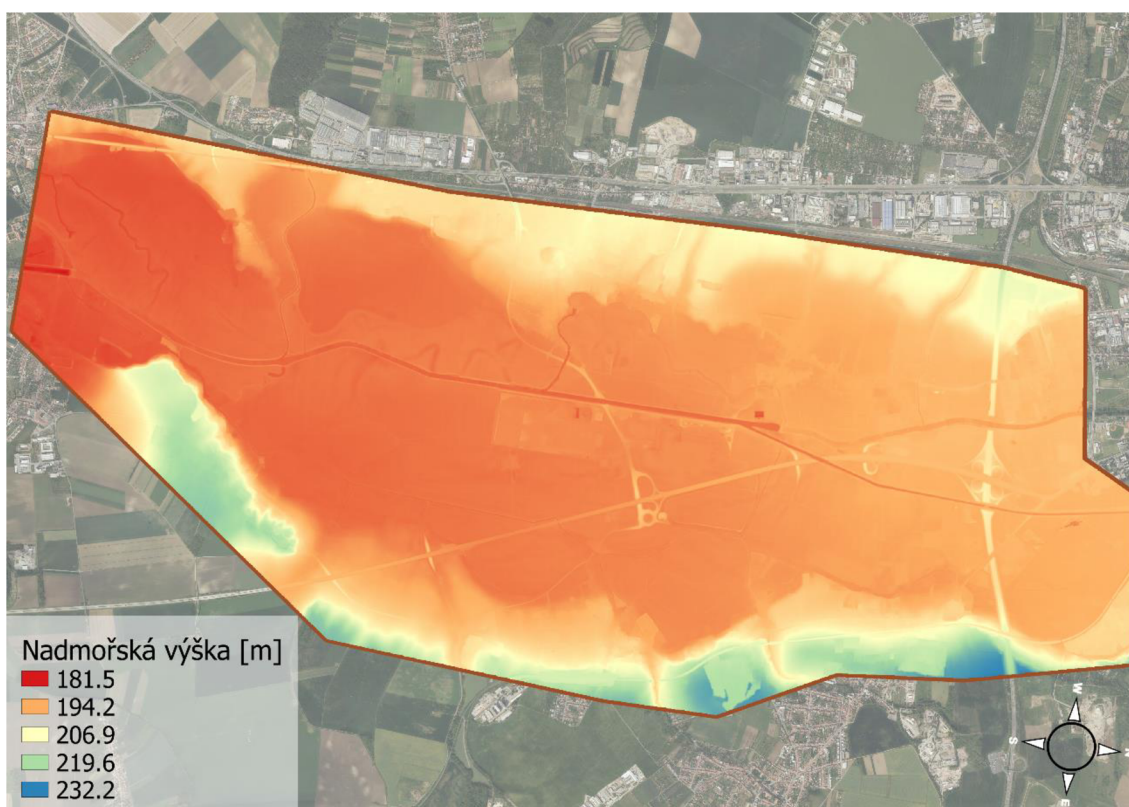


Obr. 6.2: Vytvořený povrch v programu AutoCAD Civil 3D

6.2.4. Vytvoření rastrů terénu a drsností v programu ArcMap 10.4

Pro vytvoření obou zmíněných rastrů byla využita data poskytnutá ČUZK [16] [17].

Při tvorbě rastru terénu byly nejprve do programu ArcMap 10.4 načteny sjednocené části Digitálního modelu reliéfu České republiky 5. generace (DMR 5G) [17] ve formátu *.txt obsahující souřadnice X, Y a výšku Z příslušného bodu ve výškovém referenčním systému Balt po vyrovnání (Bpv). Následně byla vytvořena nepravidelná trojúhelníková síť (TIN) bodů, z níž vznikl výsledný rastr terénu (Obr. 6.3) o rozměrech buňky 0,5 x 0,5 m.



Obr. 6.3: Rastr terénu z DMR 5G [3]

Tvorba rastru drsnosti je blíže popsána v kapitole 5.2.2 *Drsnostní součinitel n*.

7. Postup řešení v programu HEC-RAS

Jak již bylo v práci zmíněno, pro hydraulické výpočty byl využit program HEC-RAS 5.0.6 (Hydrologic Engineering Center's River Analysis System).

HEC-RAS je software vyvinutý Armádním sborem inženýrů Spojených států amerických. Od svého vzniku v roce 1995 (verze 1.0) je stále aktualizován, v současnosti (verze 5.0) umožňuje řešit následující typy úloh [25]:

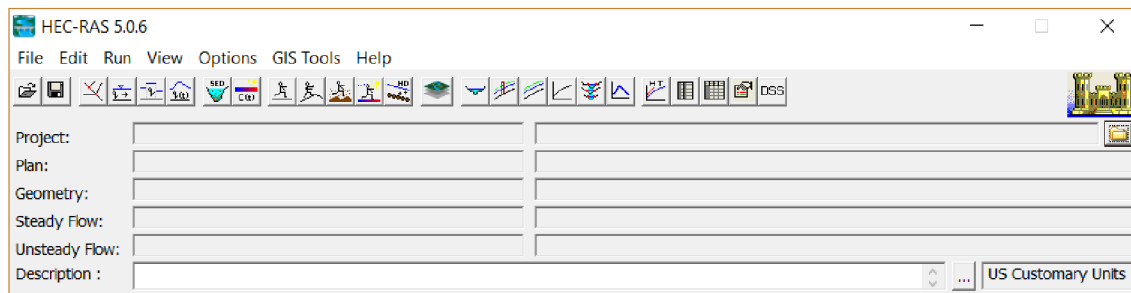
- proudění vody (ustálené, neustálené),
- transport sedimentů,
- kvalita vody.

Software je navržen tak, aby umožňoval jednorozměrné (1D), dvourozměrné (2D) nebo kombinované 1D a 2D hydraulické výpočty pro celou síť přirozených i umělých koryt [25].

Postup řešení práce byl proveden v následujícím pořadí:


- vytvoření geometrie,
- vytvoření modelu terénu,
- vytvoření výpočtových sítí,
- nastavení výpočtu,
- nastavení okrajových a počátečních podmínek,
- výpočet 1D a spřaženého 1D/2D modelu proudění,
- zpracování výsledků a výkresů.

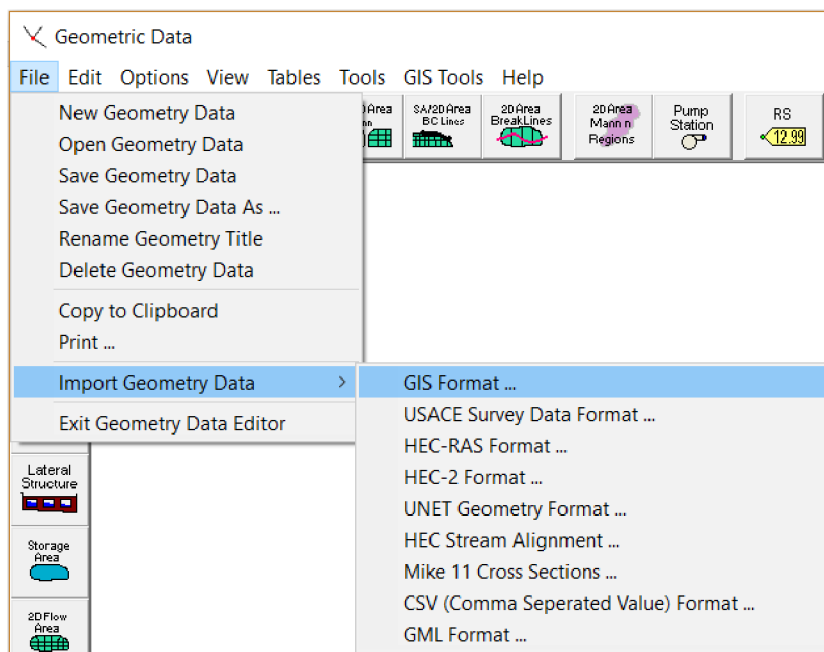
Před zahájením prací je nutné nastavit na počítači desetinný oddělovač na tečku a formát data a času na Angličtina (Spojené Státy). Po spuštění programu se otevře základní okno programu (Obr. 7.1), kde je potřeba v záložce *Options* nastavit *System International (Metric System)*.




Obr. 7.1: Základní okno programu HEC-RAS 5.0.6

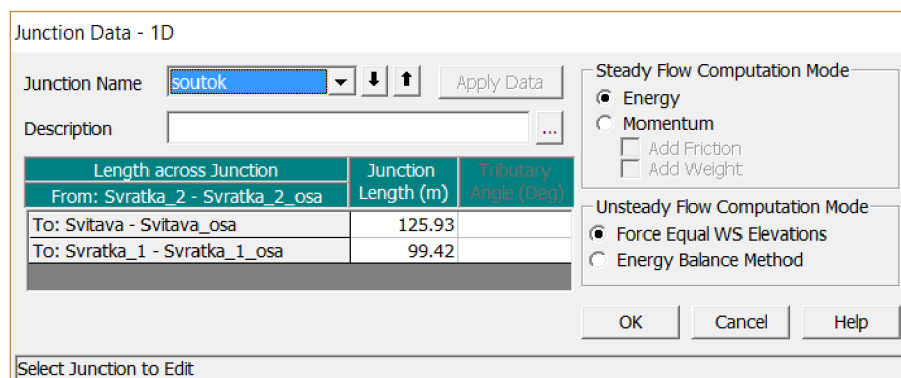
7.1. Vytvoření geometrických dat

V nově uloženém projektu se otevře kliknutím na ikonu  dialogové okno *Geometric Data*, do kterého se postupně načte vytvořená trasa a příčné řezy pro každý dílčí úsek (Svratka 1, Svratka 2, Svitava) ve formátu *.geo. File → *Import Geometry Data* → *GIS Format...* → *OK* (Obr. 7.2). Opět je nutné zvolit jednotky vkládaného souboru *SI (metric) units*.




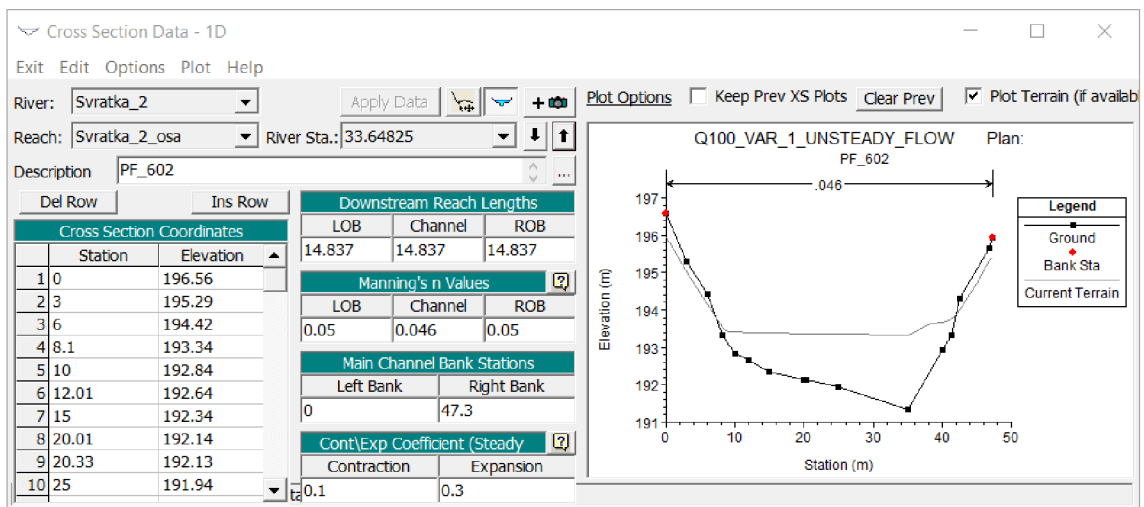
Obr. 7.2: Import geometrických dat

Po importování geometrických dat se překrytím koncových bodů osy toku vytvoří soutok neboli *Junction*. Zvolením ikony  v levé sekci tlačítek *Editors* se otevřou *Junction Data*, které umožňují zadat parametry soutoku (Obr. 7.3).




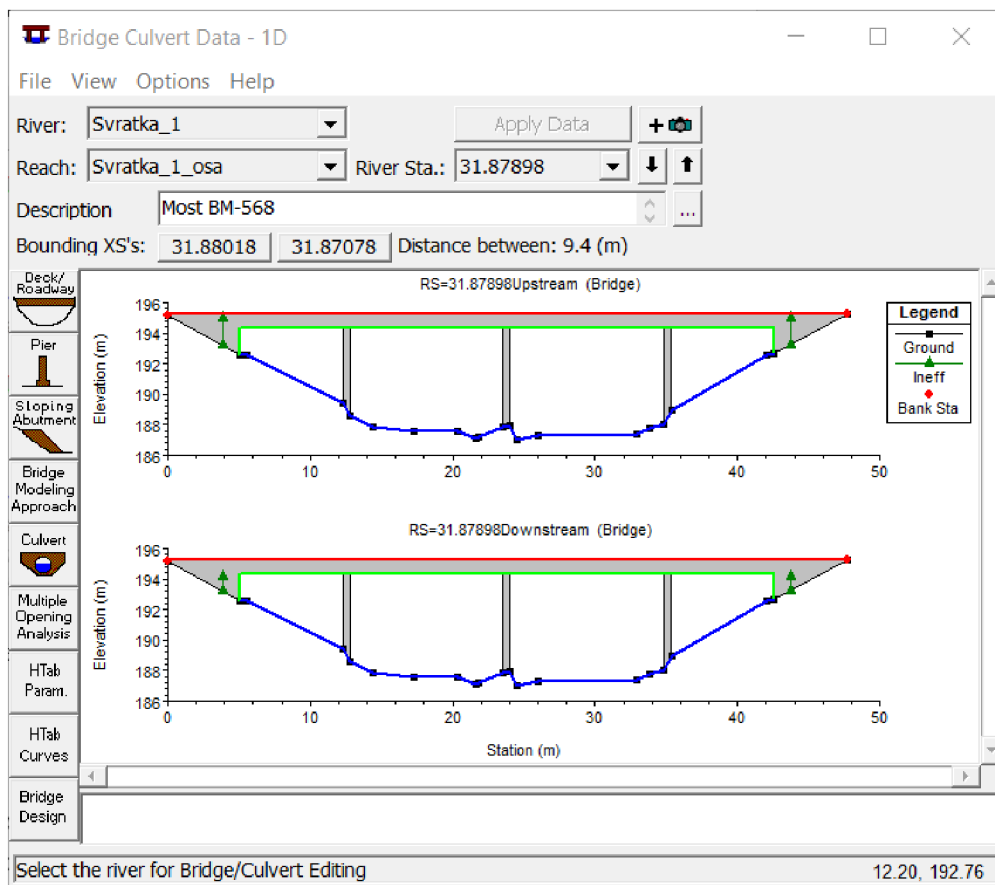
Obr. 7.3: Junction Data

Importované příčné řezy si lze prohlédnout a upravit zvolením ikony *Cross Section*  v sekci *Editors* v dialogovém okně *Cross Section Data* (Obr. 7.4).



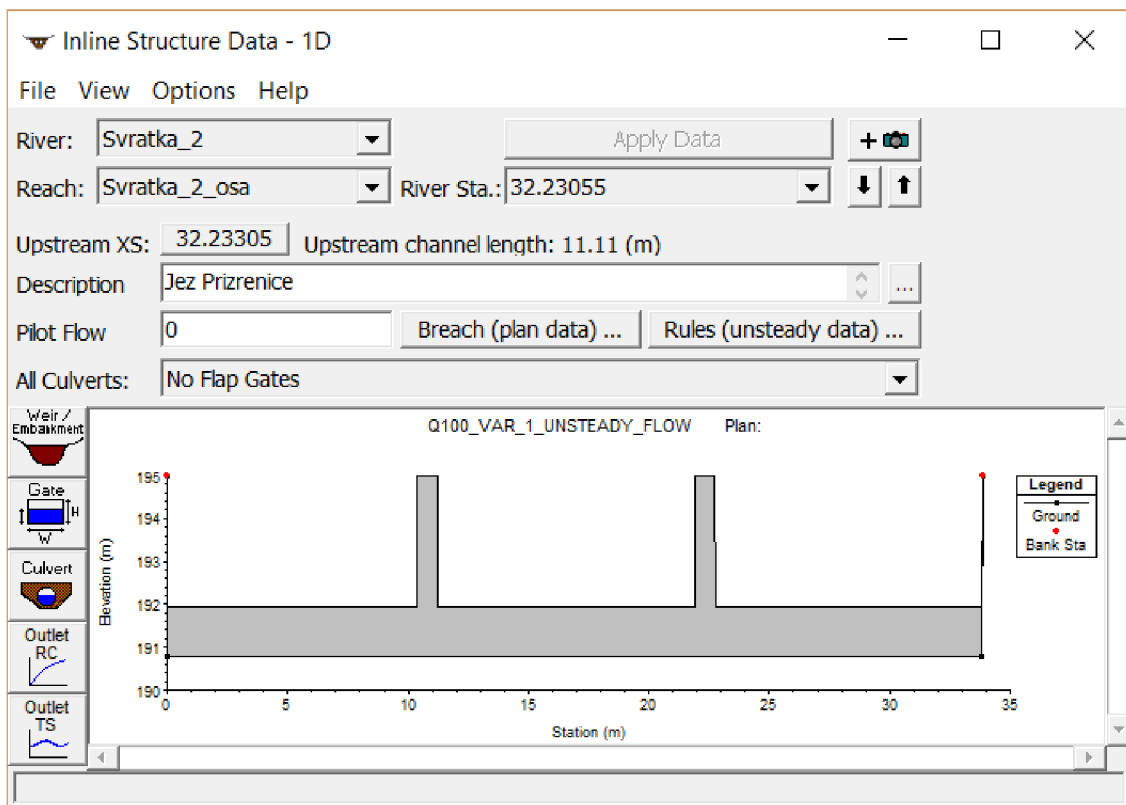
Obr. 7.4: Cross Section Data

Následně je možné v sekci *Editors* pomocí ikony *Bridge/Culvert*  otevřít editor *Bridge Culvert Data*, který umožňuje vložit do geometrie objekty v podobě mostů a propustků nacházející se na řešeném úseku toku (Obr. 7.5).



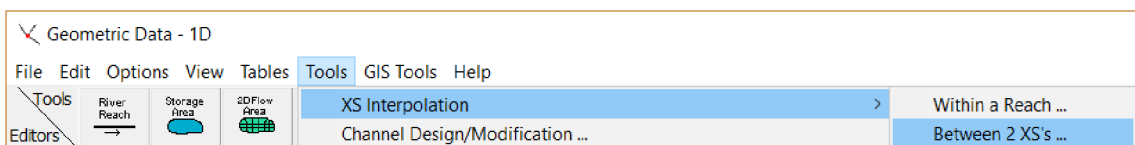
Obr. 7.5: Bridge Culvert Data

Pro vložení jezové konstrukce slouží ikona *Inline Structure Data*  (Obr. 7.6).





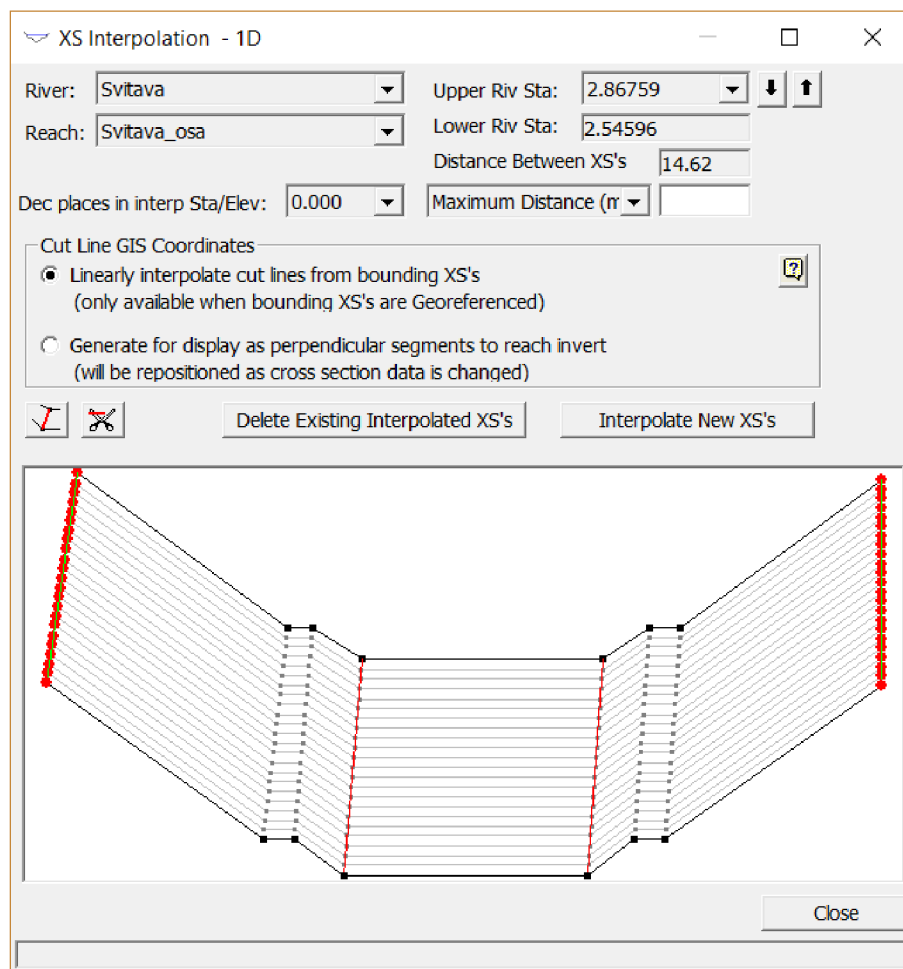
Obr. 7.6: Inline Structure Data

Po vytvoření objektů v geometrii je vhodné provést interpolaci řezů mezi importovanými profily. *Tools* → *XS Interpolation* → *Between 2 XS's...* (Obr. 7.7)




Obr. 7.7: Interpolace příčných profilů

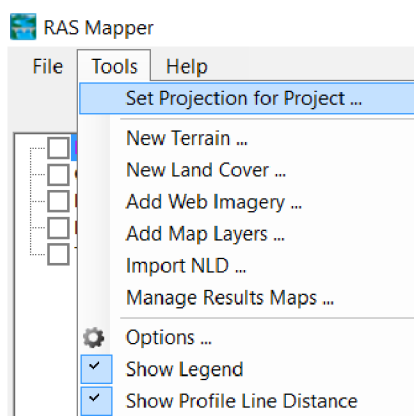
V dialogovém okně (Obr. 7.8) si lze vybrat vodní tok a profily, mezi kterými bude interpolace probíhat. Rovněž lze nastavit maximální vzdálenost mezi vytvořenými profily (*Maximum distance (m)*). Program nabízí dvě varianty interpolace. Lineární interpolaci mezi georeferencovanými profily (*Linearly interpolate cut lines from bounding XS's*) a interpolaci profilů kolmo na osu (*Generate for display as perpendicular segments to reach invert*). Po zvolení varianty lze zkontrolovat vykreslené linie pro interpolaci a případně je upravit pomocí ikon *vytvoření linie*  a *odstranění linie* . Po dokončení úprav a nastavení se interpolované řezy vytvoří zvolením tlačítka *Interpolate New XS's*.




Obr. 7.8: Nastavení interpolace příčných profilů

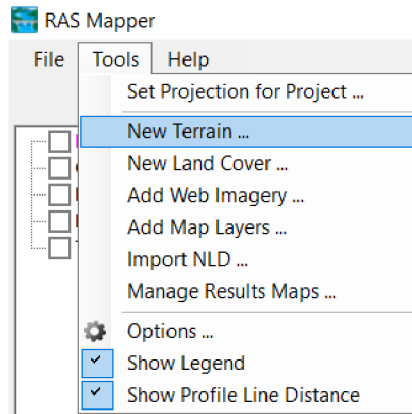
7.2. Vytvoření terénu

Kliknutím na ikonu  se otevře dialogové okno *RAS Mapper...*, kde se načte následujícím způsobem (Obr. 7.9) soubor s informací o souřadném systému ve formátu *.prj. Jako prostorová reference může např. sloužit jakýkoliv soubor z Geodatabáze DIBAVOD. *Tools* → *Set Projection for Project...* → *Apply* → *OK*.



Obr. 7.9: Načtení prostorové reference v RAS Mapper

Dialogové okno *RAS Mapper* umožňuje import jakýchkoliv digitálních podkladů ve formátu *.shp. Dále také slouží k zobrazení a exportu výsledků výpočtu. V dalším kroku je již možné nahrát vytvořený raster terénu ve formátu *.tif pomocí tlačítka  v okně *New Terrain Layer*. *Tools* → *New Terrain...* → *Create* (Obr. 7.10).



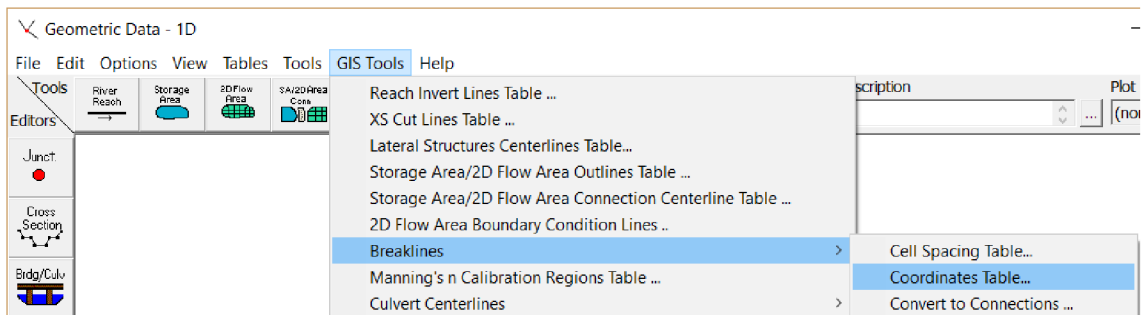
Obr. 7.10: Načtení rastru terénu

Stejným způsobem byl načten i raster využití území zvolením *New Land Cover...* Zde bylo ještě nutné přiřadit každému z indexů příslušnou Manningovu drsnost n viz Tab. 5.1 a upravit hodnotu *Cell Size*, která byla v tomto případě zvolena 1 m.


7.3. Vytvoření výpočtových sítí

7.3.1. Breaklines

Před vytvořením výpočtové oblasti se nejprve importují tzv. *Breaklines* neboli lomové čáry, které pomohou určit modelu, kde zjemnit budoucí výpočtovou síť. V případě této diplomové práce byl použit předem připravený shapefile zahrnující budovy a pozemní komunikace. *GIS Tools* → *Breaklines* → *Coordinates Table...* → *Import lines* → *OK* (Obr. 7.11)




Obr. 7.11: Import lomových čar

Mimo importovaný shapefile je třeba *Breaklines* vykreslit ručně také v místech s výraznou výškovou změnou terénu (břehové hrany, v místech násepů apod.). To lze po stisknutí ikony *2D Area Breaklines*  v sekci *Tools*.

7.3.2. Výpočtová oblast


Před vytvořením výpočtové oblasti pro 2D proudění je rovněž vhodné zmapovat stanovená záplavová území v řešeném úseku a vycházet z jejich rozsahu při počátečním vykreslování výpočtové oblasti. S rozsahem výpočtové sítě se přirozeně prodlužuje délka výpočtu.

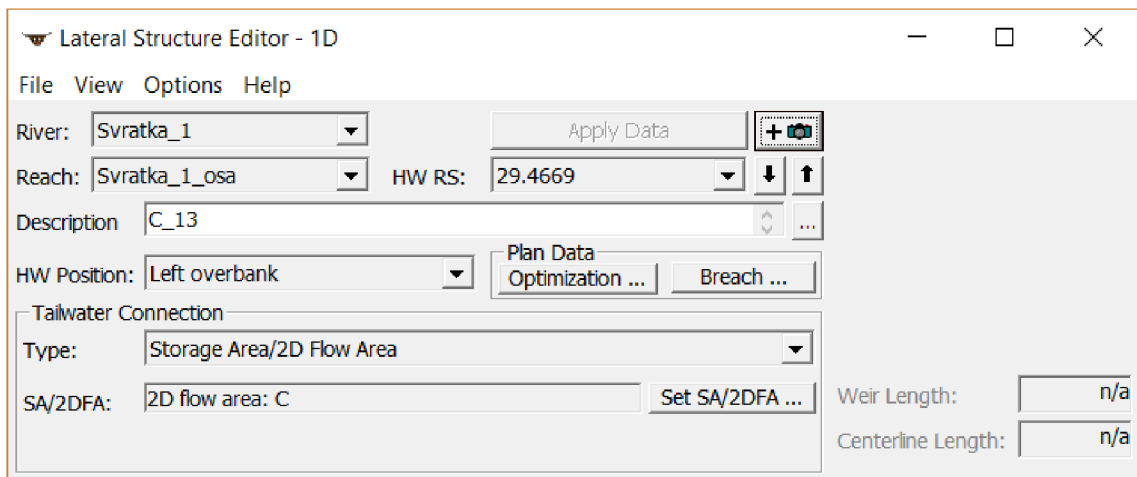
Hranice výpočtové 2D oblasti modelu lze do programu importovat ve formě shapefile zvolením záložky *GIS Tools* → *2D Flow Area Boundary Condition Lines...* → *Import lines* → *OK*, anebo je možné je ručně vykreslit pomocí ikony *2D Flow Data*

 v sekci *Tools*. Při tvorbě modelu byly vytvořeny celkem tři výpočtové oblasti pro 2D model (A – nacházející se na pravém břehu Svatky, B – mezi toky Svatky a Svitavy a C – na levém břehu Svitavy). Rozsah 2D oblastí je patrný z Obr. 5.5 (kap. 5.2.3 *Okrajové a počáteční podmínky*).


7.3.3. Laterální struktury

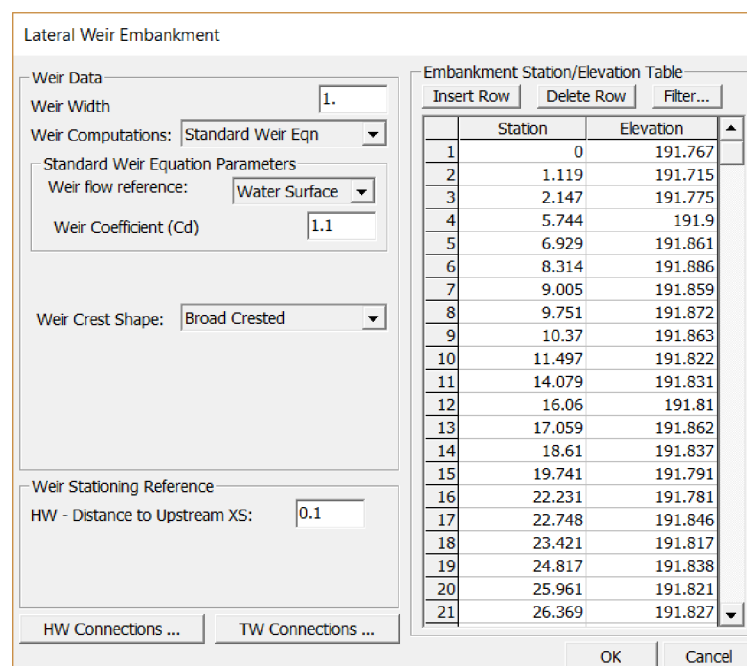
Po vytvoření hranic výpočtových sítí je potřeba před jejich samotným generováním vytvořit tzv. laterální struktury zajišťující propojení 1D a 2D modelu. K tomu budou využity již existující *Breaklines*. Nejprve se zvolí v sekci *Editors* ikona

Lateral Structure , která umožňuje vložit novou laterální strukturu. *Options* → *Add a Lateral Structure...* Program si poté vyžádá staničení, ve kterém má být laterální struktura umístěna (nejbližší horní profil). Nově vytvořená laterální struktura se pojmenuje (*Description*) a doplní se chybějící informace jako břeh na kterém je umístěna (*HW Position*), typ (*Type*) a 2D oblast, do které patří (*SA/2DFA*). To vše se potvrdí tlačítkem *Apply Data* (Obr. 7.12).

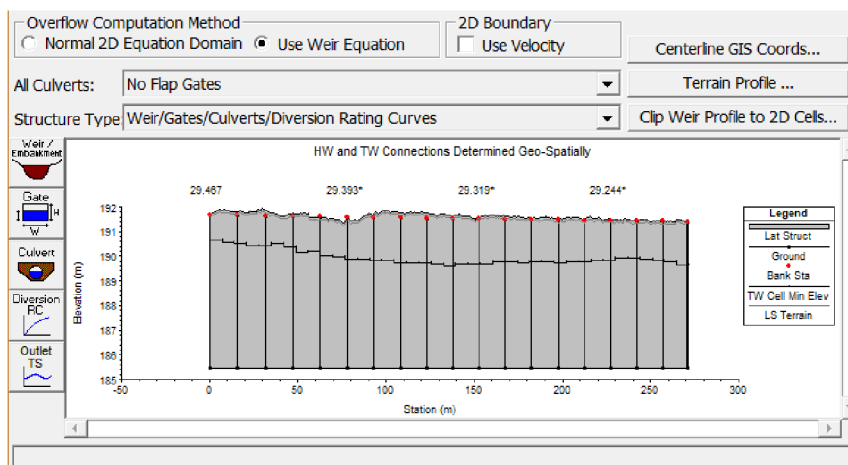


Obr. 7.12: Vytvoření laterální struktury

Pro správné napojení potřebuje laterální struktura informaci o přesné poloze (souřadnice S-JTSK) a výškové umístění. Pro zjištění souřadnic S-JTSK lze využít již zmíněné *Breaklines*, jejichž polohu lze zkopírovat. Výškové umístění lze nastavit po stisknutí ikony *Weir/Embankment* . Zde se nabízí dva základní přístupy, a to respektování tvaru terénu při jeho navýšení o konstantní zvolenou výšku (např. 0,1 m), anebo spojení krajních bodů zaměřených profilů. Žádný z přístupů nelze obecně preferovat, vždy záleží na konkrétní situaci. V tuto chvíli může být velmi přínosné místní šetření. V dialogovém okně *Lateral Weir Embankment* (Obr. 7.12) lze dále nastavit šířku přelivné hrany (*Weir Width*), přepadový koeficient (*Weir Coefficient (Cd)*) a zvolenou vzdálenost od horního profilu (*HW – Distance to Upstream XS*). Schéma vytvořené laterální struktury si lze po potvrzení prohlédnout v předchozím okně editoru (Obr. 7.14).




Obr. 7.13: Lateral Weir Embankment



Obr. 7.14: Okno editoru laterálních struktur

7.3.4. Výpočtová síť

Výpočtovou oblast 2D modelu tvoří síť definovaná elementy. Program pro její výpočet využívá metodu konečných objemů. Algoritmus umožňuje použití strukturované a nestruturované sítě. Strukturovaná síť je tvořena pravoúhelníky dle zadaných rozměrů, nestruturovaná síť se skládá z 3-stranných až 8-stranných nepravidelných buněk.

Pro vytvoření a editaci výpočtové sítě slouží ikona *2D Flow Area*  v sekci *Editors*. Po jejím zvolení se zobrazí následující dialogové okno (Obr. 7.15), kde lze nahoře vybrat výpočtovou síť, která bude upravována.

LS: RS=3.20869	LS: RS=2.40867	LS: RS=2.03814	LS: RS=1.33706
LS: RS=1.30506	LS: RS=0.65831	LS: RS=34.66674	LS: RS=34.30798
LS: RS=33.92054	LS: RS=33.55603	LS: RS=32.55707	

Obr. 7.15: Dialogové okno 2D Flow Areas

Nejprve je nutné zadat rozměr elementu výpočtové sítě. Jak již bylo zmíněno v kapitole 5.3.1 *Velikost elementu výpočtové sítě*, byl pro tento model zvolen rozměr 10 x 10 m. Okno pro zadání rozměru se zobrazí po stisknutí tlačítka *Generate Computation Points on Regular Interval with All Breaklines...* (Obr. 7.16).

Obr. 7.16: Velikost elementu výpočtové sítě

Dalším krokem je přiřazení vytvořených lomových čar (*Breaklines*) dané výpočtové síti. Lomové čáry se vybírají ručně v záložce *Enforce Selected Breaklines (and internal Connections)*...

Předposledním krokem je určení drsnosti jednotlivých buněk ve výpočtové síti, které tak částečně přejímají informace o využití území z rastru drsností. Toto nastavení se zobrazí po stisknutí *Edit Land Cover to Manning's n...* (Obr. 7.17). Do každého řádku se vepíše určená drsnost viz Tab. 5.1 v kapitole 5.2.2.

Land Cover Layer		Geometry Overrides (Blank for Default Values)	
	Name	Default Mann n	Base Mann n (blank for default)
1	nodata		
2	1	0.5	0.5
3	2	0.015	0.015
4	3	0.06	0.06
5	4	0.065	0.065
6	5	0.05	0.05
7	6	0.08	0.08
8	7	0.02	0.02

Obr. 7.17: Nastavení drsnostního součinitele n


Posledním krokem je vytvoření samotné výpočtové sítě. To umožňuje tlačítko *Force Mesh Recomputation*, které se následně potvrdí *OK*. V případě, že se při kontrole objeví problémy s vytvořenou sítí, lze je dodatečně upravit v dialogovém okně *Geometric Data* v záložce *Edit* → *Move Points/Add Points/ Remove Points*.

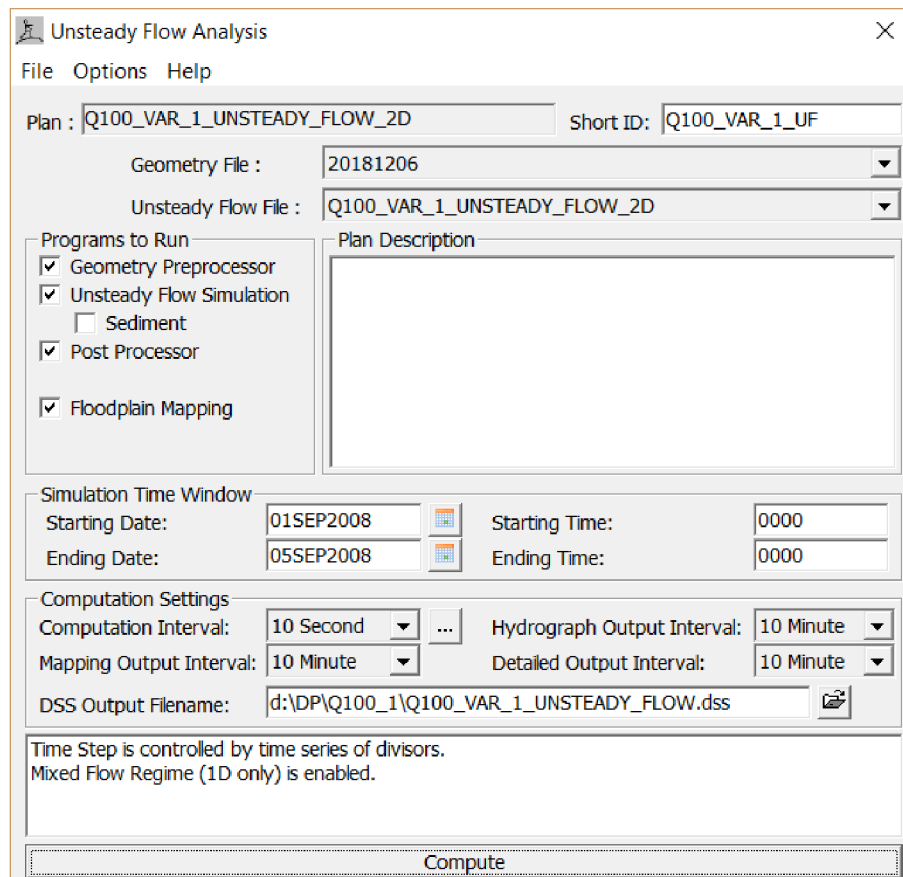
Celkový počet elementů ve vytvořených 2D výpočtových oblastech dosáhl 250 988. V následující Tab. 7.1 je uvedeno rozložení elementů v rámci jednotlivých sítí.

Tab. 7.1: Počet elementů v jednotlivých výpočtových sítích

Název oblasti	Rozměr elementu [m]	Počet elementů
A	10 x 10	101 213
B	10 x 10	16 447
C	10 x 10	133 328


7.4. Nastavení výpočtu

Nastavení neustáleného 1D/2D proudění je zpřístupněno v základním okně programu pod ikonou *Unsteady Flow Analysis* . Po otevření dialogového okna (Obr. 7.18) se zobrazí elementární nastavení simulace, jako je její začátek a konec, interval zaznamenávání dílčích výsledků apod. Detailní nastavení simulace je možné po zvolení záložky *Options* → *Calculation Options and Tolerances...*, kde lze nastavit konkrétní tolerance, počty iterací, časové kroky a další vnitřní nastavení výpočetního softwaru.



Obr. 7.18: Nastavení výpočtu

7.5. Nastavení okrajových a počátečních podmínek

Okrajové podmínky (*Boundary Conditions*) a počáteční podmínky (*Initial Conditions*) se nastavují po zvolení ikony *Unsteady Flow Data*  v základním okně programu. Jejich podrobný popis je uvedený v kapitole 5.2.3 *Okrajové a počáteční podmínky*.

8. Vyhodnocení výsledků výpočtů

V kapitole 4.6 *Stávající záplavová území* bylo popsáno vyhlášené záplavové území významného vodního toku (Svratky a Svitavy) včetně aktivní zóny, které se nachází v řešeném úseku. V následujících řádcích bude toto záplavové území porovnáno s vypočtenými výsledky z vytvořeného numerického modelu. Výsledky výpočtů tvoří přílohy B. a C. diplomové práce.

8.1. Kulminační průtok Q_5

Koryta obou toků jsou při průtoku Q_5 téměř kapacitní. K rozlivu dochází vlivem zpětného vzduť vyvolaném v ústí náhonu Modřice (Svratka ř. km 30,343). Stanovené záplavové území a vypočtené rozlivy se při tomto scénáři téměř shodují, až na úsek mezi náhonem Modřice a řekou Bobravou, kdy se dle výpočtů dostává voda za hranici záplavového území. Při místním šetření však nebyla zjištěna příčina, která by rozliv v daném území omezovala.

8.2. Kulminační průtok Q_{20}

Na rozdíl od stanoveného záplavového území zasahuje vypočtený rozliv na řece Svratce mezi ř. km 33,104 a 31,892 výrazně do intravilánu Přízřenic. Přes ornou půdu a část areálu Velkoobchodu AGRO Tuřany v Dolních Heršpicích se voda dostává až k zástavbě v ulicích V Polích, Malá, Ke Svratce a Za Hasičkou.

K rozlivu naopak téměř nedochází v oblasti vymezené náhonem Modřice (Svratka ř. km 32,255 – 30,343). Důvodem je pravděpodobně absence zaměření náhonu, který nejspíš není dostatečně kapacitní a dochází v něm k vybřežení.

Další rozdíl oproti stanovenému záplavovému území je v úseku mezi silničním mostem 152-051 u ČOV Modřice a ústím toku Bobravy (Svratka ř. km 30,807 – 28,205), kde vypočtený rozliv dosahuje až k samotnému korytu řeky Bobravy.

Vypočtený rozliv má větší rozsah i v úseku mezi Bobravou a jezem Rajhrad, a to důsledkem zpětného vzduť na řece Bobravě (Svratka ř. km 28,205). Níže pak dochází k vybřežení především v ř. km 27,072 v místě původního, dnes částečně zasypaného, koryta Svratky.

Na levém břehu Svratky dochází k mírnému rozlivu v ř. km 27,785 v inundačním území tvořeném ornou půdou v katastrálním území obce Rebešovice.

8.3. Kulminační průtok Q_{100}

Na rozdíl od předchozích scénářů, kdy vypočtené rozlivy místy přesahovaly stanovené záplavové území, při kulminačním průtoku Q_{100} rozsah vypočtených rozlivů většinou odpovídá a nebo je menší.

Rozdíly jsou v první řadě v horní části modelu, kdy inundační území Svitavy mezi dálnicí D1 (ř. km 2,050) a mostem s evidenčním číslem D2-002 (ř. km 0,683) tvoří především voda koncentrující se v oblasti kolem koryta Černovického potoka, kde zaplavuje přílehlé průmyslové areály a ornou půdu. Po zaústění Černovického potoka do Ivanovického potoka zaplavuje voda hlavně ornou půdu kolem něj. V místě přemostění dálnicí D2 se voda akumuluje a zaplavuje okrajově zástavbu na východě městské části Brno-Chrlice. Asi 250 m na jih od přemostění Ivanovického potoka dálnicí D2 ji akumulovaná voda překonává a slévá se tak s vybřeženou Svratkou pod ČOV Modřice.

Svratka se v úseku mezi dálnicí D1 a soutokem se Svitavou střídavě rozlévá na obou březích a zaplavuje většinu intravilánu ve východní části Dolních Heršpic. Oproti stanovenému záplavovému území je rozsah až na pozemky sousedící s ulicí Chleborádova ohraničen ulicí Havránkova. V důsledku vybřežení a výrazného rozlivu Svratky v úseku nad dálnicí D1 dochází k jejímu proniknutí na silniční těleso D2, kudy se dostává na zpevněné plochy u obchodního centra IKEA Brno na levém břehu Svratky a zároveň na inundaci na protější straně komunikace u pravého břehu Svitavy.

V kontrastu se stanoveným záplavovým územím nedochází k rozlivu v areálu ČOV Modřice, což může být způsobeno využitím nejnovějšího Digitálního modelu terénu 5. generace, který vznikl z dat pořízených metodou leteckého laserového skenování výškopisu v letech 2009 až 2013. [17] Naopak v modelu došlo k zaplavení lokality ulice Splaviska, kde stávající úprava reliéfu není v DMR 5G zahrnuta.

Na levé inundaci Svratky v katastrálním území Rajhrad dochází k rozlivu v důsledku vody soustřeďující se kolem koryta Ivanovického potoka, který se do Svratky vlévá bezprostředně pod jezem Rajhrad.

9. Závěr

V rámci diplomové práce, která byla zaměřena na hydraulické výpočty proudění vody v tocích a záplavových územích Svitavy a Svatky na území města Brna, byly provedeny hydraulické výpočty proudění vody s využitím spřaženého 1D a 2D numerického modelu. Pro řešení numerických modelů byl použit software HEC-RAS 5.0.6.

Ve výpočtech bylo uvažováno se dvěma scénáři. S N-letým průtokem povodní ve Svatce a teoretickým doplňkem ve Svitavě a dále pak s N-letým průtokem povodní ve Svitavě a teoretickým doplňkem ve Svatce, tak aby bylo vždy dosaženo příslušné N-letosti i pod jejich soutokem. Z důvodu vzájemného ovlivňování toků jsou výsledné mapy zpracovány jako obálka maxima obou uvedených scénářů. Pro oba vodní toky byly simulovány povodňové průtoky Q_5 , Q_{20} a Q_{100} .

Provedením hydraulických výpočtů pomocí spřaženého 1D a 2D numerického modelu proudění vody byly určeny průběhy hladin vodních toků pro povodňové průtoky Q_5 , Q_{20} a Q_{100} . Zároveň byly stanoveny rozlivy povodňových průtoků a jejich příslušné hloubky a rychlosti proudění vody v rozlivem zasažené inundaci. Povodňové nebezpečí bylo vyjádřeno výše zmíněnými výslednými charakteristikami, tedy rozsahy rozlivů, hloubkami zaplavení a rychlostí proudění vody v zájmovém území a jejich zpracováním do podoby map povodňového nebezpečí. Mapy povodňového nebezpečí tvoří přílohy C.1. až C.3. Dále jsou v přílohách B.1. až B.4. (podélné a příčné profily) vykresleny úrovně hladin simulovaných N-letých průtoků. Nad rámec diplomové práce byla zpracována mapa povodňového ohrožení (příloha C.4.) kombinující pravděpodobnost výskytu povodně a nebezpečí. Ohrožení bylo kvantifikováno pro simulované N-leté průtoky a výsledná mapa je tvořena jejich maximálními hodnotami. Všechny mapy byly zpracovány dle *Metodiky tvorby map povodňového nebezpečí a povodňových rizik [26]*.

Stanovené záplavové území (popsáno v kap. 4.6 *Stávající záplavová území*) bylo porovnáno s výsledky diplomové práce. I přes vyskytující se nesrovnalosti, lze říci, že rozsah vypočtených rozlivů odpovídá vyhlášeným záplavovým územím.

Pro zvýšení vypovídající schopnosti modelu by dále bylo vhodné opatřit přesnější doměření břehových hran pro oba toky v celé délce řešeného úseku, zvláště pak v dolní části toku Svatky od ústí náhonu Modřice včetně ústí samotného. Břehy koryt jsou v těchto místech značně zarostlé a digitální model reliéfu tak nemusí být spolehlivým podkladem. Rovněž absence zaměření přítoků (Leskava a Bobrava) a zejména náhonu Modřice mohla zapříčinit nedostatečnou kapacitu koryta v modelu a ovlivnit tak rozliv v daném území. V neposlední řadě by bylo přínosem zaměření a upřesňující informace o veškerých přemostěních, propustcích a dalších objektech vyskytujících se v zájmové

oblasti. Další doporučení pro vytvoření přesnějšího matematického modelu je vyšší třída přesnosti hydrologických údajů, zajištění dat pro přesnější kalibraci (vyčlenění měrných profilů, popř. provedení hydrometrování při vyšších stavech průtoků, povodňové značky), případně určení drsnosti v korytě vodních toků pomocí zrnitostního rozboru.

V Brně dne 11. 1. 2019

Bc. Tomáš Račoch

10. Přehled výchozích podkladů

- [1] Charakteristiky toků a povodí ČR. Oddělení geografických informačních systémů a kartografie: Projekty: Charakteristiky toků a povodí ČR [online]. Praha: VÚV TGM, veřejná výzkumná instituce - Odbor ochrany vod a informatiky - Oddělení GIS, 2014 [cit. 2018-07-23]. Dostupné z: <http://www.dibavod.cz/24/charakteristiky-toku-a-povodi-cr.html>
- [2] BALVÍN, Pavel, Pavel GABRIEL, Petr BOUŠKA a Aleš HAVLÍK. Hydrotechnické posouzení mostních objektů na vodních tocích: Technické podmínky. Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, v.v.i., 2009.
- [3] Prohlížeč služba WMS – Ortofoto, rastrová mapa ČR, mapová služba WMS, Český úřad zeměměřický a katastrální [online]. [cit. 2018-9-27]. Dostupné z: http://geoportal.cuzk.cz/WMS_ORTOFOTO_PUB/WMSservice.aspx
- [4] Prohlížeč služba WMS – DMR 5G (Stínovaný model reliéfu), rastrová mapa ČR, mapová služba WMS, Český úřad zeměměřický a katastrální [online]. [cit. 2018-9-27]. Dostupné z: <http://ags.cuzk.cz/arcgis2/services/dmr5g/ImageServer/WMSserver>
- [5] Místní šetření v zájmovém území provedené autorem práce dne 22. 9. 2018, 28. 9. 2018 a 1. 10. 2018.
- [6] ZÁPLAVOVÉ ÚZEMÍ SVRATKY km 29,289 – 47,810 (pod ČOV Brno – VD Brno) a Svitavy km 0,000 – 14,743 (soutok – žel. most pod Bílovicemi), Povodí Moravy, s. p. Brno 2009.
- [7] Manipulační řád pro jez Rajhrad na řece Svatce v km 34,970. Povodí Moravy, s. p., vodohospodářský dispečink, Brno, září 2008.
- [8] Manipulační řád pro jez Přízřenice na řece Svatce v km 40,840. Povodí Moravy, s. p., vodohospodářský dispečink, Brno, leden 2017.
- [9] Hydrologická data povodí Svatky, Olšavy, Dřevnice, Kotojedky. Dopis Povodí Moravy s. p., č. j. P11002173/561, Český hydrometeorologický ústav, duben 2011.
- [10] BRUNER W. Gary, John C. WARNER, Brent C. WOLFE, Steven S. PIPER a Landon MARSTON. HEC-RAS, River Analysis System Applications Guide. US ARMY CORPS OF ENGINEERS, únor 2016.
- [11] Digitální povodňový plán České republiky [online]. [cit. 2018-21-10]. Dostupné z: <http://www.dppcr.cz/>
- [12] Evidenční list hlásného profilu č. 375, Stanice Brno – Poříčí, Český hydrometeorologický ústav, Brno, říjen 2018.
- [13] Evidenční list hlásného profilu č. 380, Stanice Bílovice nad Svitavou, Český hydrometeorologický ústav, Brno, říjen 2018.

- [14] Stavby a průtoky na vodních tocích, Monitorovací stanice (Svitava - LG Bílovice nad Svitavou), Povodí Moravy, s. p. [online]. [cit. 2018-21-10]. Dostupné z: http://www.pmo.cz/portal/sap/cz/mereni_017.htm
- [15] QUITT, Evžen. Klimatické oblasti Československa. Geografický ústav (Československá akademie věd). Praha, Academia, 1971.
- [16] ZABAGED® - polohopis – (jednotky: BRNO81, BRNO82, BRNO83, BRNO84, BRNO85, BRNO86, BRNO91, BRNO92, BRNO93, BRNO94, BRNO95, BRNO96, formát dat: shp (JTSK), Zeměměřický úřad, Praha, říjen 2018.
- [17] Digitální model reliéfu České republiky 5. generace (DMR 5G) – (jednotky: 243405, 243410, 243415, 243420, formát dat: txt (JTSK), Zeměměřický úřad, Praha, říjen 2018.
- [18] MATTAS, Daniel. Výpočet průtoku v otevřených korytech. Praha: Výzkumný ústav vodohospodářský T.G. Masaryka, 2014. ISBN 978-80-87402-27-6.
- [19] RAPLÍK, Milan, Pavel VÝBORA a Karel MAREŠ. Úprava tokov. Bratislava: Alfa, 1989. ISBN 80-050-0128-2.
- [20] BRÁZDIL, Rudolf, Hubert VALÁŠEK a Eva SOUKALOVÁ. Povodně v Brně. Historie povodní, jejich příčiny a dopady. Vyd. 1. Brno: Statutární město Brno, 2010. Brno v minulosti a dnes. ISBN 978-80-86736-22-8.
- [21] Lávka ev. č. 731 přes Svitavu před soutokem. Dokumentace skutečného provedení stavby, č. zak. 10006. TRIGEO GK s.r.o., září 2010.
- [22] Průvodce: Morava. RAFT.CZ [online]. [cit. 2017-11-10]. Dostupné z: <http://www.raft.cz/morava/>
- [23] Mapire: Moravia (1836–1842) - Second military survey of the Habsburg Empire [online]. [cit. 2017-11-10]. Dostupné z: <https://mapire.eu/en/synchron/secondsurvey-moravia/>
- [24] ČSN 75 1400 Hydrologické údaje povrchových vod. Praha, 2014
- [25] BRUNNER, Gary W. HEC-RAS River Analysis System: Hydraulic Reference Manual. Version 5.0. Davis, California, 2016.
- [26] DRBAL, Karel a kol. Metodika tvorby map povodňového nebezpečí a povodňových rizik, VÚV T. G. M., Praha, 2011.
- [27] JANDORA, Jan. Matematické modelování ve vodním hospodářství: Modul 1, Studijní opora pro studijní programy s kombinovanou formou studia. 2008.

11. Seznam použitých zkratk a symbolů

1D	jednorozměrný	
2D	dvojměrný	
α	Coriolisovo číslo	[-]
A	průtočná plocha	[m ²]
c_f	koeficient tření na dně	[-]
č. j.	číslo jednací	
ČOV	čistírna odpadních vod	
D	empirická konstanta	[-]
ev. č.	evidenční číslo	
h	hloubka vody	[m]
H	úroveň hladiny vody	[m]
g	tíhové zrychlení	[m.s ⁻²]
m n. m.	metry nad mořem	
MŘ	manipulační řád	
MVE	malá vodní elektrárna	
Q	průtok	[m ³ .s ⁻¹]
Q_5	průtok s dobou opakování 5 let	[m ³ .s ⁻¹]
Q_{20}	průtok s dobou opakování 20 let	[m ³ .s ⁻¹]
Q_{100}	průtok s dobou opakování 100 let	[m ³ .s ⁻¹]
ř. km	říční kilometr	
s. p.	státní podnik	
s. š.	severní šířka	
S_f	sklon čáry energie	[-]
t	čas	[s]
v. d.	východní délka	

VD	vodní dílo	
v_t	koeficient turbulentní viskozity	[-]
u_*	smyková rychlost u dna	[m.s ⁻¹]
u_x, u_y	složky vektoru svislicových rychlostí	[m.s ⁻¹]
V	průřezová rychlost	[m.s ⁻¹]
s. p.	státní podnik	[-]
ZÚ	záplavové území	

12. Seznam obrázků

Obr. 3.1: Přehledná mapa povodí Svratky [1]	3
Obr. 3.2: Přehledná mapa povodí Svitavy [1]	4
Obr. 3.3: Geologická mapa [16].....	5
Obr. 3.4: Legenda geologické mapy [16]	6
Obr. 3.5: Hlásné profily s aktuálním měřením [11].....	7
Obr. 3.6: Historická povodeň červenec 1997 [11]	10
Obr. 3.7: Historická povodeň březen-duben 2006 [11].....	11
Obr. 4.1: Změny toku řeky Svratky a Svitavy [23]	12
Obr. 4.2: Rozdělení řešeného úseku [3]	13
Obr. 4.3: Objekty na toku – Svratka 1 [3].....	16
Obr. 4.4: Objekty na toku – Svratka 2 [3].....	17
Obr. 4.5: Objekty na toku – Svitava [3]	19
Obr. 4.6: Protipovodňová opatření v zájmovém území [11]	20
Obr. 4.7: Rozsah stanoveného záplavového území [11].....	21
Obr. 5.1: Schematizace 1D a 2D modelu v řezu.....	24
Obr. 5.2: Schematizace 1D a 2D oblasti modelu [3]	25
Obr. 5.3: Rozdělení součinitele drsnosti dle Manninga po délce toku [3]	29
Obr. 5.4: Rastr využití plochy území [3]	30
Obr. 5.5: Schematizace umístění OP [3]	31
Obr. 5.6: Časový průběh horní OP pro vodní tok Svratka.....	32
Obr. 5.7: Časový průběh horní OP pro vodní tok Svitava	32

Obr. 6.1: Ukázka zvolených bodů na levém břehu [4] [6].....	36
Obr. 6.2: Vytvořený povrch v programu AutoCAD Civil 3D	36
Obr. 6.3: Rastr terénu z DMR 5G [3]	37
Obr. 7.1: Základní okno programu HEC-RAS 5.0.6	38
Obr. 7.2: Import geometrických dat	39
Obr. 7.3: Junction Data	39
Obr. 7.4: Cross Section Data.....	40
Obr. 7.5: Bridge Culvert Data	40
Obr. 7.6: Inline Structure Data.....	41
Obr. 7.7: Interpolace příčných profilů.....	41
Obr. 7.8: Nastavení interpolace příčných profilů	42
Obr. 7.9: Načtení prostorové reference v RAS Mapper	42
Obr. 7.10: Načtení rastru terénu	43
Obr. 7.11: Import lomových čar	43
Obr. 7.12: Vytvoření laterální struktury	45
Obr. 7.13: Lateral Weir Embankment	45
Obr. 7.14: Okno editoru laterálních struktur.....	46
Obr. 7.15: Dialogové okno 2D Flow Areas.....	46
Obr. 7.16: Velikost elementu výpočtové sítě.....	47
Obr. 7.17: Nastavení drsnostního součinitele n	47
Obr. 7.18: Nastavení výpočtu	48

13. Seznam tabulek

Tab. 3.1: Charakteristika vybraných klimatických oblastí T4 [15].....	6
Tab. 3.2: Stupně povodňové aktivity - hlásný profil kat. A Brno - Poříčí (Svratka).....	8
Tab. 3.3: Stupně povodňové aktivity - hlásný profil kat. A Bílovice nad Svitavou (Svitava)	8
Tab. 3.4: Hodnoty N-letých průtoků pro profil Svratka nad Svitavou – jez Přízřenice [9]	9
Tab. 3.5: Hodnoty N-letých průtoků pro profil jez Rajhrad [7].....	9
Tab. 3.6: Hodnoty N-letých průtoků pro Svitavu (LG Bílovice nad Svitavou) [14].....	9
Tab. 5.1: Součinitele drsností pro inundační území při výpočtu 1D/2D modelu proudění [18], [19].....	30
Tab. 5.2: Okrajové podmínky pro řešené scénáře [7] [9] [14]	32
Tab. 7.1: Počet elementů v jednotlivých výpočtových sítích	48

14. Seznam příloh

A. PRŮVODNÍ A TECHNICKÁ ZPRÁVA

B. VÝKRESOVÁ DOKUMENTACE

B.1. Podrobný podélný profil Svratky

B.2. Podrobný podélný profil Svitavy

B.3. Příčné řezy Svratky

B.3.1. Příčné řezy Svratka PF 97 – 110

B.3.2. Příčné řezy Svratka PF 111 – 120

B.3.3. Příčné řezy Svratka PF 309 – 314

B.4. Příčné řezy Svitavy

B.4.1. Příčné řezy Svitava PF 301 – 303

B.4.2. Příčné řezy Svitava PF 10 – 21

C. VÝSTUPY Z HYDRAULICKÝCH VÝPOČTŮ

C.1. Mapa rozlivů

C.2. Mapy hloubek

C.2.1. Mapa hloubek pro Q_5

C.2.2. Mapa hloubek pro Q_{20}

C.2.3. Mapa hloubek pro Q_{100}

C.3. Mapy rychlostí

C.3.1. Mapa rychlostí pro Q_5

C.3.2. Mapa rychlostí pro Q_{20}

C.3.3. Mapa rychlostí pro Q_{100}

C.4. Mapa ohrožení

D. FOTODOKUMENTACE