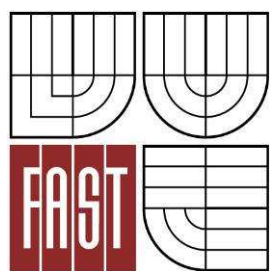




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ

ÚSTAV VODNÍCH STAVEB

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF WATER STRUCTURES

ANALÝZA PROUDĚNÍ POVODŇOVÝCH PRŮTOKŮ NA VYBRANÉ LOKALITĚ TOKU

FLOW ANALYSIS OF FLOOD DISCHARGE AT THE SELECTED LOCATION

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

MAREK JUDAS

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. DAVID DUCHAN, Ph.D.

BRNO 2016



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	B3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu	Bakalářský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3647R015 Vodní hospodářství a vodní stavby
Pracoviště	Ústav vodních staveb

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student	Marek Judas
Název	Analýza proudění povodňových průtoků na vybrané lokalitě toku
Vedoucí bakalářské práce	Ing. David Duchan, Ph.D.
Datum zadání bakalářské práce	30. 11. 2015
Datum odevzdání bakalářské práce	27. 5. 2016
V Brně dne 30. 11. 2015	

.....
prof. Ing. Jan Šulc, CSc.
Vedoucí ústavu

.....
prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc.,
MBA
Děkan Fakulty stavební VUT

Podklady a literatura

ES 2007. Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2007/60/ES ze dne 23. října o vyhodnocování a zvládnání povodňových rizik.

MŽP ČR 2009. Metodika tvorby map povodňového nebezpečí a povodňových rizik. VÚV T.G. Masaryka v.v.i, Brno. Ministerstvo životního prostředí ČR, Praha.

Zákon 254/2001 Sb. o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon).

Ven Te Chow, Open-Channel Hydraulics, 1959

Zásady pro vypracování

V rámci vybraného úseku toku bude provedena simulace povodňových průtoků. Na základě hydraulických výsledků bude provedeno zhodnocení povodňové situace s ohledem na možné úpravy toku a možnou stavbu protipovodňových ochranných opatření.

Požadované výstupy:

- 1) Technická zpráva
- 2) Mapové výstupy

Struktura bakalářské/diplomové práce

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část VŠKP zpracovaná podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchování vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchování vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (povinná součást VŠKP).
2. Přílohy textové části VŠKP zpracované podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchování vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchování vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (nepovinná součást VŠKP v případě, že přílohy nejsou součástí textové části VŠKP, ale textovou část doplňují).
- 3.

.....

Ing. David Duchan, Ph.D.

Vedoucí bakalářské práce

Abstrakt

Bakalářská práce se zaměřuje na analýzu proudění vody na řece Bečvě v ř. km 11,490 po ř. km 18,053. Analýza proudění vody byla provedena v programu HEC-RAS 5.0. Výpočet byl proveden pro průtoky Q5, Q20 a Q100. Tyto průtoky byly vypočteny pro variantu 1D proudění a současně kombinaci 1D+2D proudění. Na základě hloubek vody a rozlivů byl pro zájmovou oblast proveden ideový návrh protipovodňové ochrany. Na závěr byly porovnány a zhodnoceny hloubky vody a rozlivy pro varianty výpočtu 1D a 1D+2D proudění povrchové vody.

Klíčová slova

Analýza proudění vody
HEC-RAS 5.0
1D proudění vody
Kombinace 1D a 2D proudění vody
Rozliv vody
Protipovodňová ochrana

Abstract

The bachelor thesis deals with analysis water flow at river Bečva from river station km 11,490 to river station km 18,053. Hydraulic analysis was done in program HEC-RAS 5.0. The calculation was performed for the flow of Q5, Q20 and Q100. These flows were calculated with 1D flow simulation and with combination of 1D and 2D flow simulation. In the area of interest was made conceptual design of flood protection based on computed depths of water and the flood areas. Depths of water and flood areas from calculation variants 1D and combination of 1D and 2D flow were compared.

Keywords

Analysis water flow
HEC-RAS 5.0
1D water flow
Combined 1D and 2D water flow
Flood Areas
Flood protection

Bibliografická citace VŠKP

Marek Judas *Analýza proudění povodňových průtoků na vybrané lokalitě toku*. Brno, 2016. 55 s., 92 s. příl. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodních staveb. Vedoucí práce Ing. David Duchan, Ph.D.

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 27.5.2016

.....
podpis autora
Marek Judas

PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY VŠKP

Prohlášení:

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

V Brně dne 27.5.2016

.....
podpis autora
Marek Judas



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
FAKULTA STAVEBNÍ

POPISNÝ SOUBOR ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Vedoucí práce Ing. David Duchan, Ph.D.

Autor práce Marek Judas

Škola Vysoké učení technické v Brně

Fakulta Stavební

Ústav Ústav vodních staveb

Studijní obor 3647R015 Vodní hospodářství a vodní stavby

Studijní program B3607 Stavební inženýrství

Název práce Analýza proudění povodňových průtoků na vybrané lokalitě toku

Název práce v anglickém jazyce Flow analysis of flood discharge at the selected location

Typ práce Bakalářská práce

Přidělovaný titul Bc.

Jazyk práce Čeština

Datový formát elektronické verze

Anotace práce Bakalářská práce se zaměřuje na analýzu proudění vody na řece Bečvě v ř. km 11,490 po ř. km 18,053. Analýza proudění vody byla provedena v programu HEC-RAS 5.0. Výpočet byl proveden pro průtoky Q5, Q20 a Q100. Tyto průtoky byly vypočteny pro variantu 1D proudění a současně kombinaci 1D+2D proudění. Na základě hloubek vody a rozlivů byl pro zájmovou oblast proveden ideový návrh protipovodňové ochrany. Na závěr byly porovnány a zhodnoceny hloubky vody a rozlivy pro varianty výpočtu 1D a 1D+2D proudění povrchové vody.

Anotace práce v anglickém jazyce The bachelor thesis deals with analysis water flow at river Bečva from river station km 11,490 to river station km 18,053. Hydraulic analysis was done in program HEC-RAS 5.0. The calculation was performed for the

flow of Q5, Q20 and Q100. These flows were calculated with 1D flow simulation and with combination of 1D and 2D flow simulation. In the area of interest was made conceptual design of flood protection based on computed depths of water and the flood areas. Depths of water and flood areas from calculation variants 1D and combination of 1D and 2D flow were compared.

Klíčová slova Analýza proudění vody
HEC-RAS 5.0
1D proudění vody
Kombinace 1D a 2D proudění vody
Rozliv vody
Protipovodňová ochrana

**Klíčová slova v
anglickém jazyce** Analysis water flow
HEC-RAS 5.0
1D water flow
Combined 1D and 2D water flow
Flood Areas
Flood protection

Poděkování:

Tímto bych chtěl poděkovat vedoucímu bakalářské práce Ing. Davidu Duchanovi Ph.D. za ochotu, čas, a věcné odborné rady, které mi dopomohli při zpracování této bakalářské práce

OBSAH

1	ÚVOD	3
2	CÍLE	4
3	TEORIE PROUDĚNÍ VODY V OTEVŘENÝCH KORYTECH	5
3.1	Ustálené proudění vody v otevřených korytech	5
3.1.1	Ustálené rovnoměrné proudění vody o volné hladině.....	5
3.1.2	Ustálené nerovnoměrné proudění vody o volné hladině.....	7
3.2	Neustálené proudění vody v otevřených korytech	9
4	POPIS ŠIRŠÍCH VZTAHŮ	12
4.1	klimatické poměry	12
4.2	Geologické a geomorfologické poměry	12
4.3	hydrogeologické poměry	13
4.4	popis řeky běčvy	13
4.5	Hydrologická data	14
4.6	Popis zájmového území	14
4.6.1	Popis koryta v předmětném úseku	15
4.6.2	popis Širšího území v předmětném úseku	16
4.6.3	Objekty na toku	16
5	ŘEŠENÍ PRÁCE	17
5.1	Použité programy	17
5.1.1	QGIS.....	17
5.1.2	AutoCAD Civil 3D	17
5.1.3	Atlas DMT	17
5.1.4	HEC-RAS 5.0	17
5.2	Vstupní data	20
5.2.1	Zaměřené příčné profily toku	20
5.2.2	Digitální model reliéfu 4 generace DMR 4G	20
5.2.3	Hydrologická data.....	21
5.2.4	Vodohospodářská data (Dibavod)	21
5.2.5	WMS (Web Map Service)	21
5.3	Postup práce	21
6	HYDROTECHNICKÉ VÝPOČTY	38
6.1	Stanovení součinitele drsnosti	38
6.2	Nastavení okrajových podmínek	38
6.3	porovnání 1D a 1D+2D verze výpočtu	39

6.4	Kapacita koryta.....	43
6.5	Ideový návrh PPO	44
7	ZÁVĚR.....	46
7.1	Zhodnocení výsledků výpočtů 1D a 1D+2D proudění	46
7.2	Zhodnocení rastro hloubek a rychlostí vody.....	48
7.3	Srovnání 1D a 1D+2D výpočtů	49
7.4	Zhodnocení návrhu PPO	49
7.5	Další směry práce	49
8	POUŽITÁ LITERATURA	50

1 ÚVOD

Řešená lokalita se nachází v obci Přerov, kde v minulých letech docházelo k rozvodňování řeky Bečvy. Povodně v Přerově ohrožují kulturní dědictví tohoto města, průmysl a také životy. V letech 1997, 2006 a 2010 povodně napáchaly četné škody na majetku i životech.

V průmyslové a obydlené části města velká voda napáchala stamilionové škody, proto je v současné době zpracováno značné množství studií protipovodňové ochrany města Přerova a okolí. Již delší dobu je vypracována studie na zbudování poldru v Teplicích nad Bečvou a nově je uvažováno o vybudování vodní nádrže Skalička. Tato řešení jsou však prozatím v nedohlednu, proto je potřeba zajistit lokální protipovodňovou ochranu zkapacitněním koryta, nebo zbudováním ochranných bariér.

2 CÍLE

Cílem bakalářské práce je zhodnocení kapacity koryta na řece Bečvě v Přerově. Na původním korytě bude posouzena kapacita koryta a určeny rozlivy ve zvoleném úseku toku. Koryto se bude posuzovat na průtoky Q_5 , Q_{20} a Q_{100} . Pro modelování terénu a vytvoření mapových výstupů byl použit program QGIS. Pro výstup příčných řezů a podélného profilu byl použitý program Atlas LTD. Pro výpočet povrchové vody byl použit program HEC-RAS 5.0.

Na základě hydraulických výpočtů bylo navrženo ideové protipovodňové opatření v dané lokalitě. Jelikož se jedná především o intravilán města, kde jsou významné kulturní památky a hustě osídlené části města, bude návrh protipovodňového opatření proveden na Q_{100} .

Cíle práce:

- Stanovení kapacity koryta.
- Určení rozlivů a vypracování map rozlivů.
- Ideový návrh protipovodňové ochrany na Q_{100} .
- Vypracování výstupů v podobě tabulek, výkresů, map hloubek a rychlostí.

3 TEORIE PROUDĚNÍ VODY V OTEVŘENÝCH KORYTECH

Při výpočtu proudění otevřenými koryty se setkáváme s různými typy proudění. Proudění se dělí několika způsoby. Základní možností dělení proudění je na ustálené a neustálené, které se dále dělí ustálené rovnoměrné a ustálené nerovnoměrné.

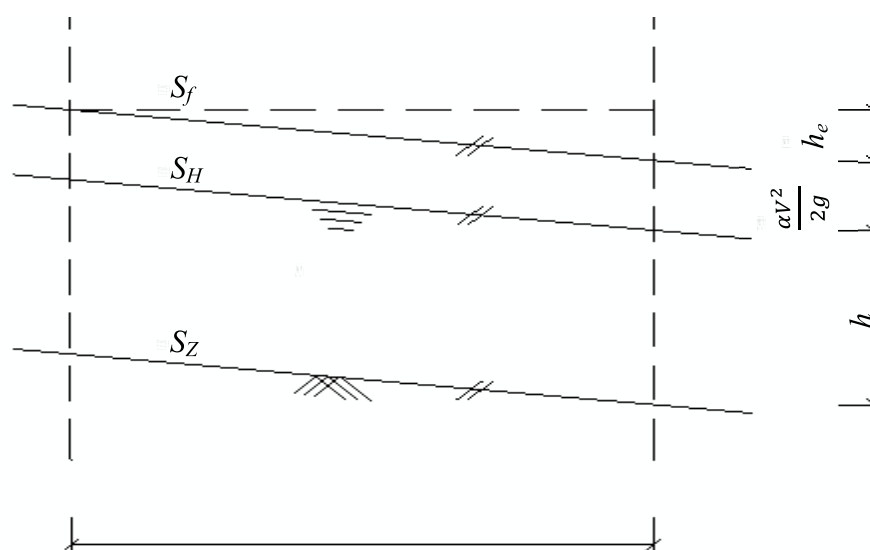
Další možností režimu proudění je dělení na proudění říční, kritické a bystrinné.

3.1 USTÁLENÉ PROUDĚNÍ VODY V OTEVŘENÝCH KORYTECH

Ustálené proudění v otevřených korytech rozlišujeme na ustálené rovnoměrné proudění a ustálené nerovnoměrné proudění. V ustáleném rovnoměrném proudění jsou všechny hydraulické charakteristiky (průtok, průřezová rychlost a průtočná plocha) konstantní jak v čase, tak i po délce, zatímco v ustáleném nerovnoměrném proudění je konstantní v čase i po délce jen průtok a ostatní charakteristiky (rychlost a průtočná plocha) jsou v čase konstantní a po délce proměnné.

3.1.1 USTÁLENÉ ROVNOMĚRNÉ PROUDĚNÍ VODY O VOLNÉ HLADINĚ

Je to režim proudění, který má všechny hydraulické charakteristiky (průtok, průřezová rychlost a průtočná plocha) konstantní jak v čase, tak i po délce. V přírodě se s tímto režimem proudění prakticky nelze setkat. Prakticky je můžeme nalézt jen v dostatečně dlouhých prizmatických kanálech s neměnnou drsností materiálu, s neměnným sklonem dna a s neměnným tvarem profilu po celé délce koryta. Pokud jsou všechny podmínky splněny, platí, že podélný sklon koryta S_Z , sklon hladiny S_H a sklon čáry energie S_f jsou stejné (Obr. 3.1).



Obr. 3.1 Schéma pro výpočet ustáleného rovnoměrného proudění

3.1.1.1 VÝPOČET USTÁLENÉHO ROVNOMĚRNÉHO PROUDĚNÍ

Výpočet průtoku v korytě pomocí rovnice spojitosti

$$Q = V * A \quad (3.1)$$

kde A je průtočná plocha [m^2], V je průřezová rychlost [m/s].

Výpočet průřezové rychlosti se stanoví z Chézyho rovnice

$$V = C * \sqrt{R * S_f}, \quad (3.2)$$

kde C je rychlostní součinitel [$m^{0.5}/s$], R je hydraulický poloměr [m], S_f je sklon čáry energie

Výpočet hydraulického poloměru

$$R = \frac{A}{P}, \quad (3.3)$$

kde A je průtočný průřez [m^2], P je omočený obvod [m], který je počítán jen na styku s pevnými stěnami a dnem.

Rychlostní součinitel C není konstantní. Závisí na tvaru průtočného průřezu A , drsnosti stěn a výjimečně i na sklonu. Pro rychlostní součinitele bylo určeno mnoho vztahů, které jsou většinou empirické. Vztahy byly určeny na měřeních jak v přírodě, tak na modelech. Nejčastěji jsou však používány vztahy podle Pavlovského a Manninga.

Vztah dle Pavlovského

$$C = \frac{1}{n} * R^y, \quad y = 2,5 * \sqrt{n} - 0,13 - 0,75 * \sqrt{R} * (\sqrt{n} - 0,1), \quad (3.4)$$

kde R je hydraulický poloměr [m], n je drsnostní součinitel.

Vztah dle Manninga je modifikace Pavlovského, kde exponent je roven $y=1/6$. Tento exponent je střední hodnota exponentů vypočítaných dle Pavlovského, které moc nekolísají.

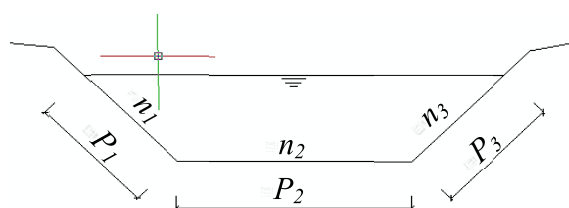
$$C = \frac{1}{n} * R^{1/6}, \quad (3.5)$$

kde R je hydraulický poloměr [m], n je drsnostní součinitel.

Výpočet drsnosti při omočeném obvodu složeným z více částí z různých drsností (Obr. 3.2) lze vypočítat nejčastěji váženým průměrem.

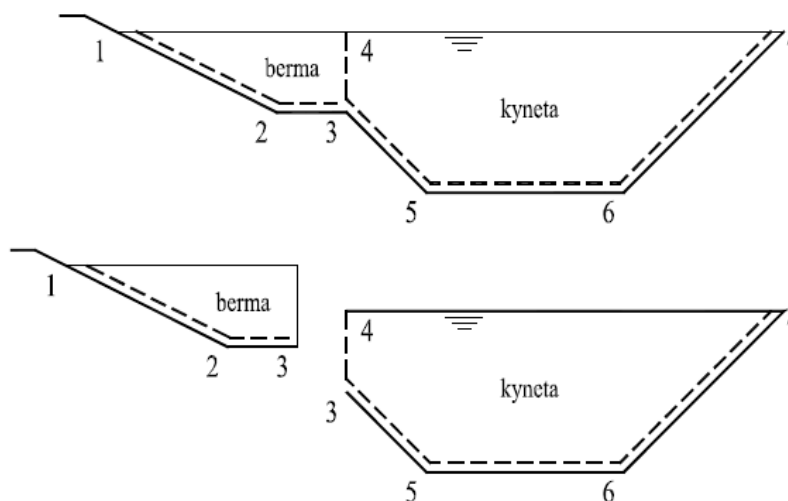
$$n = \frac{\sum_{i=1}^k n_i * P_i}{\sum_{i=1}^k P_i} = \frac{n_1 * P_1 + n_2 * P_2 + n_3 * P_3}{P_1 + P_2 + P_3}, \quad (3.6)$$

kde n_i je drsnostní součinitel na jednotlivé části omočeného obvodu, P_i je část omočeného obvodu.



Obr. 3.2 Schéma profilu o různých drsnostech

V upravených i přírodních tocích se objevují profily, které mají části hlubší a mělčí (Obr. 3.3). V těchto částech protéká voda různými rychlostmi, a proto při výpočtu dělíme koryto na více částí. Hlubší část je kyneta a mělčí části jsou bermy.



Obr. 3.3 Schéma rozložení složeného průtočného profilu

Průtoky v těchto částech počítáme samostatně a tím dostaneme přesnější výpočty. Výsledný průtok dostaneme sečtením průtoku v kynetě a v bermách.

$$Q = Q_{kyneta} + Q_{bermy} \quad (3.7)$$

Na hranicích těchto částí vznikají víry se svislou osou v důsledku značného rozdílu v rychlostech v jednotlivých částech. Popsaný jev brzdí pohyb vody v kynetě vlivem pomalejší rychlosti vody v bermě, proto počítáme délku hraniční svislice 34 jen do omezeného obvodu kynety. [1]

$$Q_{kyneta} = 43567, Q_{berma} = 123 \quad (3.8)$$

3.1.2 USTÁLENÉ NEROVNOMĚRNÉ PROUDĚNÍ VODY O VOLNÉ HLADINĚ

Vyskytuje se v přírodních, nebo upravených korytech, jejichž průtočný profil a sklonové poměry se mění po délce toku. Proudění ustálené nerovnoměrné je režim proudění, kdy průtok je v čase neměnný, proto i hydraulické charakteristiky jsou nezávislé na čase, ale v prostoru se mění. Dochází zde ke ztrátám energie, a to ke ztrátám třením a ztrátám místním. Ztráty třením vznikají v důsledku tření vody o stěny, nebo vnitřního tření mezi jednotlivými proudovými vlákny. Ztráty místní jsou příčinou změn průtočných průřezů.

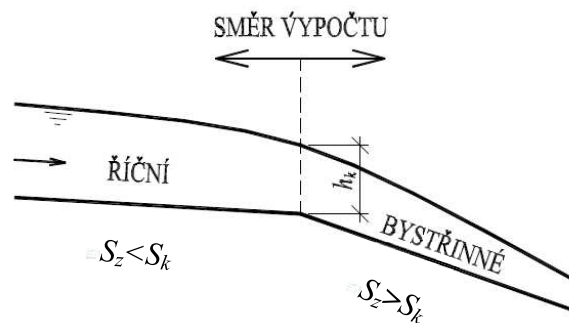
Jestliže se do pohybu vody dostane překážka, nebo se koryto zúží, hladina vody vytvoří v podélném profilu křivku vzduť, což znamená, že sklon hladiny vody je menší než sklon dna. Zde se rychlost ve směru pohybu vody zmenšuje. Naopak jestliže je sklon hladiny větší, než sklon dna hovoříme o křivce snížení. Tento jev nastane při náhlém zvětšení

podélného sklonu koryta. Zde je zapotřebí vynaložit energii na překonání odporů a na zrychlení vody.

Pro výpočet ustáleného nerovnoměrného proudění se používají dvě základní metody, a to metoda „po úsecích“ a metoda „přímou integrací“.

Při výpočtu ustáleného nerovnoměrného proudění se postupuje následovně (Obr. 3.4):

- Při říčním proudění postupujeme ze zadané hloubky v dolním profilu směrem proti proudu
- Při bystrinném proudění postupujeme ze zadané hloubky v horním profilu směrem po proudu [2]



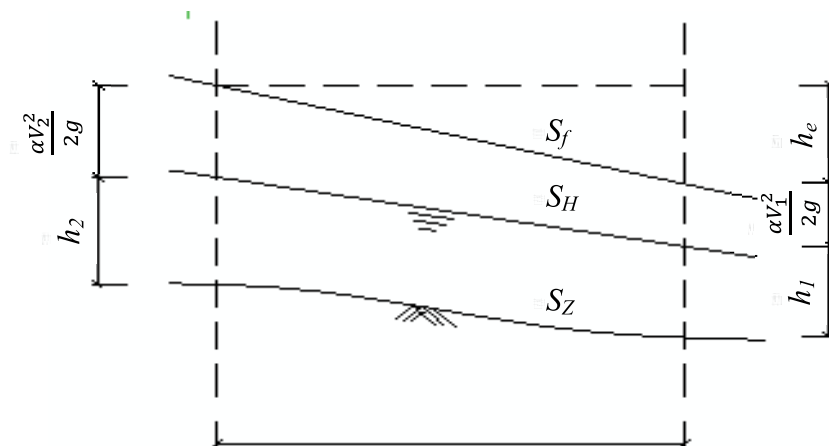
Obr. 3.4 Směr výpočtu při řešení nerovnoměrného proudění metodou po úsecích

Rovnice pro výpočet ustáleného nerovnoměrného proudění

Vodní hladina je počítána řešením energetické rovnice vycházející z Bernoulliho rovnice (Obr. 3.5). Výpočet je řešen metodou po úsecích. [3]

$$Z_2 + h_2 + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} = Z_1 + h_1 + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} + h_e \quad (3.9)$$

kde Z_1 a Z_2 jsou nadmořské výšky dna koryta, h_1 a h_2 jsou hloubky vody, V_1 a V_2 jsou průřezové rychlosti, α Coriolisovo číslo, g je gravitační zrychlení a h_e je energetická ztráta.



Obr. 3.5 Schéma pro výpočet ustáleného nerovnoměrného proudění

Energetické ztráty jsou složením dvou složek, a to ztráty po délce a ztráty místní. Ztráty po délce jsou dány třením vody a ztráty místní jsou způsobeny především tvarovými rozdíly příčných profilů.

$$h_e = LS_f + \xi \left| \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} - \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} \right| \quad (3.10)$$

kde L je délka dílčího úseku, S_f je sklon čáry energie, ξ je koeficient místní ztráty.

Tam, kde je koryto rozděleno na více povrchů s rozdílnými součiniteli drsnosti, program HEC-RAS 5.0 počítá dvěma různými způsoby. Program rozhoduje, zdali může být koryto rozděleno do více sekcí dle rozdělení součinitelů drsnosti, nebo jestli bude využito složeného součinitele drsnosti n_c . Výběr druhu výpočtu závisí na poměru výšky ku délce dvou vedlejších uzlů s různými součiniteli drsnosti. Jestliže je spojnice těchto uzlů strmější než 5:1, pak je výpočet proveden se složeným součinitelem drsnosti n_c . V opačném případě se koryto rozděluje do více sekcí.

Výpočet složeného součinitele drsnosti:

$$n_c = \left[\frac{\sum_{i=1}^N (P_i n_i^{1,5})}{P} \right] \quad (3.11)$$

kde N je počet sekcí, P je omočený obvod celé řešené části, P_i je omočený obvod příslušné sekce, n_i je součinitel drsnosti příslušné sekce.

3.2 NEUSTÁLENÉ PROUDĚNÍ VODY V OTEVŘENÝCH KORYTECH

O neustáleném proudění vody mluvíme v případě, kdy žádná z hydraulických charakteristik není konstantní, takže se mění jak rychlost a tvar koryta, tak průtok v čase. V přírodě se setkáváme prakticky jen s tímto typem proudění. Mnohdy však je možno pro kratší časový úsek uvažovat s prouděním ustáleným nerovnoměrným.

Rovnice pro výpočet 1D neustáleného proudění

Výpočet proudění vody v korytech vychází ze dvou základních fyzikálních jevů. Prvním je zákon o zachování hmoty, ze kterého vychází rovnice kontinuity.

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} - q = 0 \quad (3.12)$$

kde Q je průtok, A je průtočná plocha, t je čas, x je vzdálenost a q zdroj proudění za jednotku času.

Druhým zákonem je zákon o zachování hybnosti, ze které vychází pohybová rovnice.

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial QV}{\partial x} + gA \left(\frac{\partial H}{\partial x} + S_f \right) = 0 \quad (3.13)$$

kde Q je průtok, A je průtočná plocha, V průřezová rychlost, t je čas, x je vzdálenost, S_f sklon čáry energie a $\partial H/\partial x$ je sklon vodní hladiny.

Výpočet 2D proudění

Výpočet 2D proudění vychází z Navier-Stokesových rovnic, které popisují pohyb tekutin ve 3 dimenzích. Předpokladem pro výpočet 2D proudění je zanedbání pohybu tekutiny ve směru Z , kdy vznikají takzvané „rovnice mělké vody“. Tyto rovnice vzniknou za předpokladu velmi malých vertikálních rychlostí oproti rychlostem horizontálních, tudíž vertikální rychlosti mohou být bezpečně zanedbány. Dalšími předpoklady pro modelování 2D proudění jsou:

- nestlačitelná tekutina,
- izotermický děj.

Rovnice kontinuity pro 2D proudění:

$$\frac{\partial H}{\partial t} + \frac{\partial(hu)}{\partial x} + \frac{\partial(hv)}{\partial y} + q = 0 \quad (3.14)$$

kde t je čas, u a v je rychlost v daném horizontálním směru, h je hloubka vody, H nadmořská výška hladiny vody, x a y je vzdálenost v daném směru a q je zdroj proudění.

Pohybové rovnice:

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = -g \frac{\partial(H)}{\partial x} + v_t \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) - c_f u + \alpha v \quad (3.15)$$

a

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} = -g \frac{\partial(H)}{\partial y} + v_t \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) - c_f v + \alpha u \quad (3.16)$$

kde t je čas, u a v je rychlost v daném horizontálním směru, H nadmořská výška hladiny vody, x a y je vzdálenost v daném směru, v_t koeficient turbulentní viskozity, c_f je koeficient tření o dno, α je Coriolisovo číslo a g je gravitační zrychlení.

Výpočet koeficientu tření o dno C_f :

$$c_f = \frac{n^2 g}{R^{4/3}} |V| \quad (3.17)$$

kde n je Manningův součinitel drsnosti, g je gravitační zrychlení, R je hydraulický poloměr a $|V|$ je velikost vektoru rychlosti.

Pro výpočet 2D proudění je důležité určit typ výpočtu turbulentního proudění. Turbulentní pohyb je komplex chaotických pohybů kapaliny a vodních vírů. V tomto případě je turbulentní proudění v rámci 2D výpočtu modelováno jako gradient difúzních procesů. Program HEC-RAS 5.0 počítá stupeň difúze (rozptýlení) pomocí koeficientu turbulentní viskozity v_t .

$$v_t = Dhu_* \quad (3.18)$$

kde D je bezrozměrná empirická konstanta, h je hloubka vody a u_* je smyková rychlost.

Smyková rychlost je počítána jako:

$$u_* = \sqrt{gRS_f} = \frac{\sqrt{g}}{C} |V| = \frac{n\sqrt{g}}{R^{1/6}} |V| \quad (3.19)$$

kde g je gravitační zrychlení, R je hydraulický poloměr, C je rychlostní součinitel, S_f je sklon čáry energie, n je Manningův součinitel drsnosti a $|V|$ je velikost vektoru rychlosti. [3]

4 POPIS ŠIRŠÍCH VZTAHŮ

4.1 KLIMATICKÉ POMĚRY

Zájmová oblast leží dle Quitta v teplé oblasti T2, která je charakterizována dlouhým, teplým a suchým létem a velmi krátkými obdobími s teplým až mírně teplým jarem a podzimem. Zima je krátká mírně teplá, suchá až velmi suchá s velmi krátkým trváním sněhové pokrývky [4].

Průměrná roční teplota vzduchu pro stanici Přerov je 8,6 °C

Průměrný úhrn srážek pro srážkoměrnou stanici Přerov je 650 mm/rok

4.2 GEOLOGICKÉ A GEOMORFOLOGICKÉ POMĚRY

Geomorfologická klasifikace:

Provincie: Západní Karpaty

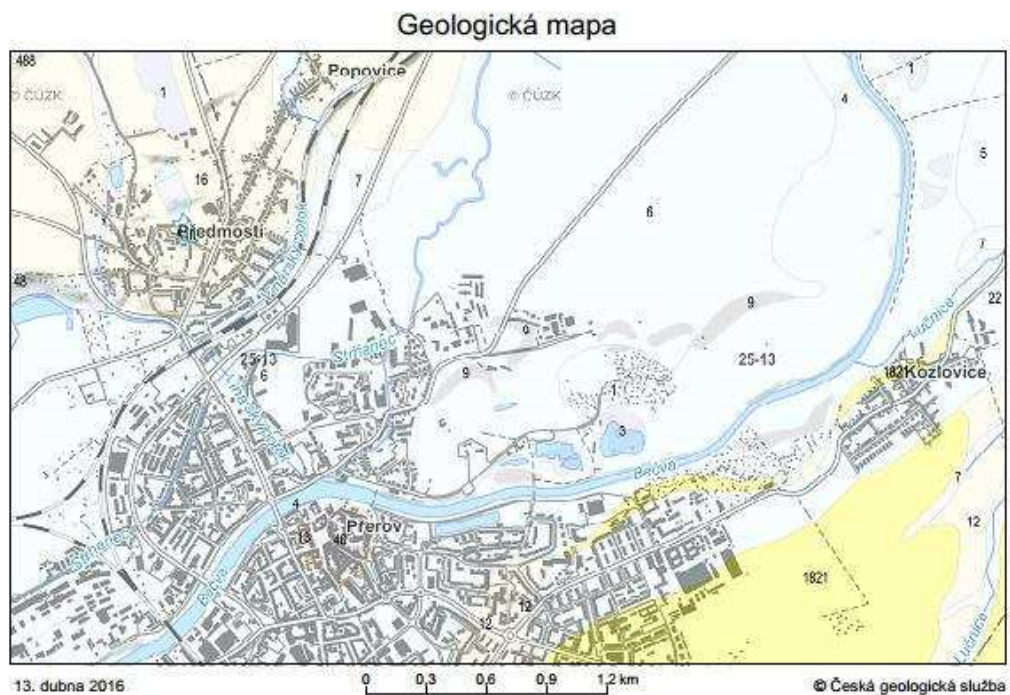
Soustava: Vněkarpatské sníženiny

Podsoustava: Západní Vněkarpatské sníženiny

Celek: Hornomoravský úval

Podcelek: Středomoravská niva

Horninové složení je kvartérní se zastoupením hlín, písků a štěrků přičemž klastika převažuje. Nejsvrchnější vrstvu tvoří holocenní říční velmi málo propustné sedimenty (povodňové hlíny) a mocnosti 0,5-4,5 m. Tyto hlíny jsou uloženy na štěrkovitých až písčítých pliocenních jezerních sedimentech, bádenských mořských uloženinách a místy i na starších horninách, které mají tloušťku až několik desítek metrů. Propustnost těchto vrstev je velmi dobrá. Neogén tvořený jíly a jílovci s vložkami pískovců tvoří málo propustné podloží. Tyto vrstvy jsou tektonickými pohyby výrazně zprohýbány a vzniklá údolí jsou zarovnána výše zmíněnými holocenními sedimenty. Tento jev formuje současný velmi plochý reliéf (Obr. 4.1). [5]



Obr. 4.1 Geologická mapa zájmového území [6]

4.3 HYDROGEOLOGICKÉ POMĚRY

Hydrogeologické zařazení

Hydrogeologický rajon:	Hornomoravský úval
ID hydrogeologického rajonu:	2220
Povodí:	Dunaj

Rajon je tvořen převážně neogenními sedimenty. Podzemní hydrogeologický kolektor tvoří štěrky a písky s průlinovou propustností. Propustnost těchto klastik je silně propustná. Podzemní voda proudí od severovýchodu k jihozápadu. Zvodnělá vrstva je mocnosti jednotek metrů.[5]

4.4 POPIS ŘEKY BĚČVY

Řeka Bečva vzniká soutokem Vsetínské Bečvy a Rožnovské Bečvy. Soutok leží nedaleko Valašského Meziříčí ve výšce 288 m n. m. Bečva je největší přítok řeky Moravy. Soutok řek Moravy a Bečvy leží jihozápadně od obce Troubky ve výšce 195 m n. m. [4] Řeka Bečva je dlouhá 61,5 km a plocha povodí je 16020,19 km². [7] Bečva je po celé své délce štěrkonosným tokem.

Průtoky v Bečvě jsou velmi rozkolísané. Je to způsobeno horským a podhorským charakterem pramené oblasti s velkými podélnými sklony. Oblast pramenů Vsetínské a Rožnovské Bečvy je oblastí s hojným výskytem srážek.

Hydrologické charakteristiky Bečvy

Číslo hydrologického pořadí:	4-11-01-001
Plocha povodí:	734,4 km ²
Délka toku:	58,4 km
Průměrný průtok u ústí:	9,21 m ³ /s

4.5 HYDROLOGICKÁ DATA

Hodnoty hydrologických dat pocházejí z hlásného profilu, který je nedaleko řešeného úseku v ř. km 9,300. Jedná se o stanici Dluhonice a hlásný profil č. 330. Tyto údaje byly převzaty z internetových stránek Povodí Moravy a ČHMÚ.

Hlásný profil č. 330 [8]

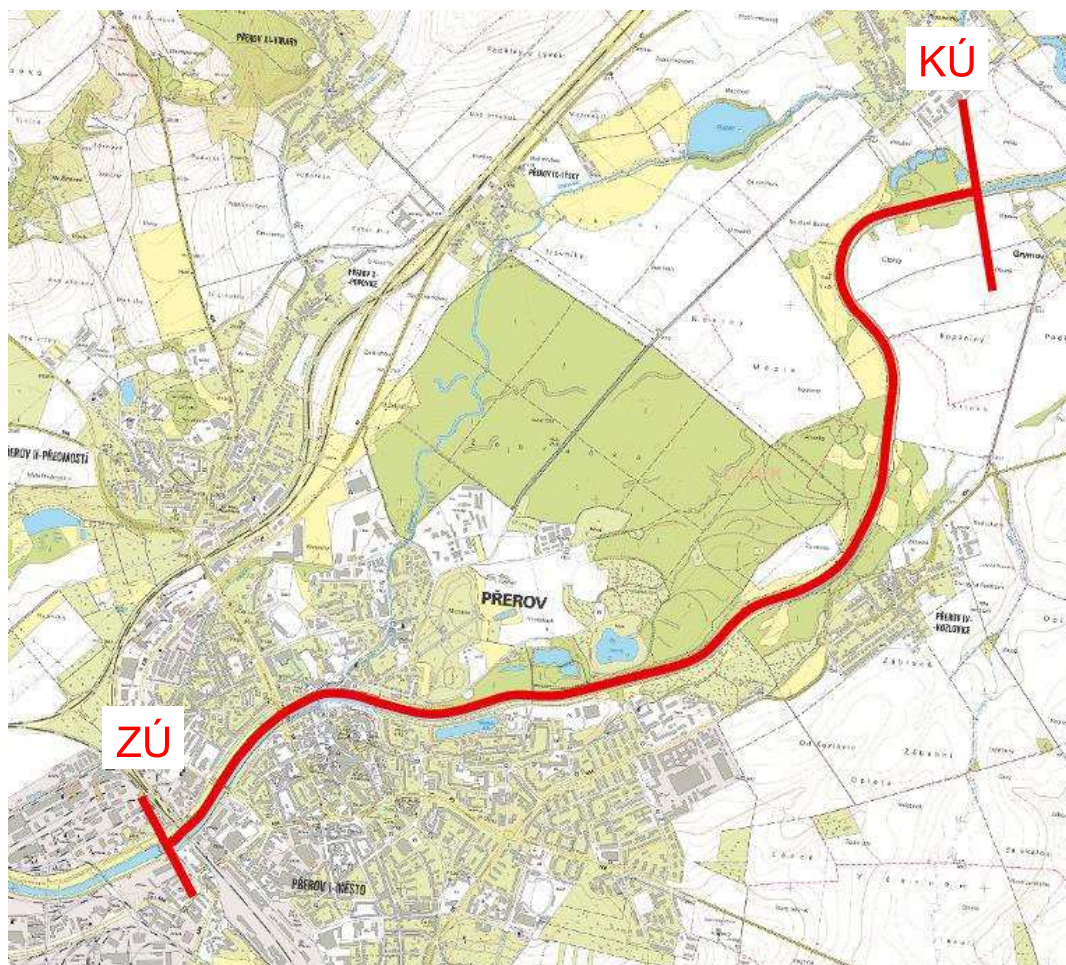
Číslo hydrologického pořadí:	4-11-02-0721
Tok:	Bečva
Kraj:	Olomoucký
Stanice:	Dluhonice
Obec:	Přerov
Staničení:	9,30 km
Nula vodočtu:	199,70 m n. m.
Průměrný roční stav:	143 cm
Průměrný roční průtok:	17,3 m ³ /s

Tab. 4.1 N-leté průtoky pro řeku Bečvu ve stanici Dluhonice (ř. km. 9,300) [9]

N [let]	1	2	5	10	20	50	100
Q _N [m ³ /s]	239	337	466	564	662	792	892

4.6 POPIS ZÁJMOVÉHO ÚZEMÍ

Zájmové území leží zejména v intravilánu města Přerov. Začátek úseku zájmového území je v předjezí Přerovského pohyblivého jezu v ř. km 11,490. Konec úseku je situován západně od obce Grymov v ř. km 18,053 (Obr. 4.2).



Obr. 4.2 Trasa toku v zájmové lokalitě

4.6.1 POPIS KORYTA V PŘEDMĚTNÉM ÚSEKU

Dno koryta v předmětném úseku je šterkového charakteru. Jelikož je Bečva významnou šterkonosnou řekou, vznikají ve dně značné výmoly a nánosy. V intravilánu města Přerov se provádí pravidelné jednorocní odtěžení sedimentů.

Na levém břehu koryta je od začátku zavazující zdi přerovského jezu v ř. km 11,440 po konstrukci železničního mostu v ř. km 11,590 břeh kynety se sklonem asi 1:1 na který navazuje opěrná zeď. Na železniční most navazují břehy s oddálenou opěrnou nábrežní zdí, která se táhne proti proudu řeky kolem zástavby a historického centra města až po lávku U Loděnice v ř. km 12,910. Za touto lávkou pak navazuje levobřežní berma o šířce 15 až 25 metrů. Tato berma končí v ř. km 14,167 poblíž přerovské nemocnice. V tomto místě se příčný profil mění ze složeného lichoběžníkového tvaru na jednoduchý lichoběžník. Dále proti proudu je levý břeh jednoduchého lichoběžníkového tvaru až po konec úseku. Koryto toku od lávky U Loděnice až po konec úseku lemuje cyklostezka pojmenovaná Bečva.

Na pravém břehu koryta je od začátku úseku po úroveň restaurace Bečva v ř. km 12,290 berma o šířce 20 až 30 metrů. Na tuto bermu postupně navazuje koryto s oddálenou nábrežní zdí. Tato nábrežní zeď končí u lávky U Loděnice v ř. km 12,898. Šířka mezi hranou

břehu a lícem opěrné zdi je 2 až 3 metry. Za touto lávkou je koryto na pravém břehu tvaru jednoduchého lichoběžníku až po konec úseku. Na pravém břehu se v předmětném úseku nachází pravostranný přítok mlýnského náhonu Strhance v ř. km 12,638. V ř. km 12,960 se nachází přerovská loděnice. Popis koryta je zobrazen v příloze C.2.

4.6.2 POPIS ŠIRŠÍHO ÚZEMÍ V PŘEDMĚTNÉM ÚSEKU

Na začátku úseku po Železniční most je na obou březích rozmístěna průmyslová oblast města Přerova. Tato průmyslová oblast je oddělena od občanské zástavby a historickým centrem města železnicí. Historické centrum se nachází na levém břehu řeky v přibližném staničení od ř. km 12,250 – 13,050. Souvislá zástavba města na pravém břehu končí v ř. km 13,121, na kterou navazuje Městský park Michalov dále pak přilehlé laguny a Národní přírodní rezervace Žebračka s malou chatovou oblastí. Na levém břehu se nachází v ř. km 13,210 až 13,500 Městský rybník. Zástavba zde končí v ř. km 14,400. Posledním objektem v předmětném úseku je Přerovská nemocnice, na kterou navazuje zahrádkářská osada Kozlovice.

4.6.3 OBJEKTY NA TOKU

Na předmětném úseku se nachází 4 mosty a 2 lávky. Mosty ovlivňují příčný profil koryta toku Bečva zúžením profilu, pilíři v příčném profilu toku, snížením průtočného profilu a zachycením plavenin. Na toku jsou uvedeny v Tab. 4.2. Objekt jsou zobrazeny v příloze C.2.

Tab. 4.2 Objekty na toku

Most, lávka	Staničení v km	Spodní hrana mostovky
Železniční most	11,590	208,84
Most Legií	11,910	209,74
Most Míru	12,390	210,45
Tyršův most	12,590	211,69
Lávka U loděnice	12,910	210,71
Lávka u Tenisu	13,728	212,76

5 ŘEŠENÍ PRÁCE

5.1 POUŽITÉ PROGRAMY

Pro vyřešení bakalářské práce bylo použito více různých programů. Pro přípravu dat byly použity programy QGIS, AutoCAD Civil 3D a MS EXCEL. Pro výpočet proudění vody v 1D a 2D proudění byl využit program HEC-RAS 5.0. Následně pro post-processing byly použity programy QGIS a Atlas DMT.

5.1.1 QGIS

QGIS je volně šiřitelný geografický informační systém Geografický informační systém, který vytváří, zobrazuje a analyzuje geografická údaje. QGIS umožňuje pracovat jak s rastrovými tak vektorovými vrstvami. Obsahuje mnoho zásuvných modulů, které rozšiřují možnosti používání QGISu. Bakalářská práce byla vypracována ve verzi QGIS 2.14 Essen.

5.1.2 AUTOCAD CIVIL 3D

Tento program je vyvíjený společností Autodesk. AutoCAD Civil 3D. Je to program pro modelování a projektování inženýrských staveb. Pro projektování vodohospodářských staveb byla vytvořena „Vodařská šablona“, odpovídající českým státním normám a usnadňuje práci na vodohospodářských projektech. Bakalářská práce byla vypracována ve verzi AutoCAD Civil 3D 2016.

5.1.3 ATLAS DMT

Atlas DMT je český software spravovaný společností ATLAS s.r.o..

Program ATLAS DMT je systém, který umožní uživateli vytvořit digitální model reliéfu. Na základě DMR lze nastavit zobrazení vrstevnic, hypsometrie, sklonitosti či expozice terénní plochy. Základem modelů terénu je nepravidelná trojúhelníková síť. Systém má vlastní grafické prostředí, které nabízí funkce obvyklé v CAD programech a zároveň přístup k aplikačním modulům. [11] V programu Atlas DMT lze tvořit vrstevnicové plány a terénní profily. V programu Atlas DMT lze projektovat liniové stavby, trojrozměrné vizualizace kraje a měst. Pro tyto účely jsou mimo základní modul DMT používané nadstavbové aplikace jako jsou „TOK“, „CESTY“, „KANAL, VODA“, nebo „EROZE“. [12]

Bakalářská práce byla vytvořena v Základním Modulu Atlas DMT s nadstavbovou aplikací „TOK“. V této aplikaci lze vytvářet základní operace jako je vykreslení osy trasy, ze které jsou pak generovány podélné profily, nebo příčné řezy. Do podélných a příčných řezů lze projektovat nový stav jak v podélném směru tak ve směru příčném.

5.1.4 HEC-RAS 5.0

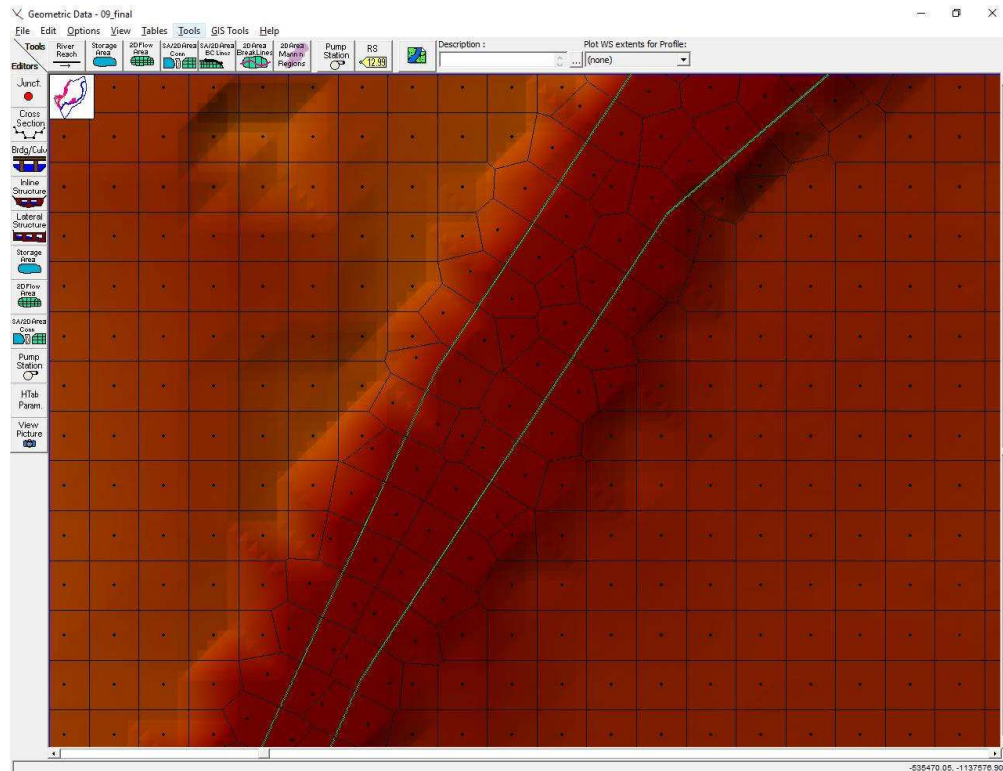
Hydrologic Engineering Center - River Analysis System (HEC-RAS) je program vyvíjený US Army Corps of Engineers. Jedná se o výpočtový program, který počítá v režimu

1D, respektive 1,5D proudění, a nejnovější verze programu HEC-RAS 5.0 počítá i v režimu 2D proudění a kombinovaném 1D a 2D prouděním. Program je schopný vypočítat jak ustálené a neustálené proudění vody v obecných korytech a transport sedimentů v korytě. HEC-RAS umožňuje zadávat a modifikovat geometrická data v příčných řezech toku, dále je schopný modelovat jak příčné tak i podélné objekty jako jsou jezy, stupně, mosty, nebo také bezpečnostní přepady. Tato práce byla vypracována ve verzi HEC-RAS 5.0. [12]

Výpočet v programu HEC-RAS 5.0 je založen na běžných výpočtových rovnicích, které jsou uvedeny v kapitole č. 3. Jedná se zejména o rovnici Bernoulliho, rovnici kontinuity a pohybovou rovnici, nebo rovnice od nich odvozené. Následující text vychází z hydraulického manuálu programu HEC-RAS 5.0 [3]

Výpočtový mesh

Výpočtový mesh neboli výpočtová mřížka využívá schopnost řešení schématu konečných objemů. Algoritmus pro řešení výpočtového meshe byl vyvinut s cílem použití kombinace strukturovaného a nestrukturovaného meshe. Výpočtový mesh je definován uzly a elementy. Nestrukturovaný mesh je mixem elementů s 3 až 8 stranami. Strukturovaný mesh je obvykle sít' se čtvercovými elementy. V programu HEC-RAS uživatel zvolí nominální rozlišení mřížky např. 10x10 m, a program HEC-RAS 5.0 pomocí automatických nástrojů vytvoří výpočtový mesh. Pro přesnější vytvoření meshe v určité oblasti (např. Násypy silnic a železnic) slouží funkce „Breaklines“ (Obr. 5.1), kdy program HEC-RAS využije křivky „Breaklines“ pro vytvoření povinných hran buňky výpočtového meshe. Takto vytvořený mesh jde následně upravovat pomocí nástrojů editování meshe jako jsou funkce „Move Points/Objects“, „Add Points/Objects“ a „Remove Points“.



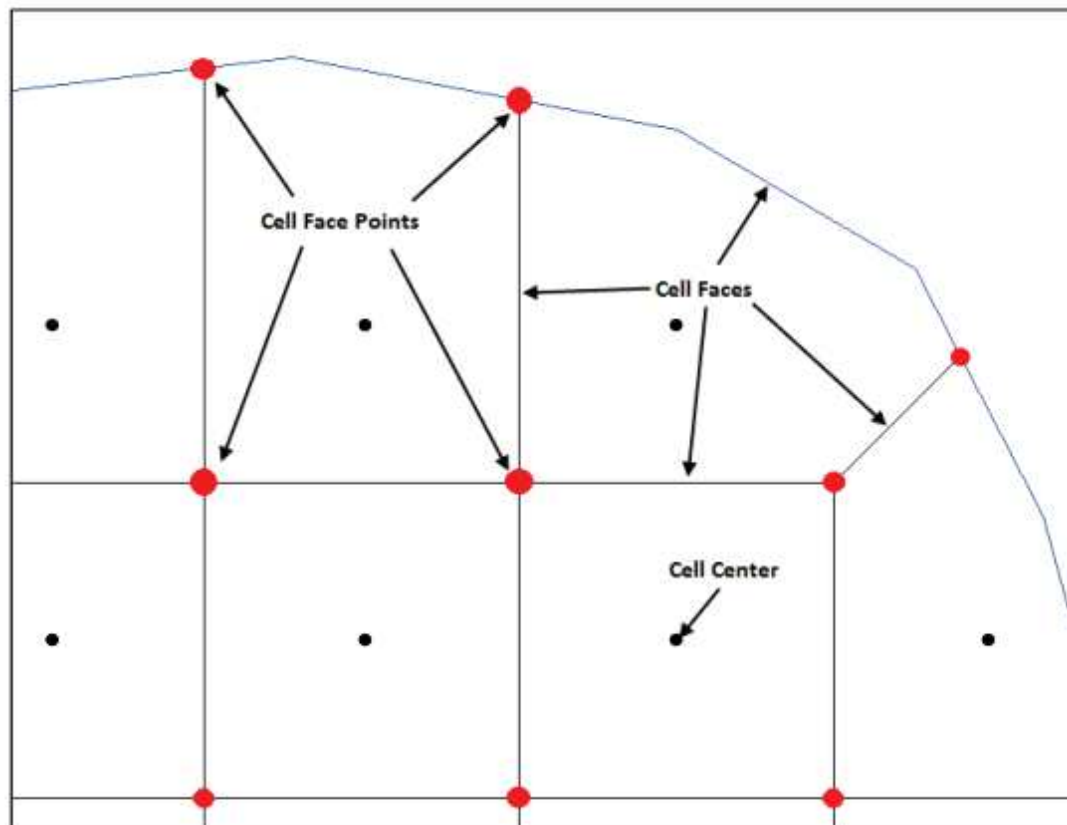
Obr. 5.1 Příklad vytvořeného výpočtového meshe

Každá buňka výpočtového meshe obsahuje 3 základní údaje, které vždy mají své identifikační číslo (Obr. 5.2). Tyto údaje jsou:

Cell center: Je výpočtový střed buňky. Je to bod, pro který je počítána hladina celé buňky. Tento bod nemusí být nezbytně v centroidu buňky.

Cell faces: Jsou okraje buňky. Tyto okraje nemusí být nezbytně rovné, jako například na okraji výpočtového meshe. „Cell faces“ obsahují informace o geometrických vlastnostech buňky.

Cell face points: Jsou body na koncích „Cell faces“. Identifikační čísla Tyto body jsou na vnějším okraji výpočtového meshe záchytné body pro připojení 2D výpočtového meshe k 1D oblasti a pro okrajové podmínky .



Obr. 5.2 Schéma a terminologie 2D výpočtového meshe [3]

5.2 VSTUPNÍ DATA

5.2.1 ZAMĚŘENÉ PŘÍČNÉ PROFILY TOKU

Tyto podklady byly poskytnuty od Povodí Moravy, s.p. Příčné profily toku byly poskytnuty v podobě textového souboru *.txt, příčných profilů, podélného profilu ve formátu *.dxf a situace příčných profilů ve formátu *.dgn. V příložené situaci příčných profilů však chyběla osa, od které byly jednotlivé body měřeny. Některé příčné profily byly ve vstupním souboru zrcadlově otočeny kolem osy. Jelikož byli body buď otočené, nebo nevhodně položené vzhledem k ose toku, tak byli ručně upravováni v programu MS EXCEL.

5.2.2 DIGITÁLNÍ MODEL RELIÉFU 4 GENERACE DMR 4G

Digitální model reliéfu je stažitelný na stránkách Českého úřadu zeměměřičského a kartografického. Digitální model reliéfu České republiky 4. generace (DMR 4G) představuje zobrazení přirozeného nebo lidskou činností upraveného zemského povrchu v digitálním tvaru ve formě výšek diskretních bodů v pravidelné síti (5 x 5 m) bodů o souřadnicích X,Y,Z, kde Z reprezentuje nadmořskou výšku ve výškovém referenčním systému Balt po vyrovnání (Bpv) s úplnou střední chybou výšky 0,3 m v odkrytém terénu a 1 m v zalesněném terénu.

Model vznikl z dat pořízených metodou leteckého laserového skenování výškopisu území České republiky v letech 2009 až 2013 [13].

5.2.3 HYDROLOGICKÁ DATA

Tato data byla převzata z internetových stránek Českého hydrometeorologického ústavu [8] a stránek státního podniku Povodí Moravy, s.p. [9]. Byly použity data z měrného profilu číslo 303 Dluhonice v ř km 9,300, který je platný pro tuto část toku.

5.2.4 VODOHOSPODÁŘSKÁ DATA (DIBAVOD)

Digitální báze vodohospodářských dat je průběžně aktualizovaný produkt spravovaný a vyvíjený na Oddělení geografických informačních systémů a kartografie VÚV T.G.M., v.v.i. Je to referenční geografická databáze se zaměřením na tvorbu kartografických výstupů s vodohospodářskou tematikou. Některé datové vrstvy jako záplavová území, osy toků atd. jsou poskytovány zdarma ve formátu ESRI shapefile (*.shp). [14] V bakalářské práci byly použity vrstvy rozlivů N-letých průtoků, osy toku, břehových hran toku a staničení toku.

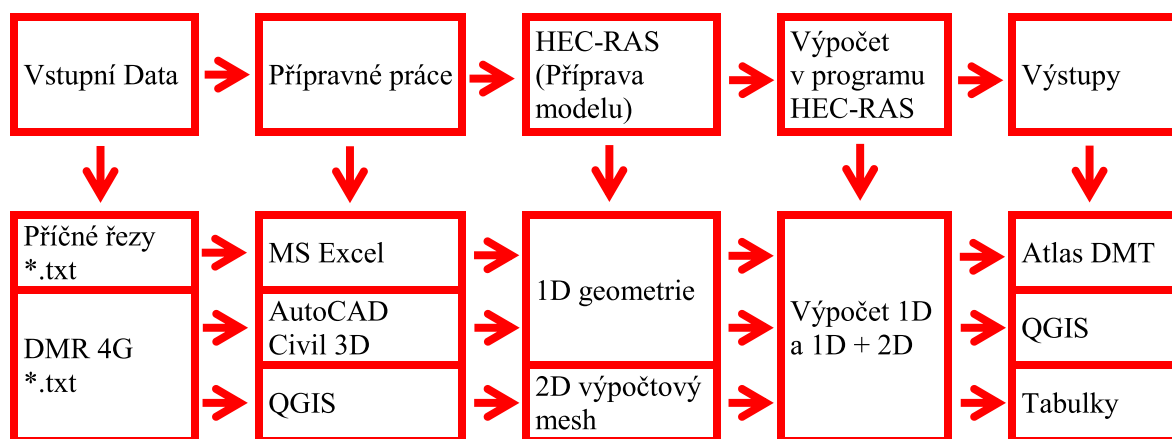
5.2.5 WMS (WEB MAP SERVICE)

Tato služba umožňuje sdílení mapových podkladů ve formě rastrových map v prostředí internetu. Tyto služby jsou zdarma na různých internetových serverech jako je cuzk.cz, nebo cenia.cz. Všechny WMS služby jsou doprovázeny metadatovým popisem. WMS služby byly použity jako podkladové mapy. Konkrétně byly použity mapy Ortofoto a Základní mapa ČR 1:10 000

5.3 POSTUP PRÁCE

Postup práce byl následující (Obr. 3.3):

- 1) Práce v programu Excel
 - Úprava bodů příčných profilů
- 2) Příprava 1D geometrie v Civil 3D a export do HEC-RAS
- 3) Práce v programu QGIS
 - Příprava povrchu terénu
 - Příprava polygonů využití území, drsností
- 4) Práce v programu HEC-RAS
 - Vytvoření 1D geometrie (úprava příčných profilů a doplnění objektů)
 - Vytvoření modelu terénu
 - Vytvoření 2D výpočtového meshe
 - Propojení 1D modelu a 2D výpočtového meshe
 - Zadání okrajových a počátečních podmínek
 - Výpočet v HEC-RAS (1D a 1D+2D)
 - Export výsledků a vytvoření výkresů a map



Obr. 5.3 Schéma postupu vypracování práce

1) Práce v programu EXCEL

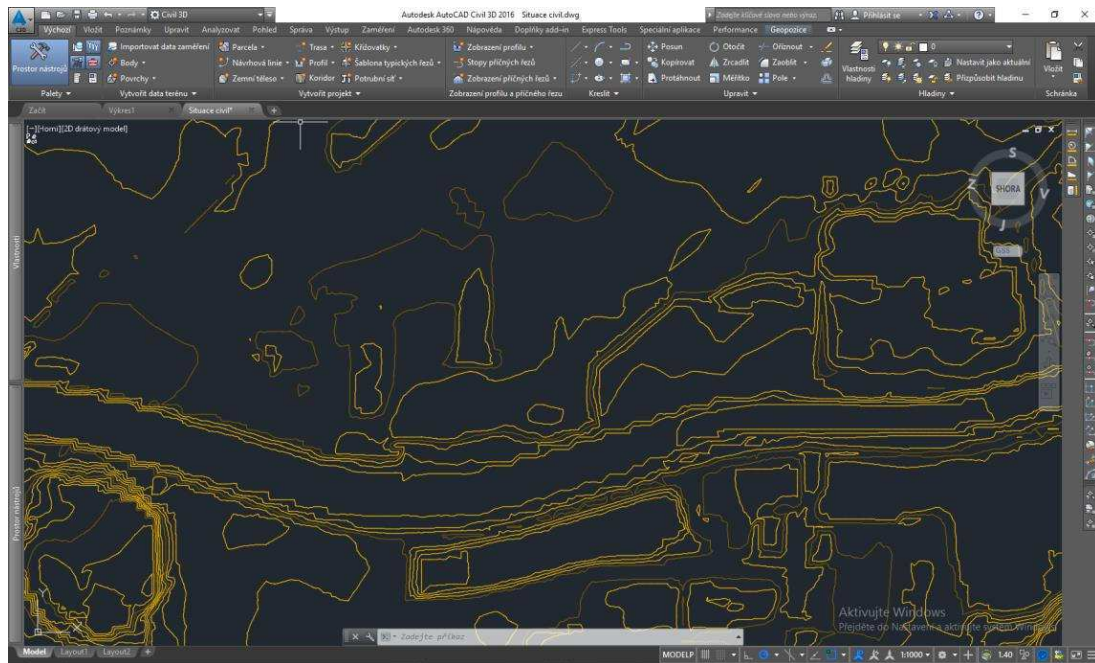
Příčné profily získané od Povodí Moravy s.p. byly ve formátu *.txt. Pro lepší vkládání profilů do programu HEC-RAS byly uloženy do programu EXCEL a dále upraveny do vyhovujícího tvaru. Pro účel práce nebylo nutné vkládat do HEC-RASu celé poskytnuté profily, ale jen koryto toku. Z tohoto důvodu byly nežádoucí body odstraněny již v tomto programu. Export příčných profilů z programu AutoCAD Civil 3D je ve formátu, kde „0“ je ve staničení nejvíc vlevo. Zaměřené příčné profily byly ve formátu, kde „0“ byla v korytě, ne vždy však v ose toku. Tyto odlišnosti dělaly nepřesnosti v zobrazení geometrie programu HEC-RAS, proto byly zaměřené příčné profily upraveny do správného formátu.

2) Příprava 1D geometrie v programu AutoCAD Civil 3D

Před započítím veškerých prací je vhodné ve výkresu nastavit vhodný koordinační systém. Nastavením konkrétního koordinačního systému slouží k správnému zobrazení vyexportovaných dat v jiném programu. Například program HEC-RAS 5.0 neumí, nebo nesprávně transformuje koordinační systémy.

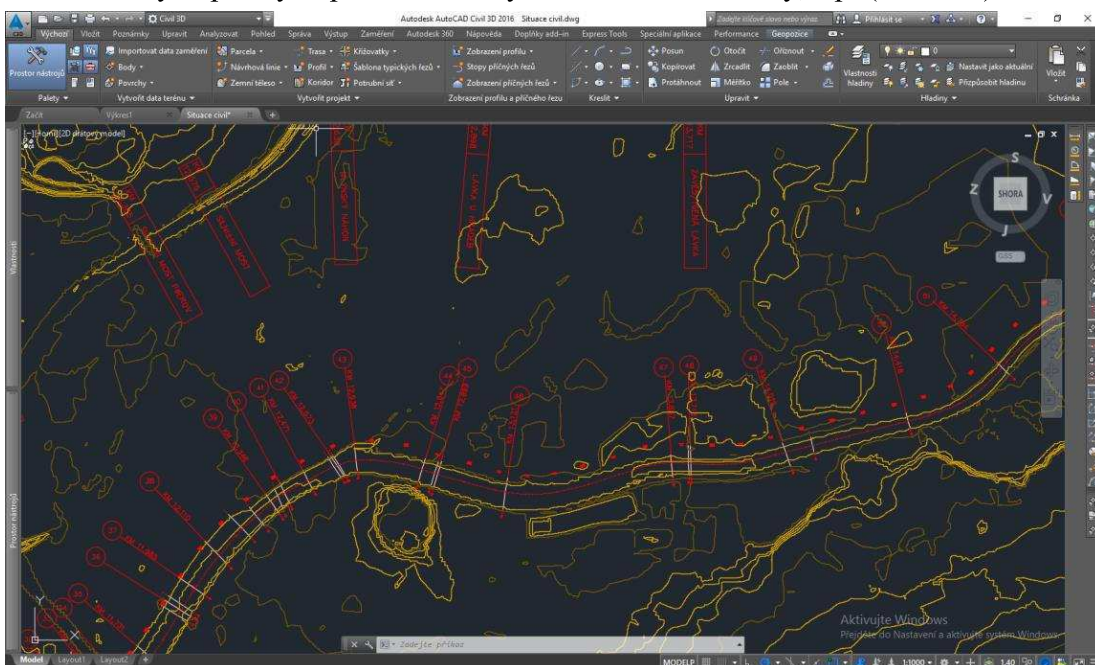
Po nastavení koordinačního systému se může přikročit k samotné přípravě dat. Nejprve je potřeba připojit podpurné vrstvy *.SHP z databáze DIBAVOD a WMS služby.

Dále je potřeba připojit k výkresu digitální model terénu, který byl ve formátu *.txt. Digitální model terénu byl připojen jako „Povrch TIN“ (Obr. 5.4).



Obr. 5.4 Digitální model terénu v programu AutoCAD Civil 3D

Následně byla vytvořena trasa toku a příčné řezy v daném staničení. Trasa toku, která kopírovala osu toku z databáze DIBAVOD, byla vytvořena z „Tečnového polygonu bez oblouků“. Na tuto osu byly vloženy příčné profily. Příčné profily byly vloženy na staničení dle situace zaměřených příčných profilů získaných od Povodí Moravy, s.p. (Obr. 5.5)



Obr. 5.5 Příklad vedení trasy toku a vložených příčných profilů

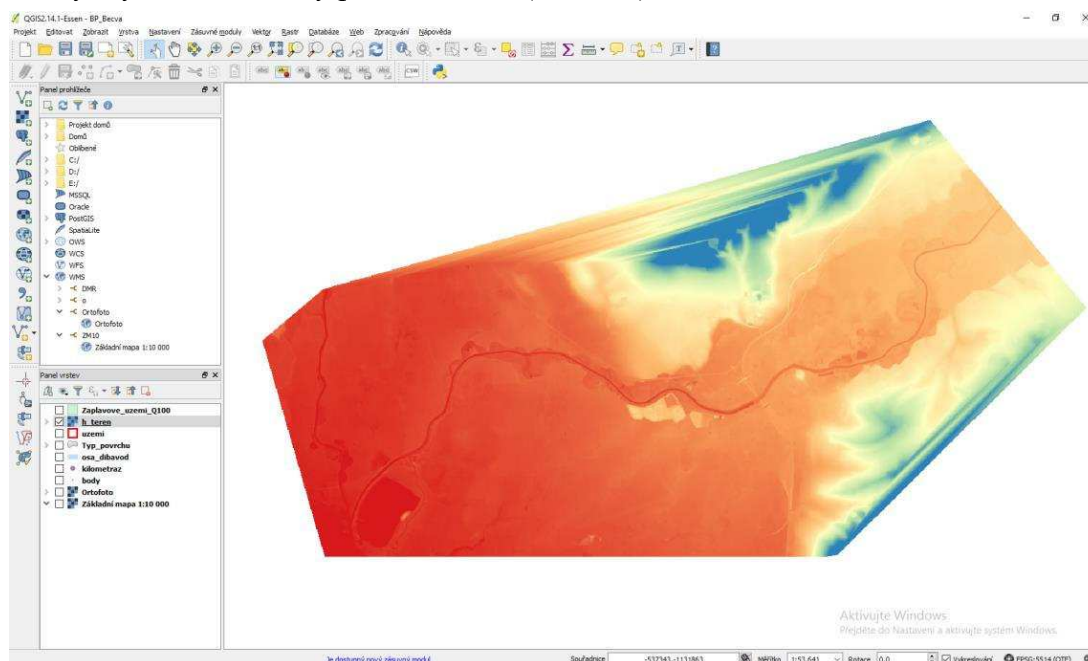
Dalším krokem byl export trasy toku a příčných řezů do programu HEC-RAS.

3) Práce v programu QGIS

V programu QGIS bylo potřeba připravit prostředí pro lepší orientaci a jednodušší práci. Pro tyto účely byly připojeny podpůrné vrstvy z databáze DIBAVOD a to osa toku, vodní nádrže, kilometráž toku a záplavové území pro jednotlivé Q_N. Dále bylo vhodné připojit některé WMS servery, v tomto případě Ortofoto mapu a Základní mapu v měřítku 1:10 000.

Příprava povrchu terénu

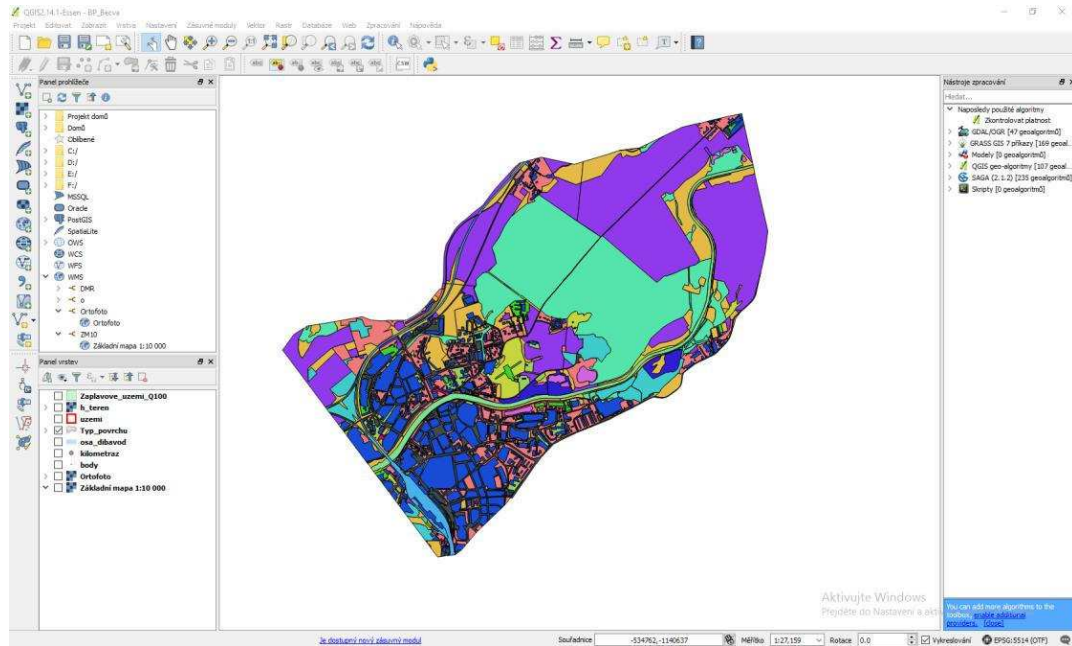
Přípravou povrchu terénu představuje vytvoření rastrového povrchu terénu. Povrch terénu byl vytvořen z DMR 4G ve formátu souboru *.txt. Po připojení byl vytvořen nový soubor *.shp, který obsahoval informace X, Y, Z. Z tohoto souboru pomocí Trojúhelníkové interpolace byl vytvořen rastrový povrch terénu (Obr. 5.6).



Obr. 5.6 Rastrový model terénu

Příprava polygonů využití území

Dalším krokem v programu QGIS bylo vytvoření polygonů využití území (Obr. 5.7). Pro vytvoření těchto polygonů bylo využito Základní mapy ČR 1:10 000, Ortofoto mapy a osobní znalost lokality. Lokalita byla roztržena do polygonů využití území dle Tab. 6.1 Hodnoty Manningova drsnostního součinitele

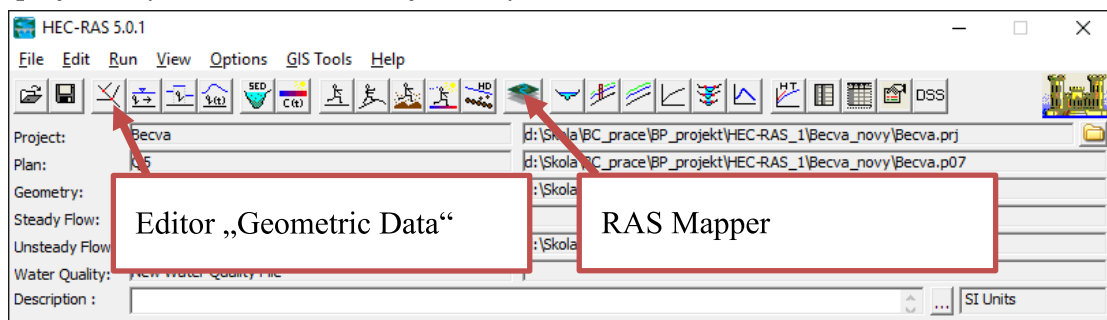


Obr. 5.7 Polygony využití území

4) Práce v programu HEC-RAS

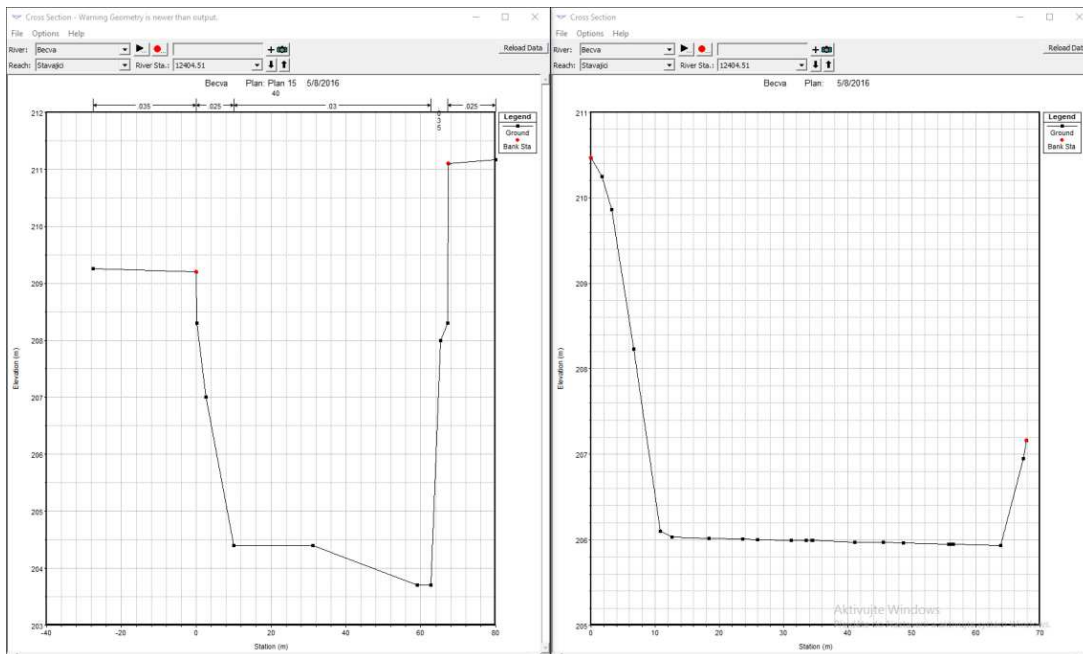
Vytvoření 1D geometrie

Základním stavebním kamenem programu HEC-RAS je úvodní hlavní okno, odkud se uživatel dostane do všech editorů a nástrojů v tomto programu (Obr. 5.8). Při zakládání nového projektu bylo důležité nastavit jednotky na „SI Units“.



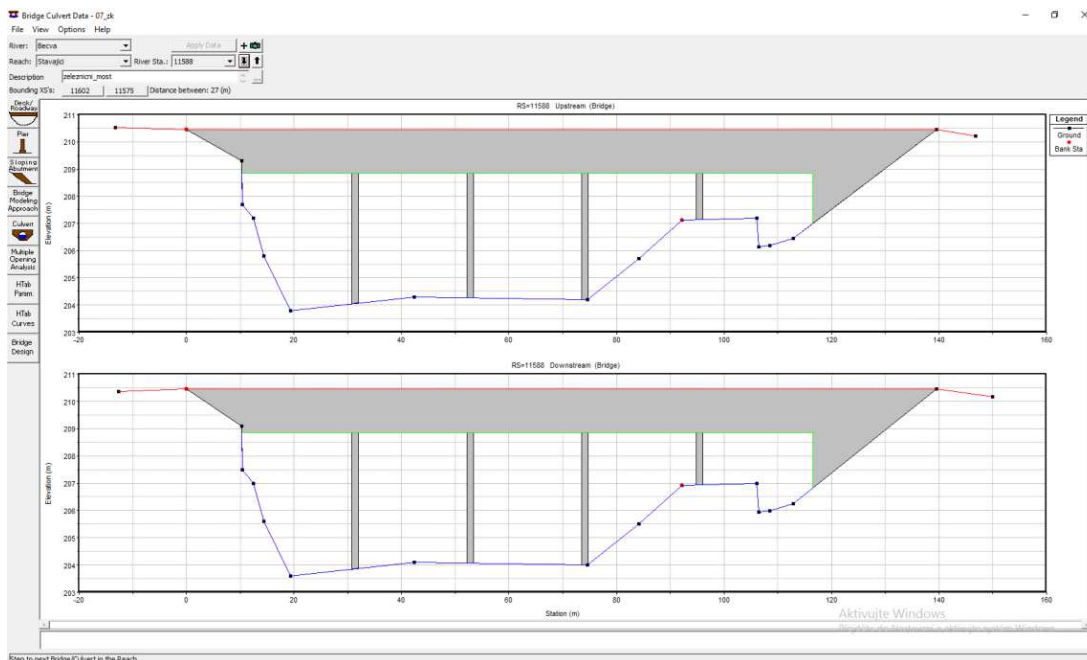
Obr. 5.8 Hlavní okno programu HEC-RAS

Po založení nového projektu byla importována 1D geometrie z programu AutoCAD Civil 3D. Jelikož měření DMR 4G nepostihuje povrch koryta toku, byly příčné profily upraveny dle zaměřených profilů v programu Excel (Obr. 5.9).



Obr. 5.9 Příklad nepřesnosti měření DMR 4G

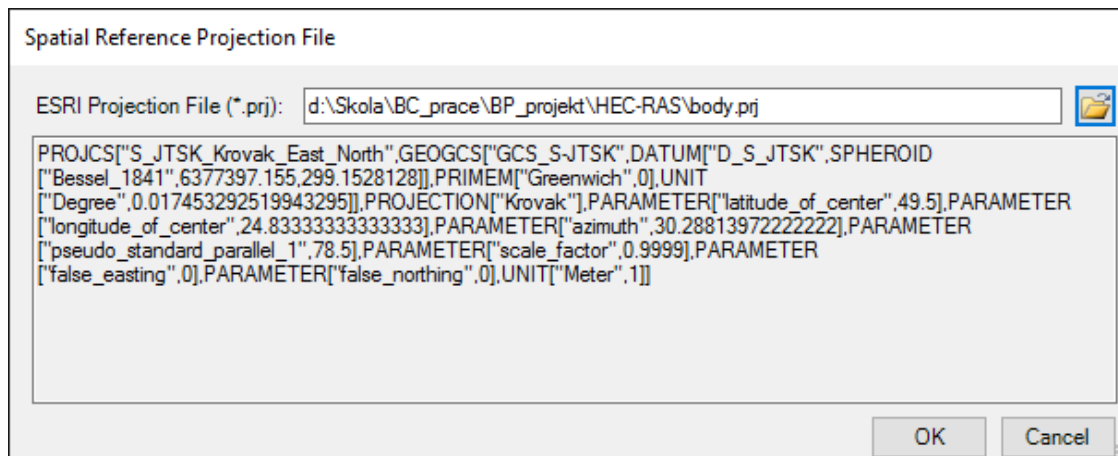
Následujícím krokem pro vytvoření výpočetní 1D geometrie bylo vymodelování příčných objektů. V tomto úseku se u příčných objektů nachází jen mosty. Tyto byly vymodelovány dle naměřených údajů a podkladů ve formě výkresů skutečného stavu (Obr. 5.10).



Obr. 5.10 Příklad modelování mostů (Železniční most ř. km 11,590)

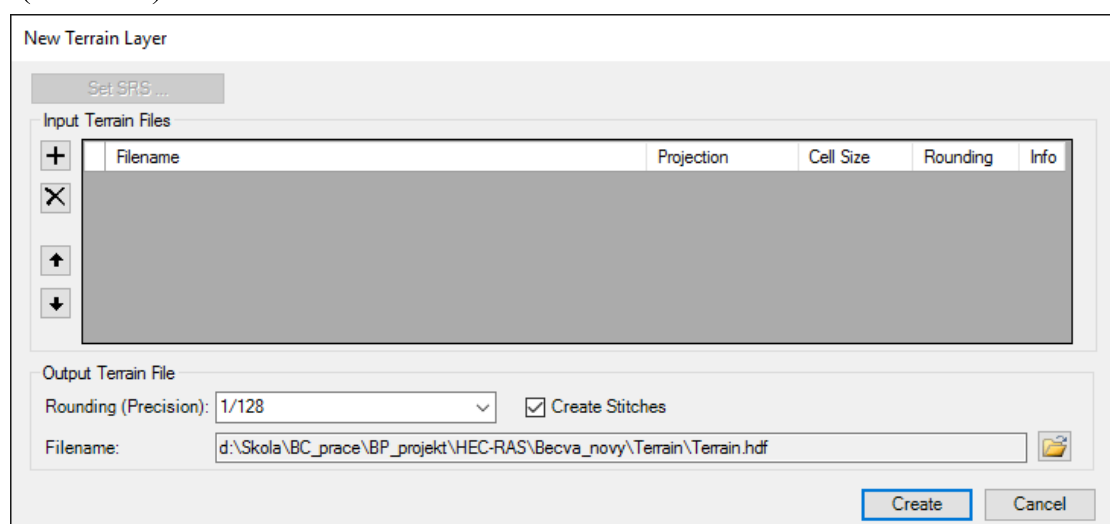
Vytvoření modelu terénu

Nejdříve bylo potřeba nastavit koordinační systém projektu. Tento se nastavuje v okně „RAS Mapper“. RAS Mapper slouží k načtení všech potřebných vrstev ve formátu *.shp, zobrazení 1D geometrie, načtení digitálního modelu terénu, nebo zobrazení a export výsledků. Nastavení koordinačního systému je v liště „Tools“, kde se nachází záložka „Set Projection for Project“. V zobrazeném okně se vybere soubor *.prj (Obr. 5.11). Soubor *.prj je přidružený soubor ke každé vrstvě *.shp. Je nutné vybrat soubor s koordinačním systémem, který byl použit pro vytvoření rastrového modelu terénu.



Obr. 5.11 Příklad nastavení koordinačního systému

Dalším krokem bylo načtení dat povrchu terénu. Data povrchu terénu byla vytvořena v programu QGIS ve formátu *.tif. Soubor s vytvořeným povrchem terénu byl načten do programu HEC-RAS v okně „RAS Mapper“. Zde v liště „Tools“ byla vybrána záložka „New terrain“ (Obr. 5.12).



Obr. 5.12 Okno pro načtení povrchu terénu a vytvoření modelu terénu

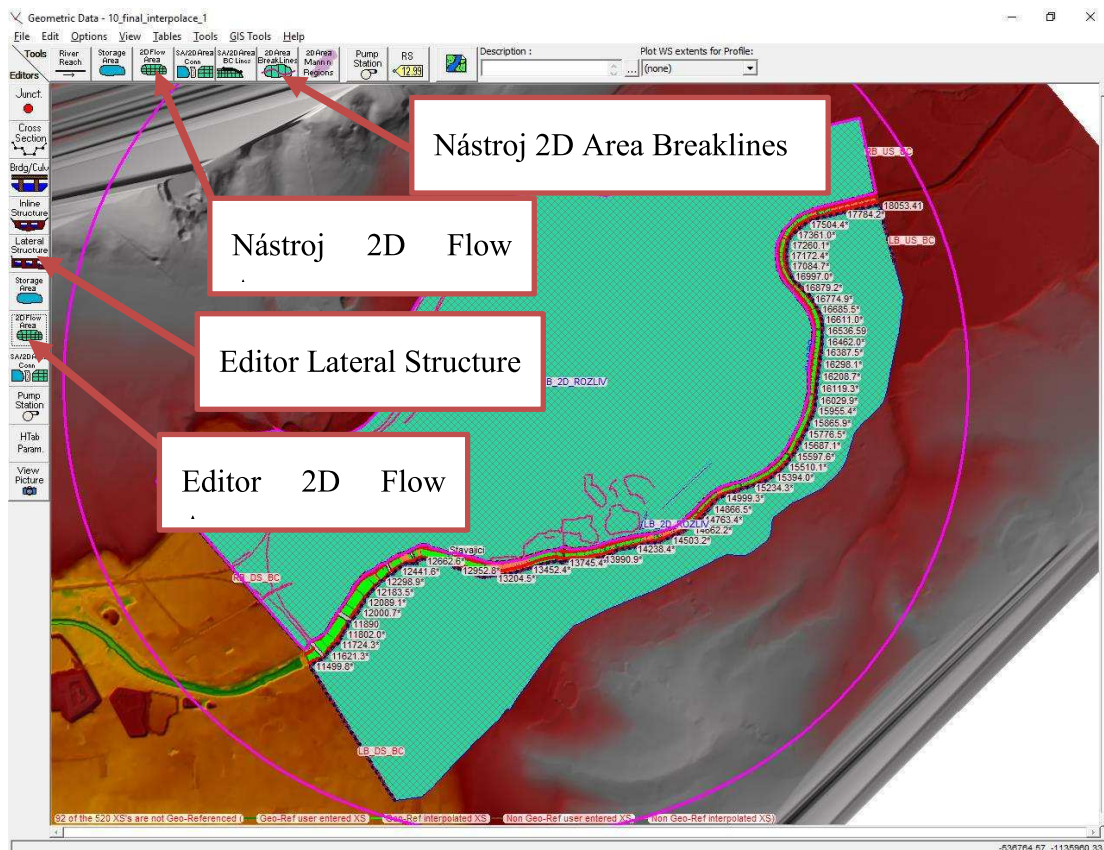
V tomto okně kliknutím na tlačítko „+“ byl vybrán příslušný soubor, který definoval povrch terénu. Byla definována přesnost výšky nového modelu terénu a model terénu byl vytvořen kliknutím na „Create“. Tímto byl vytvořen nový model terénu v programu HEC-

RAS 5.0. Model terénu se zobrazí v okně „RAS Mapper“, a lze ho načíst i do okna „Geometric data“.

Podobným způsobem byly načteny i polygony využití území. Tyto polygony mohou být načteny ve formátu *.shp nebo *.tif. Polygony využití území byly načteny v okně „Land Cover Layer“. V tomto okně byl nastaven Manningův součinitel drsnosti n pro každý typ povrchu dle Tab. 6.1. Jelikož byly tyto polygony načteny z formátu *.shp a program HEC-RAS tyto polygony převádí na rastr, musela být zadána velikost rastru. Velikost rastru byla zvolena na 1x1 m.

Vytvoření 2D výpočtového meshe

2D výpočtový mesh byl vytvořen v editoru „Geometric Data“ (Obr. 5.13). Zde bylo nutné pomocí nástroje „2D Flow Area“ vytvořit hranice výpočtového meshe. V místech, kde si to situace vyžadovala, byly zadány křivky „Breaklines“ pomocí nástroje „2D Area Breaklines“. „Breaklines“ byly zadány v místech násypů železnic a silnic, rybníků a vodních nádrží, nebo v místech hřebene svahů a údolnic.

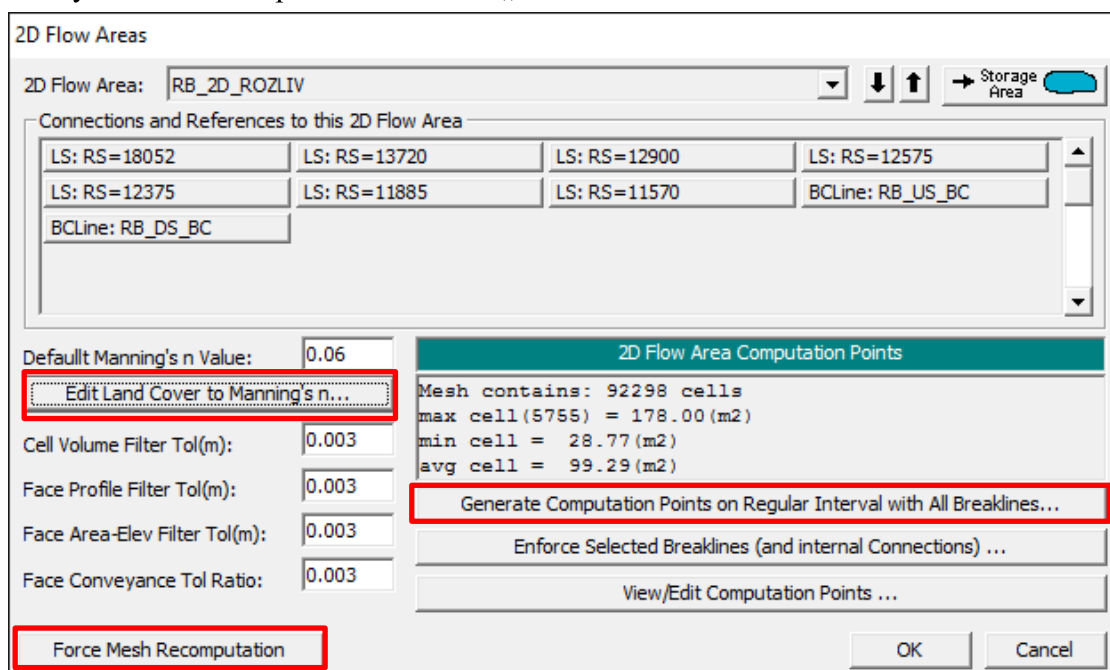


Obr. 5.13 Okno „Geometric Data“ s vytvořeným meshem

Podrobné nastavení 2D výpočtového meshe bylo realizováno v editoru „2D Flow Areas“ (Obr. 3.1Obr. 5.14). Po otevření editoru „2D Flow Areas“ byly zadány potřebné informace o meshi. Po rozkliknutí tlačítka „Generate Computation Points on Regular Interval with All Braeklines...“ bylo zobrazeno okno „2D Area Generate Points“, kde byly zadány

rozměry meshe ve směru X a Y . Po kliknutí na tlačítko „Generate Points in 2D Flow Area“ byly vytvořeny body „Cell center“. Dále bylo nutné načíst správné součinitele drsnosti v této oblasti. Součinitele drsnosti byly načteny a upraveny po kliknutí na tlačítko „Edit Land Cover to Manning’s n...“. Následně byl nastaven součinitel drsnosti pro místa, kde není plochou definován součinitel drsnosti, jedná se tedy o defaultní součinitel drsnosti. Tento součinitel drsnosti byl zadán do okna „Default Manning’s n Value:“.

Ve zmiňovaném okně lze nastavit další nastavení. Nastavují se zde různé tolerance, mohou se zde zapínat a vypínat funkčnosti jednotlivých „Breaklines“ pro vytvoření meshe, nebo ručně editovat body „Cell center“ v meshi. Pro výpočet buněk, nebo přepočítání již vytvořených buněk, se používá tlačítko „Force Mesh Recomputation“. Po zadání všech atributů se vytvoření meshe potvrdí tlačítkem „OK“.



Obř. 5.14 Okno nastavení vytvoření 2D výpočtového meshe

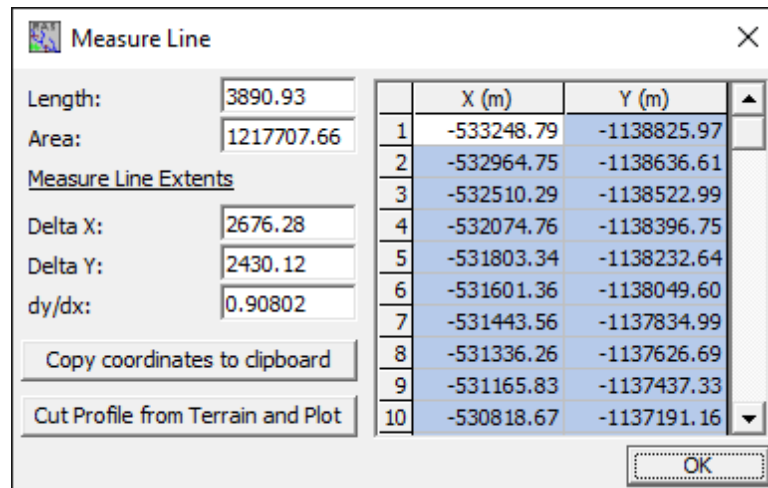
Po vytvoření meshe bylo nutné zkontrolovat výpočtový mesh. V případě nutnosti byl mesh upraven nástroji „Move Points/Object“, „Add Points“ a „Remove points“. Mesh byl upravován zejména u okraje meshe, kde byly vytvořeny příliš velké buňky. Byly také zkontrolovány případně upraveny buňky u křivek „breaklines“.

Připojení 1D modelu a 2D výpočtového meshe

Připojení 1D modelu a 2D výpočtového meshe může být vytvořeno více způsoby. Typ připojení se vybírá podle návaznosti 1D a 2D oblastí na sebe. Vytvoření všech druhů připojení 1D a 2D oblastí se zpracovává v editoru „Geometric Data“.

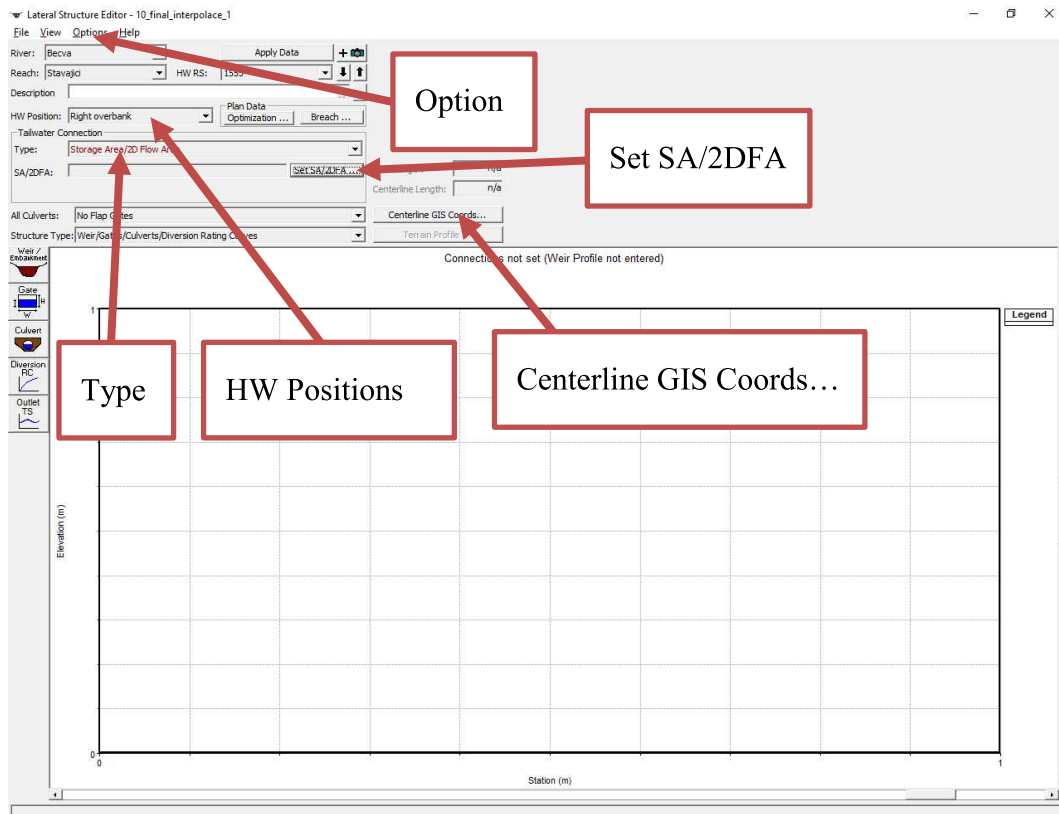
Pro vypracování této práce bylo připojení mezi 1D a 2D oblastí pomocí objektu „Lateral Structure“. Pro vytvoření objektu ve správné trase bylo nutné zadat osu trasy objektu „Lateral Structure“. Tato osa byla vytvořena přímo v editoru „Geometric Data“. Osa byla

vytvořena pomocí nástroje „Measure Line“. Křivka „Measure Line“ byla vytvořena pomocí neustáleho držení klávesového tlačítka „Ctrl“ a následného vykreslování trasy. Po uvolnění tlačítka „Ctrl“ bylo zobrazeno okno „Measure Line“ (Obr. 5.15), ve kterém byly vypsány krajní body linií křivky. Tyto byly zkopírovány a později použity pro vytvoření trasy „Lateral Structure“. Osa trasy „Lateral Structure“ musí být vedena po směru toku.



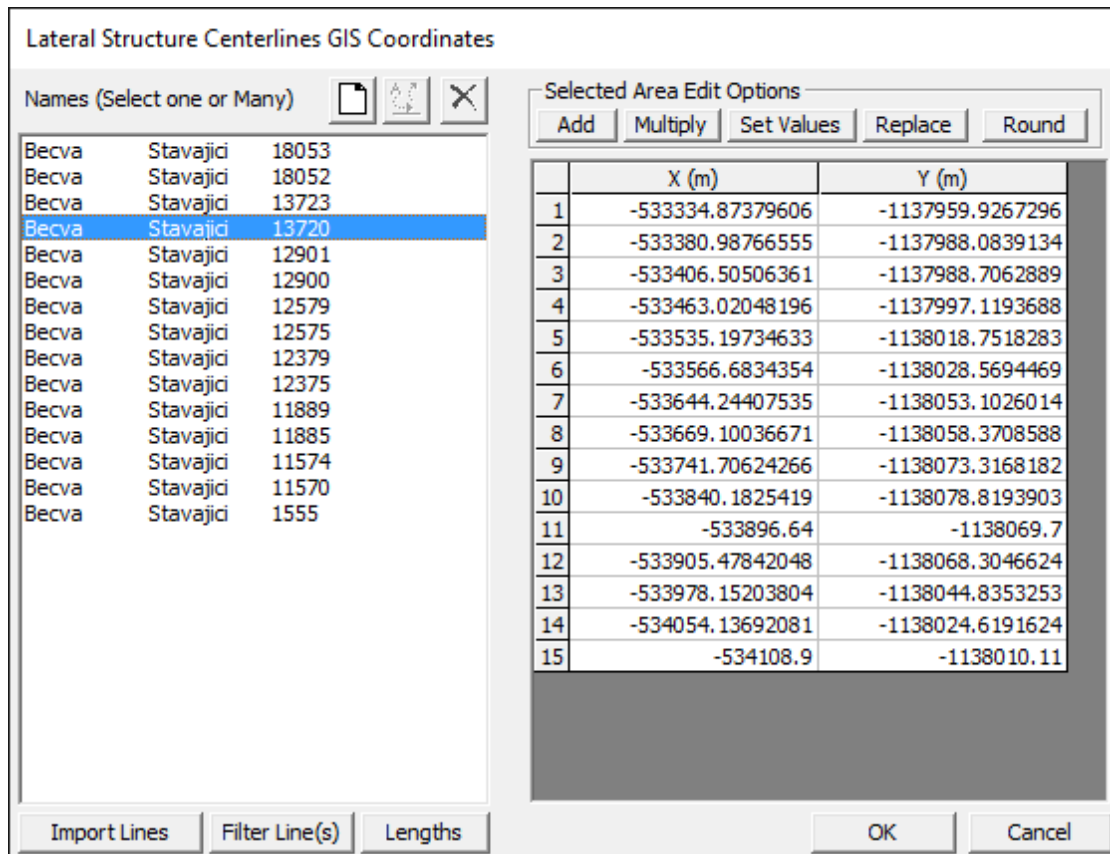
Obr. 5.15 Okno „Measure Line“

Vytvoření „Lateral Structure“ bylo provedeno v editoru „Lateral structure editor“ (Obr. 5.16). Tento byl vytvořen po rozkliknutí „Options“ v horní liště editoru a následném rozkliknutí možnosti „Add Lateral Structure...“. V zobrazeném okně bylo zadáno staničení velmi blízké hornímu příčnému profilu a po kliknutí na „OK“ byl vytvořen nový objekt.



Obr. 5.16 Okno editoru „Lateral Structure Editor“

Dále bylo zvoleno ke kterému objektu bude „Lateral Structure“ připojeno. Do kolonky „HW Position:“ byl vybrán dle pozice „Lateral Structure“ pravý nebo levý břeh 1D koryta. Do kolonky „Type“ v oblasti „Tailwater Connection“ byla vybrány možnost „Storage Area/2D Flow Area“. Dále se zobrazila kolonka „SA/2DFA:“ kde pod tlačítkem „Set SA/2DFA...“ byla vybrána správná 2D oblast. Po rozkliknutí tlačítka „Centerline GIS Coords...“ a zobrazení okna „Lateral Structure Centerline GIS Coordinates“ (Obr. 5.17) byly vloženy body, které byly již dříve zkopírovány z „Measure Line“. Tímto byla vytvořena trasa osy „Lateral Structure“.



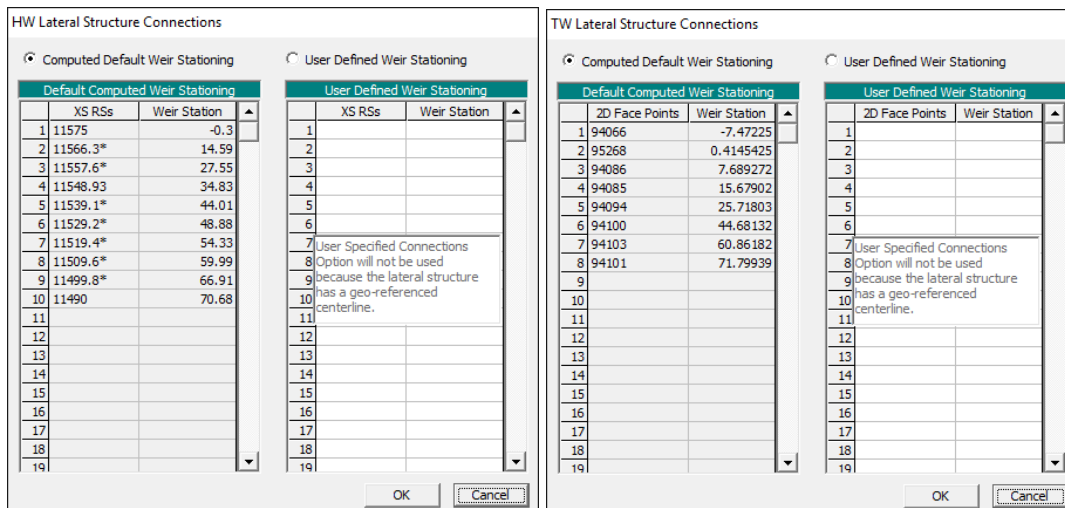
Obr. 5.17 Okno „Lateral structure GIS Coordinate“

Dalším důležitým bodem bylo vytvoření výškového umístění „Lateral Structure“ a určení dalších důležitých parametrů. Toto nastavení bylo provedeno v okně „Lateral Structure Embankment“ (Obr. 5.18), které bylo zobrazeno po kliknutí na ikonu „Weir/Embankment“. V tomto okně byla zadána šířka přelivu („Weir Width“), koeficient přepadu („Weir Coefficient“), vzdálenost od prvního vrchního příčného profilu („HW Distance ti Upstream XS“) a další atributy. Dále v okně „Lateral Structure Embankment“ byla zadána výšková úroveň „Lateral Structure“. Nastavení výšky koruny je řešeno formou tabulky. V této tabulce byla zadávána nadmořská výška „Lateral Structure“ v daném staničení. Výška koruny „Lateral Structure“ nesmí být v žádném staničení nižší, než terén v buňkách 2D výpočtové oblasti.

	Station	Elevation
1	0.	210.108
2	0.42	210.05
3	1.714	209.843
4	2.398	209.786
5	2.979	209.776
6	3.726	209.702
7	7.751	209.592
8	9.763	209.344
9	13.851	208.439
10	17.811	208.143
11	19.824	208.057
12	23.848	208.026
13	25.86	207.987
14	27.872	207.914
15	29.884	207.868
16	35.921	207.844
17	37.463	207.735
18	39.074	207.816
19	40.448	207.811
20	41.263	207.84
21	63.24	208.032
22	69.893	208.05
23		
24		
25		

Obr. 5.18 Okno „Lateral Structure Embankment“

Následně bylo nutné nastavení připojení jednotlivých příčných profilů 1D modelu a buněk 2D oblasti do určitého staničení „Lateral Structure“. Nastavení staničení připojení 1D příčného profilu a 2D buňky bylo provedeno po rozkliknutí tlačítka „HW Connections...“ respektive „TW Connections...“. Zde byla vybrána možnost automatického nastavení staničení zatrhnutím možnosti „Computed Deafault Weir Stationing“ (Obr. 5.19).



Obr. 5.19 Okna pro nastavení staničení připojení 1D příčného profilu a 2D buňky k „Lateral Structure“

Nastavení okrajových podmínek

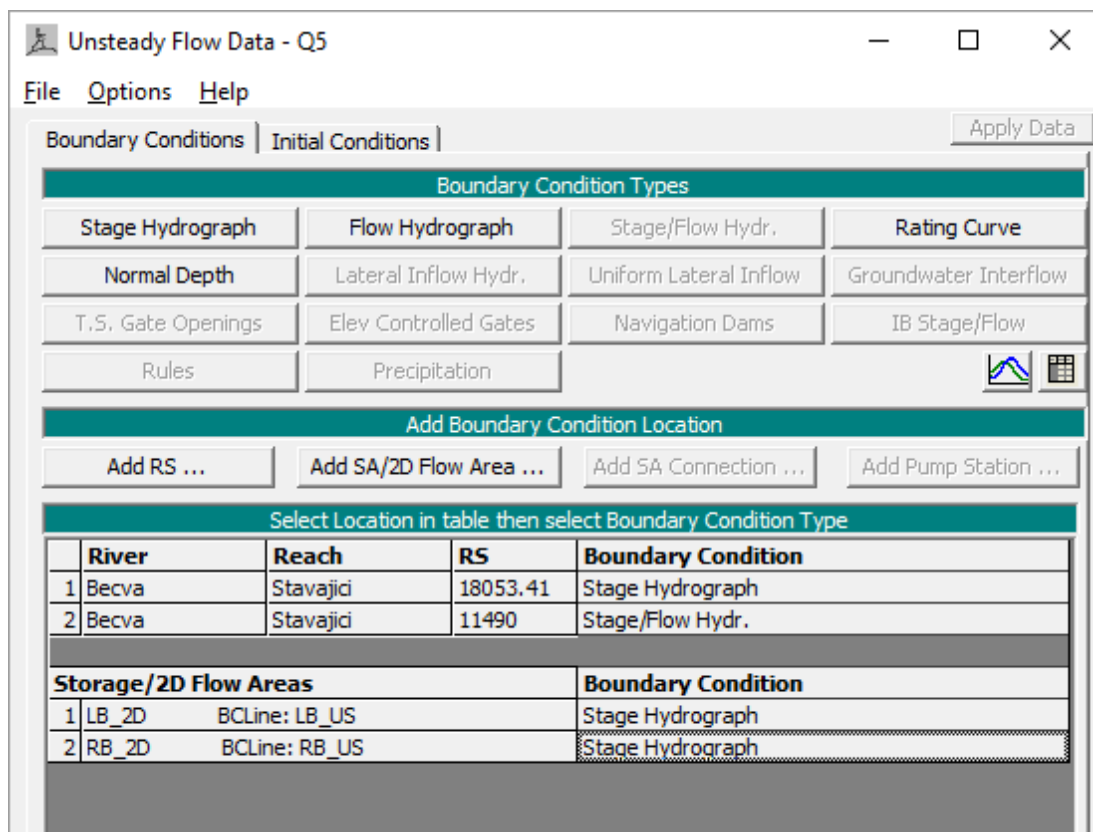
Okrajové podmínky byly nastaveny zvlášť pro 1D a 1D+2D proudění. Nejdříve byl realizován výpočet 1D proudění, pro které byly nastaveny okrajové podmínky na začátku úseku. Okrajové podmínky pro 1D proudění byly nastaveny dle manipulačního řádu Přerovského jezu [15]. Po vypočtení 1D rozlivů byla zjištěna přibližná hladina vody na konci úseku, která byla nastavena jako okrajová podmínka na konci úseku pro výpočet 1D+2D rozlivů.

Oblast okrajových podmínek pro 2D oblast výpočtu se nastavují v editoru „Geometric Data“, kde se zvolí tlačítko v oblasti nástrojů „SA/2D Area BC Lines“ (Obr. 5.20). Po kliknutí na ikonu „SA/2D Area BC Lines“ nakreslí tahem okrajová podmínka na daném místě a poté se zvolí název této okrajové podmínky.

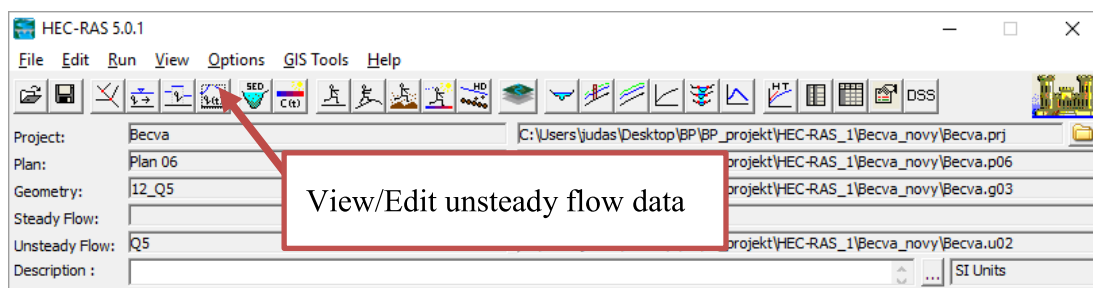


Obr. 5.20 Umístění ikony editoru „SA/2S Area BC Lines“

Data okrajových a počátečních podmínek pro 1D a 2D oblast se nastavují v editoru „View/Edit unsteady flow data“ (Obr. 5.21), který najdeme na úvodním okně programu HEC-RAS (Obr. 5.22).



Obr. 5.21 Okno editoru „View/Edit Unsteady Flow Data“



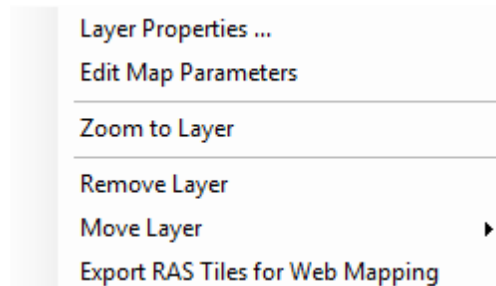
Obr. 5.22 Umístění ikony editoru „View/Edit Unsteady Flow Data“

Okrajové podmínky byly nastaveny dle tabulky Tab. 6.2 v kapitole 6.2.

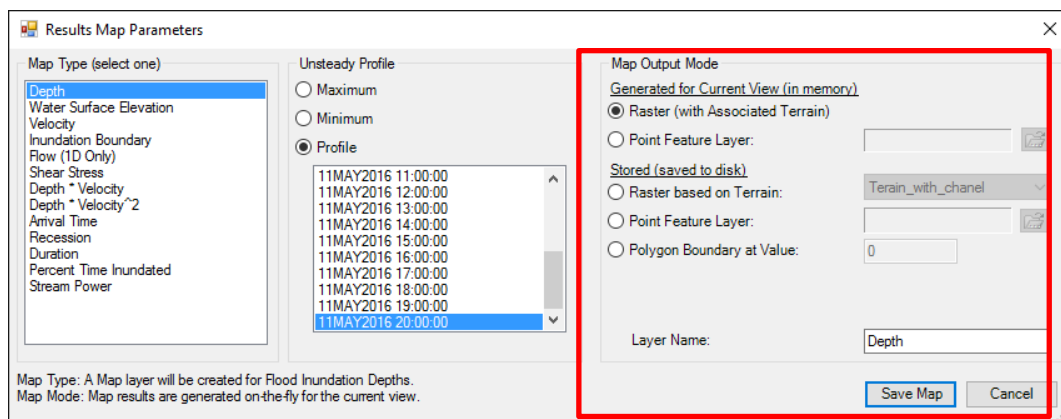
Export výsledků z programu HEC-RAS

Export grafických výsledků z programu HEC-RAS5.0 byl prováděn v okně RAS Mapper. V tomto okně se vybere vrstva, která bude exportována. Tato vrstva se zatrhne a klikne se na ni pravým tlačítkem myši. Po zobrazení rolety (Obr. 5.23) se zvolí možnost „Edit Map Parametr“ a vyskočí okno „Results Map Parametr“ (Obr. 5.24). V tomto okně se nastaví co bude výstupem, v jakém výpočetním čase a nakonec druh výstupu. Druh výstupu se nastavuje v pravé části okna nazvané „Map Output Mode“. V této části se nastavuje, zda-li bude výstup jen pro nahlížení v RAS Mapperu („Generated for Current View(in memory)“), nebo bude výstup exportován („Stored (Save to disk)“). Po nastavení správných parametrů

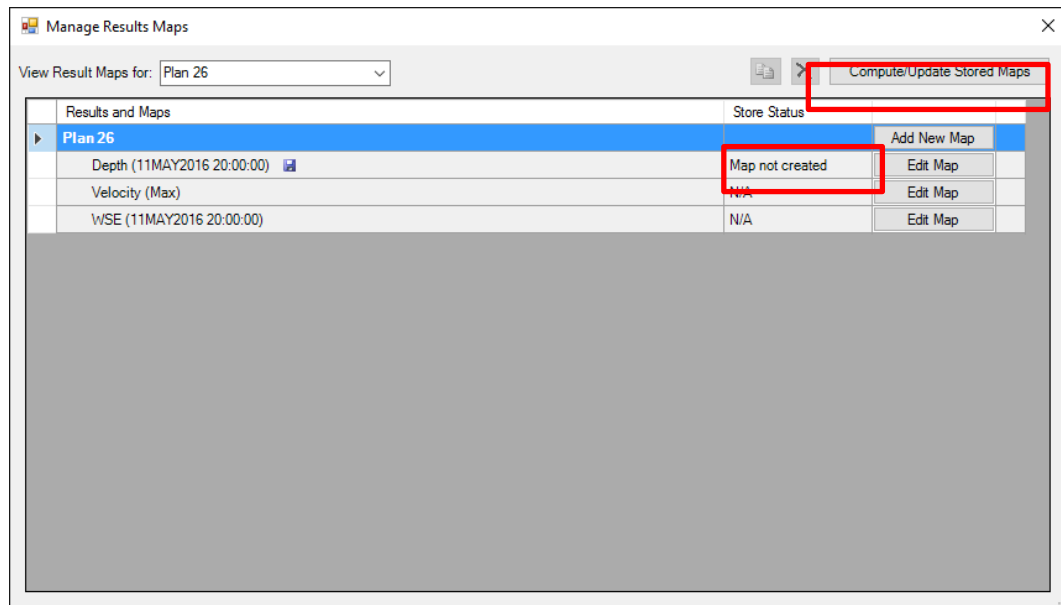
pro potřebný export se klikne na „OK“ a zobrazí se okno „Manage Results Maps“ (Obr. 5.25). V tomto okně pak lze zvolit i jiné vrstvy k editaci. V okně „Manage Results Maps“ se zobrazí v sloupečku „Store Status“ nejprve „Map not created“. Pro exportování výstupu se klikne na řádek se zvoleným výstupem a následně se klikne na tlačítko „Compute/Update Stored Maps“.



Obr. 5.23 Roleta pro export grafických výsledků z programu HEC-RAS



Obr. 5.24 Okno pro výběr druhu výstupu „Results Map Parameters“



Obr. 5.25 Okno pro editaci více vrstev do výstupů „Manage Results Maps“

Výstupy se exportují ve formátu *.tiff v případě hloubek, rychlostí, nebo nadmožské výšky vody. Hranice rozlivů se exportují do formátu *.shp. Tyto formáty jsou pak editovatelné ve některém z GIS softwarů.

6 HYDROTECHNICKÉ VÝPOČTY

6.1 STANOVENÍ SOUČINITELE DRSNOSTI

Součinitelé byly stanoveny z tabulek drsností pro různé typy koryt a materiálů podle fotografických katalogů srovnané s fotodokumentací a tabulek drsností pro různé typy koryt. Součinitelé drsnosti byly stanoveny pro každý profil individuálně pomocí kalibrace výpočtového modelu. Rozsahy součinitelů drsnosti najdeme v tabulce Tab. 6.1. Defaultní součinitel drsnosti byl nastaven na 0.06.

Tab. 6.1 Hodnoty Manningova drsnostního součinitele

Druh povrchu	Manningův součinitel drsnosti n
Štěrkové dno	0.04
Břeh	0.035
Berma	0.03
Nábřežní zeď (beton)	0.023
Pole	0.045
Husté stromové porosty s keřovým patrem	0.1
Husté stromové porosty bez keřového patra	0.08
Řídké stromové porosty	0.06
Zástavba- řadové domy, komplexy budov	0.5
Jednotlivé domy – zahradní kolonie	0.07
Jednotlivé keře a stromy na travnaté ploše v intravilánu	0.06
Udržovaná zatravněná plocha v intravilánu	0.03
Asfaltové cesty	0.013
Štěrkové cesty	0.02
Dlážděné cesty	0.025
Železnice	0.045
Voda	0.01

6.2 NASTAVENÍ OKRAJOVÝCH PODMÍNEK

Výpočet byl prováděn v režimu ustáleného proudění. Pro 1D proudění byl proveden výpočet v režimu ustáleného proudění. Pro výpočet 1D+2D proudění vody není možné v programu HEC-RAS 5.0.1 zadat ustálené proudění. V metodě 1D+2D proudění bylo

provedeno ustálení průtokovou řadou, kdy průtok, nebo hladina vody v okrajových podmínkách byla neměnná po celou dobu řešení. Po určitém čase došlo k ustálení výpočtu. K ustálení docházelo pro každou variantu Q_5 , Q_{20} , Q_{100} odlišným čase. V průměru docházelo k ustálení po 20-30 hodinách času simulace při kroku výpočtu 5-10 sekund.

Tab. 6.2 Tabulka okrajových podmínek

1D	1D+2D									
	1D oblast					2D oblast				
ZÚ		ZÚ		KÚ		ZÚ		KÚ		
Q	H	Q	H	Q	H	Q	H	Q	H	
[m ³ /s]	[m n. m.]	[m ³ /s]	[m n. m.]	[m ³ /s]	[m n. m.]	[m ³ /s]	[m n. m.]	[m ³ /s]	[m n. m.]	
Q_5	466	207.03	466	207.03	-	214.63	-*	-*	X	214.63
Q_{20}	662	208.18	662	208.18	-	214.85	-*	-*	X	214.85
Q_{100}	892	209.16	-	209.16	450	-	-	209.16	X	215.2

- Na začátku úseku při Q_5 a Q_{20} nebyl 2D výpočtový mesh

6.3 POROVNÁNÍ 1D A 1D+2D VERZE VÝPOČTU

Porovnání hladin 1D a 1D+2D je uvedeno v Tab. 6.3 až Tab. 6.5. Porovnání hladin při výpočtu průtoku $Q_5 = 466 \text{ m}^3/\text{s}$ je v tab. Tab. 6.3. Porovnání hladin při výpočtu průtoku $Q_{20} = 662 \text{ m}^3/\text{s}$ je v tab. Tab. 6.4. Porovnání hladin při výpočtu průtoku $Q_{100} = 892 \text{ m}^3/\text{s}$ je v tab. Tab. 6.5.

Tab. 6.3 Tabulka porovnání hladin při výpočtu průtoku Q_5

Číslo profilu	Staničení	1D	1D+2D	1D-(1D+2D)
[-]	[ř. km]	[m n. m.]	[m n. m.]	[m]
PF 38	18053.4	214.63	214.63	0.00
PF 37	17604.8	214.1	214.14	-0.04
PF 36	17289.4	213.56	213.77	-0.21
PF 35	16923.9	213.2	213.25	-0.05
PF 34	16536.6	212.27	212.83	-0.56
PF 33	16059.8	211.91	212.19	-0.28
PF 32	15582.8	211.47	211.79	-0.32
PF 31	15161.8	211.28	211.38	-0.10
PF 30	14777.9	211.03	211.07	-0.04
PF 29	14431	210.56	210.7	-0.14
PF 28	14120	210.28	210.25	0.03
PF 27	14034.3	210.14	210.23	-0.09
PF 26	13731	209.85	210.02	-0.17
PF 25	13724	209.84	209.96	-0.12
PF 24	13670.6	209.74	209.41	0.33
PF 23	13135.1	209.21	209.16	0.05
PF 22	12914.5	208.96	209.21	-0.25
PF 21	12905	208.96	209.14	-0.18
PF 20	12863.5	208.89	208.92	-0.03
PF 19	12653	208.74	208.89	-0.15
PF 18	12596	208.7	208.86	-0.16
PF 17	12580	208.68	208.73	-0.05
PF 16	12488	208.57	208.67	-0.10
PF 15	12404.5	208.5	208.62	-0.12
PF 14	12380	208.46	208.64	-0.18
PF 13	12352.6	208.47	208.57	-0.10
PF 12	12290	208.41	208.54	-0.13
PF 11	12230	208.37	208.35	0.02
PF 10	12118.6	208.19	208.2	-0.01
PF 9	11990.9	208.04	208.1	-0.06
PF 8	11925	207.93	207.91	0.02
PF 7	11890	207.81	207.57	0.24
PF 6	11733.6	207.52	207.37	0.15
PF 5	11660	207.36	207.24	0.12
PF 4	11602.4	207.26	207.17	0.09
PF 3	11568.4	207.17	207.06	0.11
PF 2	11533.2	207.05	207.03	0.02
PF 1	11490	207.03	207.03	0.00

Tab. 6.4 Tabulka porovnání hladin při výpočtu průtoku Q_{20}

Číslo profilu	Staničení	1D	1D+2D	1D-(1D+2D)
[-]	[ř. km]	[m n. m.]	[m n. m.]	[m]
PF 38	18053.41	214.85	214.85	0.00
PF 37	17604.75	214.24	214.34	-0.10
PF 36	17289.43	213.95	214	-0.05
PF 35	16923.92	213.56	213.5	0.06
PF 34	16536.59	212.67	213.06	-0.39
PF 33	16059.77	212.37	212.45	-0.08
PF 32	15582.78	211.97	212.11	-0.14
PF 31	15161.76	211.82	211.71	0.11
PF 30	14777.93	211.76	211.48	0.28
PF 29	14430.96	211.32	211.16	0.16
PF 28	14120	211.13	210.81	0.32
PF 27	14034.3	210.95	210.82	0.13
PF 26	13731.04	210.69	210.63	0.06
PF 25	13724	210.68	210.62	0.06
PF 24	13670.64	210.56	210.55	0.01
PF 23	13135.11	210.05	209.98	0.07
PF 22	12914.45	209.8	209.74	0.06
PF 21	12905	209.8	209.79	0.01
PF 20	12863.51	209.71	209.71	0.00
PF 19	12653.03	209.56	209.5	0.06
PF 18	12596	209.52	209.47	0.05
PF 17	12580	209.49	209.43	0.06
PF 16	12487.98	209.35	209.3	0.05
PF 15	12404.51	209.29	209.24	0.05
PF 14	12380	209.24	209.19	0.05
PF 13	12352.62	209.25	209.21	0.04
PF 12	12290	209.18	209.14	0.04
PF 11	12230	209.16	209.13	0.03
PF 10	12118.56	209	208.97	0.03
PF 9	11990.89	208.86	208.86	0.00
PF 8	11925	208.77	208.77	0.00
PF 7	11890	208.65	208.63	0.02
PF 6	11733.58	208.48	208.43	0.05
PF 5	11660	208.36	208.32	0.04
PF 4	11602.39	208.32	208.3	0.02
PF 3	11568.4	208.26	208.27	-0.01
PF 2	11533.24	208.22	208.2	0.02
PF 1	11490	208.18	208.18	0.00

Tab. 6.5 Tabulka porovnání hladin při výpočtu průtoku Q_{100}

Číslo profilu	Staničení	1D	1D+2D	1D-(1D+2D)
[-]	[ř. km]	[m n. m.]	[m n. m.]	[m]
PF 38	18053.4	215.2	214.94	0.26
PF 37	17604.8	214.96	214.46	0.50
PF 36	17289.4	214.35	214.15	0.20
PF 35	16923.9	213.98	213.74	0.24
PF 34	16536.6	213.43	213.28	0.15
PF 33	16059.8	213.04	212.73	0.31
PF 32	15582.8	212.61	212.43	0.18
PF 31	15161.8	212.3	212.04	0.26
PF 30	14777.9	211.96	211.92	0.04
PF 29	14431	211.81	211.73	0.08
PF 28	14120	211.83	211.6	0.23
PF 27	14034.3	211.69	211.62	0.07
PF 26	13731	211.59	211.52	0.07
PF 25	13724	211.51	211.52	-0.01
PF 24	13670.6	211.54	211.47	0.07
PF 23	13135.1	211.36	211.17	0.19
PF 22	12914.5	211.16	211.04	0.12
PF 21	12905	211.13	210.98	0.15
PF 20	12863.5	211.08	210.92	0.16
PF 19	12653	210.93	210.75	0.18
PF 18	12596	210.9	210.72	0.18
PF 17	12580	210.86	210.7	0.16
PF 16	12488	210.77	210.6	0.17
PF 15	12404.5	210.78	210.59	0.19
PF 14	12380	210.23	210.22	0.01
PF 13	12352.6	210.25	210.25	0.00
PF 12	12290	210.19	210.2	-0.01
PF 11	12230	210.24	210.23	0.01
PF 10	12118.6	210.13	210.16	-0.03
PF 9	11990.9	210.09	210.1	-0.01
PF 8	11925	210.07	210.05	0.02
PF 7	11890	209.61	209.68	-0.07
PF 6	11733.6	209.63	209.56	0.07
PF 5	11660	209.59	209.49	0.10
PF 4	11602.4	209.47	209.48	-0.01
PF 3	11568.4	209.19	209.22	-0.03
PF 2	11533.2	209.23	209.17	0.06
PF 1	11490	209.16	209.16	0.00

6.4 KAPACITA KORYTA

Na základě provedených výpočtů byla stanovena kapacita v jednotlivých úsecích toku. Kapacita koryta je uvedena v Tab. 4.1

Tab. 6.6 Srovnání kapacity koryta

;	Staničení	LB	PB
[-]	[ř. km]		
PF 38	18053.4	< Q ₅	< Q ₅
PF 37	17604.8	< Q ₅	< Q ₅
PF 36	17289.4	< Q ₅	< Q ₅
PF 35	16923.9	< Q ₅	< Q ₅
PF 34	16536.6	< Q ₅	< Q ₅
PF 33	16059.8	< Q ₅	< Q ₅
PF 32	15582.8	< Q ₅	< Q ₅
PF 31	15161.8	< Q ₅	< Q ₅
PF 30	14777.9	< Q ₅	< Q ₅
PF 29	14431	< Q ₅	< Q ₅
PF 28	14120	< Q ₂₀	< Q ₅
PF 27	14034.3	< Q ₅	< Q ₂₀
PF 26	13731	< Q ₂₀	< Q ₁₀₀
PF 25	13724	< Q ₂₀	< Q ₁₀₀
PF 24	13670.6	< Q ₁₀₀	< Q ₁₀₀
PF 23	13135.1	< Q ₁₀₀	< Q ₂₀
PF 22	12914.5	< Q ₁₀₀	kapacitní
PF 21	12905	< Q ₁₀₀	kapacitní
PF 20	12863.5	< Q ₂₀	< Q ₁₀₀
PF 19	12653	< Q ₁₀₀	< Q ₁₀₀
PF 18	12596	< Q ₁₀₀	< Q ₁₀₀
PF 17	12580	< Q ₁₀₀	kapacitní
PF 16	12488	kapacitní	< Q ₁₀₀
PF 15	12404.5	kapacitní	< Q ₁₀₀
PF 14	12380	kapacitní	kapacitní
PF 13	12352.6	kapacitní	kapacitní
PF 12	12290	< Q ₂₀	< Q ₂₀
PF 11	12230	< Q ₂₀	< Q ₁₀₀
PF 10	12118.6	< Q ₁₀₀	< Q ₁₀₀
PF 9	11990.9	< Q ₂₀	< Q ₁₀₀
PF 8	11925	< Q ₁₀₀	< Q ₁₀₀
PF 7	11890	kapacitní	kapacitní
PF 6	11733.6	< Q ₂₀	< Q ₁₀₀
PF 5	11660	< Q ₁₀₀	< Q ₁₀₀

PF 4	11602.4	kapacitní	kapacitní
PF 3	11568.4	kapacitní	kapacitní
PF 2	11533.2	$< Q_{20}$	$< Q_{100}$
PF 1	11490	$< Q_{20}$	$< Q_{100}$

Na základě stanovené kapacity bylo přistoupeno k návrhu PPO v jednotlivých lokalitách.

6.5 IDEOVÝ NÁVRH PPO

Nejschůdnějším řešením protipovodňové ochrany v intravilánu města jsou betonové opěrné zdi a v případě velmi vysokých vodních stavů za povodňových průtoků betonové opěrné zdi s mobilními bariérami. Opěrné zdi s mobilními bariérami se navrhují tehdy, kdy by musela být vysoká betonová zeď, která by rušila ráz města, nebo krajiny.

Obecným problémem protipovodňové ochrany z mobilních bariér je včasnost nainstalování této protipovodňové ochrany.

Pro centrum obce Přerov byla zvolena varianta betonové opěrné zdi s výškou koruny 20 cm nad hladinu vody při Q_{50} s možností zvýšení této zdi o mobilní bariéru. Navrhovaná výška mobilní bariéry musí přesahovat hladinu vody při Q_{100} o 30 cm.

Detailní návrh PPO bude proveden v následujícím stupni projektové dokumentace.

Návrh PPO byl rozdělen do šesti stavebních objektů. Rozdělení PPO na stavební objekty je zobrazeno v příloze C.3. V místech, kde již existují nábřežní zdi, bylo navrženo přibetonování nové betonové zdi na stávající nábřežní zeď. Při tomto řešení by bylo třeba dbát na správnou techniku provádění prací při spojování stávající a nové zdi.

V místech, kde zeď nenavazuje na stávající nábřežní zeď, byla navržena tížná, nebo úhlová betonová zeď. Druh, stejně jako rozměry a založení protipovodňové zdi bude určen v následujícím stupni projektové dokumentace. Při výstavbě by bylo nutné dbát na správné založení základové konstrukce dle výpočtu stability betonové zdi.

1) Protipovodňová ochrana na levém břehu

Návrh protipovodňové ochrany na levém břehu je rozdělen na dva stavební objekty:

- SO-01 Betonová zeď přibetonovaná ke stávající nábřežní zdi s možností mobilních bariér
- SO-02 Tížná, nebo úhlová betonová zeď s možností mobilních bariér

SO-01 Betonová zeď přibetonovaná ke stávající nábřežní zdi s možností mobilních bariér

Tento druh PPO byl navržen od začátku úseku v ř. km 11,490 po lávku u Loděnice v ř. km 12,390. Betonová zeď byla navržena mezi mosty. V místech styku s mostem je nutné vhodné zavázání do terénu nebo do objektu mostu, ke kterému musí být řádně upevněna.

SO-02 Tížná, nebo úhlová betonová zeď s možností mobilních bariér

Tížná, nebo betonová zeď byla navržena v úseku od lávky u Loděnice v ř. km 12,910 po areál nemocnice. V tomto úseku se vyskytuje lávka u Tenisu. Zde bylo navrženo připojení betonové zdi k betonovému sjezdu betonové lávky. Betonová zeď končí za areálem nemocnice v ř. km 14,557, kde bude zavázána do terénu.

2) Protipovodňová ochrana na pravém břehu

Návrh protipovodňové ochrany na pravém břehu je rozdělen do 4 stavebních objektů.

- SO-03 Tížná, nebo úhlová betonová zeď s možností mobilních bariér
- SO-04 Betonová zeď přibetonovaná ke stávající nábrežní zdi s možností mobilních bariér
- SO-05 Tížná, nebo úhlová betonová zeď s možností mobilních bariér
- SO-06 Tížná, nebo úhlová betonová zeď bez možnosti mobilní bariéry

SO-03 Tížná, nebo úhlová betonová zeď s možností mobilních bariér

Stavební objekt byl navržen v úseku od začátku úseku v ř. km 11,490 po ř. km 12,290. V místě styku s mostem Legií je nutné vhodné zavázání do objektu most, ke kterému musí být řádně upevněna.

SO-04 Betonová zeď přibetonovaná ke stávající nábrežní zdi s možností mobilních bariér

Stavební objekt byl navržen v úseku od ř. km 12,290 po lávku u Loděnice v ř. km 12,910. V místech mostů bylo navrženo vhodné zavázání zdi do terénu, nebo napojení na mostní konstrukci.

SO-05 Tížná, nebo úhlová betonová zeď s možností mobilních bariér

Tížná, nebo úhlová zeď začíná u lávky u Loděnice v ř. km 12,910, kde pokračuje směrem k silnici na ulici Bezručova. Zeď dále pokračuje podél silnice k bikrosové dráze Přerov. Zde se zeď odkloňuje z ulice Bezručova podél cyklostezky okolo městského parku Michalov až k silnici na ulici Osmek. Podél této silnice zeď pokračuje k areálu střední zemědělské školy.

SO-06 Tížná, nebo úhlová betonová zeď bez možnosti mobilní bariéry

Tento typ betonové zdi byl navržen trasou kolem lesního porostu Žebračka. Konec této protipovodňové ochrany bude zavázán do silnice I. třídy č. 47 směr z Přerova na Lipník nad Bečvou.

Ideový návrh protipovodňové ochrany byl řešen jen na povrchové vody. PPO proti prosáknutí podzemní vody bude řešeno v další části projektové dokumentace, kdy bude proveden podrobný hydrogeologický průzkum.

7 ZÁVĚR

V rámci práce bylo provedeno shromáždění podkladů a prohlídka oblasti. Na základě těchto podkladů byl vytvořen model proudění vody v 1D a v 1D+2D. Po kalibraci 1D modelu proudění vody byly využity výsledky proudění jako okrajové podmínky pro model proudění ve 1D+2D. Výsledky proudění z modelů ve formě hloubek vody v toku byly srovnány. Následovalo stanovení kapacity v jednotlivých profilech. Následoval návrh protipovodňového opatření na průtok Q_{100} .

V rámci této kapitoly je dále provedeno:

- Zhodnocení výsledků výpočtů 1D a 1D+2D proudění.
- Zhodnocení rastrů hloubek a rychlostí vody.
- Srovnání 1D a 1D+2D výpočtů.
- Zhodnocení navržené protipovodňové ochrany.

Textová část bakalářské práce byla zpracována s důrazem na kombinaci 1D+2D proudění. Kapitola 3 Teorie proudění vody v otevřených korytech byla zpracována pro formu výpočtu 1D i 1D+2D. V kapitole 5.3 Postup práce byl však popsán postup zejména pro přípravu dat, vytvoření výpočtového modelu, samotného výpočtu a exportu výsledků 1D+2D výpočtu proudění.

7.1 ZHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ VÝPOČTŮ 1D A 1D+2D PROUDĚNÍ

V bakalářské práci bylo provedeno porovnání hladin vody průtoků Q_5 , Q_{20} a Q_{100} při 1D a 1D+2D výpočtu. Pro tyto průtoky bylo provedeno také srovnání rozlivů vody v inundaci pro varianty výpočtu 1D, 1D+2D a rozlivů z databáze DIBAVOD. Srovnání hladin výpočtu 1D a 1D+2D proudění je zobrazeno v tabulkách Tab. 6.3, Tab. 6.4 a Tab. 6.5. Srovnání rozlivů vody při průtocích Q_5 , Q_{20} a Q_{100} je zobrazeno v přílohách č. C.6., C.7. a C.8.

Hodnocení pro výpočet průtoku Q_5

Průběh hladiny při výpočtech 1D a 1D+2D se příliš neliší (Tab. 6.3). Rozdíly jsou ve většině profilů v řádech jednotek centimetrů. Větší rozdíly jsou jen v profilech okolo mostů. Jediným výrazným rozdílem mimo oblast mostů je v profilu PF 34 v ř. km 16,537, kdy je hladina vody při výpočtu 1D+2D o 0,56 m výš než ve výpočtu 1D proudění. Tento rozdíl může být zaviněn topologií terénu v okolí tohoto příčného profilu. Na pravém břehu je zvýšení terénu směřované k toku. Při výpočtu varianty 1D+2D dojde k proudění vody z inundace do koryta toku. Tuto možnost výpočet 1D proudění nedokáže zohlednit.

Rozlivy při výpočtu 1D a 1D+2D proudění vychází přibližně stejné. Odchyly jsou dány druhem výpočtu. Dále jsou odchyly dané možnou nepřesností výpočtového meshe. Největší rozdíl v rozlivu se nachází přibližně v ř. km 12,300. Zde voda dle výpočtu 1D+2D přeteče přes překážku v podobě silnice. Podle výpočtu 1D a databáze DIBAVOD však voda tuto překážku nepřekoná (Obr. 7.1).



Obr. 7.1 Příklad rozdílnosti v jednotlivých rozlivech při Q_5

Velké změny jsou v rozlivech z databáze DIBAVOD oproti vypočítaným rozlivům. Předpokladem je, že tyto rozdíly jsou dány zejména rozdílným výpočtovým digitálním modelem terénu. Tyto rozdíly jsou patrné v příloze č. C.6.

Hodnocení pro výpočet průtoku Q_{20}

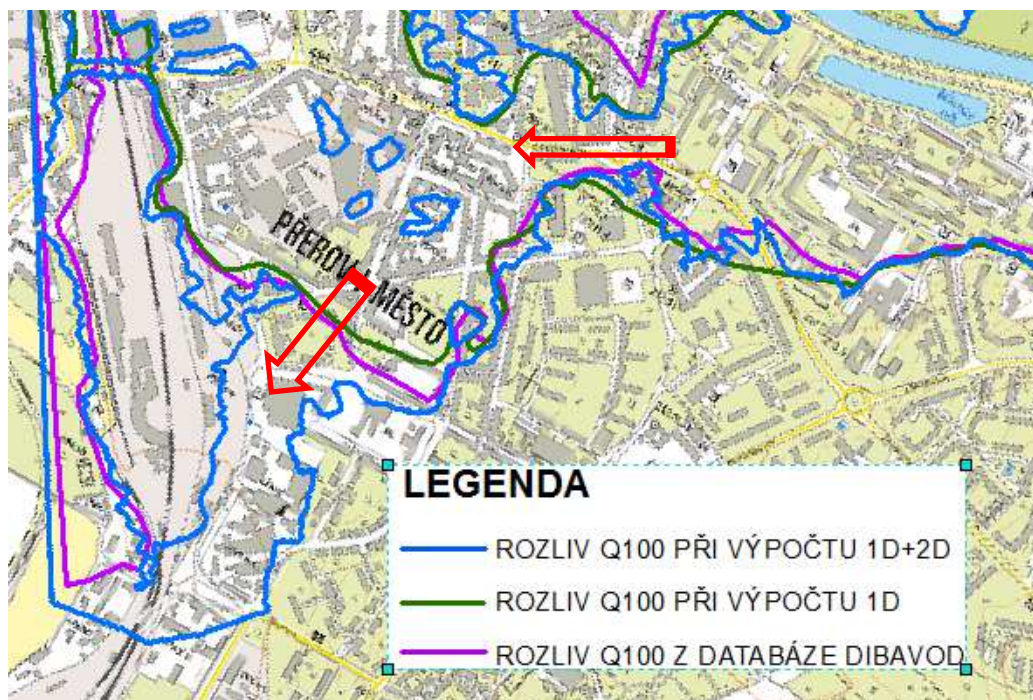
Srovnání hladin v tomto vodním stavu se z velké části liší jen o jednotky centimetrů (Tab. 6.4). Oproti výpočtu průtoku Q_5 se neliší ani u mostních konstrukcí. Největší rozdíl je opět v příčném profilu PF 34 v ř. km 16,537. V tomto profilu je hladina při výpočtu 1D+2D výš o 0,39 m oproti hladině z výpočtu 1D. Tento rozdíl je dán stejně jako u rozdílu při výpočtu Q_5 zvýšeným terénem na pravém břehu koryta.

Pro rozlivy výpočtu průtoku Q_{20} platí stejné tvrzení jako u rozlivů při výpočtu Q_5 , včetně místa největšího rozdílu rozlivů. Srovnání rozlivů je zobrazeno v příloze C.7.

Hodnocení pro výpočet průtoku Q_{100}

Srovnání hladin při průtoku Q_{100} není tak přesné jako u menších průtoků (Tab. 6.5). To může být dáno způsobem výpočtu, kdy varianta 1D+2D počítá proudění v inundaci nejen mezi profily. Hladina vody ve variantě výpočtu 1D+2D místy vychází zejména na konci úseku až o 50 cm níže než ve variantě výpočtu 1D.

Srovnání rozlivů 1D a 1D+2D variantě výpočtu není tak přesné jako u výpočtů menších průtoků. Rozdíly v rozlivech jsou zejména patrné na začátku úseku, kdy voda proudí kolem centra města směrem k Hlavnímu nádraží, kde se podle výpočtu 1D a dle databáze DIBAVOD voda zastaví, ale ve verzi výpočtu 1D+2D překoná výškovou bariéru a proudí směrem k Horní Moštěnici podél kolejí (Obr. 7.2).



Obr. 7.2 Příklad rozdílnosti v jednotlivých rozlivech při Q_{100}

7.2 ZHODNOCENÍ RASTRO HLOUBEK A RYCHLOSTÍ VODY

Při exportu rastrů hloubek a rychlostí vody je důležité v GIS softwaru oříznout nekompetentní části rastru (Obr. 7.3). Na obrázku jsou patrné rozlišení mezi ořezaným rastrem (modře) a rastrem vyexportovaným z programu HEC-RAS 5.0 (černě).



Obr. 7.3 Ukázka chyby ve výstupu rastrů

7.3 SROVNÁNÍ 1D A 1D+2D VÝPOČTŮ

Volba formy výpočtu by měla záviset na velikosti území, respektive na velikosti a na členitosti zájmového území. 1D výpočet počítá v jednom příčném profilu jen jednu výšku vodyl. V inundaci si však voda vytvoří své vlastní cesty, kterými voda proudí a není vždy jen v jednom směru. Tyto cesty však 1D výpočet nepostihne. Oproti tomu 2D výpočet tyto vodní cesty při správném digitálním modelu terénu a správném vytvoření výpočtového meshe postihne.

Při 1D výpočtu, zejména v intravilánu, se určují drsnostní součinitele velice složitě, proto se často volí řešení průměrného drsnostního součinitele. V nastavení výpočtu 1D se špatně modelují budovy, proto se to řeší zvětšením průměrné drsnosti, nebo objektem „Obstructions“. Ve 2D oblasti mohou být určeny polygony využití území, ve který je možné zvolit rozdílný drsnostní součinitel pro každé využití území zvlášť. Budovy se dají řešit zdvihem digitálního modelu terénu. Tento postup je však zdlouhavý a často prakticky nereálný zpracovat, proto se k polygonům budov přiřadí velmi vysoký součinitel drsnosti. V této práci byl pro budovy zvolen součinitel drsnosti 0.5.

7.4 ZHODNOCENÍ NÁVRHU PPO

PPO byla provedena pro ochranu intravilánu města Přerova před 100 letou vodou. Řešení PPO je jen pro zájmovou lokalitu a může zhoršit povodňovou situaci v okolních obcích. Ideálním řešením PPO nejen města Přerova, ale celého povodí řeky Bečvy by bylo provést poldr, nebo přehradní nádrž na vhodné lokalitě. V dnešní době již byly zpracovány studie na poldr Teplice, nebo vodní nádrž Skalička.

7.5 DALŠÍ SMĚRY PRÁCE

Pro následující projektovou dokumentaci je potřeba podrobnějších dat a to digitálního modelu terénu, hydrogeologického a geologického průzkumu. Ideálním řešením by byl návrh komplexní PPO povodí řeky Bečvy nejlépe ve více variantách. Pro tyto účely by bylo potřeba rozšířit oblast na větší území, nejlépe celé povodí. Navržení komplexní PPO by znamenalo i ověření navržených hodnot hydraulickým výpočtem.

Následujícím krokem by bylo udělat ekonomické zhodnocení jednotlivých variant a určení ideální PPO pro celé území povodí řeky Bečvy.

8 POUŽITÁ LITERATURA

- [1] JANDORA, Jan a Jan ŠULC. *Hydraulika: Modul 01*. Brno: Akademické nakladatelství CERN, 2006 [cit. 2016-05-27].
- [2] JANDORA, Jan a Hana UHMANNOVÁ. *Proudění systémem říčních koryt: Modul 01*. Brno: Akademické nakladatelství CERN, 2006.
- [3] GARY W. a BRUNNER. *HEC-RAS River Analysis System: Hydraulic Reference Manual* [online]. Version 5.0. Davis California, 2016 [cit. 2016-05-27]. Dostupné z: <http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/documentation/HEC-RAS%205.0%20Reference%20Manual.pdf>
- [4] *Podnebí Přerova a okolí*. Olomouc, 2012. Diplomová práce. Univerzita Palackého v Olomouci, Přírodovědecká fakulta. Vedoucí práce Doc. RNDr. Miroslav Vysoudil, CSc.
- [5] ŘÍHÁČEK, V. *Revitalizační opatření na soutoku Moravy a BEčvy: Studie proveditelnosti*. 2012. 2012.
- [6] Mapa: http://mapy.geology.cz/geocr_50/
- [7] Bečva. In: *Wikipedie: Otevřená encyklopedie* [online]. 2015 [cit. 2016-05-26]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Bečva>
- [8] Evidenční list hlásného profilu č. 330. In: *Hydro.chmi.cz* [online]. Hydrosoft Velešlavín s.r.o., 2016 [cit. 2016-05-26]. Dostupné z: http://hydro.chmi.cz/hpps/hpps_prfbk_detail.php?seq=307354
- [9] Stavby a průtoky na vodních tocích. In: *Pmo.cz* [online]. Praha: Povoní Moravy, státní podnik, 2016 [cit. 2016-05-26]. Dostupné z: <http://www.pmo.cz/portal/sap/cz/index.htm>
- [10] ATLAS DMT - projektování a geodetické práce. In: *CAD.cz* [online]. 2016 [cit. 2016-05-26]. Dostupné z: <http://www.cad.cz/gis/80-gis/2254-atlas-dmt-projektovani-a-geodeticke-prace.html>
- [11] Produkty Atlas DMT: Profesionálně zaměřené aplikace. In: *atlasltd.cz* [online]. Praha: ATLAS spol. s.r.o., 2016 [cit. 2016-05-26]. Dostupné z: <http://www.atlasltd.cz/produkty-atlas-dmt.html>
- [12] GARY W. a BRUNNER. *HEC-RAS River Analysis System: User's Manual* [online]. Version 5.0. Davis California, 2016 [cit. 2016-05-27]. Dostupné z: <http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/documentation/HEC-RAS%205.0%20Users%20Manual.pdf>
- [13] ArcGIS REST Services Directory: dmr4g (ImageServer). In: *Ags.cuzk.cz* [online]. 2015 [cit. 2016-05-26]. Dostupné z: <http://ags.cuzk.cz/arcgis/rest/services/dmr4g/ImageServer>
- [14] VÚV TGM: O projektu DIBAVOD. In: *Dibavod.cz* [online]. Praha: Výzkumný ústav vodohospodářský T.G.Masaryka, veřejná výzkumná instituce - Odbor ochrany vod a informatiky, 2014 [cit. 2016-05-26]. Dostupné z: <http://www.dibavod.cz/>

- [15] ZEZULA, Ondřej. *Manipulační řád jezu a MVE Přerov: Na řere Bečvě ř.km 11.440.* 2012. 2012.

SEZNAM TABULEK

Tab. 4.1 N-leté průtoky pro řeku Bečvu ve stanici Dluhonice (ř. km. 9,300) [9]	14
Tab. 4.2 Objekty na toku	16
Tab. 6.1 Hodnoty Manningova drsnostního součinitele.....	38
Tab. 6.2 Tabulka okrajových podmínek.....	39
Tab. 6.3 Tabulka porovnání hladin při výpočtu průtoku Q_5	40
Tab. 6.4 Tabulka porovnání hladin při výpočtu průtoku Q_{20}	41
Tab. 6.5 Tabulka porovnání hladin při výpočtu průtoku Q_{100}	42

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 3.1 Schéma pro výpočet ustáleného rovnoměrného proudění.....	5
Obr. 3.2 Schéma profilu o různých drsnostech	6
Obr. 3.3 Schéma rozložení složeného průtočného profilu	7
Obr. 3.4 Směr výpočtu při řešení nerovnoměrného proudění metodou po úsecích	8
Obr. 3.5 Schéma pro výpočet ustáleného nerovnoměrného proudění.....	9
Obr. 4.1 Geologická mapa zájmového území [6].....	13
Obr. 4.2 Trasa toku v zájmové lokalitě	15
Obr. 5.1 Příklad vytvořeného výpočtového meshe	19
Obr. 5.2 Schéma a terminologie 2D výpočtového meshe [3].....	20
Obr. 5.3 Schéma postupu vypracování práce	22
Obr. 5.4 Digitální model terénu v programu AutoCAD Civil 3D.....	23
Obr. 5.5 Příklad vedení trasy toku a vložených příčných profilů.....	23
Obr. 5.6 Rastrový model terénu	24
Obr. 5.7 Polygony využití území.....	25
Obr. 5.8 Hlavní okno programu HEC-RAS	25
Obr. 5.9 Příklad nepřesnosti měření DMR 4G	26
Obr. 5.10 Příklad modelování mostů (Železniční most ř. km 11,590).....	26
Obr. 5.11 Příklad nastavení koordinačního systému	27
Obr. 5.12 Okno pro načtení povrchu terénu a vytvoření modelu terénu.....	27
Obr. 5.13 Okno „Geometric Data“ s vytvořeným meshem.....	28
Obr. 5.14 Okno nastavení vytvoření 2D výpočtového meshe.....	29
Obr. 5.15 Okno „Measure Line“	30
Obr. 5.16 Okno editoru „Lateral Structure Editor“	31
Obr. 5.17 Okno „Lateral structure GIS Coordinate“	32
Obr. 5.18 Okno „Lateral Structure Embankment“	33
Obr. 5.19 Okna pro nastavení staničení připojení 1D příčného profilu a 2D buňky k „Lateral Structure“	34
Obr. 5.20 Umístění ikony editoru „SA/2S Area BC Lines“	34
Obr. 5.21 Okno editoru „View/Edit Unsteady Flow Data“	35
Obr. 5.22 Umístění ikony editoru „View/Edit Unsteady Flow Data“	35
Obr. 5.23 Roleta pro export grafických výsledků z programu HEC-RAS.....	36
Obr. 5.24 Okno pro výběr druhu výstupu „Results Map Parameters“	36
Obr. 5.25 Okno pro editaci více vrstev do výstupů „Manage Results Maps“	37
Obr. 7.1 Příklad rozdílnosti v jednotlivých rozlivech při Q_5	47
Obr. 7.2 Příklad rozdílnosti v jednotlivých rozlivech při Q_{100}	48
Obr. 7.3 Ukázka chyby ve výstupu rastrů	48

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

A...	Průtočná plocha	[m ²]
V...	Rychlost	[m/s]
Q...	Průtok	[m ³ /s]
C...	Rychlostní součinitel	[m ^{0,5} /s]
R...	Hydraulický poloměr	[m]
S _f ...	Sklon čáry energie	[-]
S _H ...	Sklon hladiny	[-]
S _Z ...	Sklon dna	[-]
S _k ...	Sklon kritického proudění	[-]
h...	Výška hladiny ode dna	[m]
H...	Nadmořská výška hladiny	[m n. m.]
Z...	Nadmořská výška dna	[m n. m.]
P...	Omočený obvod	[m]
n...	Manningův drsnostní součinitel	[-]
h _e ...	Energetická ztráta	[m]
h _k ...	Kritická hloubka	[m]
α...	Coriolisovo číslo	[-]
g...	Gravitační zrychlení	[m/s ²]
L...	Délka úseku (délka mezi příčnými profily)	[m]
ξ...	Koeficient místní ztráty	[-]
t...	čas	[s]
u, v...	Rychlosti v horizontálních směrech	[m/s]
q...	Dílčí přítok	[m ³ /s]
x, y...	Vzdálenost v daném směru	[m]
C _f ...	Koeficient tření o dno	[-]
v _t ...	Koeficient turbulentní vizkozity	[-]
D...	Bezrozměrná empirická konstanta	[-]
u _*	Smyková rychlost	[m/s]

SEZNAM PŘÍLOH

- C.1. Situace širších vztahů
- C.2.1. Situace stavby 1
- C.2.2. Situace stavby 2
- C.3. Ideový návrh PPO
- C.4. Podélný profil
- C.5. Příčné řezy
- C.6. Srovnání rozlivů Q5
- C.7. Srovnání rozlivů Q20
- C.8. Srovnání rozlivů Q100
- C.9. Mapa hloubek při Q5
- C.10. Mapa hloubek při Q20
- C.11. Mapa hloubek při Q100
- C.12. Mapa rychlostí při Q5
- C.13. Mapa rychlostí při Q5
- C.14. Mapa rychlostí při Q5
- D.1. Fotodokumentace