



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV VODNÍCH STAVEB

INSTITUTE OF WATER STRUCTURES

**STUDIE PROTIPOVODŇOVÝCH OPATŘENÍ
V LOKALITÁCH KOMÍN A KNÍNIČKY NA SVRATCE**

FEASIBILITY STUDY OF THE FLOOD PROTECTION MEASURES IN THE LOCALITIES
OF KOMÍN AND KNÍNIČKY AT THE SVRATKA RIVER

A. PRŮVODNÍ A TECHNICKÁ ZPRÁVA

DIPLOMOVÁ PRÁCE

DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Barbora Šťastová

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. ALEŠ DRÁB, Ph.D.

BRNO 2017



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

DIPLOMANT	Bc. Barbora Šťastová
NÁZEV	Studie protipovodňových opatření v lokalitách Komín a Kníničky na Svatce
VEDOUCÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE	doc. Ing. Aleš Dráb, Ph.D.
DATUM ZADÁNÍ	31. 3. 2016
DATUM ODEVZDÁNÍ	13. 1. 2017

V Brně dne 31. 3. 2016

.....
prof. Ing. Jan Šulc, CSc.

Vedoucí ústavu

.....
prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA

Děkan Fakulty stavební VUT



PODKLADY A LITERATURA

- Odborná literatura, normy a dokumenty související s problematikou ochrany před povodněmi
- Geodetické zaměření zájmových úseků vodních toků
- Hydrologická data
- Mapové podklady

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ (ZADÁNÍ, CÍLE PRÁCE, POŽADOVANÉ VÝSTUPY)

Cílem práce je návrh jedné varianty technických protipovodňových opatření v lokalitách Komín a Kníničky na Svatce. Součástí práce je realizace hydraulických výpočtů proudění vody v toku a záplavovém území s použitím 1D, popř. 2D numerického modelu. Výstupy práce budou obsahovat:

- průvodní a technickou zprávu;
- fotodokumentaci;
- výsledky hydraulických výpočtů proudění vody pro zájmové úseky toků a záplavová území ve formě map povodňového nebezpečí;
- výkresovou část zahrnující situaci širších vztahů, celkovou situaci stavby, podélné a příčné profily se zakreslením navrhovaných protipovodňových opatření.

STRUKTURA BAKALÁŘSKÉ/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

Cílem diplomové práce je posouzení současného stavu stupně povodňové ochrany na základě hydraulických výpočtů pro různé povodňové scénáře, které odpovídají maximálním kulminačním průtokům Q_1 , Q_5 , Q_{20} , Q_{100} , Q_{100} neovlivněný v lokalitách Komín a Kníničky na Svatce v km 45,477 – 47,810. Hydraulické výpočty byly provedeny pomocí spřaženého 1D a 2D numerického modelu. Výstupy byly zpracovány v podobě map hloubek, rychlostí a rozlivů.

KLÍČOVÁ SLOVA

protipovodňová opatření, povodeň, Komín na Svatce, spřažený 1D a 2D numerický model

ABSTRACT

The aim of master's thesis is to assess the current state of the degree of flood protection on the basis of hydraulic calculations for different flood scenarios that correspond to the maximum culmination discharges Q_1 , Q_5 , Q_{20} , Q_{100} , Q_{100} unaffected in areas Komin and Kníničky on the Svatka at km 45.477 to 47.810. Hydraulic calculations were carried out using the coupled 1D and 2D numerical model. The outputs have been processed in the form of maps of depths and speed floodings.

KEYWORDS

flood protection, flood, Komín on Svatka, coupled 1D and 2D numerical model



BIBLIOGRAFICKÁ CITACE VŠKP

Bc. Barbora Šťastová *Studie protipovodňových opatření v lokalitách Komín a Kníničky na Svatce*.
Brno, 2016. 48 s., 21 s. příl. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební,
Ústav vodních staveb. Vedoucí práce doc. Ing. Aleš Dráb, Ph.D.



PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracoval(a) samostatně a že jsem uvedl(a) všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 30. 11. 2016

Bc. Barbora Šťastová

autor práce



PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY VŠKP

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané diplomové práce je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 30. 11. 2016

Bc. Barbora Šťastová
autor práce



Chtěla bych poděkovat doc. Ing. Aleši Drábovi, Ph.D. za odborné vedení této diplomové práce, za trpělivost a ochotu při konzultacích a za poskytnutí odborných rad a připomínek.

OBSAH

1	ÚVOD.....	3
2	CÍLE PRÁCE	4
3	PODKLADY	5
3.1	Seznam podkladů	5
3.2	Související předpisy	7
3.3	Zhodnocení podkladů.....	8
4	POPIS ZÁJMOVÉHO ÚZEMÍ	9
4.1	Vymezení zájmového území.....	9
4.1.1	Povodí Svatky	10
4.1.2	Geomorfologie	11
4.1.3	Klimatické poměry	12
4.1.4	Významná vodní díla na řece Svatce	13
4.2	Hydrologické údaje	13
4.2.1	Měrná stanice Veverská Bitýška	14
4.2.2	Měrná stanice Brno – Poříčí.....	15
4.2.3	Hydrologické údaje pro řešený úsek	16
4.3	Zaznamenané historické povodně.....	16
4.4	Stávající úroveň protipovodňové ochrany	17
5	NÁVRH PROTIPOVODŇOVÝCH OPATŘENÍ.....	19
5.1	Koncepce protipovodňových opatření	19
5.2	Stavebně technické řešení PPO.....	19
6	HYDRAULICKÉ VÝPOČTY	22
6.1	Koncepční model	23
6.2	Matematický a numerický model.....	24
6.2.1	1D model	25
6.2.2	2D model	26
6.3	Vstupní data numerického modelu	28

6.4	Nejistoty vstupních dat	31
6.5	Kalibrace modelu	32
7	POSTUP ŘEŠENÍ V PROGRAMU BASEMENT	33
7.1	1D model.....	37
7.2	2D model.....	39
7.3	Spřažení 1D a 2D modelu	42
7.4	Zobrazení výstupů.....	42
8	VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ VÝPOČTŮ	43
8.1	Stávající stav	43
8.1.1	Svratka km 47,001 – 47,810.....	43
8.1.2	Svratka km 46,264 – 47,001.....	43
8.1.3	Svratka km 45,477 – 46,264.....	44
8.2	Návrhový stav – návrh PPO.....	44
9	ZÁVĚR.....	45
10	SEZNAM PŘÍLOH	46
11	SEZNAM TABULEK.....	47
12	SEZNAM OBRÁZKŮ	48

1 ÚVOD

Město Brno se nachází na soutoku dvou významných moravských vodních toků, řek Svatky a Svitavy. Tyto dva toky ohrožují území Brna povodněmi. V zimních měsících mohou být povodně způsobeny především náhlým táním sněhové pokrývky, která může být doprovázena i deští, případným zablokováním koryta řeky ledovými krami. Letní povodně jsou způsobovány hlavně přívalovými srážkami, které mohou být doprovázeny i vydatnými dešti.

Zájmová lokalita, která je předmětem této diplomové práce, se nachází v Brně, v městských částech Brno – Kníničky a Brno – Komín na Svatce v km 45,4770 – 47,810. Práce se zabývá vyhodnocením stávajícího stavu protipovodňové ochrany v řešeném území a návrhem jedné varianty protipovodňových opatření. Hydraulické posouzení stávajícího stavu ochrany a návrhu bude provedeno pomocí spřaženého 1D a 2D numerického modelu. Návrh protipovodňového opatření bude respektovat koncepci zahrnutou v Generelu odvodnění města Brna [1].

2 CÍLE PRÁCE

Cílem diplomové práce je návrh jedné varianty technických protipovodňových opatření (PPO) v lokalitách Komín a Kníničky na Svatce v km 45,477 – 47,810.

Součástí diplomové práce je realizace hydraulických výpočtů proudění vody v toku a záplavovém území s využitím spřaženého 1D a 2D numerického modelu. Pro zpracování výpočtů byl vybrán volně dostupný numerický simulační software Basement.

V první části práce je zahrnuto vyhodnocení současného stavu území z hlediska stupně povodňové ochrany na základě hydraulických výpočtů pro povodňové scénáře, které odpovídají maximálním kulminačním průtokům Q_1 , Q_5 , Q_{20} , Q_{100} , Q_{100} neovlivněný. Tyto údaje budou následně sloužit jako podklad pro návrh vhodných technických protipovodňových opatření s respektováním Generelu odvodnění města Brna [1]. Výsledkem hydraulických výpočtů jsou údaje o hloubkách v korytě a v inundačním území a na jejich základě bude navržena niveleta liniových PPO nad návrhovou hladinu odpovídající průtoku Q_{100} neovlivněném.

Výstupem této práce budou výsledky hydraulických výpočtů proudění vody pro zájmové úseky toku a záplavová území v podobě map hloubek (viz příloha D. 1), map rychlostí (viz příloha D. 2) a rozlivů (viz příloha D. 3). Dále bude práce obsahovat výkresovou část zahrnující situaci širších vztahů (viz příloha C. 5), celkovou situaci stavby (viz příloha C. 1) a podélné (viz příloha C. 2 a C. 3) a příčné profily se zakreslením navrhovaných protipovodňových opatření (viz příloha C. 4).

3 PODKLADY

3.1 Seznam podkladů

- [1] Generel odvodnění města Brna – část vodní toky. Magistrát města Brna. Brno, 2010.
- [2] ŠŤASTOVÁ, B.: *Studie protipovodňových opatření v lokalitě Komín na Svatce v km 46,850 – 47,810*. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodních staveb. Brno, 2015.
- [3] BASEMENT *Basic Simulation Environment* [online]. [cit. 2016-12-27]. Dostupné z: <http://www.basement.ethz.ch>.
- [4] Hydraulické výpočty pro účely generelu odvodnění města Brna – část toky č. 1 Svatka. Podélný profil km 40,349 – km 47,810, Povodí Moravy, s.p., Brno, 2007.
- [5] Hydraulické výpočty pro účely generelu odvodnění města Brna – část toky č. 1 Svatka. Příčné profily PF 188 - 270, Povodí Moravy, s.p.. Brno 2007.
- [6] Prohlížeč služba Eri ArcGIS Server – Digitální model reliéfu České republiky 5. generace, mapová služba Eri ArcGIS Server, Český úřad zeměměřický a katastrální [online]. [cit. 2016-12-27].. Dostupné z: <http://ags.cuzk.cz/arcgis/rest/services/dmr5g/ImageServer>.
- [7] Prohlížeč služba WMS – ortofoto, rastrová mapa ČR, mapová služba WMS, Český úřad zeměměřický a katastrální [online]. [cit. 2016-12-27]. Dostupné z: http://geoportal.cuzk.cz/WMS_ORTOFOTO_PUB/WMSservice.aspx.
- [8] Hydraulické výpočty pro účely generelu odvodnění města Brna. Situace příčných profilů. Povodí Moravy, s.p. Brno, 2007.
- [9] *BASEMENT: Software download* [online]. [cit. 2016-12-27]. Dostupné z: <http://www.basement.ethz.ch/download/software-download.html>
- [10] VETSCH: *BASEMENT*. Tutorials [online]. [cit. 2016-12-27]. Dostupné z: <http://www.basement.ethz.ch/download/tutorials.html>
- [11] *QGIS: A Free and Open Source Geographic Information System* [online]. [cit. 2016-12-27]. Dostupné z: <http://www.qgis.org/en/site/>.
- [12] Hydraulické výpočty pro účely generelu odvodnění města Brna. Rozlivy povodní Q_1 , Q_5 , Q_{20} , Q_{100} . Povodí Moravy, s.p. Brno, 2007.
- [13] Prohlížeč služba Eri ArcGIS Server – Základní mapa ZM 10, mapová služba Eri ArcGIS Server, Český úřad zeměměřický a katastrální [online]. [cit. 2016-12-27]. Dostupné z: <http://ags.cuzk.cz/ArcGIS/rest/services/zm/MapServer>

- [14] Prohlížečí služba WMS – Základní mapa ZM10, mapová služba WMS, Český úřad zeměměřický a katastrální [online]. [cit. 2016-12-27].
Dostupné z: http://geoportal.cuzk.cz/WMS_ZM10_PUB/WMSservice.aspx
- [15] Geoportál: Mapy. *Geoportal.gov.cz* [online]. [cit. 2016-12-27].
Dostupné z: <https://geoportal.gov.cz/web/guest/map>
- [16] Povodí Moravy: *Plán oblasti povodí Dyje* [online]. [cit. 2016-12-27].
Dostupné z: <http://www.pmo.cz/pop/2009/Dyje/end/a-popis/a-popis.html>.
- [17] MapoMat: *Přírodní poměry* [online]. [cit. 2016-12-27].
Dostupné z: <http://mapy.nature.cz>.
- [18] QUITT. *Charakteristiky klimatických oblastí ČR* [online]. In: 1971 [cit. 2016-12-28].
- [19] *Povodí Moravy: Vodní díla* [online]. [cit. 2016-12-28].
Dostupné z: <http://www.pmo.cz/cz/uzitecne/vodni-dila>.
- [20] *Povodí Moravy: Hydrologická situace* [online]. [cit. 2016-12-28].
Dostupné z: <http://www.pmo.cz>.
- [21] *Český hydrometeorologický ústav: Hlásná a předpovědní povodňová služba* [online]. [cit. 2016-12-28].
Dostupné z: http://hydro.chmi.cz/hpps/hpps_main.php?kat=HLPRF.
- [22] DRÁB, A., ŘÍHA, J.: *Protipovodňová ochrana*. Modul M01. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodních staveb. Brno, 2010
- [23] Místní šetření v zájmovém území provedené autorkou práce dne 4. 1. 2017.
- [24] BRÁZDIL, R., VALÁŠEK, H., SOUKALOVÁ, E.: *Povodně v Brně. Historie povodní, jejich příčiny a dopady* [online]. Archiv města Brna. [cit. 2016-12-28].
- [25] *Povodí Moravy: 15 let od povodní 1997* [online]. [cit. 2016-12-28].
Dostupné z: <http://www.pmo.cz>.
- [26] *Dibavod: Oddělení geografických informačních systémů a kartografie* [online]. [cit. 2016-12-28].
Dostupné z: <http://www.dibavod.cz>.
- [27] CDS: *Centrální datový sklad pro mapy povodňového nebezpečí a povodňových rizik* [online]. [cit. 2017-01-02].
Dostupné z: <http://cds.chmi.cz/?lang=cs>
- [28] ŘÍHA, J.: *Matematické modely v hydrodynamice*. Přednáška CR51 – Úvod. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta stavební. Ústav vodních staveb. Brno, 2015
- [29] RAPANTOVÁ, N.: *Matematické modelování proudění podzemních vod a jeho využití ve vodárenské praxi* [online]. In: [cit. 2017-01-06].

- [30] KOZUBÍK, J.: *Hodnocení efektivnosti protipovodňových opatření v lokalitě Břeclav*. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodních staveb. Brno, 2013.
- [31] JANDORA, J.: *Matematické modelování ve vodním hospodářství. MODUL 01*. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta stavební. Ústav vodních staveb. Brno, 2008.
- [32] VETSCH: *BASEMENT*. User Manual BASEMENT [online]. [cit. 2016-12-27]. Dostupné z: <http://www.basement.ethz.ch/download/documentation.html>.
- [33] KAVALÍROVÁ, A.: *Studie protipovodňových opatření v lokalitě Maloměřice na Svitavě v km 8,085 – 10,950*. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodních staveb. Brno, 2016.
- [34] UHMANNOVÁ, H., SMELÍL, L.: *Fotografický katalog drsností*. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodních staveb. Brno.

3.2 Související předpisy

- [35] Zákon 254/2001 Sb. o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon).
- [36] ČSN 73 6530 Názvosloví hydrologie.
- [37] ČSN 75 1400 Hydrologické údaje povrchových vod.
- [38] TNV 75 2931 Povodňové plány.
- [39] TNV 75 2932 Navrhování záplavových území.
- [40] Vyhláška 236/2002 Sb. o způsobu a rozsahu zpracování návrhu a stanovování záplavových území.
- [41] Směrnice 2007/60/ES o vyhodnocování a zvládání povodňových rizik.

Pozn. U uvedených zákonů a vyhlášek se předpokládá jejich platné znění.

3.3 Zhodnocení podkladů

Zpracování práce předcházelo zajištění veškerých potřebných podkladů a materiálů. V první řadě bylo třeba zajistit podklady pro samotný hydraulický výpočet. U 1D modelu sloužily jako hlavní podklad geodeticky zaměřené příčné a podélné profily toku Svatka v km 40,349 – 47,810, které byly zpracovány Povodím Moravy, s.p. [4] [5]. Tyto podklady byly dostupné ve formátu *.dxf. Pro 2D model to byl zajištěn digitální model reliéfu 5. generace [6].

Před samotným zahájením práce bylo potřeba zpracovat jednotlivé příčné profily z výkresové podoby do tabulkového formátu v MS Excel. Prostorová lokalizace profilů byla určena souřadnicemi levého břehu v S – JTSK a orientačním úhlem.

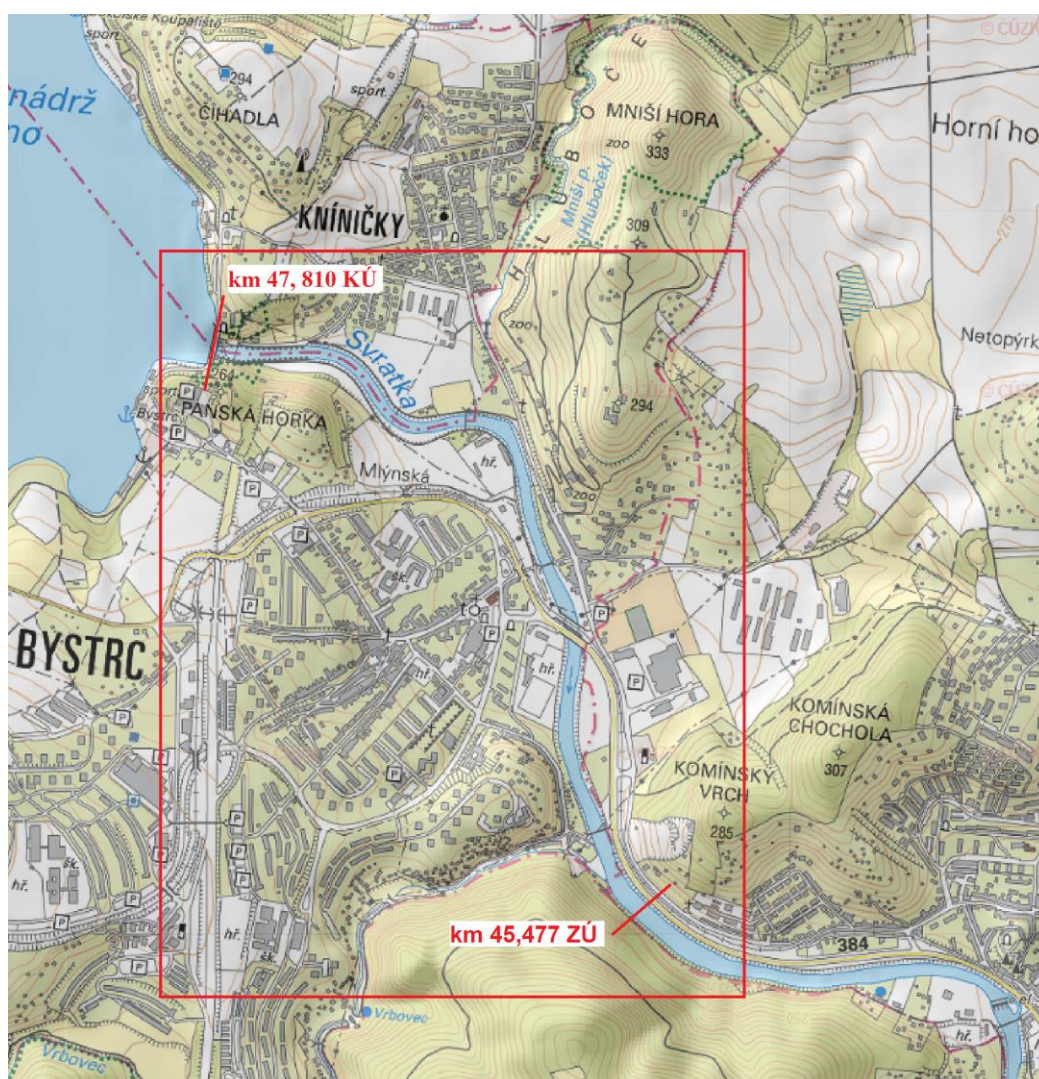
Pro snadnější orientaci a pochopení programu Basement [9], byly k dispozici vzorové příklady a návody [10] pro 1D, 2D a spřaženém 1D a 2D modelové úlohy. V rámci vzorových příkladů pro Basement byl k dispozici návod na přípravu výpočtové sítě v zásuvném modulu BaseMesh do programu QGis [11].

Mezi další nezbytné podklady patřila situace rozlivů v daném území pro kulminační průtoky Q_1 , Q_5 , Q_{20} , Q_{100} a Q_{100} neovlivněný [12]. Dále pak mapové podklady jako ortofoto mapa [7], Základní mapa ČR 1:10 000 [13] a katastrální mapy [14]. Koncepce návrhu PPO v diplomové práci vychází z Generelu odvodnění města Brna [1]. V zájmové lokalitě proběhlo rovněž místní šetření [23], při kterém byla pořízena fotodokumentace.

4 POPIS ZÁJMOVÉHO ÚZEMÍ

4.1 Vymezení zájmového území

Zájmové území se nachází v Jihomoravském kraji, na území města Brna, v městských částech Brno – Kníničky a Brno – Komín. Úsek začíná pod vodní nádrží Brno na Svatce v km 47,810 a končí v km 45,4770. Celková délka řešeného úseku je cca 2,332 km a na úseku se nacházejí celkem tři lávky pro pěší, energomost a silniční most s kolejemi pro tramvaj, který je hlavní spojkou mezi městskou částí Brno – Bystrc a Brno – Komín [4] [5] [8].



Obr. 1 Situace zájmového území [15]

4.1.1 Povodí Svatky

Povodí Svatky spadá do oblasti povodí Dyje, které je druhé největší z osmi oblastí povodí na území České republiky. Oblast povodí je dílčím povodím hydrologického povodí Moravy a tvoří českou část oblasti povodí Dunaje a hydrologicky patří do úmoří Černého moře. Správcem oblasti povodí Dyje je podnik Povodí Moravy, s.p. (viz Obr. 2).

Řeka Svatka je největším levobřežním přítokem řeky Dyje a odvádí vody ze severní části Českomoravské vrchoviny. Protéká dvěma kraji, a to krajem Vysočina, kde řeka pramení a větší částí zasahuje do kraje Jihomoravského. Svatka pramení severně od Žďáru nad Sázavou u obce Cikháň na úbočí Křivého javora a Žákovy hory ve Žďárských vrších. Odtud teče nejdřív severovýchodně přes stejnojmennou obec Svatka, odkud se stáčí na jihovýchod a pokračuje až k Brnu.

Až po Veverskou Bitýšku protéká řeka Svatka povětšinou úzkým údolím s vysokými úbočími. Pod Brnem u městské čtvrti Přízřenice, jež spadá do městské části Brno – Jih, se do Svatky vlévá řeka Svitava. Tok dále pokračuje směrem na jih až do střední nádrže vodního díla Nové Mlýny, kde se Svatka vlévá do řeky Dyje (viz Obr. 3).

Nejvýše položený bod povodí Svatky je ve výšce přibližně 722 m n. m., naopak za nejnižší bod je významné ústí do řeky Dyje v nadmořské výšce 170 m n. m. Na řece Svatce jsou postavené dvě přehradní nádrže: VD Vír a VD Brno. Celková délka toku od pramene k ústí je 174 km a celková plocha povodí činí při ústí do Dyje 4 115 km² [16].



Obr. 2 Oblast Povodí Dyje [16]



Obr. 3 Detail povodí – řeka Svatka [16]

4.1.2 Geomorfologie

Oblast povodí Dyje leží na území ČR na rozhraní systému Hercynského a Alpsko – Himalájského. Do oblasti povodí zasahují dvě provincie – Česká vysočina (Český masív) a Západní Karpaty.

Řeka Svatka od pramene až po ústí do řeky Dyje, protéká celkem dvěma soustavami, a to Česko – moravskou soustavou a Vněkarpatskou sníženinou. Řeka Svatka pramení v Hornosvratecké vrchovině, u Tišnova protéká Boskovickou brázdou, přes Křižanovskou vrchovinu a u vstupu do vodní nádrže Brno, přechází do Oslavanské brázdy. U železničního mostu v centru Brna mezi městskými částmi Brno – Komárov a Brno – Štýřice vtéká řeka do soustavy Vněkarpatské sníženiny, do Dyjsko – svrateckého úvalu a tímto celkem protéká ve většině území až do ústí s řekou Dyjí do novomlýnských nádrží [17].

Tab. 1 Geomorfologie řeky Svatky [17]

SOUSTAVA	PODSOUSTAVA	CELEK	PODCELEK	OKRSEK
Česko-moravská soustava	Českomoravská vrchovina	Železné hory	Sečská vrchovina	Kamenická vrchovina
		Hornosvratecká vrchovina	Žďárské vrchy	Devitiskalská vrchovina
				Milovská kotlina
			Nedvědicke vrchovina	Pohledeckoskalská vrchovina
				Sulkovecká vrchovina
		Křižanovská vrchovina	Bítešská vrchovina	Vířská vrchovina
	Brněnská vrchovina	Boskovická brázda	Oslavanská brázda	Sýkořská hornatina
				Deblinská vrchovina
		Bobrovská vrchovina	Lipovská vrchovina	Tišnovská kotlina
				Veverskobítešská kotlina
				Hvozdecká pahorkatina
				Třnovka
				Omická vrchovina
				Bystrcká kotlina
				Kohoutovická vrchovina
				Žabovřeská kotlina
				Pisarecká kotlina
Vněkarpatské sníženiny	Západní Vněkarpatské sníženiny	Dyjsko-svratecký úval	Dyjsko-svratecká niva Pracká pahorkatina	Dyjsko-svratecká niva Moutnická pahorkatina

Současné povrchové tvary České vysočiny jsou výsledkem dlouhého geomorfologického vývoje, který lze různými metodami sledovat již od druhohor. Dnešní vzhled reliéfu je výsledkem působení vnitřních a vnějších sil. Na vývoj reliéfu působily hlavně změny klimatu, kdy se na našem území vystřídaly různé typy podnebí (vlhké tropické, teplé savanové, suché, mírně vlhké a chladné podnebí) [16].

4.1.3 Klimatické poměry

Klimatické poměry v řešeném území jsou dány především jeho polohou v mírném pásmu a s pravidelným střídáním čtyř ročních období s kombinací vlivů oceánského a kontinentálního podnebí.

Srážky

Průměrný roční úhrn srážek za období 1961 – 2000 byl v horní části toku 700 – 800 mm, jelikož se jedná o oblast Českomoravské vrchoviny. V jarních a zimních měsících se srážky v této oblasti pohybují do 200 mm za rok. V dolní části toku počet srážek klesá a to průměrně na 450 – 500 mm za rok, v jarních měsících se zaznamenal úhrn do 125 mm a v zimě do 100 mm za rok.

Teplota

Průměrná roční teplota vzduchu je v horní části, vzhledem k stoupající nadmořské výšce, v rozmezí 4 – 5 °C. V jižní části toku se průměrná roční teplota pohybuje kolem 10 °C. V jarních měsících průměrná teplota odpovídá zhruba celkové průměrné roční teplotě. V zimě teplota klesá ve vyšších nadmořských výškách průměrně na -3 - -4°C a v jižní oblasti na 0 - -1°C [16].

Sněhová pokrývka

Počet dní se sněhovou pokrývkou se v jižní části toku pohybuje v rozmezí 40 – 50 dní za rok. V chladnější oblasti Českomoravské vysočiny se počet dní se sněhovou pokrývkou pohybuje mezi 100 – 120 dny za rok [18].

4.1.4 Významná vodní díla na řece Svatce

Na řece Svatce leží celkem dvě vodní díla. Jedná se o vodní dílo Vír, která se dělí na Vír I a Vír II, která se nachází v kraji Vysočina v okrese Bystřice nad Pernštejnem. Druhým dílem je vodní nádrž Brno, jež spadá do Jihomoravského kraje, do okresu Brno – město.

Účelem vodního díla Vír je zajištění denního průtoku, vodárenský a provozní odběr, výroba elektrické energie, protipovodňová ochrana a nalepšení průtoků pro závlahy pro Brno. Dílo bylo uvedeno do provozu v roce 1957. Vodní dílo Brno bylo postaveno v roce 1940 na řece Svatce pod obcí Veverská Bitýška. Hlavním účelem tohoto díla je výroba elektrické energie ve špičkové vodní elektrárně, snížení povodňových průtoků a rekreace a plavba. Správcem obou děl je Povodí Moravy, s.p., závod Dyje [19].

4.2 Hydrologické údaje

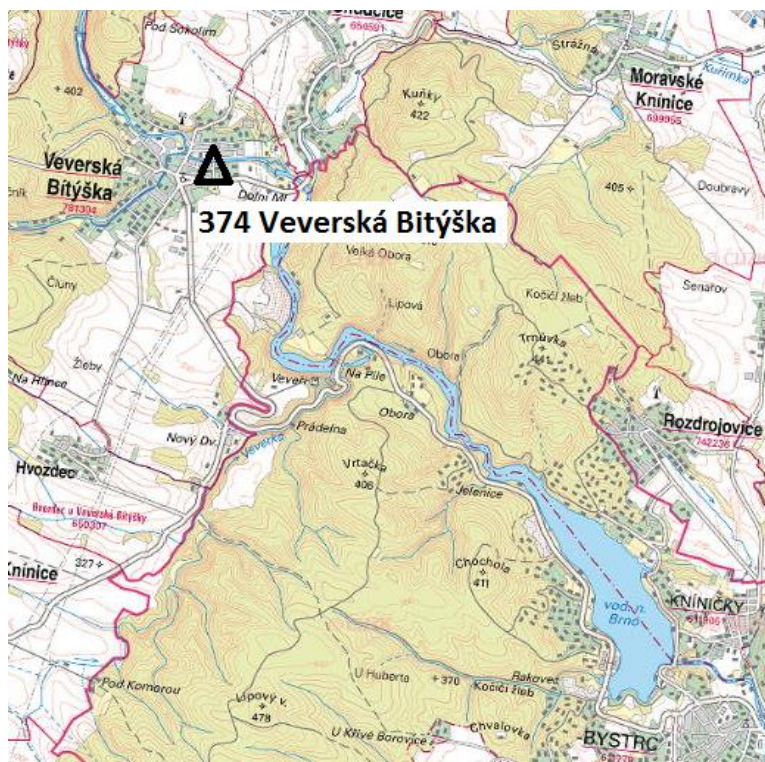
V řešeném území se nenachází žádná měrná stanice. Nejbližší stanice nad zájmovým územím, se nachází nad vodním dílem Brno, v obci Veverská Bitýška. Níže po toku je to měrná stanice Brno – Poříčí. Na řece Svatce se nachází celkem 7 měrných profilů. Všechny měrné profily spadají společně pod ČHMÚ a Povodí Moravy, s.p. [20].



Obr. 4 Situace měrných profilů na Svatce [21]

4.2.1 Měrná stanice Veverská Bitýška

Tok:	Svratka
Název stanice:	Veverská Bitýška
Kategorie:	A
Povodí III. řádu:	4-15-01 Svratka po Svitavu
Obec s rozšířenou působností:	Kuřim
Provozovatel:	ČHMÚ Brno
Plocha povodí:	1479,76 km ²
Průměrný roční stav:	142 cm
Průměrný roční průtok:	8,28 m ³ /s [21]



Obr. 5 Měrný profil Veverská Bitýška [21]

Tab. 2 Hodnoty N-letých průtoků dle [21]

Průtoky Q_N (N-leté) m ³ /s					
	Q_1	Q_5	Q_{10}	Q_{50}	Q_{100}
m ³ /s	60	126	159	241	280

Tab. 3 Limity pro stupně povodňové aktivity dle [21]

	Vodní stav H [cm]	Průtok Q [m ³ /s]
1. Bdělost	190	35.8
2. Pohotovost	240	72.4
3. Ohrožení	300	126
3. Extrémní povodeň	403	
Sucho	113	

4.2.2 Měrná stanice Brno – Poříčí

Tok:	Svratka
Název stanice:	Brno - Poříčí
Kategorie:	A
Povodí III. řádu:	4-15-01 Svratka po Svitavu
Obec s rozšířenou působností:	Brno
Provozovatel:	ČHMÚ Brno
Plocha povodí:	1637,16 km ²
Průměrný roční stav:	54 cm
Průměrný roční průtok:	7,76 m ³ /s [21]



Obr. 6 Měrný profil Brno – Poříčí [21]

Tab. 4 Hodnoty N-letých průtoků [21]

Průtoky Q_N (N-leté) m^3/s					
	Q_1	Q_5	Q_{10}	Q_{50}	Q_{100}
m^3/s	51.1	110	142	235	283

Tab. 5 Limity pro stupně povodňové aktivity dle [21]

	Vodní stav H [cm]	Průtok Q [m^3/s]
1. Bdělost	120	22.1
2. Pohotovost	160	41.1
3. Ohrožení	260	128
3. Extrémní povodeň	353	
Sucho	31	

4.2.3 Hydrologické údaje pro řešený úsek

Jak už bylo v předchozí kapitole zmíněno, v zájmovém úseku se přímo nenachází žádná měrná stanice. Proto byly pro účely této práce použity hodnoty N-letých průtoků získané pro profil pod VD Brno z podkladů dle [4]. Hodnoty průtoků v tomto úseku, se blíží hodnotám naměřených v měrném profilu 375 Brno – Poříčí (viz Tab. 4). V měrném profilu nad řešeným úsekem (měrný profil Veverská Bitýška) se hodnoty liší, oproti hodnotám dle [4] z důvodu ovlivnění vodním dílem Brno.

Tab. 6 Hodnoty N-letých průtoků pro profil pod VD Brno [4]

Průtoky Q_N (N-leté) m^3/s							
	Q_1	Q_5	Q_{10}	Q_{20}	Q_{50}	Q_{100}	Q_{100} NEOVLIVNĚNÁ
m^3/s	50.5	108.6	141	177.5	233	280	395

4.3 Zaznamenané historické povodně

Během historického vývoje města Brna byly povodněmi ohrožovány především jeho předměstí či další obce při obou řekách (Svratky, Svitavy), zatímco samotné ležící jádro města, které bylo obeháno hradbami, zůstávalo mimo dosah záplav. První zmínka o povodních, a jimi způsobených škodách, se datuje již do 16. století.

Jako nejkatastrofálnější povodně 20. století jsou udávány červencové povodně z roku 1997, kdy příčinou povodně byly vysoké srážkové úhrny ve dnech 5. – 7. července 1997.

I přes to, jaké měla tato povodeň dopady, nebyl v působnosti závodu Dyje tak katastrofický,

Brno bylo uchráněno díky akumulaci vody ve Vírské přehradě, kde byla hladina vody z důvodu opravy a výstavby vodovodu dočasně snížena o 10 m [24].

Během povodní v roce 2002 a 2006 byl rozsah povodňových škod podstatně větší a v desítkách měřicích profilů byl zaznamenán vesměs 3. povodňový stupeň [25].

Tab. 7 Nejvyšší zaznamenané vodní stavy v měrném profilu Veverská Bitýška

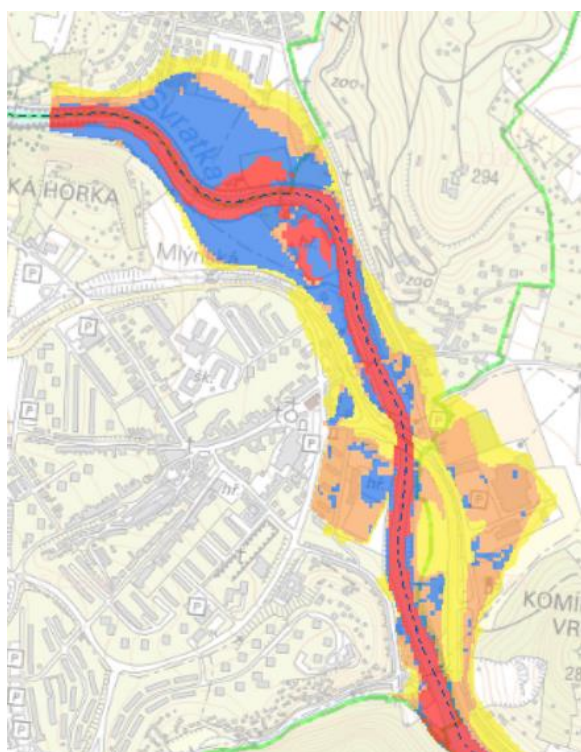
<i>Období V. - XI.</i>	<i>Vodní stav H [cm]</i>	<i>Období XII. - IV.</i>	<i>Vodní stav H [cm]</i>
26.8.1938	298	12.3.1981	314
22.5.1985	294	1.4.2006	359
19.6.1986	282	24.2.1977	295
15.5.1962	257	11.3.1941	270
2.6.2010	276	9.2.1946	262

Tab. 8 Nejvyšší zaznamenané vodní stavy v měrném profilu Brno - Poříčí

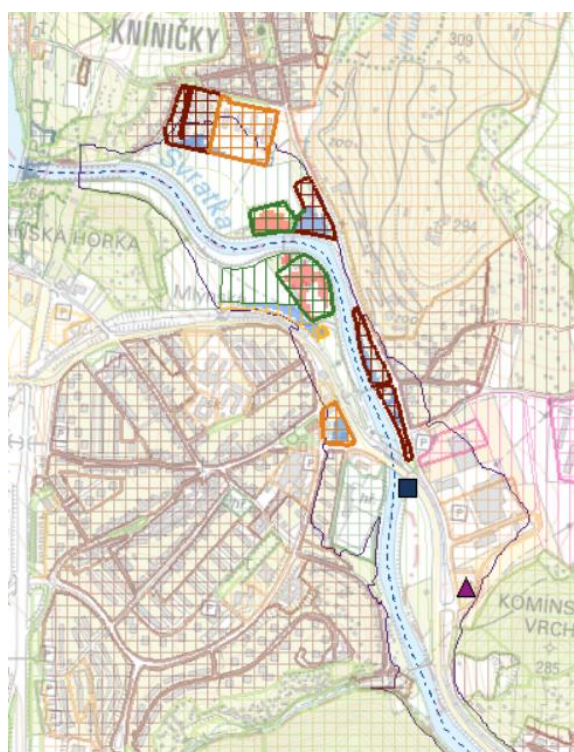
<i>Období V. - XI.</i>	<i>Vodní stav H [cm]</i>	<i>Období XII. - IV.</i>	<i>Vodní stav H [cm]</i>
15.5.1962	310	14.1.1920	358
26.8.1938	318	11.3.1941	340
8.7.1997	225	1.4.2006	282
3.6.2010	188		

4.4 Stávající úroveň protipovodňové ochrany

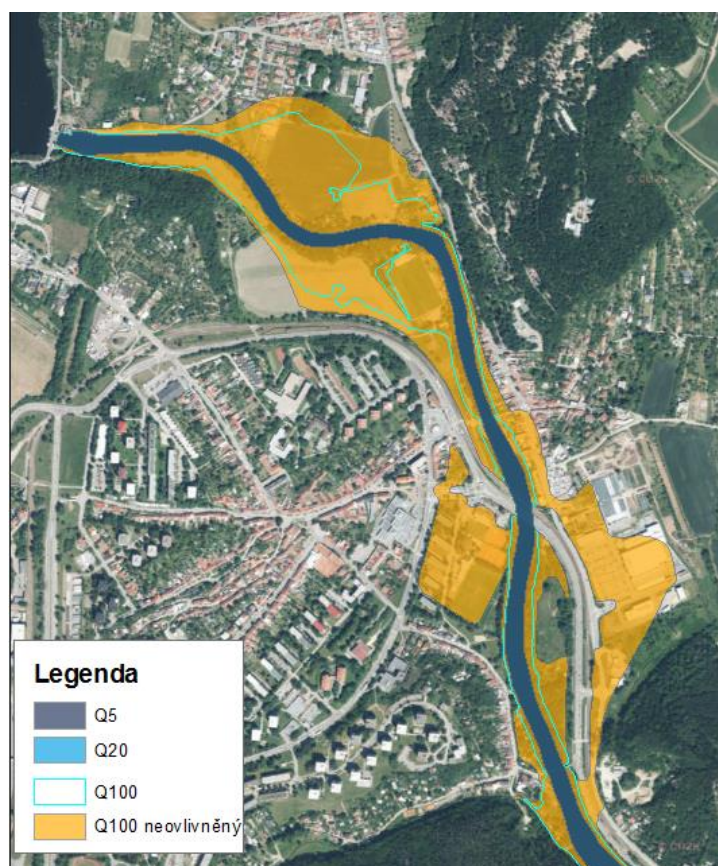
Stávající stav protipovodňové ochrany v zájmovém území vychází z aktuálně vyhlášeného záplavového území. V řešeném úseku jsou vyhlášena záplavová území, která jsou zpracována pro N – leté kulminační průtoky Q_5 , Q_{20} , Q_{100} . Jedná se o úsek s významným povodňovým rizikem [41]. Pro tuto oblast byly zpracovány mapy povodňových rizik, povodňového nebezpečí a mapy povodňového ohrožení [27].



Obr. 7 Mapa povodňového ohrožení [27]



Obr. 8 Mapa povodňového rizika [27]



Obr. 9 Situace záplavových území [26]

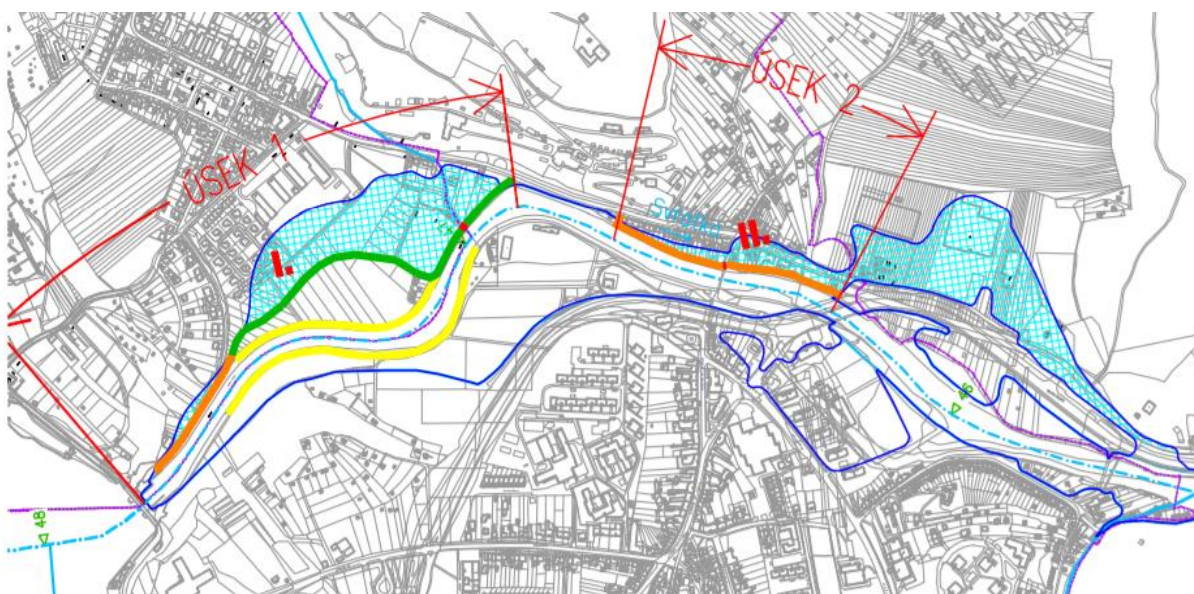
5 NÁVRH PROTIPOVODŇOVÝCH OPATŘENÍ

5.1 Koncepce protipovodňových opatření

Návrh protipovodňového opatření vychází z koncepce uvedené v Generelu odvodnění města Brna [1]. Základní koncepce návrhu PPO vychází ze schématu na Obr. 10.

Zahrnuje následující liniové prvky PPO:

- Ochranná zemní hráz,
- ŽB zídky s možnou kombinací s mobilním hrazením,
- rozšířené bermy.



Obr. 10 Návrh PPO dle Generelu odvodnění města Brna [1]

Předmětem práce bylo podrobnější rozpracování této koncepce a návrhu PPO, které je uvedeno v následující kapitole.

5.2 Stavebně technické řešení PPO

Navržené technické PPO zahrnuje pět stavebních objektů. Všechna tato řešení jsou navržena jako komplexní protipovodňové opatření městské části Brno-Kníničky a městské části Brno – Komín. Návrhové parametry vycházejí z hydraulických výpočtů [4]. Niveleta PPO je v celé délce navržena na Q_{100} neovlivněnou s bezpečnostním převýšením 0,30 m.

Stavba je členěna na 5 stavebních objektů:

- Stavební objekt SO 1 – železobetonová zídka o délce 223,47 m.
- Stavební objekt SO 2 – sypaná hráz o délce 655,03 m.
- Stavební objekt SO 3 – průtočná boční berma levého břehu.
- Stavební objekt SO 4 – průtočná boční berma pravého břehu.
- Stavební objekt SO 5 – železobetonová zídka o délce 415,00 m.

Protipovodňové opatření zajišťuje ochranu levého břehu řeky Svatky v úseku mezi hrází vodního díla Brno a napojením cyklostezky na hlavní komunikaci na ulici U Zoologické zahrady a dále v úseku od hlavní komunikace, po břehové hraně kolem rodinných domů až po silniční most Bystřec.

Niveleta protipovodňových opatření vychází z hydraulických výpočtů, které byly součástí této práce (viz kap. 6 *Hydraulické výpočty*).

Stavební objekt SO 1 - železobetonová zídka

Zídka je navržena jako železobetonová. Začíná zavázáním do terénu u malé vodní elektrárny pod vodním dílem Brno ve staničení PPO km 0,000 a staničení toku km 47,784. Koruna zídky je navržena 0,3 m nad Q_{100} neovlivněnou. Trasa je vedena po levé krajnici komunikace ulice Přehradní po proudu toku. Z důvodu zajištění přístupu na přilehlé pozemky za linií PPO byly v tomto úseku navrženy prostupy osazené mobilním hrazením. Opatření pokračuje dále po ulici Přehradní až do křížení s ulicí Přehradní ve staničení PPO v km 0,223. V tomto místě dochází k ukončení SO 1 a navazuje zde podzemní jílocementová těsnicí stěna, která vede až do staničení PPO km 0,915.

Stavební objekt SO 2 – sypaná hráz

Sypaná hráz je navržena jako zemní, homogenní. Celková délka hráze je 655,03 m a je rozdělena na hráz s nezpevněnou korunou a se zpevněnou korunou hráze. Koruna hráze má v celé délce šířku 3,50 m. Hráz začíná ve staničení PPO v km 0,259. Opatření vede dále po zemědělsky využitých pozemcích až ke stávající zástavbě. Zde kříží dešťovou kanalizaci a je

zde navržena hradidlová komora s čerpací stanicí. Hráz dále pokračuje po hranici zastavěného území, kde se posléze pomalu stáčí doprava směrem k vodnímu toku Svratka a vede souběžně s Mniším potokem. Ve staničení PPO km 0,815 nastává křížení s Mniším potokem, které je opatřeno hradidlovou komorou s čerpací šachtou. Hráz končí ve staničení PPO km 0,915 těsně před napojením cyklostezky na hlavní komunikaci na ulici U Zoologické zahrady.

Stavební objekt SO 3 a SO 4 - průtočná boční berma – levý břeh a pravý břeh

Dalším opatřením, které je navrženo v tomto úseku, je rozšíření části koryta bermami. Rozšíření začíná na pravém břehu ve staničení toku km 47,589 a poté pokračuje až po most pro pěší ve staničení km 46,991. Opatření na levém břehu začíná v km 47,506 a končí ve staničení toku km 47,074. Úroveň bermy byla navržena 0,3 m nad vypočtenou hladinu jednoletého průtoku Q_1 . Na části levého břehu bylo nutno navrhnout opěrnou zeď z drátokamenných košů z důvodů úspory místa.

Stavební objekt SO5 – železobetonová zídka

Zídka je navržena jako železobetonová. Celková délka je 415,00 m. Koruna zídky hráze je navržena 0,3 m nad Q_{100} neovlivněnou. Zídka začíná zavázáním do terénu u hlavní komunikace na ulici U Zoologické zahrady, u rodinných domů ve staničení toku km 46,722. Trasa zídky je vedena po levém břehu řeky kolem zahrad a rodinných domů, až po silniční most Bystřec, kde končí zavázáním do terénu ve staničení toku v km 46,307.

Zídka je opatřena prostupem osazeným mobilním hrazením, kdy dosedací prahy přes linii PPO budou osazeny v úrovni stávající komunikace bez převýšení. Hrazení je šířky 7,5 a nachází se v místě mostu směrem do ZOO.

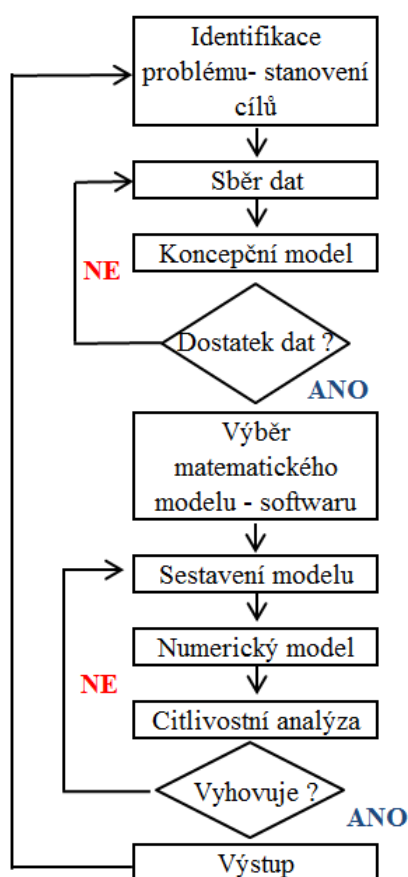
6 HYDRAULICKÉ VÝPOČTY

Cílem hydraulických výpočtů bylo posouzení stávajícího stupně protipovodňové ochrany vodního toku Svatka v zájmové lokalitě Brno – Kníničky a Brno – Komín ve staničení toku km 45,477 – 47,810.

Obecně pod pojmem model rozumíme účelové zjednodušení zobrazení nějakého reálného nebo abstraktního světa.

Rozlišujeme tyto druhy modelů:

- Koncepční model
- Matematický model
- Numerický model [28]



Obr. 11 Sestavení hydraulického výpočtu [29]

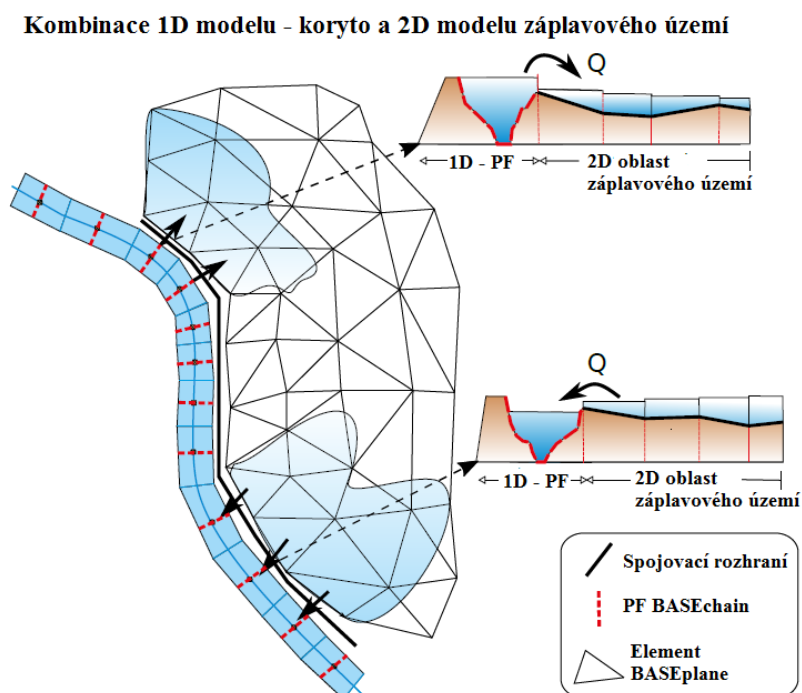
6.1 Konceptní model

Konceptním modelem se rozumí schematizace řešeného problému v návaznosti na předem dané cíle s ohledem na matematický a numerický model použitý při výpočtu [30].

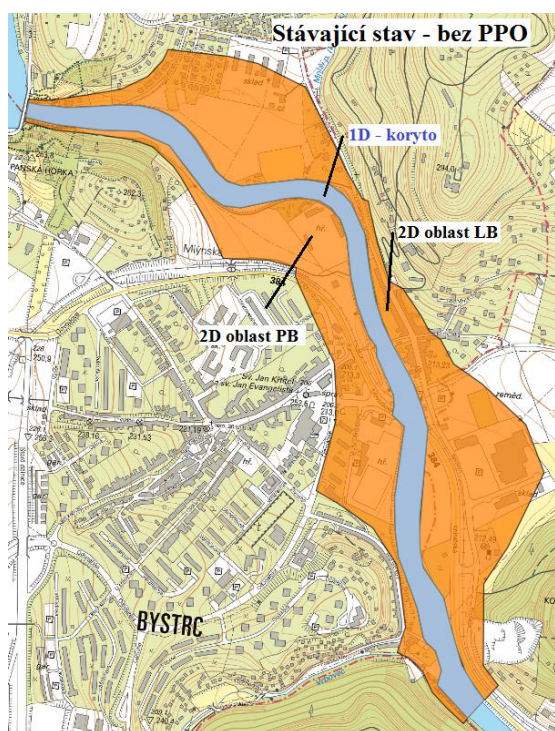
Modelové řešení zahrnuje zájmovou oblast toku Svatky ve staničení km 45,477 – 47,810. Řeka Svatka má v řešené oblasti jeden levobřežní přítok, v tomto případě se jedná o Mniší potok ve staničení toku km 46,970, který má ve většině dnů v roce suché koryto a jeden pravobřežní přítok, potok Vrbovec, ve staničení toku km 45,561. Dále se zde nachází několik mostů, lávek pro pěší a jeden energomost. Oblast je pouze částečně zastavěná a to přibližně od staničení od km 46,670 po km. Jedná se o zástavbu v městské části Brno – Bystrc.

K hydraulickým výpočtům proudění vody v zájmovém území byl využit software Basement verze V2.6 R2968, QGIS verze 2.14.7 s rozšířením o zásuvný modul BASEmesh a Crayfish a AutoCAD Civil 3D 2014.

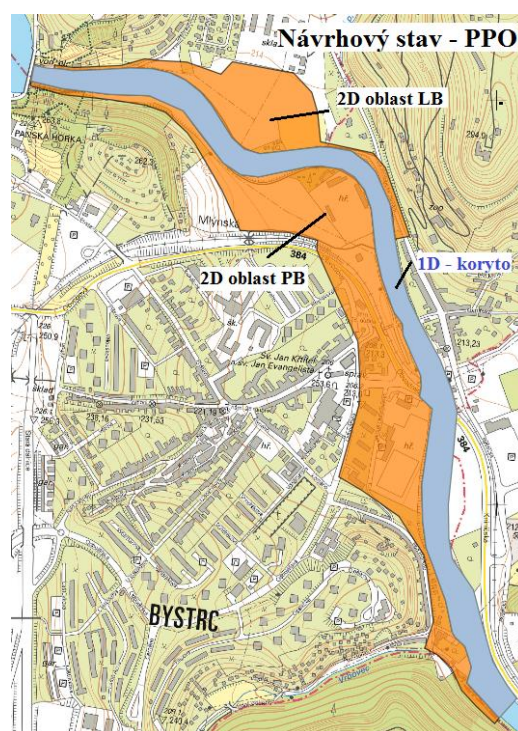
Model proudění byl sestaven z 1D a 2D modelu. Proudění vody v korytě toku bylo řešeno pomocí 1D numerického modelu. Proudění mimo koryto toku Svatky bylo řešeno 2D modelem, pomocí vytyčení 2D oblasti v programu QGIS [11]. Hranice a propojení mezi 1D a 2D modelem byly vytvořeny břehovými hranami toku.



Obr. 12 Propojení mezi 1D a 2D modelem [10]



Obr. 13 Řešená oblast – stávající stav [14]



Obr. 14 Řešená oblast – návrhový stav [14]

Cílem řešení pomocí spřaženého 1D a 2D numerického modelu proudění vody v zájmové oblasti je nasimulovat průchod povodňových průtoků za stávajícího stavu bez navrženého protipovodňového opatření a návrhového stavu s vhodným řešením protipovodňových opatření. Výstupem 1D a 2D modelu jsou mapy hloubek, rozlivů a průběh hladin v zájmovém území (viz příloha D).

6.2 Matematický a numerický model

Matematický model je popsán jako vyjádření určitého výseku vnějšího světa matematickými prostředky. Matematický model můžeme rozdělit do tří základních prostorových dimenzí, jedná se o jednorozměrné (1D), dvojrozměrné (2D) a trojrozměrné (3D) dimenze. Jednorozměrným modelem se v tomto případě řešil proudění v korytě. Dvojrozměrným modelem inundační území okolo toku Svatka. Numerický model je řešen pomocí konkrétních číselných hodnot vstupů a výstupů ve spojitosti na vymezené cíle.

6.2.1 1D model

Jednorozměrný (1D) model proudění je vhodné použít například v případě koryt toků (popř. v sevřeném území), kdy je v průtočném profilu dostatečně přesné přiblížení (odhad) a to průřezovou rychlostí nebo konstantní polohou hladiny.

Základní předpoklady přijaté při modelování proudění vody v 1D jsou:

- proudění vody v korytě se modeluje jednorozměrně (vektor rychlosti je nahrazen průřezovou rychlostí $v(x,t)$),
- voda je nestlačitelná ($\rho(p,T) = \rho = \text{konst.}$),
- podélný sklon koryta je malý,
- předpokládá se hydrostatické rozdělení tlaku po svislici,
- odporový člen pro neustálené proudění lze odhadovat Chézyho vztahem [31].

Matematický model programu Basement vychází z plné verze Saint – Venantových rovnic, jedná se o rovnice kontinuity (spojitosti) – zákon zachování hmotnosti (6. 1) a pohybovou rovnici (6. 2).

6. 1

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0,$$

6. 2

$$\frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{Q}{A} \right) + \frac{Q}{A} \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{Q}{A} \right) + g \frac{\partial h}{\partial x} = g [J_d - J_E],$$

kde:

A průtočná plocha [m^2],

Q průtok [m^3/s],

t čas [s],

x souřadnice v kartézské souřadné soustavě [m],

g tíhové zrychlení [m/s^2],

h hloubka vody v profilu [m],

J_D sklon dna [-],

J_E sklon čáry energie [-].

Počátečními podmínkami jsou $Q_0(x)$ a $h_0(x)$ známé zadané funkce prostorové proměnné x , která charakterizuje stav v čase $t_0 = 0$.

$$Q(x, t_0) = Q_0(x), \quad 6.3$$

$$h(x, t_0) = h_0(x), \quad 6.4$$

Okrajové podmínky mají tvar:

$$Q(x_0, t) = \overline{Q_0}(t), \quad 6.5$$

$$h(x_L, t) = \overline{h_L}(t), \quad 6.6$$

jsou předepsané časové průběhy průtoků, resp. hloubky vody. Úkolem je nalézt neznámé funkce A , Q , v , h a J_E , které splňují počáteční a okrajové podmínky [31].

6.2.2 2D model

Dvojměrný (2D) model poskytuje informace o plošném rozdělení rychlostí a hloubek v celém území. Oproti 1D modelu je však náročnější na vstupní data, na vlastní výpočet a na dobu zpracování. 2D model používáme v případě proudění v širokém inundačním území, jelikož jsou zde většinou rychlosti a hloubky vody v průtočném profilu velmi rozdílné.

Výpočet dvojměrného 2D matematického modelu vychází z tzv. rovnic proudění vody „v mělkém proudu“, kde je proudění popsáno rovnicí kontinuity (6. 7) a dvěma pohybovými rovnicemi (6. 8) (6. 9), doplněnými o turbulentní Boussinesqův model [31] [32].

U modelování v mělkém proudu se uvažuje tzv. svislicová rychlost a mezi neznámé funkce patří:

- dvě funkce složek vektoru svislicové rychlosti $v_x(x, y, t)$ a $v_y(x, y, t)$
- jedna funkce hloubky vody $h(x, y, t)$.

$$\frac{\partial H}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(h v_{xs}) + \frac{\partial}{\partial y}(h v_{ys}) = 0, \quad 6.7$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial (h v_{xs})}{\partial t} + \frac{\partial (h v_{xs}^2)}{\partial x} + \frac{\partial (h v_{xs} v_{ys})}{\partial y} - f h v_{ys} = \\ = \frac{\partial (h T_{xx})}{\partial x} + \frac{\partial (h T_{xy})}{\partial y} + \tau_x^{\text{hlad}} - \tau_x^{\text{dno}} \end{aligned} \quad 6.8$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial (h v_{ys})}{\partial t} + \frac{\partial (h v_{ys}^2)}{\partial x} + \frac{\partial (h v_{xs} v_{ys})}{\partial y} - f h v_{xs} = \\ = \frac{\partial (h T_{xy})}{\partial x} + \frac{\partial (h T_{yy})}{\partial y} + \tau_y^{\text{hlad}} - \tau_y^{\text{dno}} \end{aligned} \quad 6.9$$

kde:

H poloha hladiny [m],

t čas [s],

x, y souřadnice v kartézské souřadné soustavě [m],

h hloubka vody v profilu [m],

f Coriolisův parametr [-],

T turbulentní napětí [Pa],

τ smyková napětí na dně a hladině [Pa].

Počátečními podmínkami jsou známé průběhy funkcí $v_{x0}(x, y)$, $v_{y0}(x, y)$ a $h_0(x, y)$ ve všech bodech oblasti Ω v čase $t = 0$:

$$v_{xs}(x, y, 0) = v_{xs0}(x, y) \quad 6.10$$

$$v_{ys}(x, y, 0) = v_{ys0}(x, y) \quad 6.11$$

$$h(x, y, 0) = h_0(x, y) \quad 6.12$$

Okrajové podmínky jsou definovány na hranici Γ_1 (6. 13) a (6. 14) Γ_2 (6. 15) náhradní oblasti Ω .

$$v_{xs}(x, y, t) = v_{xs}(t) / \Gamma_1, \quad 6.13$$

$$v_{ys}(x, y, t) = v_{ys}(t) / \Gamma_1, \quad 6.14$$

$$h(x, y, t) = h(t) / \Gamma_2 \quad 6.15$$

Úkolem je nalézt neznámé funkce v_{xs} , v_{ys} a h , které splňují okrajové a počáteční podmínky [31].

6.3 Vstupní data numerického modelu

Jako podklady pro přípravu vstupních dat do modelu a jejich následné vyhodnocení byly k dispozici:

- Digitální model reliéfu 5. generace [6],
- podélné a příčné profily vodního toku Svratka [4] [5],
- hydrologická data [4],
- mapové podklady [7],
- polygonová vrstva – budovy,
- místní šetření zájmové lokality [23].

Z výše zmíněných podkladů byl nejdříve sestaven numerický model, který popisuje stávající stav zájmové oblasti. Po vyhodnocení všech hydraulických výpočtů byl proveden návrh protipovodňových opatření, na jehož základě byl poté vytvořen druhý numerický model, který popisuje návrhový stav.

Morfologie terénu

Morfologie koryta toku (1D model) vycházela z geodeticky zaměřených příčných profilů, které byly zpracovány Povodím Moravy, s.p. [5]. Tento model obsahoval i informace o objektech. V tomto případě se jednalo o mosty a lávky.

Morfologie záplavového území byla do 2D numerického modelu importována z již zmíněných podkladů. Jednalo se o digitální model reliéfu [6], který byl do GIS programu vložen ve formátu *.tif. Faktorem, který výrazně ovlivňoval proudění v modelu byly budovy, které byly dostupné jako polygonová vrstva ve formátu ESRI shapefill.

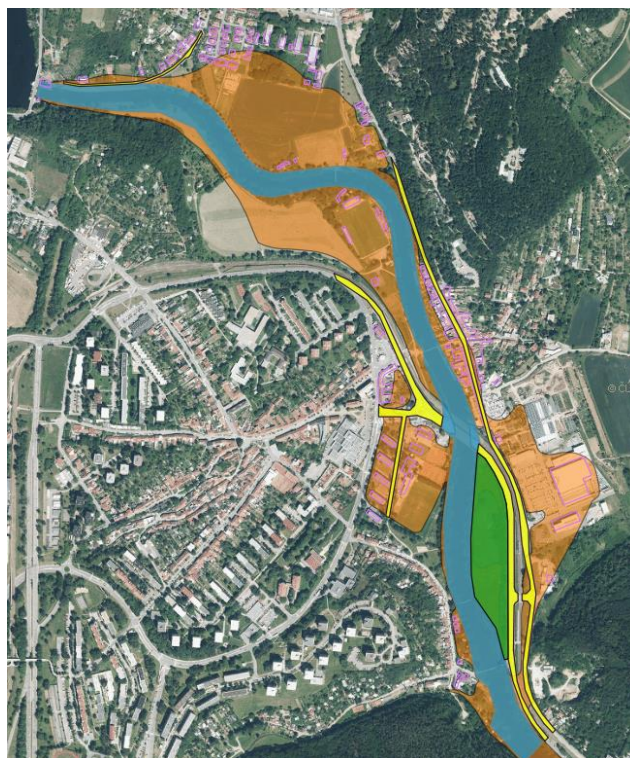
Drsnosti vodního toku a záplavového území

Podkladem pro určení drsnosti v jednotlivých oblastech, byl především mapový podklad (ortofotomapa). Drsnosti byly do modelu zadávány ve formě součinitele drsnosti dle Manninga. [34]

Drsnost v záplavovém území (2D model) se přiřazovala ke každému jednotlivému elementu zvlášť na základě příslušných indexů (viz. Tab. 9). Výpočtová síť byla rozdělena do třech indexů dle povrchů. Jednalo se o plochy „lesy“, „pastviny a zatravnění“ a „komunikace“. Největší část zabírají plochy „pastviny a zatravnění“, vzhledem k malému zastoupení zástavby v zájmovém území.

Tab. 9 Hodnoty drsností dle Manninga použité ve výpočtu

Povrch	Drsnost dle Manninga	Index
Koryto	0.060	-
Pastviny a zatravnění	0.040	2
Komunikace	0.015	3
Lesy	0.140	4



Obr. 15 Rozložení drsnosti v modelu – stávající stav

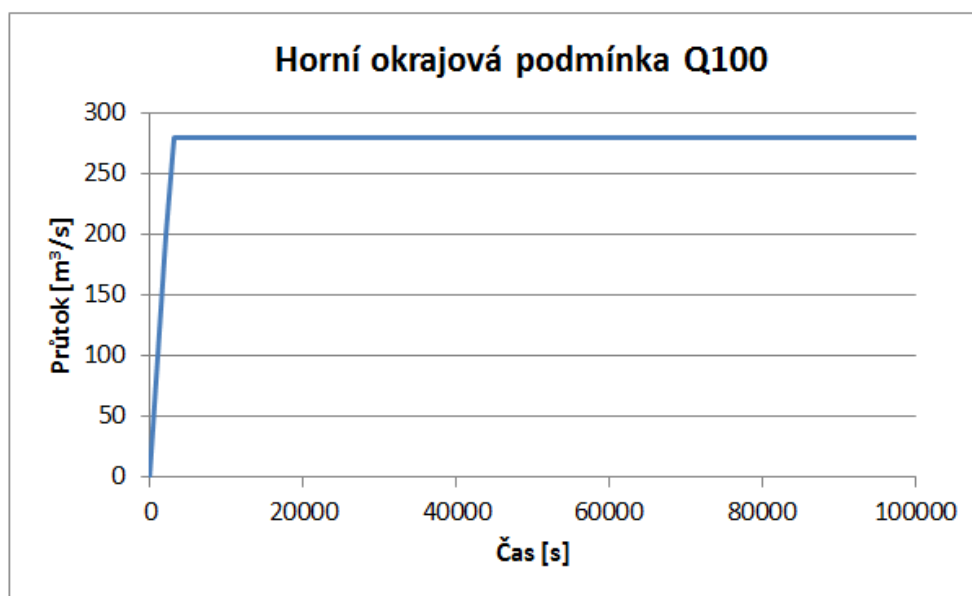
Okrajové podmínky

Okrajové podmínky byly v modelu zadány dvěma otevřenými hranicemi. Jednalo se o horní a dolní okrajovou podmínku. Horní okrajová podmínka byla zadávána podle řešených

kulminačních průtoků – Q_1 , Q_5 , Q_{20} , Q_{100} , Q_{100} neovlivněný. Jelikož model řeší pouze neustálené proudění, byla tato horní okrajová podmínka zadávána pomocí hydrogramu s dostatečně dlouhou dobou kulminace, aby se docílilo ustáleného proudění a průtoky se v horní a dolní části vodního toku vyrovnaly. Hodnoty kulminačních průtoků (viz Tab.9).

Tab. 10 Horní okrajová podmínka – Q_{100}

Čas [s]	0	1 000	2 000	3 000	100 000
Průtok [m^3/s]	0	100	200	280	280



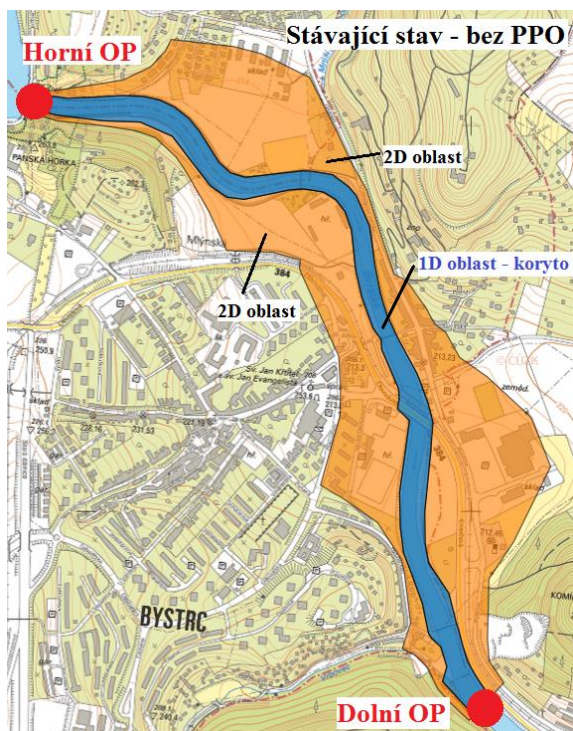
Obr. 16 Horní okrajová podmínka Q_{100} v km 47,810

Dolní okrajová podmínka byla zadána pomocí $Q - H$ křivky z posledního příčného profilu PF 243 v řešené oblasti, kde byla známá poloha hladiny v jednotlivých $N -$ letých průtoků [4] [5].

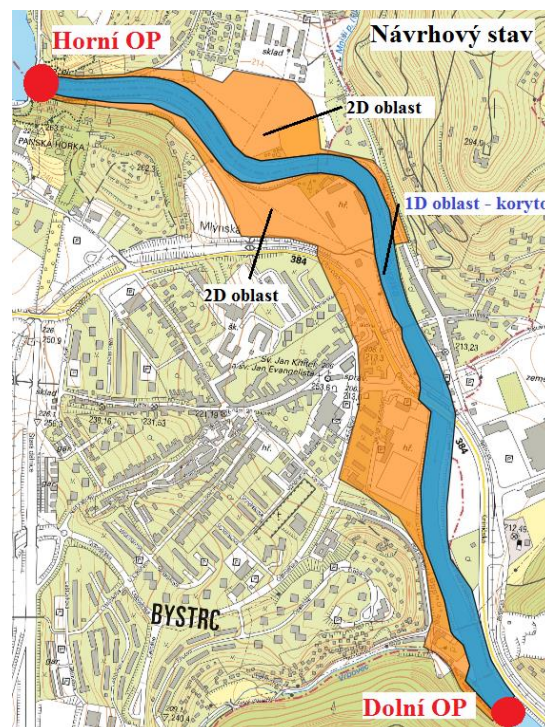
Tab. 11 Dolní okrajová podmínka – $Q - H$ křivka

Q_N (N -leté) [m^3/s]	Q_1	Q_5	Q_{10}	Q_{20}	Q_{50}	Q_{100}	Q_{100} NEOVLIVNĚNÝ
H [m]	209.36	209.84	210.19	210.56	211.05	211.4	212.15
Průtok [m^3/s]	50.5	108.6	141	177.5	233	280	395

Kritéria pro zadávání okrajových podmínek byla stejná jak pro stávající stav – bez PPO, tak i pro návrhový stav s PPO. Horní okrajová podmínka byla pro stávající stav zadávána podle řešených kulminačních průtoků - Q_{100} neovlivněný. Návrhový stav se počítal pouze pro variantu s největším kulminačním průtokem - Q_{100} neovlivněný.



Obr. 17 Okrajové podmínky- stávající stav



Obr. 18 Okrajové podmínky-návrhový stav

Hodnoty počátečních podmínek

Počáteční podmínka pro Q_1 byla zadána s nulovou hloubkou, proto výpočet proběhl se „suchým“ – „dry“ korytem. Výstup z výpočtu pro návrhový průtok Q_1 byl použit, jako počáteční podmínka, pro výpočet dalšího průtoku Q_5 , model tím pádem navázal na výsledky z předešlého výpočtu a výpočet se tak výrazně zkrátil. Tento postup se opakoval u všech návrhových průtoků.

6.4 Nejistoty vstupních dat

U každého modelu musíme počítat s jistou mírou nejistot, které do modelu vstupují. V první řadě se může jednat o nepřesnou geometrii toku, nesprávné odhadnutí velikostí výpočtové buňky ve výpočtové síti, hydrologické údaje a mimo jiné také nesprávné zvolení součinitele drsnosti.

Velikost buňky ve výpočtové síti

Je patrné, že čím menší velikost elementu ve výpočtové síti zvolíme, tím podrobněji

jsme schopni zadat parametry náhradní oblasti (drsnost, morfologie). Nevýhodou ovšem je, čím menší velikost elementu, tím delší doba výpočtu. Proto byla v tomto případě zvolena u komunikací velikost (maximální plocha) elementu 15 m^2 a u ostatních povrchů maximální plocha elementu 36 m^2 .

Součinitel drsnosti a přesnost hydrologických údajů

Faktorem, který velmi výrazně ovlivňuje výsledky z numerického modelu, je volba součinitelů drsnosti. V první řadě byly součinitelé drsnosti dle Manninga, zvoleny podle běžných tabulkových hodnot dle. [34]

Nejistoty v hydraulických údajích závisí na třídě přesnosti dostupných podkladů. Informace o velikosti a průměrné době opakování kulminačních průtoků poskytuje Český hydrometeorologický ústav (ČHMÚ) v souladu s ČSN 75 1400 [37] ve formě N-letých průtoků [33].

6.5 Kalibrace modelu

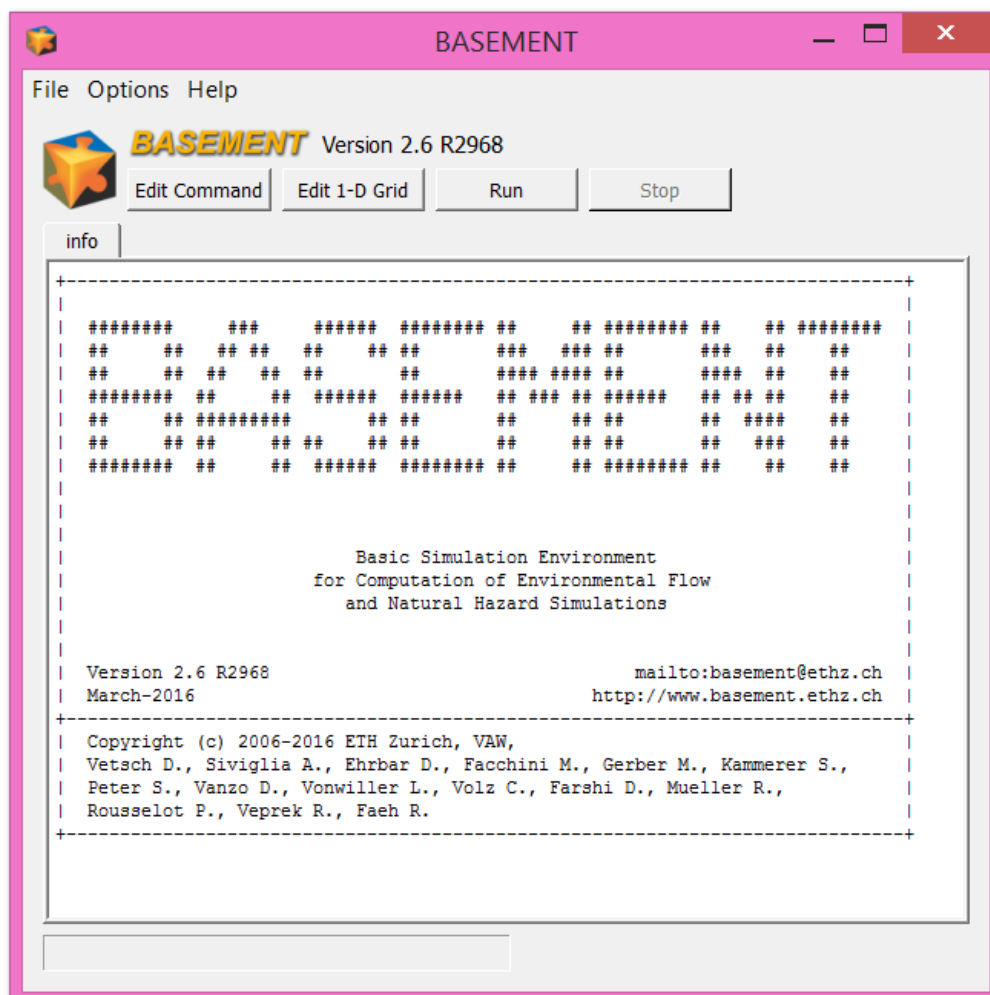
Kalibrací modelu se rozumí úprava vstupních parametrů takovým způsobem, aby zajišťoval shodu mezi modelovanými a měřenými výstupy na požadované úrovni (minimalizovat rozdíly). Kalibrace probíhá cílenou změnou vstupních parametrů modelu [29].

Klasická kalibrace modelu nebyla možná. Aby byla kalibrace provedena, musí být k dispozici např. povodňové značky, limigraf v blízkosti zájmového území či použito hydrometrování v dané oblasti. Drsnosti, které byly použity v modelu, byly brány z katalogu drsností [34].

7 POSTUP ŘEŠENÍ V PROGRAMU BASEMENT

Pro řešení výpočtů byl vybrán volně dostupný numerický simulační software Basement. Jedná se o program, který umožňuje numerické modelování proudění vody. [3] Tento numerický simulační software byl vyvinut v laboratoři hydrauliky, hydrologie a glaciologie (geologická věda zabývající se studiem ledovců) ve Švýcarském Zürichu.

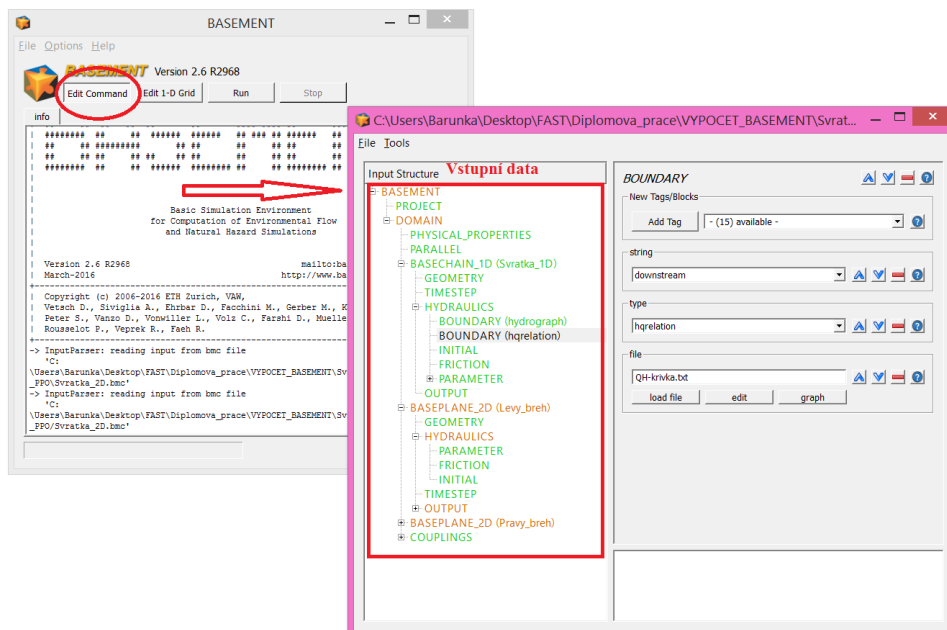
Tento program má k dispozici několik modulů, jeden z nich je nástroj BASEmesh, který byl použit v programu QGIS k vytvoření výpočtové sítě 2D – oblasti. K zobrazení výstupů z Basementu byl použit nástroj QGIS, konkrétně zásuvný modul Crayfish. Program Basement umožňuje v jednom modelu spřažení 1D a 2D oblasti. Každá oblast má nadefinované své okrajové a počáteční podmínky, hydrauliku i parametry.



Obr. 19 Základní prostředí programu Basement

Při spuštění programu Basement se nám zobrazí základní prostředí programu. V horní části okna nalezneme čtyři tlačítka s názvem „Edit Command“, „Edit 1-D Grid“, „Run“ a

tlačítko „Stop“.



Obr. 20 Uživatelské rozhraní Edit Command

V uživatelském rozhraní „Edit Command“ se vytvoří struktura „výpočtového stromu“. V levé části se nachází data, která vstupují do výpočtu. V pravé části nalézáme hlavní pohledové okno, které slouží k zadávání parametrů vstupujících dat. V dolním pravém rohu se nachází okno s ověřovacími zprávami. Vstupní data jsou rozděleny na 1D model a 2D model s levým a pravým břehem. Celý výpočet je nutné nadefinovat přidáváním „blocks“ a „tag“. Basement umožňuje spředení 1D a 2D modelu dohromady pomocí funkce „Couplings“. Postup při zadávání vstupních dat do modelu je stejný pro stávající i návrhový stav. Další postup bude demonstrován na modelu pro stávající stav – bez PPO.

Konečná struktura numerického modelu z Obr. 20:

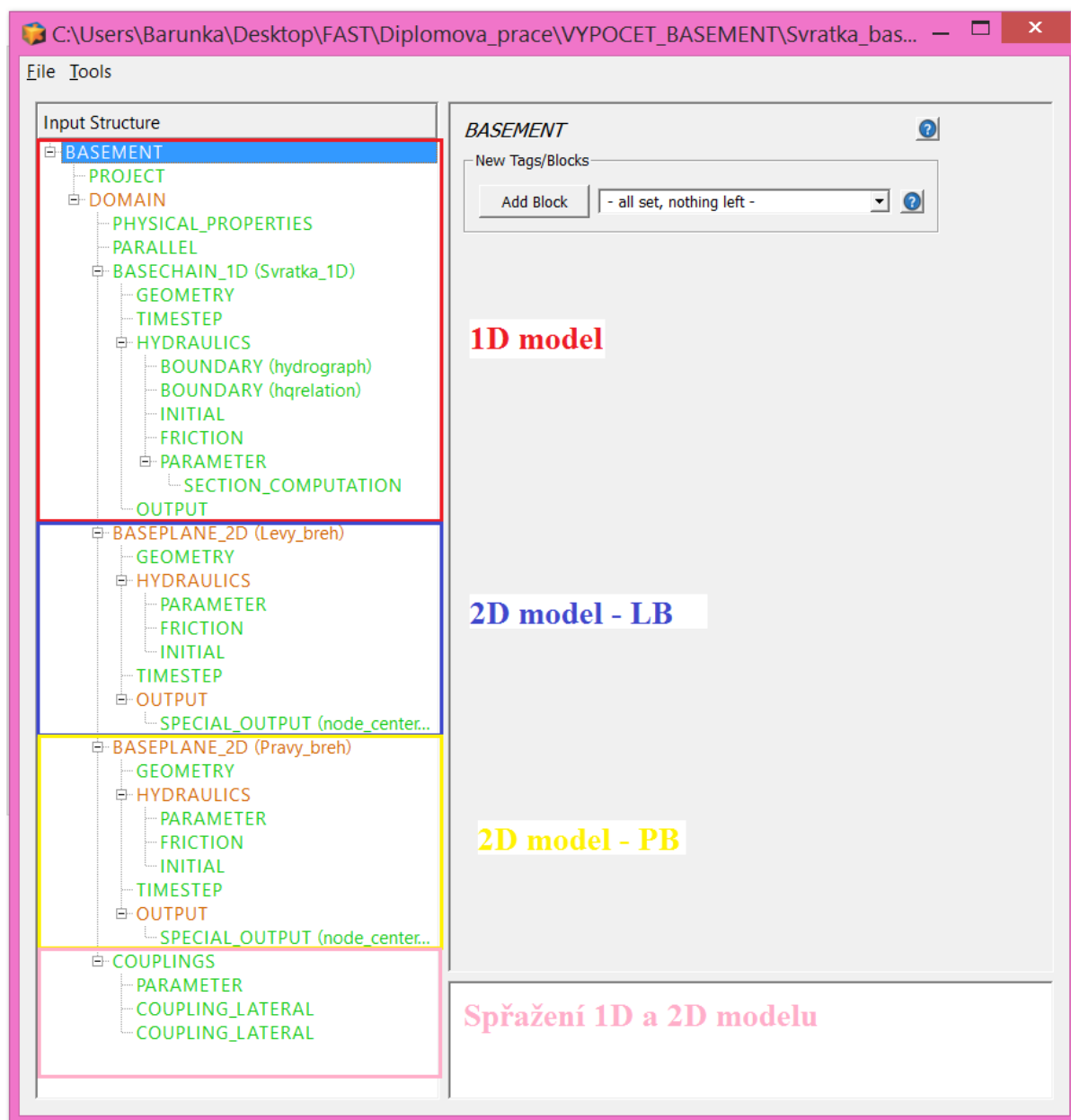
- **Project** – základní údaje o projektu, autor, datum,...
- **Domain**
 - *Physical properties* – fyzikální vlastnosti platné ve všech modelech (hodnota tíhového zrychlení, viskozita kapaliny, měrná hmotnost kapaliny)
 - *Basechain_1D (Svatka_1D)*
 - **Geometry** – název a označení příčných profilů

- Timestep (časový krok) – tento *block* představuje použití v určení parametrů vztahující se k času a časovému kroku pro simulaci, celkový čas simulace, ...
- Hydraulics – hydraulické vlastnosti simulace
 - *Boundary upstream (horní okrajová podmínka)*
hydrogram
 - *Boundary downstream (dolní okrajová podmínka)* – Q-H křivka – poloha hladiny v různých N-letých průtocích v posledním profilu zájmového území
 - *Initial (počáteční podmínky)* – suché koryto, navázání výpočtu z předešlé simulace
 - *Friction (drsnost)* – součinitel drsnosti pro koryto dle Manninga
- Output (výstup) – volba požadovaných výstupů, časový krok pro ukládání mezi výpočty
- *Baseplane_2D (Levý, pravý břeh)*
 - Geometry – typ souboru vygenerovaný v QGISu s příponou *.2dm
 - Hydraulics – hydraulické vlastnosti simulace
 - *Boundary* – okrajové podmínky zadány nebyly
 - *Initial (počáteční podmínky)* – suché koryto, navázání výpočtu z předešlé simulace
 - *Friction (drsnost)* – součinitel drsnosti pro koryto dle Manninga
 - Timestep (časový krok) – tento *block* představuje použití v určení parametrů vztahující se k času a časovému kroku pro simulaci, celkový čas simulace, ...
 - Output (výstup) – volba požadovaných výstupů, časový

krok pro ukládání mezi výpočtů,...

- *Couplings*

- Coupling lateral – *propojení 1D a 2D modelu*

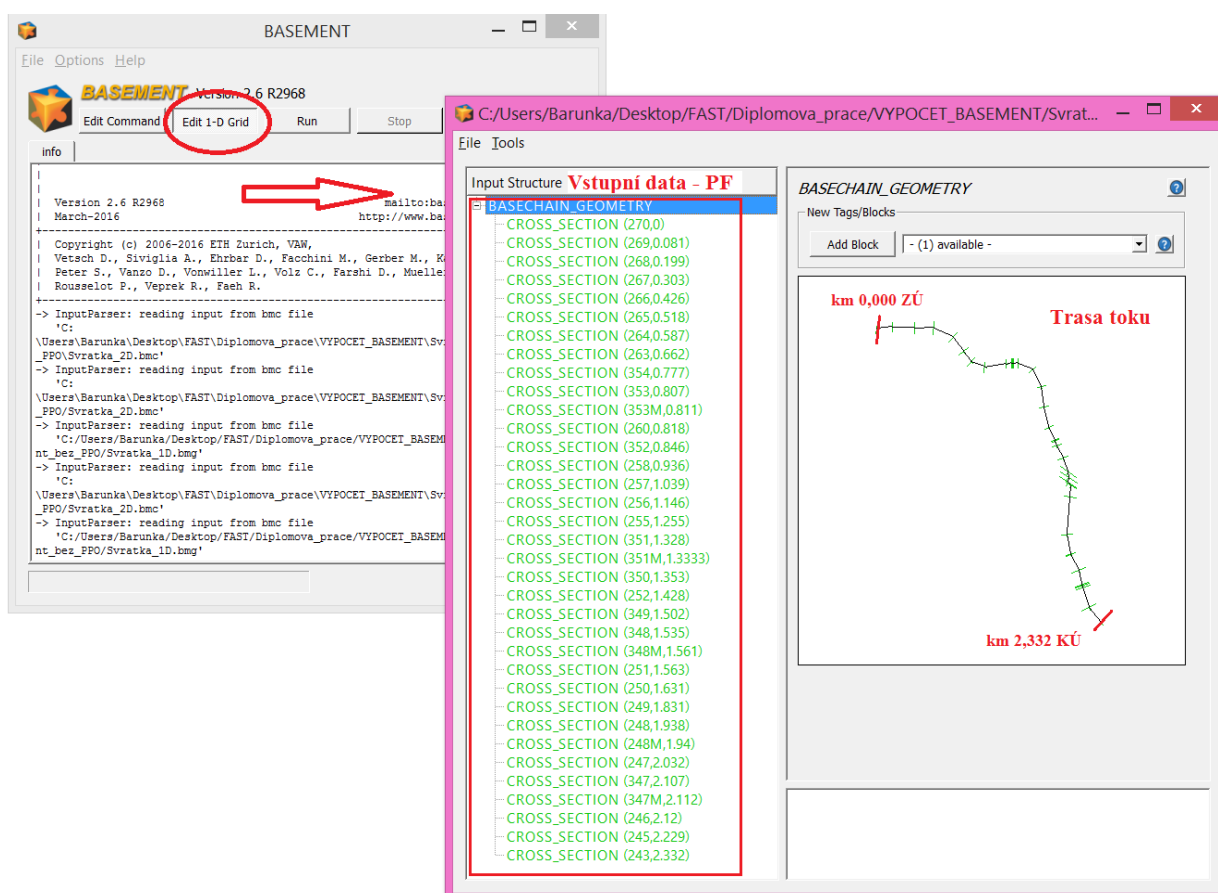


Obr. 21 Nadefinovaný numerický model

Před samotným spuštěním modelu bylo potřeba vložit do *blocku* geometrie v 1D modelu příčné profily ve formátu *.bmg a do 2D dva soubory, zvlášť pro levý a pravý břeh, vygenerovány z QGIS s příponou *.2dm.

7.1 1D model

U 1D modelu sloužily jako hlavní podklad příčné profily dle [5]. Tyto podklady byly dostupné ve formátu *.dxf. Obsahovaly mimo jiné i informace o objektech na toku, v tomto případě se jednalo o mosty a lávky. Cílem bylo vytvořit soubor ve formátu *.bmg nesoucí informace o názvu, geometrii, staničení, souřadnice levého břehu, apod.



Obr. 22 Uživatelské rozhraní Edit 1-D Grid

Celkem bylo v řešeném úseku zaměřeno 30 profilů. Do výpočtu bylo navíc přidáno pět profilů a to vždy těsně za objektem (most, lávka), z důvodu přesnějších průběhu hladin u těchto objektů. Tyto profily byly označeny jako již zaměřený profil a s přidáním M (např. PF 351M).

Soubor ve formátu *.bmg lze vytvořit přímo v prostředí programu Basement. Po otevření okna *Edit 1-D Grid*, se otevře uživatelské rozhraní, se stejnou strukturou jako v *Edit Command*. V levé části se nachází informace o příčných řezech (název profilu, staničení).

V pravé části nalézáme hlavní pohledové okno, které slouží k zadávání parametrů jednotlivých příčných profilů. V dolním pravém rohu se nachází okno s ověřovacími

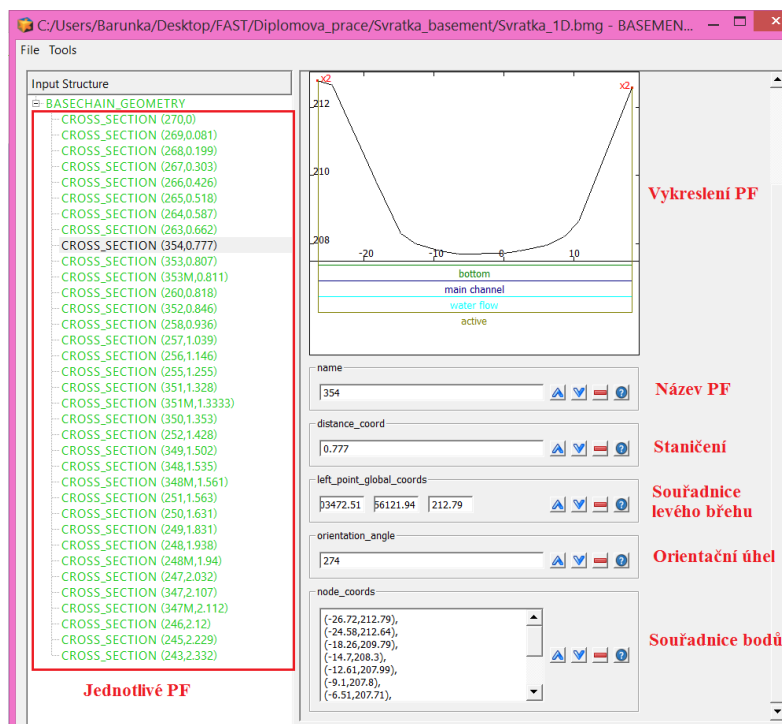
zprávami.

Geometrii příčných řezů bylo nutné nejdřív přepsat do Excelu. Poté se v Basement v záložce *Tools* (nástroje) otevřelo okno *Edit Raw* a příčné profily se nahrály. Po ověření, zda je vše v pořádku a po aplikování geometrie do modelu, se nám vytvořily informace o jednotlivých profilech. Tyto informace obsahovaly název profilu, staničení, souřadnice levého břehu (X,Y,Z), orientační úhel, který nám udával přesnou polohu a natočení v korytě toku a jednotlivé vzdálenosti od osy toku s nadmořskou výškou.

V tomto prostředí se zadávaly jednotlivé parametry (*tags*):

- Name – název příčného profilu
- Distance coord – vzdálenost profilu od počátku (prvního profilu)
- Left point coord – souřadnice levého břehu (X,Y,Z)
- Orientation angle – orientační úhel (určování proti směru hodinových ručiček od vodorovné osy, úhel 0 – 360°)
- Node coords – souřadnice bodů, které definují geometrii příčného profilu

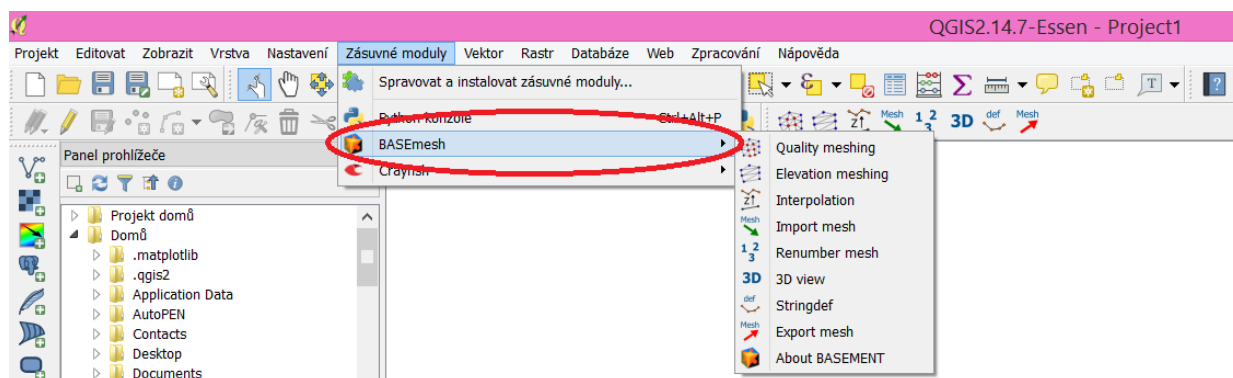
Po zadání všech údajů se vykreslila trasa toku s jednotlivými příčnými profilem (viz. Obr. 24)



Obr. 23 Uživatelské rozhraní Edit 1-D Grid se zadanými profilem

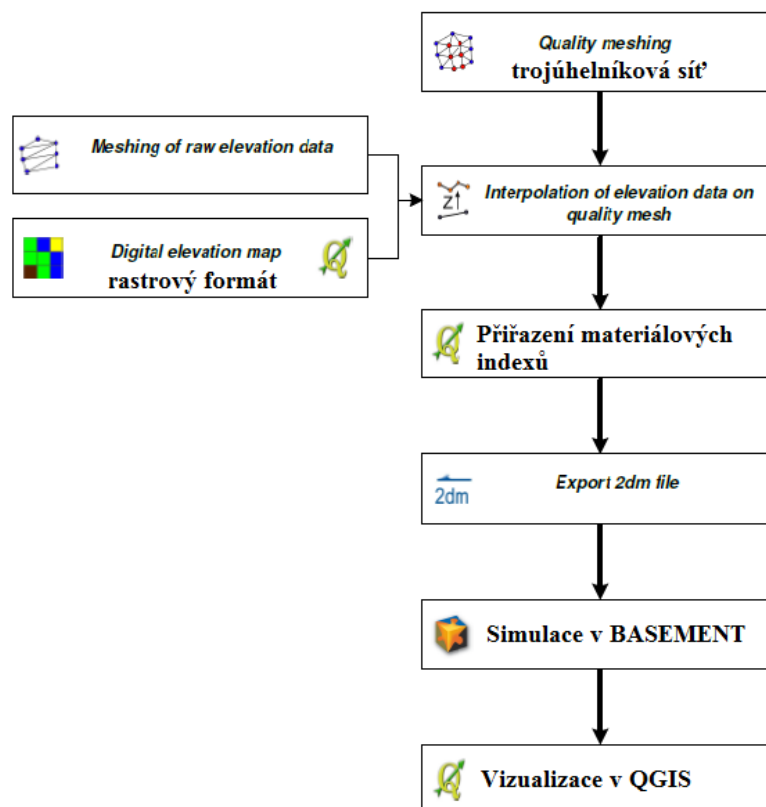
7.2 2D model

Cílem vytvoření 2D modelu byl soubor ve formátu *.2dm vytvořený pro levý a pravý břeh v programu QGIS s doinstalovaným nástrojem BASEmesh (viz. Obr. 24) nesoucí informaci o výškovém uspořádání jednotlivých uzlů a rozložení výpočtové sítě. Jako vstup pro morfologii 2D modelu byl využit digitální model reliéfu [6].



Obr. 24 QGIS s nainstalovaným modulem BASEmesh

Vytvoření výpočetní sítě (tzv. „mesh“) a následné vyexportování do Basement ve formátu *.2dm, vyžadovalo několik po sobě jdoucích základních kroků.



Obr. 25 Postup při vytvoření výpočtové sítě s BASEmesh [10]

Nejprve bylo potřeba nachystat si podklady vstupující do výpočtové sítě. Jednalo se především o nahrání příčných profilů ve formátu *.bmg, které byly vytvořeny v Basement. V tomto kroku bylo potřeba zkontrolovat, zda se profily nahrály správně a zda nedošlo při přenosu k chybě. Kontrola byla provedena vložení ortofotomapy [7] pod vrstvu profilů. Následovalo vymezení si polygonem 2D oblast pravého a levého břehu, která respektovala rozliv při největším kulminačním průtoku [26] s menší rezervou pro případné odchylky.

Další krok, který následoval, byl nakreslit pomocí funkce line tzv. „breaklines“ (hranice komunikací, budov, povrchů s různou drsností) a poté přiřazení bodů s typem hranice, každé této vrstvě.

Po těchto základních krocích následoval první krok při tvoření sítě a tou je tzv. *Quality meshing*. Tato funkce v sobě nezahrnovala informaci o výškovém uspořádání oblasti rozlivu. Při jeho tvorbě bylo cílem vytvořit kvalitní trojúhelníkovou síť. Jako vstupní hodnoty se zadávaly okrajové podmínky modelu, jednalo se o vytvořenou polygonovou vrstvu pravého a levého břehu). Dále hranice („breaklines“) s příslušnými body, ve kterých byla informace o vlastnostech jednotlivých hran. Maximální plocha každého elementu byla zvolena u komunikací 15 m^2 a u ostatních povrchů 36 m^2 . Materiálový index byl určen podle vlastností jednotlivých hran. Do 2D modelu vstupovaly celkem tři materiálové indexy, které vyjadřovaly odlišnou drsnost, která se poté zadávala přímo v programu Basement. Jako poslední vstupem pro správné vytvoření sítě bylo vymezení hranic budov, do těchto hranic se voda nerozlívá a síť proto tuto oblast vyřízne z vytvoření sítě.



Obr. 26 Vstup pro Quality mesh - breaklines



Obr. 27 Výstup z Quality mesh

Další postup byl přiřadit k jednotlivým uzlům a elementům nadmořskou výšku. Pomocí funkce *Interpolation* se vložila do programu informace o výškovém uspořádání. Jako podklad sloužila rastrová mapa digitálního modelu reliéfu [6].

Posledním krokem bylo vytvoření samotného souboru požadovaného formátu. Přes funkci *Export Mesh* bylo potřeba specifikovat, který sloupec v atributové tabulce ve vrstvě elementů určuje indexy drsnosti, a který výškové souřadnice.



Obr. 28 Import geometrie do Basement

7.3 Spřažení 1D a 2D modelu

Aby došlo ke spřažení 1D a 2D modelu bylo potřeba vytvořit propojovací soubor. Jednalo se o textový dokument s informacemi o názvu příčného profilu, poloze hrany (pokud se jednalo o levý břeh, přiřadila se hodnota 0, pokud o pravý, tak 1), čísla uzlů, které připadaly k jednotlivým profilům a souřadnice profilů. Cílem tohoto souboru bylo vytvoření propojení mezi 1D a 2D modelem a zadat modelu, v jaké části bude docházet k rozlivům a k jakému profilu má tuto hodnotu přiřadit. Úsek mezi profily se rozdělil přibližně napůl a ke každému profilu tak byly přiřazeny jednotlivé uzly.

Program Basement umožňuje tento soubor vygenerovat automaticky. Byla ale potřeba provést kontrolu, jelikož se jedná o velkou oblast a program nedokáže určit přesné hranice, které se mají připojovat a tak připojuje všechny nejbližší uzly, které jsou k dispozici.

#	Cross section name	dyke location	nodeID 1	nodeID 2	X1	Y1	X2	Y2 (automatically generated, coordinates are optional)
270	1	669	654	-604154.639641479	-1155965.528334	-604143.4226835	-1155959.2373165	
270	1	75	753	-604154.639641479	-1155965.528334	-604146.9120555	-1155967.3560865	
270	1	654	668	-604154.639641479	-1155965.528334	-604146.912755	-1155961.992771	
270	1	668	75	-604154.639641479	-1155965.528334	-604150.2346465	-1155963.9422765	
270	1	753	696	-604154.639641479	-1155965.528334	-604139.322126	-1155969.1765495	
270	1	2164	719	-604154.639641479	-1155965.528334	-604120.5606915	-1155961.2324565	
270	1	1071	669	-604154.639641479	-1155965.528334	-604138.337842	-1155956.9887225	
270	1	2061	74	-604154.639641479	-1155965.528334	-604124.1422675	-1155972.8174745	
270	1	719	1071	-604154.639641479	-1155965.528334	-604129.4492665	-1155959.1105895	
270	1	696	2061	-604154.639641479	-1155965.528334	-604131.7321965	-1155970.997012	
270	1	3010	2757	-604154.639641479	-1155965.528334	-604111.2940015	-1155976.374379	
270	1	74	3010	-604154.639641479	-1155965.528334	-604117.329536	-1155974.6099305	
269	1	2	4879	-604071.267234895	-1155949.62627158	-604076.1178145	-1155971.8417925	
269	1	3012	670	-604071.267234895	-1155949.62627158	-604102.7835405	-1155965.476191	
269	1	670	2164	-604071.267234895	-1155949.62627158	-604111.672116	-1155963.3543235	
269	1	3014	718	-604071.267234895	-1155949.62627158	-604099.222933	-1155979.903276	
269	1	2757	3014	-604071.267234895	-1155949.62627158	-604105.258467	-1155978.1388275	
269	1	4878	4877	-604071.267234895	-1155949.62627158	-604087.151865	-1155983.432173	
269	1	771	3012	-604071.267234895	-1155949.62627158	-604093.8949655	-1155967.5980585	
269	1	718	4878	-604071.267234895	-1155949.62627158	-604093.187399	-1155981.6677245	
269	1	4879	771	-604071.267234895	-1155949.62627158	-604085.00639	-1155969.7199255	
269	1	4883	73	-604071.267234895	-1155949.62627158	-604075.0807965	-1155986.96107	
269	1	4877	4883	-604071.267234895	-1155949.62627158	-604081.116331	-1155985.1966215	
269	1	4886	4890	-604071.267234895	-1155949.62627158	-604060.6866335	-1155974.2655955	
269	1	4887	5423	-604071.267234895	-1155949.62627158	-604053.2282415	-1155989.8388015	

Obr. 29 Propojovací soubor

7.4 Zobrazení výstupů

Výstupem z 1D modelu byl textový soubor obsahující informace o poloze hladiny v jednotlivých profilech. Tyto hodnoty se poté přenesly do podélného profilu a do vzorových příčných řezů. Průběhy hladin a rychlosti proudění byly vyexportovány ve formátu *.sol. Tento soubor se poté otevřel v programu QGIS s nainstalovaným modulem Crayfish, ze kterého se výstupy dále exportovaly do rastrové podoby.

8 VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ VÝPOČTŮ

Tato kapitola je zaměřena na vyhodnocení výsledků z výpočtů (viz kapitola 6. *Hydraulické výpočty*). Cílem diplomové práce bylo vypracovat dvě výpočtové varianty:

- Stávající stav – provést výpočet pro kulminační průtoky Q_5 , Q_{20} , Q_{100} , Q_{100} neovlivněný a posoudit stávající úroveň PPO
- Návrhový stav – výpočet provést na největší kulminační průtok, v tomto případě se jedná o Q_{100} neovlivněný s návrhem vhodných PPO a zabránit tak nežádoucím rozlivům v řešené oblasti

8.1 Stávající stav

Stávající stav byl posuzován na kulminační průtoky Q_5 , Q_{20} , Q_{100} , Q_{100} neovlivněný. V dalších bodech budou popsány výstupy z hydraulických výpočtů a jejich srovnání s poskytnutými daty.

8.1.1 Svratka km 47,001 – 47,810

Úsek začíná pod vodní nádrží Brno ve staničení km 47,810 a pokračuje až k lávce pro pěší do km 47,001. V této části dochází k menšímu rozlivu při průtoku Q_{20} na pravém břehu těsně pod hrází VD Brno. Při průtoku Q_{100} je zaplaveno území s ornou půdou na levém břehu. K výraznému zaplavení dochází až při Q_{100} neovlivněném, kdy rozliv částečně zasahuje na levém břehu do zástavby rodinných domů.

8.1.2 Svratka km 46,264 – 47,001

Tato oblast začíná ve staničení km 47,001 u lávky pro pěší a končí ve staničení km 46,264 u silničního mostu. Při průtoku Q_{100} dochází k výraznějšímu rozlivu převážně na pravém břehu u fotbalového hřiště v km 46,873 a v oblasti se zahrádkami. Levý břeh je při Q_{100} zaplaven pouze částečně a to v km 46,960. Při Q_{100} neovlivněném dochází k zaplavení pravého i levého břehu. Na pravém břehu jde o velkou část travnatých ploch, největší koncentrace vody je na již zmíněném fotbalovém hřišti. Na levém břehu jsou ohroženy zahrádky v km 46,963 a rodinné domy v oblasti u lávky pro pěší u zoologické zahrady.

8.1.3 Svratka km 45,477 – 46,264

Jedná se o spodní část řešeného území, od konce úseku na km 45,477 po silniční most Bystřec v km 46,264, který je hlavní spojkou mezi městskými částmi Brno – Bystřec a Brno – Komín. Při průtoku Q_{100} dochází v tomto úseku k výraznějšímu vybřežení vody z koryta a to na pravém břehu při ústí potoka Vrbovec na km 45,561. Při Q_{100} neovlivněném dochází na pravém břehu k zaplavení panelových domů a sportovního hřiště. Na levém břehu dojde k vybřežení z koryta již před silničním mostem, kde dochází k zaplavení parkoviště u obchodního centra a obchodního domu, voda zde pokračuje podél komunikace a do koryta se vlévá v dolní části úseku. K vybřežení z koryta dochází i za silničním mostem po směru toku na travnatou plochu, kde záplava končí na hranici s komunikací.

8.2 Návrhový stav – návrh PPO

Stav s PPO byl posouzen na návrhový kulminační průtok - Q_{100} neovlivněný. Jednalo se o objekty navržené na levém břehu. Pravý břeh zůstal pro modelování návrhového stavu stejný, pouze se zmenšila oblast rozlivu pro levý břeh. Na pravém břehu došlo při průtoku Q_{100} neovlivněném k rozlivu po celé délce území. Voda většinou zasáhla neobydlenou část, kromě oblasti hustěji osídlené a to ve staničení km 46,250, kde rozliv zasáhl i část zástavby.

Na levém břehu došlo k rozlivu do inundačního území po navrženou PPO. Opatření podle výpočtů splnilo svou funkci, jelikož se omezilo k záplavě přilehlých rodinných domů v části Brno – Kníničky.

9 ZÁVĚR

Předmětem diplomové práce bylo posouzení stávajícího stavu a následné zpracování návrhu protipovodňových opatření v lokalitách Komín a Kníničky na Svatce v km 45,4770 – 47,810. Součástí byla realizace hydraulických výpočtů proudění vody v toku a záplavovém území s využitím spřaženého 1D a 2D numerického modelu v programu Basement.

V první části práce byl posuzován současný stav území z hlediska povodňové ochrany. Byly provedeny hydraulické výpočty na průtoky Q_1 , Q_5 , Q_{20} , Q_{100} , Q_{100} neovlivněný. Výpočty numerickým modelem potvrdily rizikové oblasti v řešeném území dle [27]. Při porovnání mnou vypočtených hodnot s hodnotami převzatými z centrálního datového skladu [27] došlo k drobné odchylce u průtoku Q_{20} ve staničení 47,100. Mnou vypočtené hodnoty ukázaly, že v tomto staničení dochází k drobnému rozlivu na pravém břehu u lávky pro pěší.

Ve druhé části práce byla změněna geometrie některých příčných řezů vložení průtočných berem a tím došlo k většímu zkapacitnění toku v daném úseku. Dále byla navržena protipovodňová opatření na levém břehu. Pravý břeh zůstal beze změn. Navržená opatření byla rovněž ověřena hydraulickým výpočtem.

Vypracovala: Bc. Barbora Šťastová

10 SEZNAM PŘÍLOH

- A. Průvodní a technická zpráva
- B. Fotodokumentace
- C. Výkresová dokumentace
 - C.1. Celková situace stavby
 - C.1.1. Celková situace stavby – výřez A
 - C.1.2. Celková situace stavby – výřez B
 - C.2. Podrobný podélný profil Svratky – stávající stav
 - C.3. Podrobný podélný profil Svratky – návrhový stav
 - C.4. Vzorové příčné řezy PPO
 - C.4.1. Vzorové příčné řezy PPO
 - C.4.2. Vzorové příčné řezy PPO
 - C.5. Situace širších vztahů
- D. Výstupy z hydraulických výpočtů
 - D.1. Mapy hloubek
 - D.1.1. Mapa hloubek pro Q_5
 - D.1.2. Mapa hloubek pro Q_{20}
 - D.1.3. Mapa hloubek pro Q_{100}
 - D.1.4. Mapa hloubek pro Q_{100} - neovlivněný
 - D.1.5. Mapa hloubek pro Q_{100} – neovlivněný – návrhový stav
 - D.2. Mapy rychlostí
 - D.2.1. Mapa rychlostí pro Q_5
 - D.2.2. Mapa rychlostí pro Q_{20}
 - D.2.3. Mapa rychlostí pro Q_{100}
 - D.2.4. Mapa rychlostí pro Q_{100} - neovlivněný
 - D.2.5. Mapa rychlostí pro Q_{100} – neovlivněný – návrhový stav
 - D.3. Mapy rozlivů
 - D.3.1. Mapa rozlivů – stávající stav
 - D.3.2. Mapa rozlivů – návrhový stav

11 SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Geomorfologie řeky Svratky [17]	11
Tab. 2 Hodnoty N-letých průtoků dle [21]	14
Tab. 3 Limity pro stupně povodňové aktivity dle [21]	15
Tab. 4 Hodnoty N-letých průtoků [21]	16
Tab. 5 Limity pro stupně povodňové aktivity dle [21]	16
Tab. 6 Hodnoty N-letých průtoků pro profil pod VD Brno [4]	16
Tab. 7 Nejvyšší zaznamenané vodní stavy v měrném profilu Veverská Bítýška	17
Tab. 8 Nejvyšší zaznamenané vodní stavy v měrném profilu Brno - Poříčí	17
Tab. 9 Hodnoty drsností dle Manninga použité ve výpočtu	29
Tab. 10 Horní okrajová podmínka – Q100	30
Tab. 11 Dolní okrajová podmínka – Q – H křivka	30

12 SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Situace zájmového území [15]	9
Obr. 2 Oblast Povodí Dyje [16].....	10
Obr. 3 Detail povodí – řeka Svatka [16]	11
Obr. 4 Situace měrných profilů na Svatce [21].....	13
Obr. 5 Měrný profil Veverská Bitýška [21]	14
Obr. 6 Měrný profil Brno – Poříčí [21]	15
Obr. 7 Mapa povodňového ohrožení [27] Obr. 8 Mapa povodňového rizika [27]	18
Obr. 9 Situace záplavových území [26]	18
Obr. 10 Návrh PPO dle Generelu odvodnění města Brna [1]	19
Obr. 11 Sestavení hydraulického výpočtu [29]	22
Obr. 12 Propojení mezi 1D a 2D modelem [10]	23
Obr. 13 Řešená oblast – stávající stav [14] Obr. 14 Řešená oblast – návrhový stav [14] ...	24
Obr. 16 Rozložení drsnosti v modelu – stávající stav	29
Obr. 17 Horní okrajová podmínka Q100 v km 47,810.....	30
Obr. 18 Okrajové podmínky- stávající stav Obr. 19 Okrajové podmínky-návrhový stav	31
Obr. 20 Základní prostředí programu Basement	33
Obr. 21 Uživatelské rozhraní Edit Command	34
Obr. 22 Nadefinovaný numerický model	36
Obr. 23 Uživatelské rozhraní Edit 1-D Grid	37
Obr. 24 Uživatelské rozhraní Edit 1-D Grid se zadanými profily	38
Obr. 25 QGIS s nainstalovaným modulem BASEmesh	39
Obr. 26 Postup při vytvoření výpočtové sítě s BASEmesh [10]	39
Obr. 27 Vstup pro Quality mesh - breaklines.....	40
Obr. 28 Výstup z Quality mesh	41
Obr. 29 Import geometrie do Basement	41
Obr. 30 Propojovací soubor.....	42