



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV VODNÍCH STAVEB

INSTITUTE OF WATER STRUCTURES

HYDRAULICKÉ POSOUZENÍ KAPACITY KORYTA A NÁVRH PPO

HYDRAULIC ASSESMENT OF RIVER AND DESIGN OF FLOOD PROTECTION

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Martin Pikna

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. DAVID DUCHAN, Ph.D.

BRNO 2017



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	Martin Pikna
Název	Hydraulické posouzení kapacity koryta a návrh PPO
Vedoucí práce	Ing. David Duchan, Ph.D.
Datum zadání	30. 11. 2016
Datum odevzdání	26. 5. 2017

V Brně dne 30. 11. 2016

prof. Ing. Jan Šulc, CSc.
Vedoucí ústavu

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

PODKLADY A LITERATURA

Podklady:

- 1) Příčné a podélné profily úseku toku
- 2) Situace a digitální model terénu
- 3) Hydrologické podklady

Literatura:

- 1) Ven Te Chow, Open-Channel Hydraulics, 1959
- 2) Studijní opora "Proudění v systémech říčních koryt" a "Projekt vodní stavby".

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

Na vybrané lokalitě bude provedeno ověření kapacity koryta. Dále budou stanoveny rozlivy při povodňových průtocích, dále hloubky vody a rychlosti. Na základě hydraulických výpočtů bude proveden návrh úpravy toku a protipovodňové ochrany.

Výstupy:

- 1) Textová část
- 2) Mapové výstupy

STRUKTURA BAKALÁŘSKÉ 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).

Ing. David Duchan, Ph.D.
Vedoucí bakalářské práce

ABSTRAKT

Bakalářská práce se zabývá hydraulickým posouzením kapacity koryta při povodňových průtocích na řece Leskavě v ř. km 1,600 po ř. km 3,843. Analýza byla prováděna v programu HEC-RAS 5.0 s využitím kombinace proudění povrchové vody, které bylo simulované pomocí 1D a 2D numerického modelu. Výpočet probíhal pro průtoky Q_5 , Q_{20} , Q_{100} . Bakalářská práce navazuje a čerpá ze studie ke Generelu odvodnění města Brna. Byly porovnány výsledky výpočtů ze stávajících podkladů přejatých z Generelu odvodnění města Brna s nově vzniklými výsledky ve formě bakalářské práce. Závěrem, na základě výsledných hloubek vody a velikosti rozlivů, bylo provedeno zhodnocení výsledků a navrženo ideové protipovodňové opatření.

KLÍČOVÁ SLOVA

HEC-RAS 5.0

Hloubka vody

Kombinace 1D a 2D proudění povrchové vody

Rozliv vody

Protipovodňová ochrana

ABSTRACT

The bachelor thesis deals with the hydraulic analysis of the water flow of flood flow on the river Leskava from river station km 1,600 to river station 3,843 km. Hydraulic analysis was performed in the program HEC-RAS 5.0. using a combination of the flow of surfacewater in the 1D and 2D model. The calculation was carried out for the flow rates Q_5 , Q_{20} , Q_{100} . Bachelor thesis builds on the study to the General plan of the drainage of the city of Brno. In conclusion, on the basis of the resulting depths of the water and the size of the flood areas it was proposed to appropriate flood control measures in the form of idea flood protection.

KEYWORDS

HEC-RAS 5.0

Depth od water

Combination of 1D and 2D water flow

Flood areas

Flood protection

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE VŠKP

Martin Pikna *Hydraulické posouzení kapacity koryta a návrh PPO*. Brno, 2017. 55 s., 76 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 16. 5. 2017

Martin Pikna
autor práce

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 16. 5. 2017

Martin Pikna
autor práce

POPISNÝ SOUBOR ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Vedoucí práce	Ing. David Duchan, Ph.D.
Autor práce	Martin Pikna
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	Hydraulické posouzení kapacity koryta a návrh PPO
Název práce v anglickém jazyce	Hydraulic assesment of river and design of flood protection
Typ práce	Bakalářská práce
Přidělovaný titul	Bc.
Jazyk práce	Čeština
Datový formát elektronické verze	PDF
Abstrakt práce	Bakalářská práce se zabývá hydraulickým posouzením kapacity koryta při povodňových průtocích na řece Leskavě v ř. km 1,600 po ř. km 3,843. Analýza byla prováděna v programu HEC-RAS 5.0 s využitím kombinace proudění povrchové vody, které bylo simulované pomocí 1D a 2D numerického modelu. Výpočet probíhal pro průtoky Q5, Q20, Q100. Bakalářská práce navazuje a čerpá ze studie ke Generelu odvodnění města Brna. Byly porovnány výsledky výpočtů ze stávajících podkladů přejetých z Generelu odvodnění města Brna s nově vzniklými výsledky ve formě bakalářské práce. Závěrem, na základě výsledných hloubek vody a velikosti rozlivů, bylo provedeno zhodnocení výsledků a navrženo ideové protipovodňové opatření.
Abstrakt práce v anglickém jazyce	The bachelor thesis deals with the hydraulic analysis of the water flow of flood flow on the river Leskava from river station km 1,600 to river station 3,843 km. Hydraulic analysis was performed in the program

HEC-RAS 5.0. using a combination of the flow of surfacewater in the 1D and 2D model. The calculation was carried out for the flow rates Q5, Q20, Q100. Bachelor thesis builds on the study to the General plan of the drainage of the city of Brno. In conclusion, on the basis of the resulting depths of the water and the size of the flood areas it was proposed to appropriate flood control measures in the form of idea flood protection.

Klíčová slova

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

**Klíčová slova
v anglickém
jazyce**

HEC-RAS 5.0
Depth of water
Combination of 1D and 2D water flow
Flood areas
Flood protection

PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych chtěl poděkovat vedoucímu mé Bakalářské práce Ing. Davidu Duchanovi, Ph.D. za jeho ochotu se podělit o své znalosti v daném tématu, čas a praktické rady při vypracovávání této Bakalářské práce. Dále bych chtěl poděkovat své rodině a blízkým za psychickou podporu při zpracovávání této práce.

OBSAH

1	ÚVOD	3
2	CÍLE	4
3	VÝCHOZÍ PODKLADY	5
3.1	Vstupní data	5
3.1.1	Příčné profily	5
3.1.2	Podélné profily.....	5
3.1.3	Digitální model reliéfu 5. generace (DMR 5G)	6
3.1.4	Webová mapová služba (WMS)	6
3.1.5	Hydrologická data.....	7
4	TEORIE PROUDĚNÍ VODY V OTEVŘENÝCH KORYTECH V JEDNOROZMĚRNÉM PROSTŘEDÍ (1D)	9
4.1	Ustálené rovnoměrné proudění vody o volné hladině	9
4.2	Ustálené nerovnoměrné proudění vody o volné hladině	10
5	TEORIE PROUDĚNÍ VODY V DVOJROZMĚRNÉM PROSTŘEDÍ (2D)	13
5.1	Základní rovnice pro výpočet	13
6	POPIS ZÁJMOVÉ LOKALITY	15
6.1	Klimatické poměry.....	15
6.2	Geologické a geomorfologické poměry.....	15
6.3	Hydrogeologické údaje	16
6.4	Popis širších vztahů.....	16
6.5	Popis zájmové oblasti řešeného úseku řeky Leskavy.....	17
6.5.1	Hydrologie řešeného úseku.....	17
6.5.2	Popis stávajícího stavu koryta řeky Leskavy	18
6.6	Objekty na řešeném úseku toku.....	22
7	ŘEŠENÍ PRÁCE	28
7.1	Použitý software	28
7.1.1	AutoCad Civil 3D	28
7.1.2	HEC-RAS 5.0	28
7.2	Postup při vypracovávání	29
7.2.1	Práce v programu AutoCad Civil 3D.....	29
7.2.2	Práce v programu QGIS.....	30

7.2.3	Práce v programu HEC-RAS 5.0.....	31
8	HYDROTECHNICKÉ VÝPOČTY	43
8.1	Stanovení součinitele drsnosti.....	43
8.2	Konkrétní okrajové podmínky ve výpočtu	44
8.3	Posouzení kapacity	44
8.4	Ideový návrh ppo	45
9	ZÁVĚR	47
9.1	Zhodnocení výpočtů 1d+2d proudění.....	47
9.2	Zhodnocení vypočtených rozlivů	47
9.3	Zhodnocení vypočtených hloubek	48
9.4	Porovnání stávajících a vypočtených rozlivů.....	48
10	POUŽITÉ ZDROJE A PODKLADY.....	50
	SEZNAM TABULEK	51
	SEZNAM OBRÁZKŮ	52
	SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ	54
	SEZNAM PŘÍLOH	55

1 ÚVOD

Vodní tok Leskava se nachází v jižní části na okraji města Brna. Především při povodňových stavech, které nastávají nejčastěji jarní oblevou či letními přívalovými dešti, je nutno dbát na bezpečnost a ochranu životů obyvatel a jejich majetku. V minulých letech docházelo v řešené lokalitě při povodňových průtocích k častým rozlivům.

V horní části řeky Leskavy byl v roce 2007 vybudován Bosonožský poldr, který značně ovlivňuje svou transformací povodňové vlny průtoky v korytě Leskavy pod poldrem. V roce 2007 byla vypracována studie, která zahrnovala hydrotechnické výpočty rozlivů a možné návrhy protipovodňové ochrany na řece Leskavě. Tato studie byla součástí Generelu odvodnění města Brna.

2 CÍLE

Cílem bakalářské práce je zhodnotit stav kapacity koryta na řece Leskavě v Brně, na úseku toku v ř. km. 1,600 až po ř. km. 3,843 původního koryta. Bude provedeno posouzení kapacitního stavu koryta a následně určeny rozlivy. Posouzení bude provedeno na průtoky Q_5 , Q_{20} , Q_{100} . Pro vytvoření digitálního modelu terénu, příčných a podélných profilů bylo použito programu AutoCad Civil 3D 2017. Hydraulické a hydrotechnické výpočty povrchové vody proběhly v programu HEC-RAS 5.0.

Bylo provedeno porovnání výpočtů řešené lokality s výpočty ze studie Generelu odvodnění města Brna. Na základě porovnání výpočtů bylo navrženo ideové PPO. Úsek se nachází v zahrádkářské oblasti, podél dálnice Praha - Brno a železniční tratí Střelice - Brno. Z těchto důvodů byl výpočet proveden na Q_5, Q_{20}, Q_{100} .

Cíle práce:

- Stanovení kapacity koryta.
- Určení rozlivů.
- Porovnání stávajících a vypočtených rozlivů.
- Vypracování map hloubek a rozlivů.
- Ideový návrh PPO.

3 VÝCHOZÍ PODKLADY

Jako výchozí podklady byly použity příčné a podélné profily řeky Leskavy v úseku od Bosonožského poldru až po zaústění Leskavy do Svratky - ř. km. 9,810 - 0,000. Tyto údaje byly získané ze studie, kterou provádělo Povodí Moravy s.p., útv. hydroinformatiky, v rámci projektu Generelu odvodnění města Brna v roce 2007. Dále jsou zde údaje o průtocích, které byly součástí projektu, popisy charakteru břehů, dna a jednotlivých objektů, které leží na řece Leskavě.

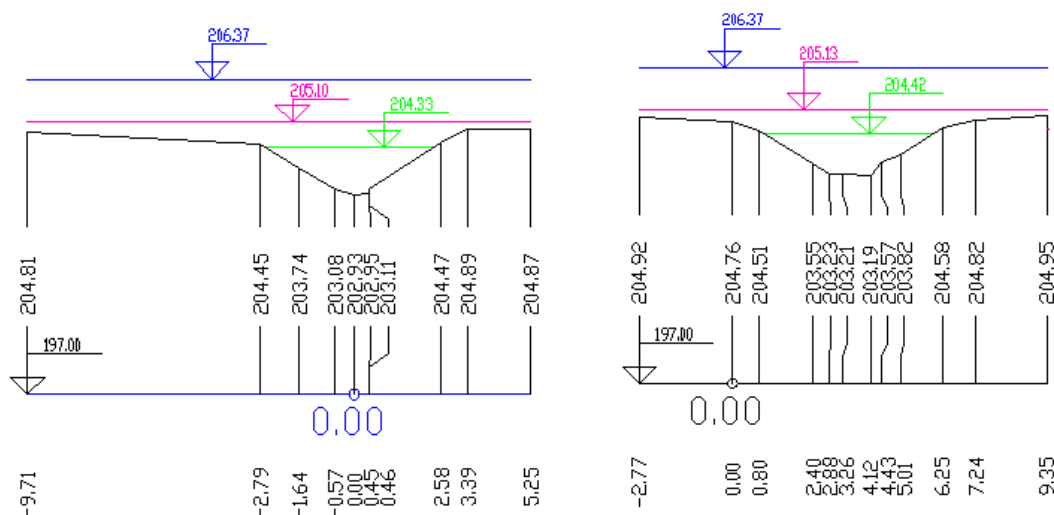
3.1 VSTUPNÍ DATA

3.1.1 Příčné profily

Zaměřené příčné profily byly převzaty ze studie Generelu odvodnění města Brna. Situace příčných profilů byla poskytnuta ve formátu *.DGN v souřadnicích (x, y) s nadmořskými výškami ve formě textového popisu bodu. Dále studie obsahovala vykreslení příčných profilů ve formátu *.DWG v úseku ř. km. 0,000 až po ř. km. 9,810. V převzatém souboru je řada profilů, které jsou staršího zaměření z roku 1996. Nové příčné profily byly zaměřeny v roce 2007 v kontrolních místech, mají označení vyšší než 300 a jsou modré. Tyto profily jsou zejména v profilech mostních objektů a změn materiálů břehů koryta. (Obr. 3.1)

- Světle zelená...hladina při Q_5 .
- Růžová...hladina při Q_{20} .
- Modrá...hladina při Q_{100} .

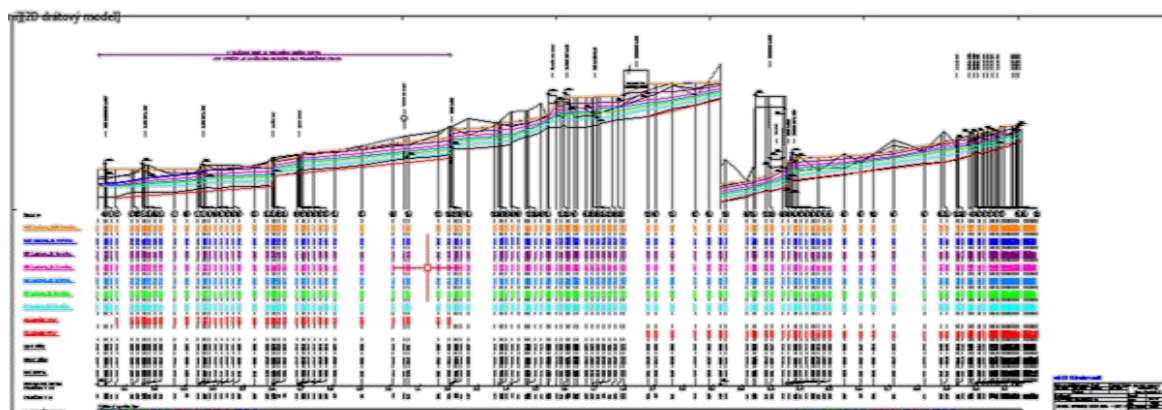
PF 310 KM 1.7550 PF 48 KM 1.775



Obr. 3.1 Zaměřené příčné profily [1]

3.1.2 Podélné profily

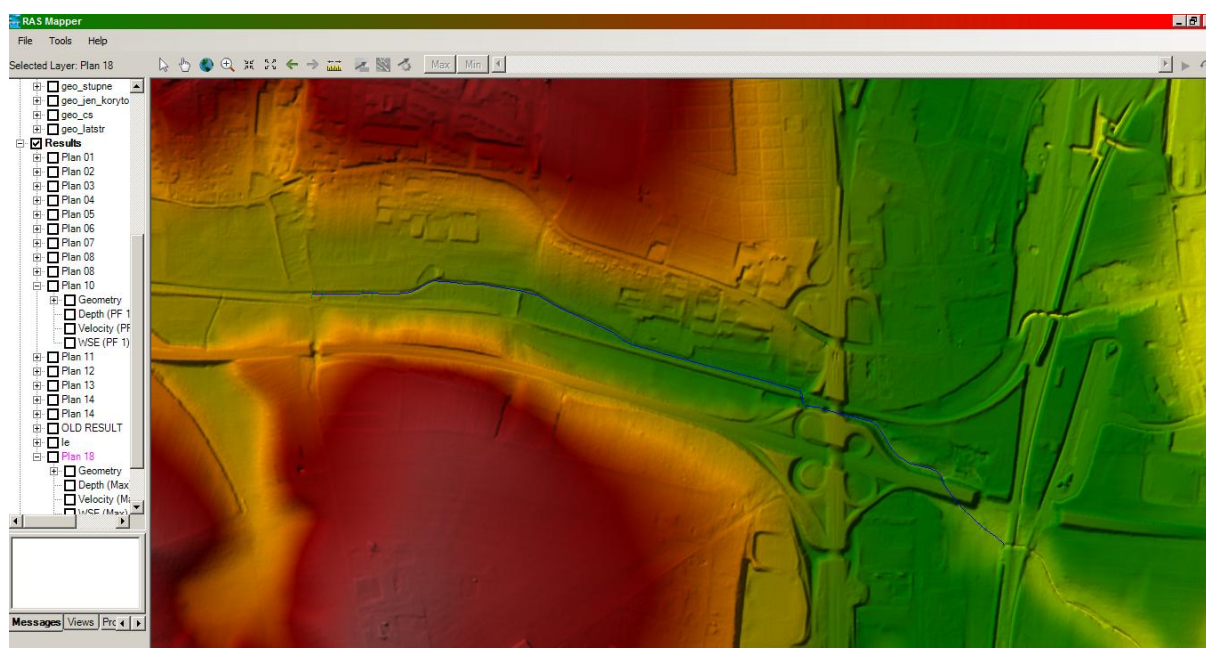
Podélné profily celého úseku toku jsou rozloženy do třech výkresů. Podélný profil charakterizuje tvar dna celého toku a je do něj zanesen před-kolaudační i kolaudační stav. Soubory jsou ve formátu *.DWG. Dále jsou zde informace o výškách hladin v korytě při Q_5 , Q_{20} , Q_{100} a zakresleny objekty, které na toku leží. (Obr. 3.2)



Obr. 3.2 Zaměřené podélné profily [1]

3.1.3 Digitální model reliéfu 5. generace (DMR 5G)

Digitální model reliéfu České Republiky 5. generace je zobrazení zemského povrchu, který je přirozenou nebo lidskou činností upravený. Lze jej zakoupit na Českém ústavu zeměměřičském a katastrálním. Digitální model působí ve formě diskretních bodů v nepravidelné trojúhelníkové síti (TIN). Souřadnice jsou ve tvaru X,Y,Z, kde Z je nadmořská výška bodů ve výškovém systému Balt po vyrovnání. Model vznikl letecky, laserovým skenováním výškopisu České Republiky. Funguje jako základní zdrojová databáze pro tvorbu vrstevnic pro mapy velkých měřítek. Příkladné podložení v programu HEC-RAS 5.0. (Obr. 3.3)

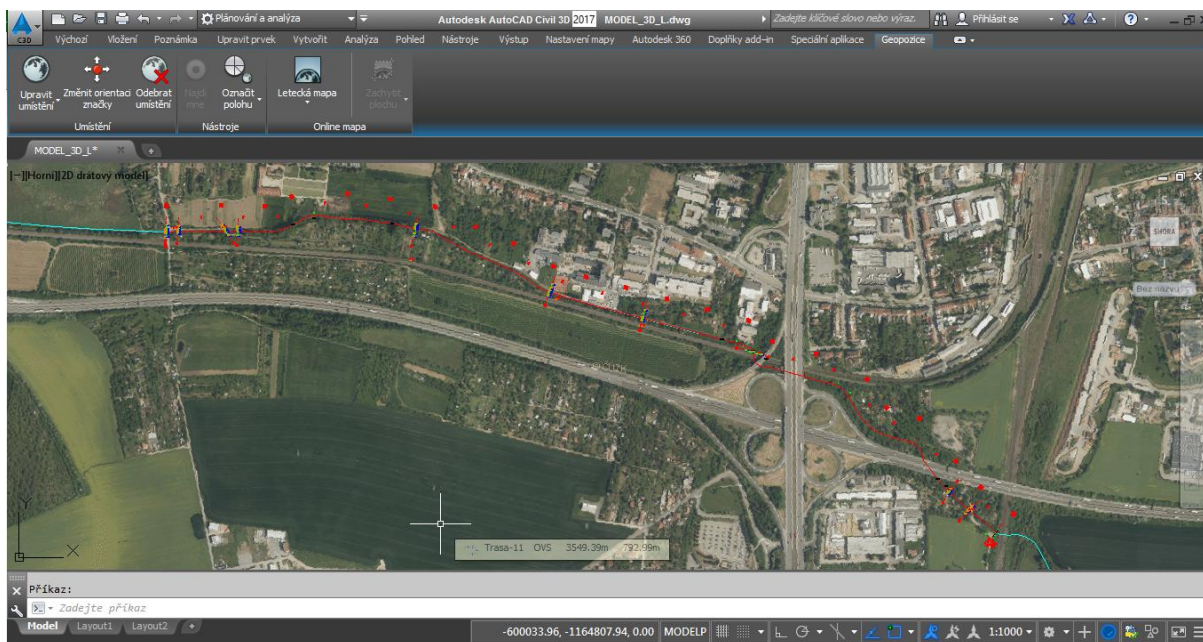


Obr. 3.3 Digitální model terénu 5G s modře vyznačenou osou řešeného úseku toku

3.1.4 Webová mapová služba (WMS)

Tato služba slouží k online sdílení geografických informací. Poskytované informace se vyskytují ve formě rastrových map v prostředí internetu. Zobrazovaná data mohou být v různých formátech např.: JPEG, TIFF, PNG aj. Obrázek je tedy georeferencován

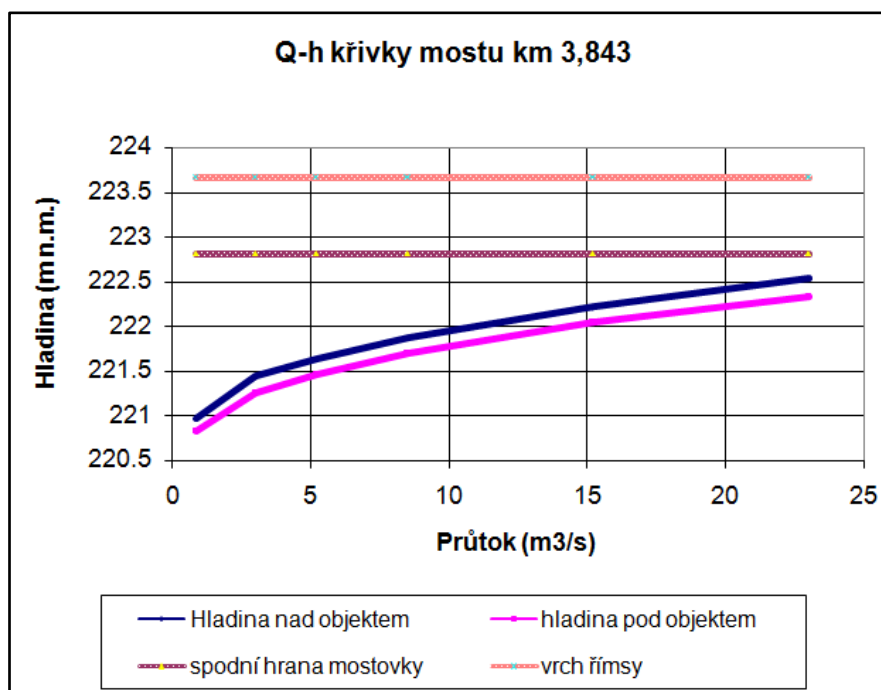
a je umístěn v rámci vybraného souřadnicového systému. Služba může posloužit například v programu AutoCad Civil 3D (Obr. 3.4)



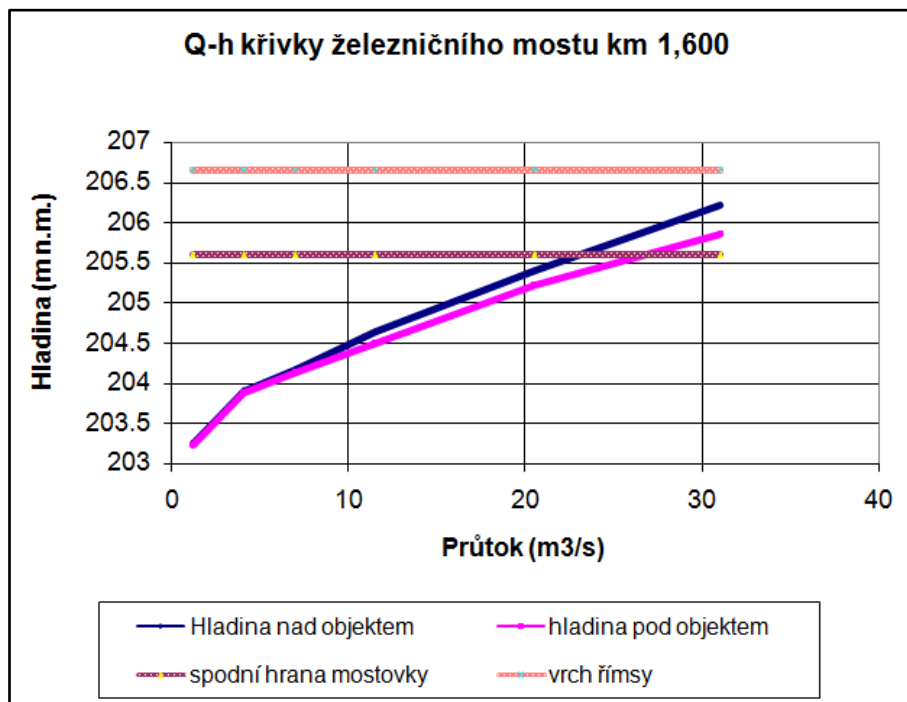
Obr. 3.4 Webová mapová služba spuštěná v programu AutoCad Civil 3D 2017

3.1.5 Hydrologická data

Hydrologická data byla převzata z Generelu odvodnění 2007 [1]. Hydrologická data jsou ve formě měrných křivek (Obr. 3.5) (Obr. 3.6) v daných profilech po celé délce toku a hodnotou průtoků nad a pod poldrem v Bosonohách. Dále jsou známy rozlivy z rizikové analýzy a velikosti ploch povodí Leskavy.



Obr. 3.5 Měrné křivky Mostu v horním profilu řešeného úseku v ř. km. 3,843 [1]



Obr. 3.6 Měrné křivky Mostu v dolním profilu řešeného úseku v ř. km. 1,600 [1]

4 TEORIE PROUDĚNÍ VODY V OTEVŘENÝCH KORYTECH V JEDNOROZMĚRNÉM PROSTŘEDÍ (1D)

V otevřených korytech existuje několik typu proudění vody s volnou hladinou. Tyto způsoby se od sebe patřičně liší různými kritérii. Základním rozdělením proudění vody v korytě při volné hladině je na proudění *ustálené* a *neustálené*.

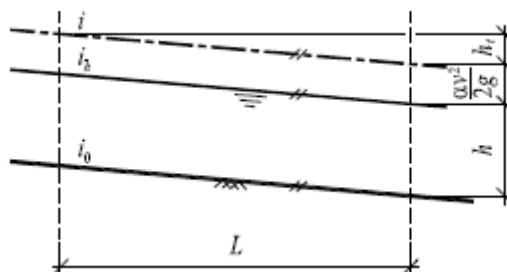
Při *ustáleném* proudění jsou hydraulické charakteristiky, jako je průtok, průřezová rychlost a průtočná plocha konstantní jak po délce, tak i v čase. *Ustálené* proudění se dělí na *rovnoměrné* a *nerovnoměrné*. Při *neustáleném* proudění se mění průtok i průřezová rychlost v čase po délce koryta, tedy žádná hydraulická charakteristika není konstantní. Tento způsob proudění je náročný na vstupní údaje a výpočet bývá zdlouhavý. S tímto typem proudění se v přírodě setkáváme prakticky v každém případě. V praxi se často uvažuje s kratším časovým úsekem a tedy je možno uvažovat proudění ustálené nerovnoměrné. [3]

4.1 USTÁLENÉ ROVNOMĚRNÉ PROUDĚNÍ VODY O VOLNÉ HLADINĚ

Tento druh proudění nastane, pokud jsou splněny dvě podmínky:

- Koryto má pravidelný průtočný profil a to i v každém profilu na zvoleném úseku, tedy koryto nemění svůj tvar.
- Koryto má konstantní sklon dna i_0 .

Pokud je průtok i průtočná plocha konstantní pak je podélný sklon koryta i_0 stejný se sklonem hladiny i_h a totéž platí pro sklon čáry energie i (Obr. 4.1).



Obr. 4.1 Schéma ustáleného rovnoměrného proudění [2]

Rovnoměrné ustálené proudění se vyskytuje pouze u dostatečně dlouhých, uměle vytvořených prizmatických koryt a kanálů.

Výpočet ustáleného rovnoměrného proudění

Vychází z rovnice spojitosti (4.1) a rovnice Chézyho (4.3).

$$Q = v * A \quad (4.1)$$

Kde A je průtočná plocha v $[m^2]$, v je průřezová rychlost v $[m.s^{-1}]$.

Hydraulický poloměr R vypočteme ze vztahu (4.2).

$$R = \frac{A}{O} \quad (4.2)$$

Průřezová rychlost se stanoví z Chézyho rovnice:

$$v = C\sqrt{R * i} \quad (4.3)$$

Kde C je Chézyho rychlostní součinitel v $[m^{0.5} \cdot s^{-1}]$, R je hydraulický poloměr v $[m]$, i je sklon čáry energie.

Chézyho rychlostní součinitel vypočteme ze vztahu (4.4) dle Manninga, kde exponent $y = 1/6$.

$$C = \frac{1}{n} R^{1/6} \quad (4.4)$$

Kde R je hydraulický poloměr $[m]$.

Kde A je průtočná plocha v $[m^2]$ a O je omočený obvod v $[m]$.

4.2 USTÁLENÉ NEROVNOMĚRNÉ PROUDĚNÍ VODY O VOLNÉ HLADINĚ

Při tomto typu proudění, hydraulické charakteristiky (průtočná plocha, průřezová rychlost, drsnostní součinitel, atd.) z ustáleného rovnoměrného proudění, jsou nezávislé na čase, ale mění se po délce. Tedy v tomto případě nelze uvažovat sklon čáry energie stejný jako je sklon čáry hladiny i dna. Z důvodu pohybu vody ve směru proudění dochází ke ztrátám energie. [2] Tyto ztráty mohou být:

- **Ztráty třením po délce**
- **Ztráty místní**

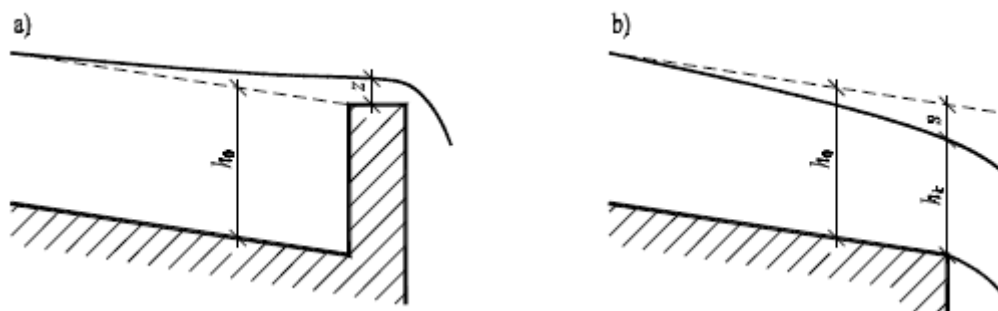
Ztráty třením po délce

Vznikají při pohybu vody v korytě třením, o stěny koryta o patřičné drsnosti a vnitřním třením mezi jednotlivými proudovými vlákny.

Ztráty místní

Tyto ztráty vznikají v různých objektech, jako jsou například: mosty, propustky, šoupata, klapky, hradicí tabule, spádové stupně, dnové prahy, a další možné objekty a jejich zařízení na vodních tocích. U délek toků, které jsou příliš dlouhé lze tyto ztráty považovat za mnohem menší, někdy i zanedbatelné oproti ztrátám třením po délce.

Je-li proudění překážkou (most, mostní pilíře, jez, aj.), tyto překážky zvýší hladinu o patřičnou hodnotu z . V podélném řezu pak hladina vytvoří **křivku vzdutí**. Tedy sklon hladiny je menší než sklon dna. Pokud nastane případ, kdy je sklon hladiny větší než sklon dna (místo kde je menší hloubka než h_0), hladina se v daném místě sníží a vytvoří **křivku snížení** (Obr. 4.2). [3]



Obr. 4.2 Křivky vzdutí a snížení [2]

Způsob výpočtu nerovnoměrného ustáleného proudění

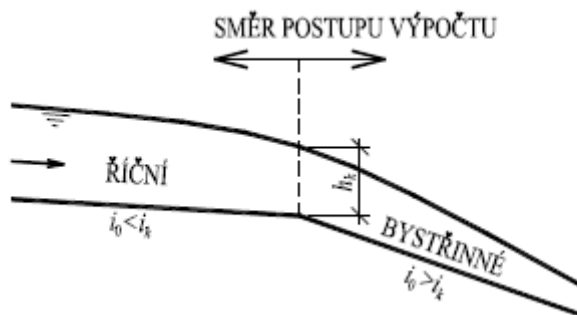
Jednou z možností řešení výpočtu nerovnoměrného ustáleného proudění se nazývá *metoda po úsecích*. Tato metoda vychází v Bernoulliho rovnice (4.5) a to pro všechna proudová vlákna. Princip spočívá v rozdělení řešené délky toku na počet úseků o délce ΔL_j . V těchto úsecích předpokládáme, že průtočná plocha A_i i průřezová rychlost v_i se mění spojitě. A to z hodnot horního profilu A_i, v_i na hodnoty v dolním profilu A_{i+1}, v_{i+1} . [3]

Postup řešení volíme dle režimu proudění. Tento režim může být:

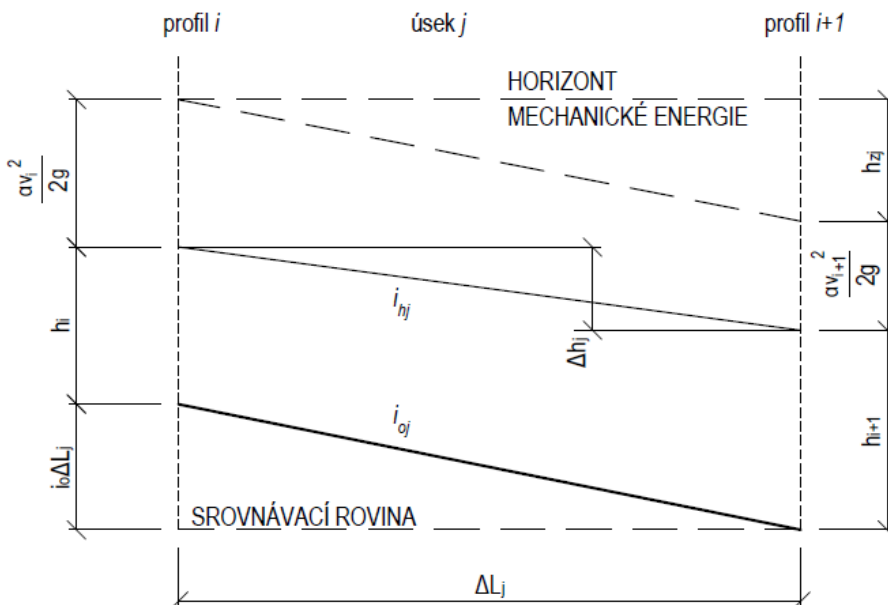
- říční,
- bystrinný.

Při *říčním* režimu proudění postupujeme ze zadané hloubky v horním profilu. Tedy směr výpočtu je proti proudu.

Při *bystrinném* režimu proudění postupujeme ze zadané hloubky v dolním profilu. Tedy směr výpočtu je po proudu.



Obr. 4.3 Směr výpočtu nerovnoměrného proudění metodou po úsecích [2]



Obr. 4.4 Schéma výpočtu nerovnoměrného proudění metodou po úsecích

Bernoulliho rovnice pro výpočet metodou po úsecích:

$$i_{oj} \Delta L_j + h_i + \frac{\alpha_i v_i^2}{2g} = h_{i+1} + \frac{\alpha_{i+1} v_{i+1}^2}{2g} + h_{zj} \quad (4.5)$$

Kde h_i a h_{i+1} jsou hloubky vody v daném profilu, α je Coriolisovo číslo, g je gravitační zrychlení, h_{zj} je celková ztrátová výška, i_{oj} je sklon dna v úseku, ΔL_j je délka úseku a v_i je průřezová rychlost.

Celkovou ztrátovou výšku h_{zj} vyjádříme jako součet ztrát **místních** a **třením po délce**.

$$h_z = h_{mj} + h_{tj} \quad (4.6)$$

Kde h_{mj} je ztráta místní [m] a h_{tj} je ztráta třením pod délce v [m].

Ztráta **místní** se vypočítá dle níže uvedeného vztahu:

$$h_m = \xi * \frac{\alpha v^2}{2g} \quad (4.7)$$

Kde ξ je součinitel místních ztrát, v průřezová rychlost v [m.s⁻¹] a α je Coriolisovo číslo.

Ztráty **třením po délce** vypočítáme dle vztahu:

$$h_{tj} = i_{pj} * \Delta L_j \quad (4.8)$$

Kde λ je součinitel třením po délce, D je průměr potrubí [m], L je délka počítaného úseku v [m], v je průřezová rychlost v [m.s⁻¹], i_{pj} je sklon čáry energie průměrného profilu.

Průměrný sklon čáry energie se spočte:

$$i_{pj} = \frac{Q^2}{A_{pj}^2 * C_{pj}^2 * R_{pj}} \quad (4.9)$$

Kde Q je průtok daným úsekem v [m³.s⁻¹], A je průtočná plocha v [m²], C_{pj} je Chézyho rychlostní součinitel pro daný úsek [-] a R je hydraulický poloměr v [m].

5 TEORIE PROUDĚNÍ VODY V DVOJROZMĚRNÉM PROSTŘEDÍ (2D)

Ve dvojrozměrném proudění uvažujeme, že voda neproudí jen v korytě ale i s faktem, že se vyběží do inundace a zaplavuje přilehlé území.

2D modely umožňují poskytnutí informace o plošném rozdělení hloubek a rychlostí. Jsou náročnější než 1D na vstupní údaje. Údaji potřebnými pro 2D modely jsou: geometrie (ve formě digitálního modelu terénu), okrajové podmínky, vymezení oblastí rozlivů a další.

Způsob výpočtu 2D proudění

Výpočet 2D proudění vychází z *Navier-Stokesových* rovnic. Tyto rovnice popisují pohyb vody ve 3 dimenzích. V tocích je velmi malá složka rychlosti ve směru Z a proto je možné ji zanedbat. Za předpokladu zanedbání proudění vody ve směru Z vznikají tzv. „rovnice mělké vody“.[4]

Předpoklady pro proudění v 2D:

- Nestlačitelná kapalina.
- Izotermický děj.

Jako neznámé funkce zde vstupují: **svislicová rychlost, hloubka vody, turbulentní viskozita**.

- Svislicová rychlost $v_s(x,y,t)$ – skládá se ze složky ve směru x a ze složky ve směru y .
- Hloubka vody $h(x,y,t)$.
- Turbulentní viskozita $\mu_t(x,y,z)$.

5.1 ZÁKLADNÍ ROVNICE PRO VÝPOČET

Základní rovnice pro výpočet proudění vody vychází z rovnice kontinuity, respektive zákona zachování hmotnosti, a z rovnice pohybové, respektive ze zákona zachování hybnosti.

Rovnice kontinuity:

$$\frac{\partial H}{\partial t} + \frac{\partial(hv_{xs})}{\partial x} + \frac{\partial(hv_{ys})}{\partial y} = 0 \quad (5.1)$$

Kde H je nadmořská výška hladiny vody, h je hloubka vody [m], v_{xs} je vektor rychlosti ve směru x a v_{ys} je vektor rychlosti ve směru y .

Pohybová rovnice ve směru x :

$$\frac{\partial(hv_{xs})}{\partial t} + \frac{\partial(hv_{xs}^2)}{\partial x} + \frac{\partial(hv_{xs}v_{ys})}{\partial y} - f * h * v_{ys} = \quad (5.2)$$

$$= \frac{\partial(hT_{xx})}{\partial x} + \frac{\partial(hT_{xy})}{\partial y} + \tau_x^{hlad} - \tau_x^{dno}$$

Pohybová rovnice ve směru y:

$$\begin{aligned} \frac{\partial(hv_{ys})}{\partial t} + \frac{\partial(hv_{ys}^2)}{\partial y} + \frac{\partial(hv_{xs}v_{ys})}{\partial x} - f * h * v_{ys} = \\ = \frac{\partial(hT_{xy})}{\partial x} + \frac{\partial(hT_{yy})}{\partial y} + \tau_y^{klad} - \tau_y^{dno} \end{aligned} \quad (5.3)$$

Kde t je čas [s], h hloubka vody v profilu v [m], v_x a v_y jsou složky vektoru rychlosti v [$m \cdot s^{-1}$], x a y jsou vzdálenosti od osy x a y v [m], f je Coriolisův parametr [-], τ jsou smyková napětí na dně v [Pa], T jsou turbulentní smyková napětí v [Pa].

Program HEC-RAS využívá směšovací rovnici a turbulentní model, které jsou popsány v manuálu HEC-RAS. [4]

Jako počáteční podmínky poslouží průběhy funkcí $v_{x0}(x,y)$, $v_{y0}(x,y)$ a $h_0(x,y,t)$ ve všech bodech náhradní oblasti Ω v čase $t_0 = 0$:

$$v_x(x, y, t_0) = v_{x0}(x, y) \quad (5.4)$$

$$v_y(x, y, t_0) = v_{y0}(x, y) \quad (5.5)$$

$$h(x, y, t_0) = h_0(x, y) \quad (5.6)$$

Jako okrajové podmínky byly zvoleny průběhy funkcí na hranicích náhradní oblasti Ω a to na horní a dolní hranici:

Horní hranice Γ_1 :

$$v_x(x, y, t) = v_x(t)/\Gamma_1 \quad (5.7)$$

$$v_y(x, y, t) = v_y(t)/\Gamma_1 \quad (5.8)$$

Dolní hranice Γ_2 :

$$h(x, y, t) = h(t)/\Gamma_2 \quad (5.9)$$

Cílem řešení těchto rovnic bylo najít neznámé funkce v_x , v_y a h za současného splnění počátečních (5.4) až (5.6) a okrajových podmínek (5.7) až (5.9). Dále musí řešení vyhovovat rovnicím (5.1) až (5.3).[4][9]

6 POPIS ZÁJMOVÉ LOKALITY

Řešený úsek se nachází v jižní části města Brna. Jedná se o tok Leskava. Řešeným úsekem byla trasa dlouhá 2,243 km ve staničeném úseku od km 1,600 po km 3,843.

6.1 KLIMATICKÉ POMĚRY

Posuzovaná lokalita se nachází dle Quitta, na základě jeho klimatického rozdělení, v teplé klimatické oblasti T2. Tato oblast je charakterizována dlouhým, suchým a teplým létem. Maximální naměřená teplota v létě je 36,2 °C.

Zimní období je krátké a mírně teplé. Sněhová pokrývka má zde velmi krátké trvání. Nejmenší naměřená teplota byla -26,4 °C.

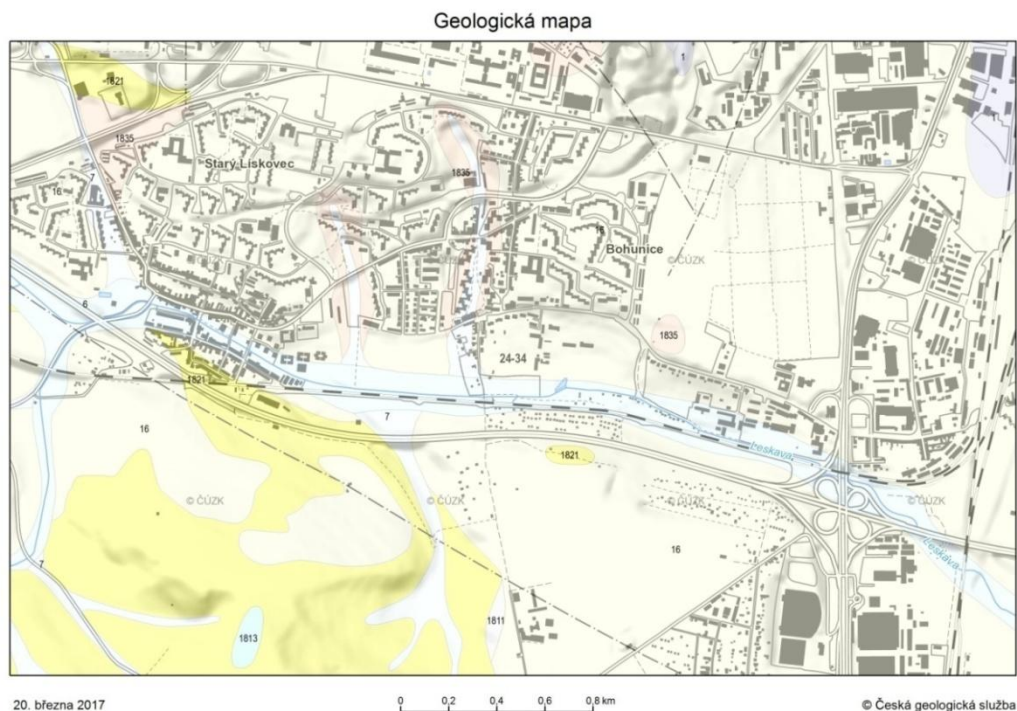
Největší množství srážek zde spadne ve vegetačním období. Průměrná hodnota těchto srážek je 505 mm za rok. [13]

6.2 GEOLOGICKÉ A GEOMORFOLOGICKÉ POMĚRY

Jak již je v předchozích kapitolách zmíněno, řešená lokalita se nachází v jižní části města Brna. Tedy **geomorfologická klasifikace** je následující:

- Provincie: Zapadní Karpaty
- Soustava: Vněkarpatské sníženiny
- Podsoustava: Jihomoravské Karpaty
- Celek: Dyjsko-svratecký úval
- Podcelek: Modřická pahorkatina

Horninové složení je kvartérní se zastoupením hlinitopísčitých sedimentů (Obr. 6.1 světle žlutá). Místy jsou sedimenty štěrkovité (Obr. 6.1 světle modrá). [13]



Obr. 6.1 Geologická mapa řešeného území M 1:50 000, [11]

6.3 HYDROGEOLOGICKÉ ÚDAJE

Hydrogeologické zařazení:

Hydrogeologický rajon: Dyjsko-svratecký úval

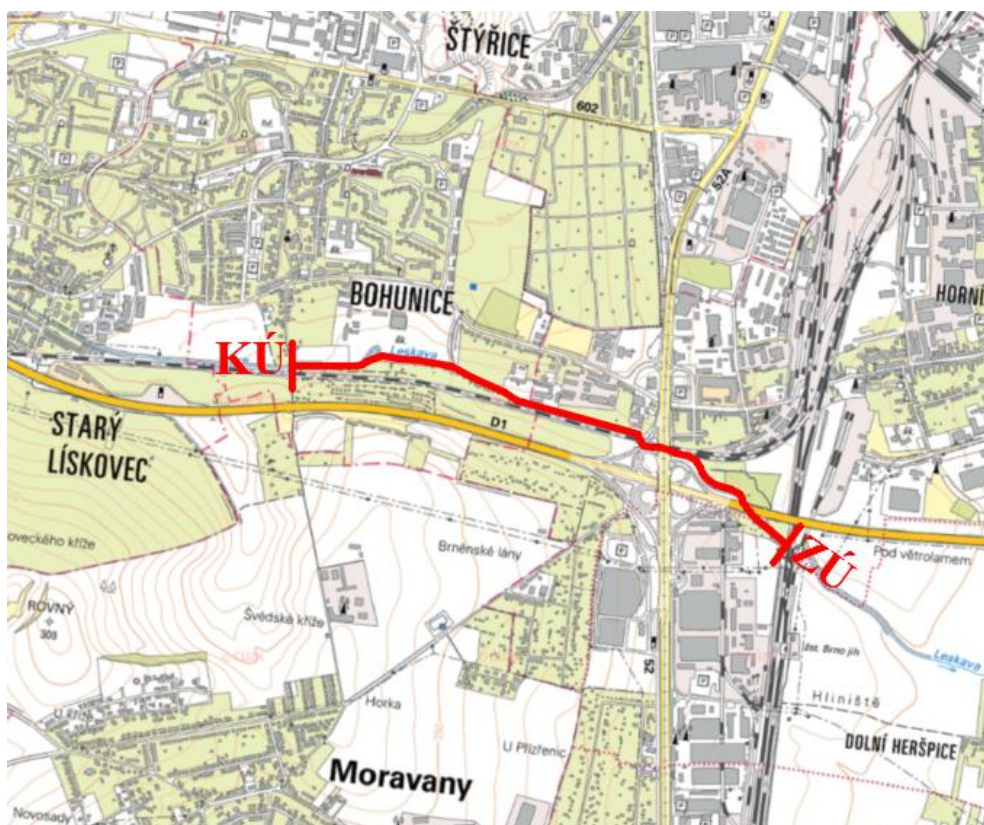
ID hydrogeologického rajónu: 2241

Povodí: Dyje

Rajon obsahuje různě rozsáhlé kolektory s mocností do desítek metrů a velmi často se svrchním izolátorem. V centrální části Brna byly prokázány rozsáhlé písčité kolektory. Tektonicky predisponované příčné i podélné sníženiny vyplňují neogenní sedimenty od bazálních štěrků a štěrkopísků až po vápnité jíly a jílovce. Střídají se zde kolektory i izolátory. Dobře propustné jsou bazální štěrková a písčité klastika s udávaným koeficientem filtrace $n \cdot 10^{-5} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Vápnité jíly a jílovce mnohdy v mocnostech stovek metrů jsou prakticky nepropustné. [1]

6.4 POPIS ŠIRŠÍCH VZTAHŮ

Oblast řeky Leskavy se nachází v jižní části intravilánu města Brna. Začátek řešeného úseku je v mostním profilu na ř. km. 1,600. Konec úseku je umístěn také v mostním profilu na ř. km. 3,843. V okolí břehů se vyskytují zahrady, dálnice Praha – Brno a železniční trať Střelice – Brno. Dále se zde nacházejí stavebniny a sportovní areál chráněný betonovou zdí. V úseku ř. km 2,293 – 2,374 se nachází dálniční most na trase Praha – Brno, pod kterým je betonové koryto. V tomto úseku se nachází železniční most tratě Střelice – Brno.



Obr. 6.2 Trasa toku v zájmové lokalitě [10]

6.5 POPIS ZÁJMOVÉ OBLASTI ŘEŠENÉHO ÚSEKU ŘEKY LESKAVY

6.5.1 Hydrologie řešeného úseku

Vodní tok Leskava náleží k dílčímu povodí řeky Svatky. Plocha povodí Leskavy nad zaústěním do Svatky je 20,64 km². V horní části toku se nachází Bosonožský poldr. Plocha povodí Leskavy nad tímto poldrem činí 2,8 km² a plocha povodí pod poldrem Bosonohy 17,84 km². Řeka Leskava pramení severozápadně nad Bosonohami a vlévá se v Dolních Heršpicích do Svatky v ř.km 33,397. Délka toku dosahuje orientačně asi 10 km.

Leskava protéká jižním okrajem města Brna a to městskými částmi Dolní a Horní Heršpice, Bosonohy, Starý Lískovec, Ostopovice, Nový Lískovec.

Největší část plochy povodí řeky Leskavy tvoří polní pozemky a to 67,5 % z celkové plochy. Dále je 12,1 % zalesněno a 20,5 % tvoří zástavba (Dolní a Horní Heršpice, Bosonohy, Starý Lískovec, Ostopovice, Nový Lískovec). [1]

Základní údaje:

Název:	Záplavové území Leskavy
Tok:	Leskava
Číslo hydrologického pořadí:	4-15-01-158
Kraj:	Jihomoravský
Správce toku:	Povodí Moravy s.p.,
Řešený úsek se nachází v ř.km 1,600 po ř.km 3,843.	

Pro dané profily byly obdrženy měrné křivky s údaji o průtocích pro $Q_1, Q_5, Q_{10}, Q_{20}, Q_{50}, Q_{100}$ (Tab.6.1).

Tab.6.1 N - leté průtoky pro řeku Leskavu v řešeném úseku [1]

Staničení [km]	Popis objektu	N - leté průtoky [$m^3 \cdot s^{-1}$]					
		Q_1	Q_5	Q_{10}	Q_{20}	Q_{50}	Q_{100}
1.600	Železniční most	1.20	4.1	7.0	11.5	20.5	31.0
1.695	Most	1.20	4.1	7.0	11.5	20.5	31.0
1.837	Dálniční most	1.20	4.1	7.0	11.5	20.5	31.0
2.293	Dálniční most - zaklenuť	1.20	4.1	7.0	11.5	20.5	31.0
2.374	Železniční most	1.20	4.1	7.0	11.5	20.5	31.0
3.244	Betonová lávka	0.85	3.0	5.2	8.5	15.2	23.0
3.702	Most	0.85	3.0	5.2	8.5	15.2	23.0
3.843	Most	0.85	3.0	5.2	8.5	15.2	23.0

6.5.2 Popis stávajícího stavu koryta řeky Leskavy

Koryto v současné době disponuje řadou jevů, které se na přirozených vodních tocích vyskytují, jako jsou: nánosy (Obr. 6.4), říční sedimenty, břehová abraze, výmoly (Obr. 6.5), přerostlá a neudržovaná břehová vegetace a další. Dno je převážně štěrkové a štěrkopísčité.

Řešený úsek koryta v ř. km 1,600 až ř. km 3,843 je rozdělen do několika částí (hlavně mostní objekty a známé zaměření příčných profilů) a každá z nich má svou specifikaci, zejména v drsnosti břehů a dna. Na řešeném úseku koryta můžeme nalézt opevnění vegetačními tvárnici, betonové části koryta a v neposlední řadě nejvíce rozšířené ohumusování a osetí břehovým porostem (převážně vrby a říční keře). Tento druh povrchu je značně přerostlý a přestárlý. Při povodňové situaci bude pravděpodobně příčinou zachycení plovoucích překážek. Dojde k vytvoření zátarasy v příčném profilu koryta a vzduť hladiny vody.

Popis částí řešeného úseku

Úsek ř. km 1,600 – 1,695

Začátek tohoto úseku počíná železničním mostem v ř. km 1,600 a končí mostem v ř. km. 1,695. Úsek koryta vyznačuje značné zarostení břehovým porostem, neudržované svahy koryta, výmoly a na dně nánosy (Obr. 6.3)



Obr. 6.3 Úsek koryta v ř. km 1,600 – 1,695 [1]



Obr. 6.4 Nánosy na úseku koryta v ř. km 1,600 – 1,695



Obr. 6.5 Výmoly na úseku koryta v ř. km 1,600 – 1,695

Úsek ř. km 1,695 – 1,837

V této části koryta jsou břehy i dno opevněné polovegetačními tvárniciemi (Obr. 6.7) a to až do ř. km. 1,837, kde se nachází vtok do zaústění pod dálničním mostem .



Obr. 6.6 Vtok do zaústění pod dálničním mostem v ř. km 1,837



Obr. 6.7 Část koryta v ř. km 1,600 - 1,837 [1]

Úsek ř. km 1,837 – 2,374

V této části se vyskytuje na levém i pravém břehu lesík. Tento lesík ohraničuje dálnice na pravém břehu a na levém břehu zahrady. V ř. km 2,293 se nachází dálniční most, pod kterým je betonové koryto. (Obr. 6.9) Toto koryto je zaklenuto pod dálniční most a svahy i dno jsou betonové. Dále pokračuje betonové koryto až po spádový stupeň v ř. km 3,355.



Obr. 6.8 Výtok zaklenutí v ř. km 2,337



Obr. 6.9 Betonové koryto v ř. km 2,293 – 3,355 [1]

Úsek ř. km 2,374 – 3,183

Zde si koryto vytvořilo vlastní cestou přirozený tvar a díky erozní činnosti jsou zde četná množství nánosů. Břehy jsou porostlé břehovými porosty a jsou hustě zarostlé. Od ř. km 2,930 začíná řada lávek (Obr. 6.10), které umožňují přístup k zahradám. V tomto úseku je koryto upravené i neupravené. Do výpočtu byla tato skutečnost uvažována vhodnou volbou drsnostního součinitele.



Obr. 6.10 Řada lávek v ř. km 2,930 – 3,183 [1]

Úsek ř. km 3,183 – 3,843

Na této části koryta je znatelný jeho proměnlivý tvar. Koryto je v celku upravené tedy břehy jsou upravené ohumusováním a osetím (Obr. 6.11).



Obr. 6.11 Charakter koryta v ř. km 3,183 – 3,843

6.6 OBJEKTY NA ŘEŠENÉM ÚSEKU TOKU

Na našem řešeném úseku toku se nachází několik objektů. Jedná se především o mosty, lávky pro pěší, spádové stupně.

Začátek úseku - Most na ř. km. 1,600

Tento most je železobetonový. Výstavba dokončena v roce 2008. Při povodňové situaci bude pravděpodobně příčinou vzduť vody a mostovka bude přelévána (Obr. 6.12).



Obr. 6.12 Most na ř. km. 1,600

Most na ř. km. 1,695

Tento most je železobetonový a má charakter propustku. V případě vzduť vody bude most zatopen jak na vtoku, tak i na výtoku (Obr. 6.13).



Obr. 6.13 Most na ř. km. 1,695

Dálniční most na ř. km. 1,837

Pod tímto mostem se nachází zaklenutí. Při povodňové situace nebude most přeléván z důvodu jeho velké výšky (Obr. 6.14).



Obr. 6.14 Dálniční Most na ř. km. 1,837 [1]

Zaklenutí pod dálničním mostem na ř. km. 2,293 – 2,337

Na začátku tohoto zaklenutí (Obr. 6.16) po směru proudění toku, se nachází dálniční most, tento most je dostatečně vysoký a nebude mít vliv na vzduť hladiny (Obr. 6.15).



Obr. 6.15 Dálniční most na ř. km. 2,337 – pohled proti vodě



Obr. 6.16 Zaklenutí na ř. km. 2,293 – 2,337 – pohled proti vodě [1]

V tomto úseku se také nachází železniční most na ř. km. 2,366 (Obr. 6.17). Při vzduší hladiny dojde k přelití tohoto mostu.



Obr. 6.17 Železniční most na ř. km. 2,366

Řada lávek na ř. km. 2,930 – 3,183

Tyto lávky slouží k přístupu k zahradním pozemkům. S přihlédnutím ke stavu lávek, může dojít při povodňové situaci k jejich stržení a následnému vytvoření překážek proudění.



Obr. 6.18 Lávky na ř. km. 2,930 – 3,183

Betonová lávka na ř. km. 3,244

Tato lávka je z železobetonu. Při povodňové situace by nemělo dojít ke stržení, ale může být příčinou hromadících se nánosů ze splaví (Obr. 6.19).



Obr. 6.19 Betonová lávka na ř. km. 3,244

Spádový stupeň na ř. km. 3,594

Při vzduť hladiny nad břehové hrany, nebude mít tento stupeň velký vliv na průběh hladiny. Břehy jsou opevněné zdivem s lomového kamene. Spáry jsou značně poškozené a některé kameny vypadlé. Samotný stupeň je z betonu. Vzhledem na stav betonu byla do výpočtu zahrnuta vhodná drsnost (Obr. 6.20).



Obr. 6.20 Spádový stupeň na ř. km. 3,594

Most na ř. km. 3,702

Konstrukce mostu obsahuje železobeton. Při vzduť vody bude pravděpodobně příčinou hromadění splavenin. Svahy pod mostem jsou opevněné zdivem z lomového kamene. Toto zdivo je značně poškozené (Obr. 6.21).



Obr. 6.21 Most na ř. km. 3,702

Konec úseku - Most na ř. km. 3,843

U toho mostu může také dojít, při povodňové události k hromadění splavenin. Na levém břehu se nachází železniční přejezd (Obr. 6.22).



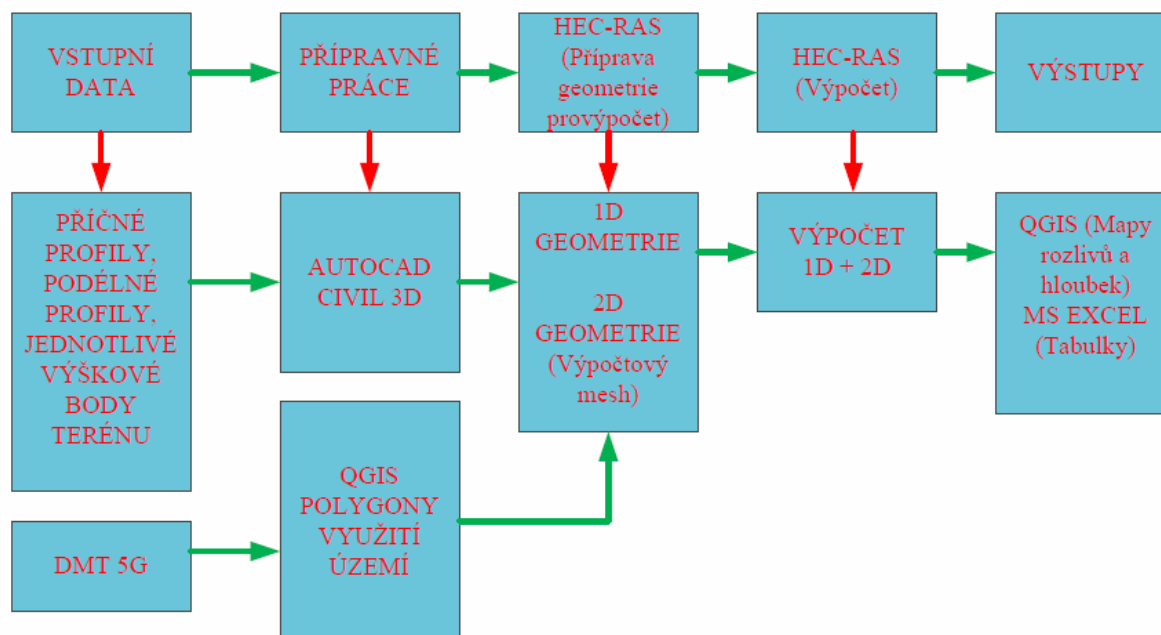
Obr. 6.22 Most na ř. km. 3,843

Přehled objektů v dané lokalitě je uveden v tab. 6.2.

Tab. 6.2 Přehled objektů na řešeném úseku toku

Objekt	staničení [km]
KÚ MOST M7	3.843
MOST M6	3.702
STUPĚŇ	3.594
BET. LÁVKA	3.244
LÁVKY	3.183
	3.149
	3.138
	3.130
	3.098
	3.079
	3.069
	3.050
	3.036
	3.023
	3.002
	2.989
	2.972
2.930	
ŽEL. MOST M5	2.366
STUPĚŇ	2.355
DAL. MOST M4	2.293
ZAKLENUTÍ (BET)	2.275-2.321
DÁL. MOST M3	1.873
MOST M2	1.695
ZÚ ŽEL. MOST M1	1.600

7 ŘEŠENÍ PRÁCE



Obr. 7.1 Schéma postupu práce

7.1 POUŽITÝ SOFTWARE

Pro zpracování řešené problematiky byly použity programy: AutoCad Civil 3D 2017, HEC-RAS 5.0., QGIS 2.18.

7.1.1 AutoCad Civil 3D

Jedná se o výkonnou integrovanou aplikaci pro práci v oblastech: liniové stavby, krajinné hospodářství, potrubí, kanály a jiných inženýrských staveb. Pro řešenou problematiku byla stažena tzv. "Vodařská šablona", která usnadňuje práci v tomto oboru a je zkonstruovaná dle platných norem a předpisů. Aplikace si umí vytvořit digitální model z daného zaměření a také vytvářet příčné a podélné řezy terénu. Při vypracování Bakalářské práce byla použita verze 2017.

7.1.2 HEC-RAS 5.0

Jak vyplývá z názvu: HydrologicEngineering Center - River AnalysisSystem (HEC-RAS). Tento program byl vyvinut týmem inženýrů Americké armády, za účelem správy řek, přístavů a jiných věcí sloužících k tomuto účelu. Zpřístupněn veřejnosti byl roku 1995. Program slouží k analýze celé říční sítě. Počítá v jednorozměrném prostředí a nyní nově od verze 5.0 program HEC-RAS 5.0 umožňuje výpočet i ve dvourozměrném prostředí.

Samotný výpočet je založen na rovnici Bernoulliho, kontinuity a na rovnici pohybové a rovnicích od nich odvozených, které jsou uvedeny v kapitole č. 4 .

HEC-RAS může počítat v několika režimech:

- Ustálené proudění
- Neustálené proudění

- Transport sedimentů či splavenin
- Analýza kvality vody

Všechny režimy počítají s jednotnými geometrickými a hydrologickými daty. Geometrická data mohou obsahovat říční systém znázorněn jejich osami, náležící příčné profily a také objekty. Příčné profily lze zadávat a upravovat. Také je zde možnost interpolace mezi profily, čímž značně program usnadní práci. Lze využít o mapové podložení digitálního modelu terénu. Objekty je možno zadávat jako liniové či stavby napříč toku. Mezi objekty patří např.: jezy, stupně, prahy, mosty, propustky, aj.

Tato práce byla zpracovaná ve verzi HEC-RAS 5.0. Informace k programu byly převzaty z hydraulického manuálu programu HEC-RAS 5.0.[4]

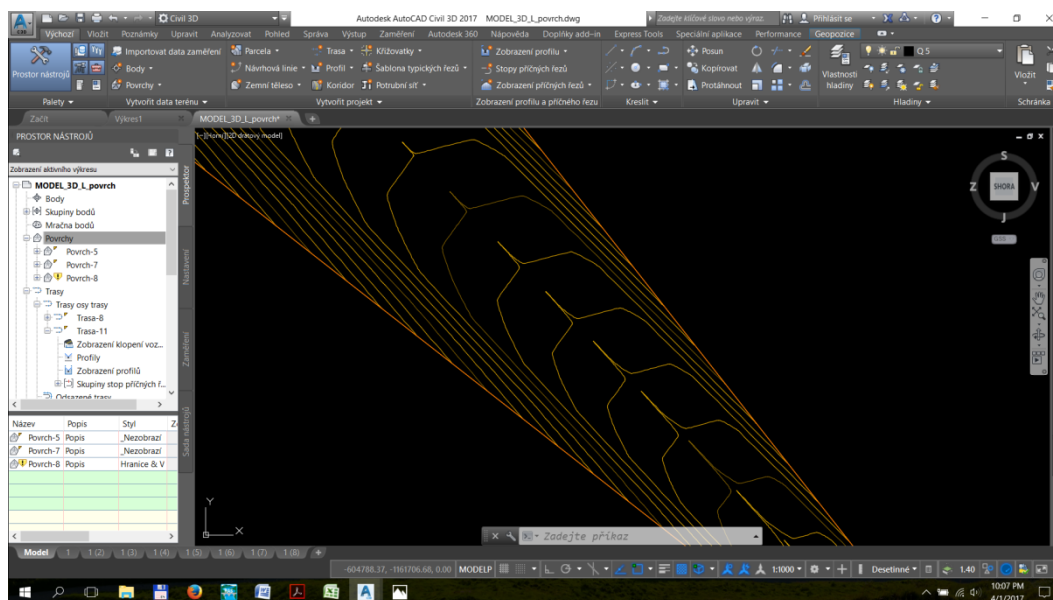
7.2 POSTUP PŘI VYPRACOVÁVÁNÍ

7.2.1 Práce v programu AutoCad Civil 3D

Cílem práce v tomto programu bylo získání digitálního modelu terénu a vytvoření 1D geometrie pro nadcházející výpočty.

Než začnou veškeré činnosti v tomto programu, je nutné nastavit správný koordinační systém a to z důvodu pozdějšího exportu do programu HEC-RAS, jelikož program HEC-RAS neumí převádět souřadnicové systémy. Dále se může přikročit ke vložení vstupních údajů ve formátu *DGN. Obsahem těchto údajů je zaměření příčných profilů, podrobných výškových bodů a osa toku řešeného úseku. Výškové body obsahují souřadnice x, y a z-tovou souřadnici ve formě textu při popisu bodu. Takto vložený bod je nutné upravit pomocí funkcí programu AutoCad Civil 3D, aby měl i výškovou souřadnici. Pokud jsou body upravené, může se přejít k vytváření digitálního modelu terénu. (Obr. 7.2)

Digitální model terénu byl vytvořen jako TIN trojúhelníková síť.

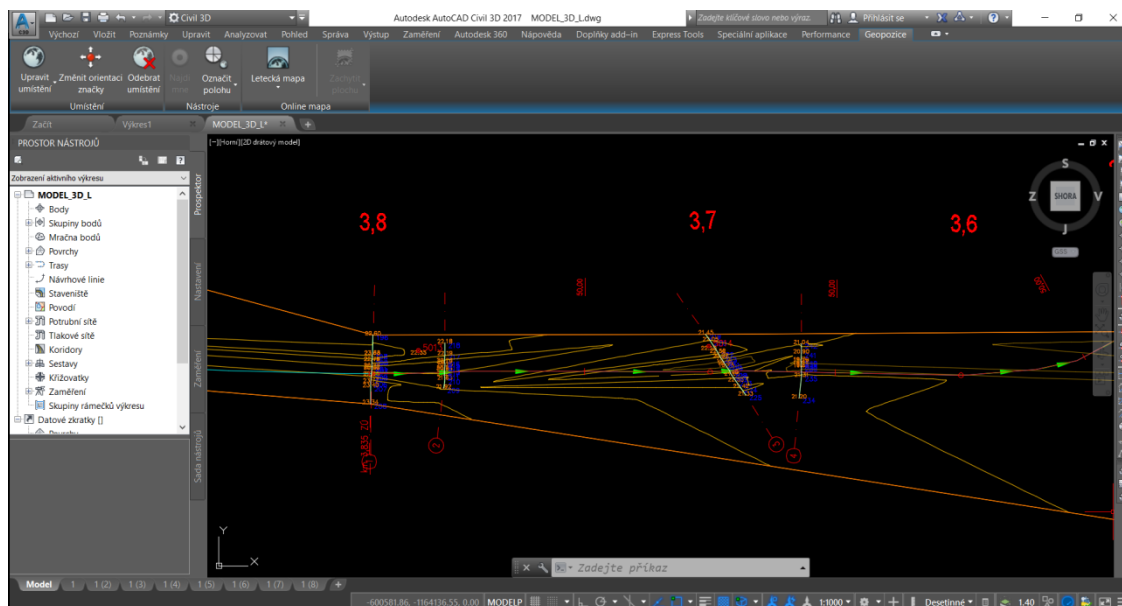


Obr. 7.2 Vytvořený digitální model terénu v programu AutoCad Civil 3D

Pokud je povrch hotový lze přistoupit k vytvoření trasy. K tomuto účelu poslouží osa toku ze vstupních podkladů a vznikne trasa toku. Nesmí se opomenout dávat pozor na

Bakalářská práce

staničení trasy. Jako další se vytvoří stopy příčných řezů. Tyto stopy mohou být vytvořeny na zaměřené příčné řezy. (Obr. 7.3)

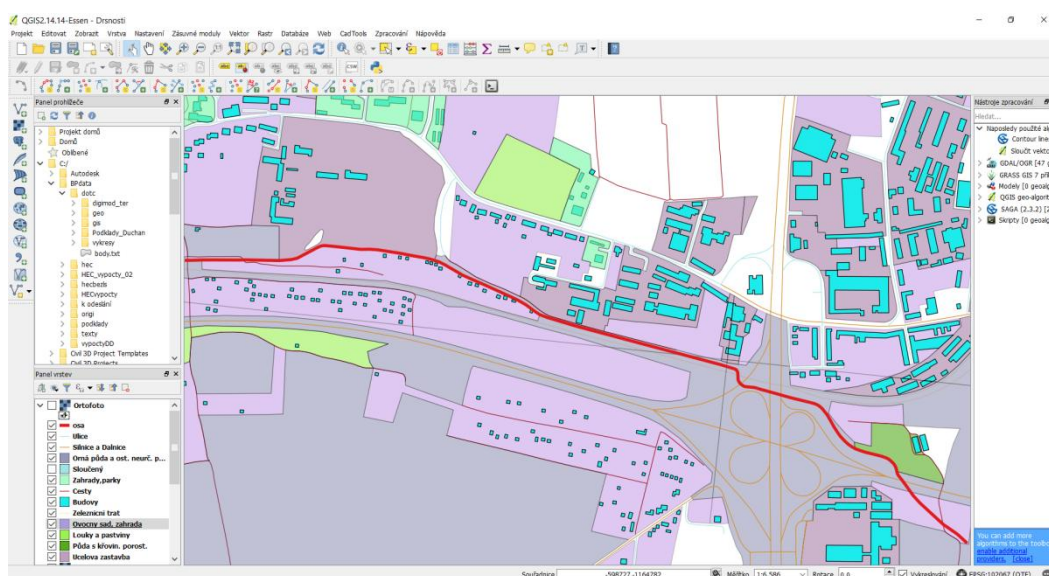


Obr. 7.3 Příklad vytvořené osy toku a příčných profilů

Dále se může přejít k exportu povrchu, trasy a příčných profilů koryta do programu HEC-RAS. Export do tohoto programu zajišťuje již přímo AutoCAD Civil 3D jednou ze svých funkcí.

7.2.2 Práce v programu QGIS

Výstupem práce v tomto programu bylo vytvoření polygonů využití území (Obr. 7.4). Tyto polygony slouží pro určení plošné drsnosti pro výpočet proudění na 2D modelu v programu HEC-RAS. K vytvoření byla použita základní mapa ČR v měřítku 1:10 000 pro rozpoznání území a také Ortofotomapa. Důležitým faktorem při tomto určování drsností ve formě polygonů, byla nezbytná pochůzka a seznámení s územím.



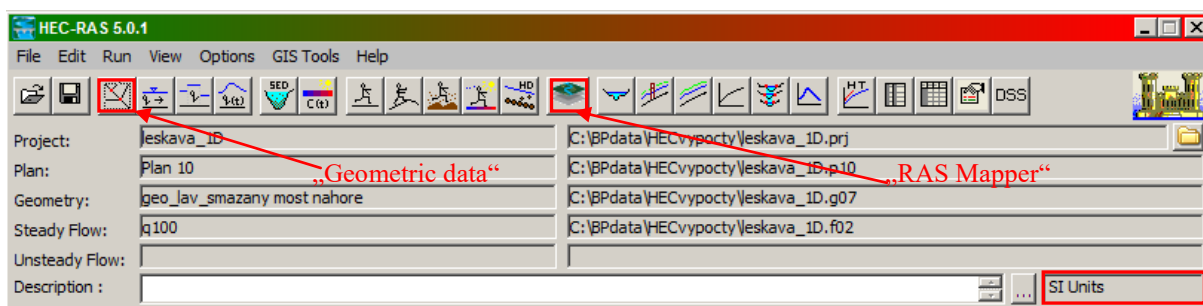
Obr. 7.4 Vytvoření polygonů využití území v programu QGIS

7.2.3 Práce v programu HEC-RAS 5.0

Vytvoření geometrie pro výpočet proudění na 1D modelu

Pro vytvoření 1D modelu bylo použito vstupních údajů ve formě příčných a podélných profilů. Dále také zaměřených výškových bodů, mostních objektů, spádových stupňů. Podrobnější informace o vstupních datech viz. kap. 3.1.

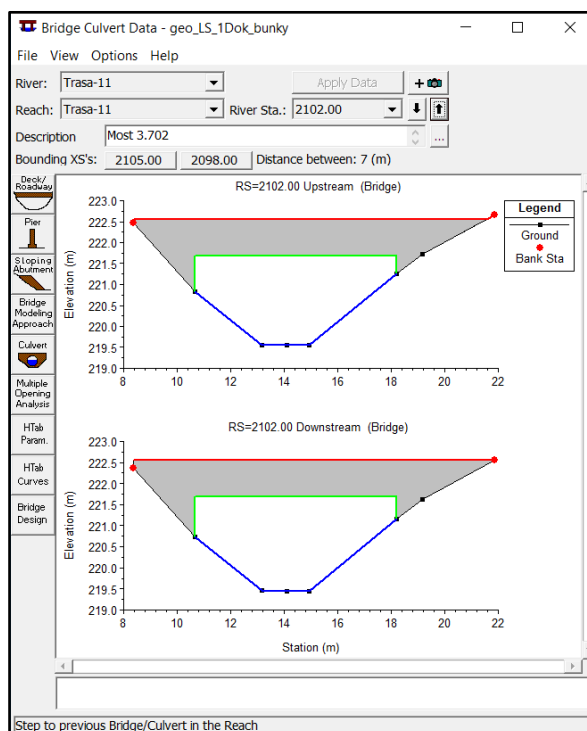
Než započne jakákoliv práce v programu, je nutné nastavit systém jednotek na metrický v záložce „Options“. Tedy „SI Units“. V programu HEC-RAS nám umožňuje základní okno, které se otevře při spuštění přístup do všech editorů a nástrojů v tomto programu. Pro vytvoření veškerých geometrických dat slouží tlačítko „Geometric data“ a tlačítko „RAS Mapper“ (Obr. 7.6).



Obr. 7.5 Základní okno programu HEC-RAS 5.0

Po importování geometrických dat z programu AutoCad Civil 3D bylo nutné zkontrolovat příčné profily dle zaměření. Dále bylo nutné doplnit koryto o další zaměřené příčné profily z důvodu absence příčných profilů v některých úsecích toku.

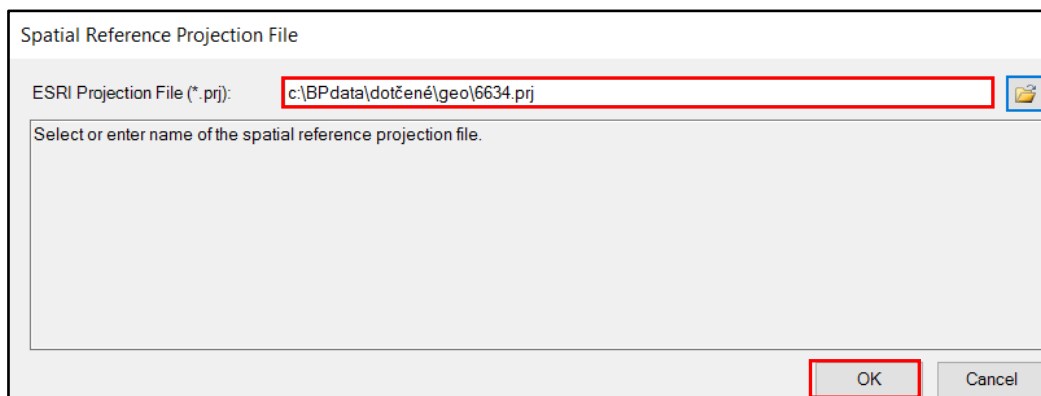
Dalším krokem následuje vymodelování objektů na řešeném úseku toku. Tyto objekty byly mostní profily a spádové stupně (Obr. 7.6).



Obr. 7.6 Mostní objekt na ř. km. 3,702

Vytvoření modelu terénu

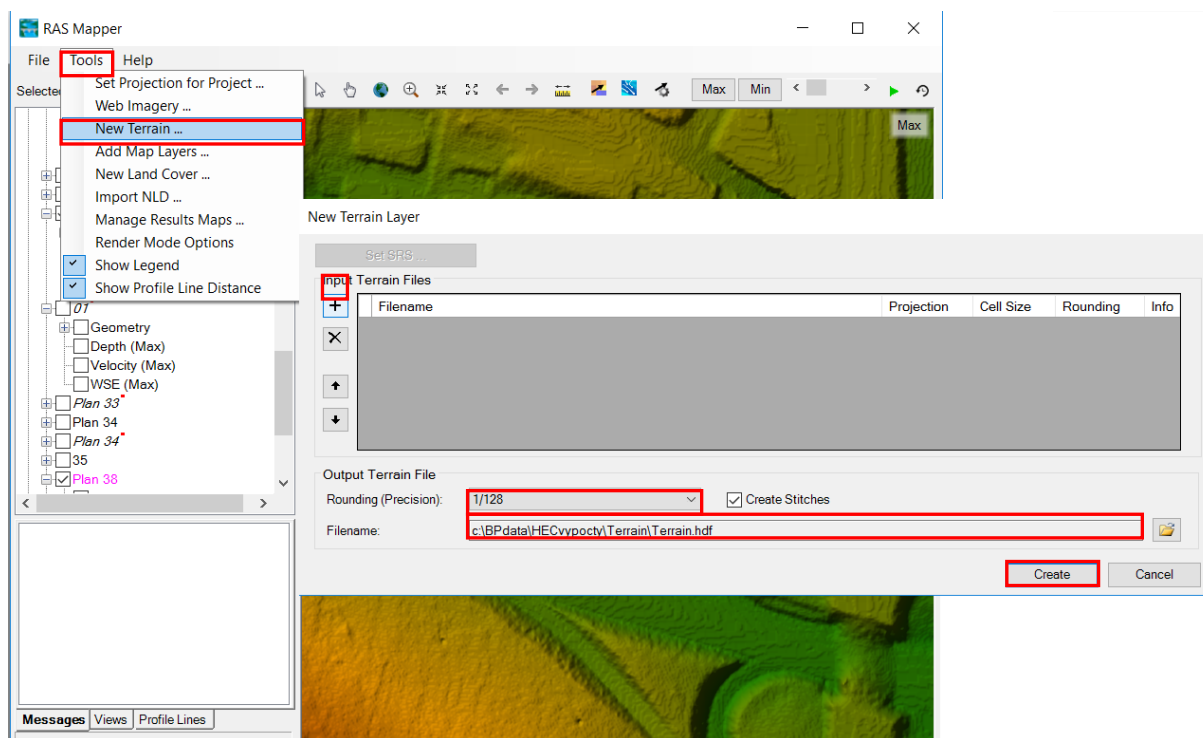
Jako první bylo potřeba nastavit správný koordinační systém. Koordinační systém se nastavuje v okně „RAS Mapper“ v záložce „Tools“. Zde se nachází záložka „Set Projection for Project“. V zobrazeném okně vybere soubor *PRJ (Obr. 7.7). Je nutné vybrat takový soubor, který byl použit při vytvoření rastrového modelu terénu.



Obr. 7.7 Okno pro načtení souboru s koordinačním systémem

Okno „RAS Mapper“ slouží k načtení všech potřebných digitálních podkladů a vrstev ve formě *SHP. Dále také slouží k exportu výsledků. Dále byl načten DMT 5G ve formátu *TIF. To bylo provedeno na liště „Tools“ v záložce „New terrain“ (Obr. 7.8). Kliknutí na tlačítko „+“ byl vybrán příslušný soubor s daty o terénu. Dále se definovala přesnost výšky modelu terénu, a kliknutím na tlačítko „Create“ byl vytvořen model terénu v programu HEC-RAS. Tento model lze zobrazit v „RAS Mapperu“ a dá se zobrazit i v okně „Geometric data“.

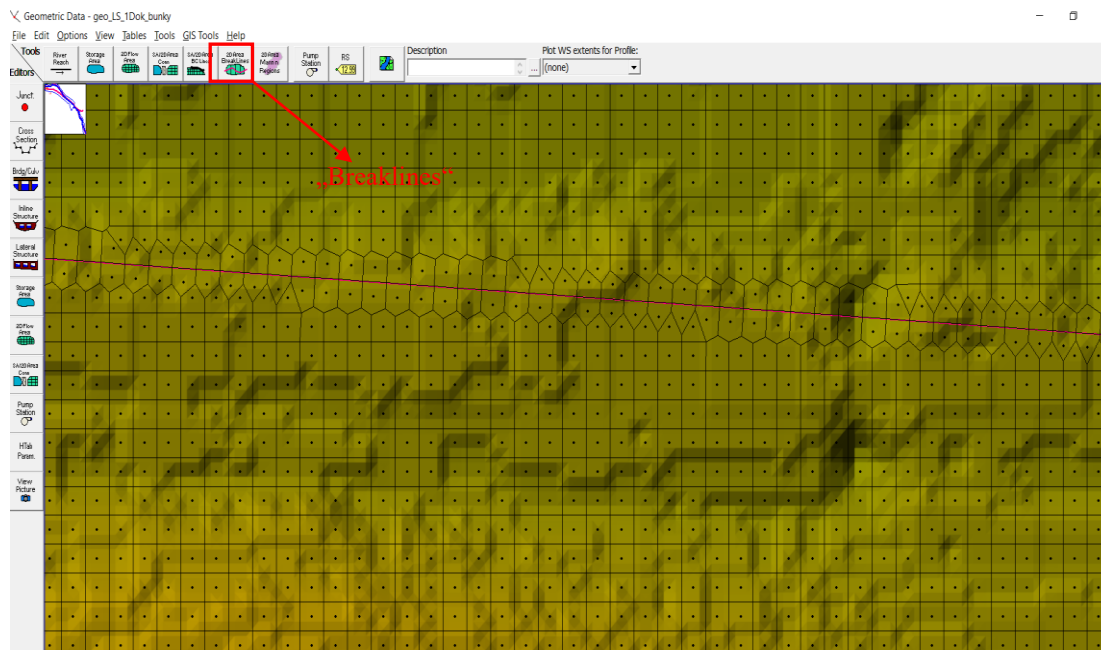
Tímto způsobem byly načteny i polygony využití území. Polygony vstupují ve formátu *SHP. Načteny byly v okně „Land cover layer“. Dále se zde nastavil Manningův součinitel drsnosti n pro každý typ povrchu dle Tab.8.1. HEC-RAS převádí polygony z formátu *SHP na rastr. Tedy musela být zadána velikost rastru 3x3m.



Obr. 7.8 Okno pro načtení terénních podkladů

Výpočtový mesh

Dalo by se také říct výpočtová mřížka. Mesh je definován uzly a elementy. Výpočtový mesh využívá ke svému řešení metodu konečných objemů. Algoritmus pro výpočet uvažuje kombinaci strukturovaného a nestrukturovaného meshe. Nestrukturovaný mesh je složen z mixu elementů z 3 až 8 stranami. Strukturovaný mesh je síť ze čtvercovými elementy. Program HEC-RAS umí zvolit rozměry výpočtové mřížky např. 5x5 m a následně vytvoří výpočtový mesh pomocí svých automatických nástrojů. Pro přesnější vytvoření meshe (např. oblastí železničních a silničních násypů, údolnic atd.) slouží příkaz „Breaklines“ (Obr. 7.9). Program použije tyto křivky pro vytvoření povinných hran buněk výpočtového meshe.



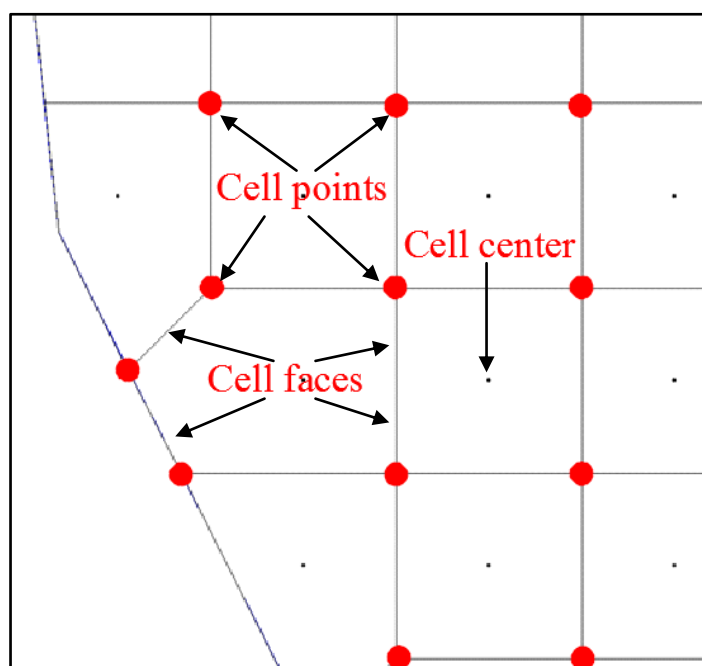
Obr. 7.9 Ukázka výpočtového meshe s křivkou „Breakline“ v místě železničního násypu

Buňka výpočtového meshe se skládá ze 3 údajů. Tyto údaje mají každý své identifikační číslo.

Cell face points: Body na koncích okraje buňky. Slouží pro připojení 1D modelu k 2D výpočtového meshe

Cell faces: Okraje buňky. Obsahují informace o geometrických vlastnostech buňky. Jak je vidět na Obr. 7.9 okraje buňky nemusí být nezbytně rovné

Cell center: Středový bod buňky. K tomuto bodu je počítána hladina vody celé buňky. „Cell center“ nemusí být nezbytně uprostřed buňky.



Obr. 7.10 Terminologie 2D výpočtového meshe

Vytvoření výpočtového meshe pro 2D model

Vytváření probíhalo v editoru „Geometric data“. Před vytvořením 2D oblasti proudění byly vytvořeny „Breaklines“ pomocí tlačítka „Add new breakline to control 2D Flow Area mesh generation“. „Breaklines“ byly zadány v místech břehových hran a železničních násypů. Pro vytvoření 2D oblasti výpočtového meshe, slouží tlačítka „Add new 2D Flow Area“ v editoru „Geometric data“. Jako první bylo přihlédnuto k velikostem rozlivů z podkladů z GOMB. Na základě těchto velikostí byla vykreslena přibližná plocha rozlivů. Plocha byla mírně zvětšena z důvodu strany bezpečnosti. Celkem bylo vytvořeno 5 oblastí (Tab.7.1).

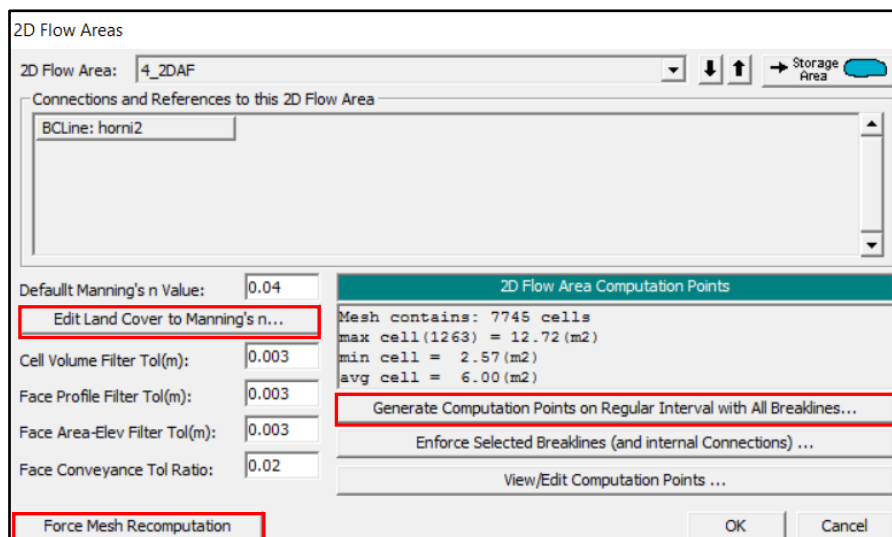
Tab.7.1 Popis 2D oblastí

Název oblasti	Velikost buňky	Počet buněk
2D Horní levá	3x3 m	12584
2D Horní pravá	3x3 m	12071
2D Střední pravá	3x3 m	687
2D Dolní levá	3x3 m	6028
2D Dolní pravá	3x3 m	2082

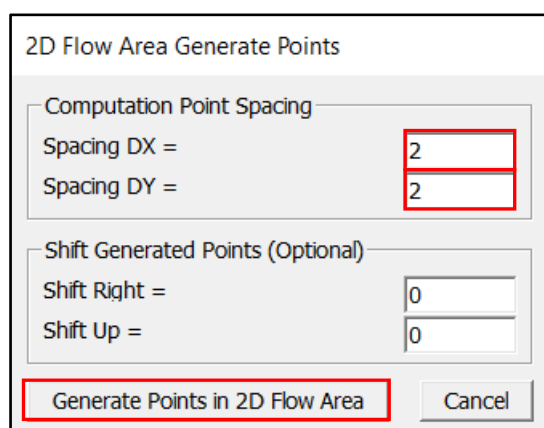
V editoru 2D oblastí „Edit 2D Flow Areas“ (Obr. 7.11) bylo nutné upravit mesh pro každou 2D oblast. Ve zmiňovaném okně lze nastavit podrobně výpočtový mesh. Po rozkliknutí tlačítka „Generate Computation Points on Regular Interval with All Breaklines“ se otevře okno „2D Flow Area Generate Points“ (Obr. 7.12). V tomto okně lze nastavit rozměr výpočtového meshe. Po kliknutí na tlačítka „Generate Points in 2D Flow Area“ se vytvoří „Cell center“. Pro náš výpočet byl nastaven rozměr buňky 3x3 m.

Dále bylo nutné načíst správné součinitele drsnosti v každé oblasti. Načtení proběhlo pomocí tlačítka „Edit Land Cover to Manning’s n Value“. Tam, kde nebyl definován součinitel drsnosti plochou byl stanoven defaultní součinitel drsnosti „Default Manning’s Value“.

V okně na Obr. 7.13 lze nastavit další nastavení. Mohou se zde nastavit tolerance, vypínat a zapínat funkce jednotlivých „Breaklines“ nebo ručně upravovat body v meshi. Pro přepočtení již vytvořených buněk, se používá tlačítka „Force Mesh Recomputation“. Pokud jsou zadané všechny potřebné údaje, poté potvrdíme vytvoření meshe tlačítkem „OK“.

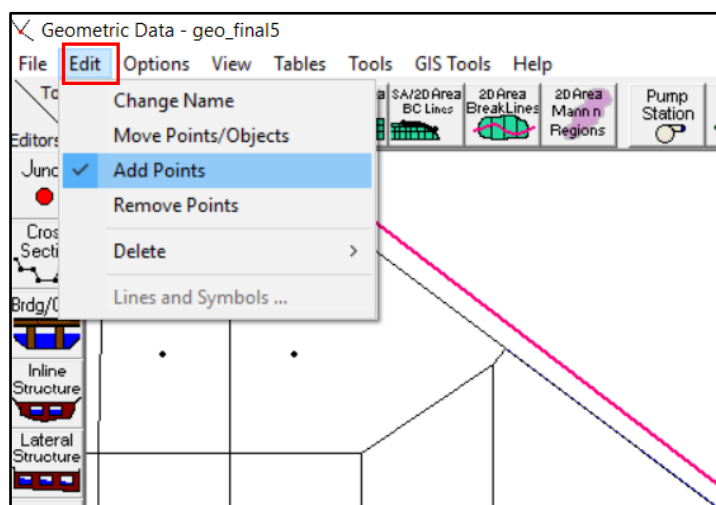


Obr. 7.11 Editor 2D oblastí

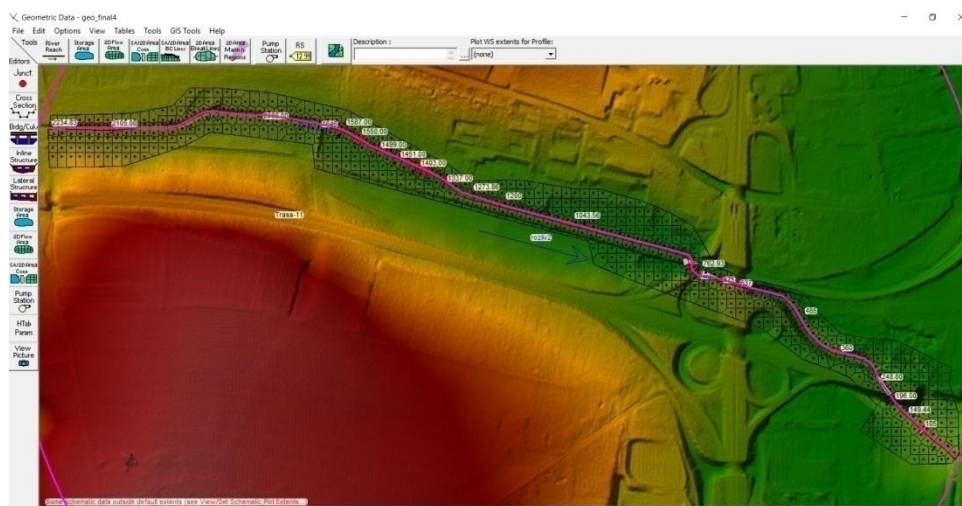


Obr. 7.12 Okno pro zadání rozměru buněk meshe

Jakmile byl vytvořen výpočtový mesh, byla nutná jeho kontrola. V případě důvodů editace byly použity nástroje „Move Points/Object“, „Add Points“ a „Remove Points“ (Obr. 7.13).



Obr. 7.13 Nástroje pro editaci bodů a objektů



Obr. 7.14 Výsledný 2D výpočtový mesh

Napojení 1D modelu na 2D výpočtový mesh

Pro připojení 1D modelu k 2D výpočtovému meshi se používá více způsobů. Připojení se zpracovává v editoru „Geometric data“ Pro tuto práci byl zvolen způsob připojení pomocí tzv. „Lateral Structure“.

Při vytváření bylo nejprve nutné připravit osy pro „Lateral Structure“. Tyto osy byly použity ze souřadnic „Breaklines“. „Breaklines“ si přebírají souřadnice z DMT 5G. Dále proběhlo zkopírování souřadnic do programu MS Excel a přetřídění na dané „Breaklines“. Při tomto systému poté mohla mít každá „Lateral Structure“ svou osu, která se převzala ze souřadnic osy „Breaklines“ (Obr. 7.15).

Breaklines GIS Coordinates		Selected Area Edit Options	
Names (Select one or Many)		Add	Multiply
BL1			
BL2			
BL3			
BL4			
BL5			
BL6			
BL7			
BL8			
BL9			
BL10			
BL11			
BL12			
BL13			
BL14			
BL15			
BL16			
BL17			
BL19			
BL21			
BL22			
BL23			
BL24			
BL25			
RI 76			

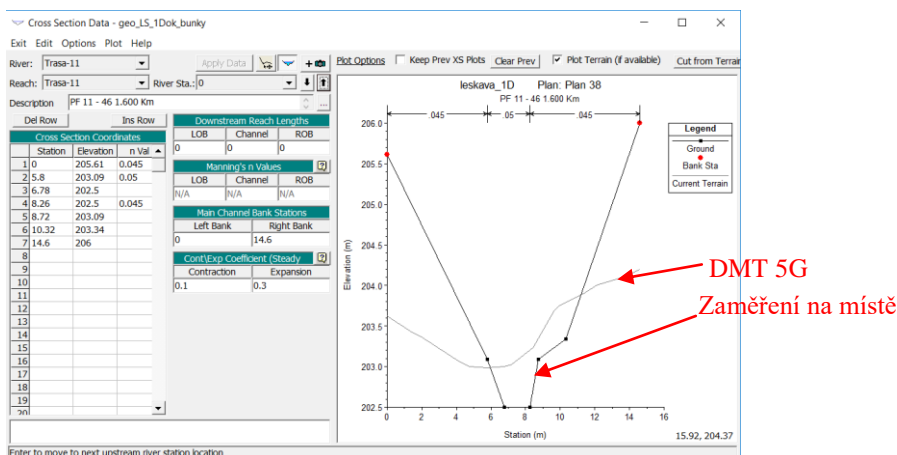
	X (m)	Y (m)
1	-600689.56804294	-1164132.9508902
2	-600407.28713653	-1164149.6786476
3	-600344.94279051	-1164151.4110636
4	-600271.49134621	-1164156.2013752
5	-600206.02375456	-1164161.790072
6	-600108.80121984	-1164179.2135943
7	-600027.25340243	-1164198.816435
8	-599897.61328245	-1164234.3629196
9	-599786.26914506	-1164266.7729481
10	-599676.75460823	-1164296.0465236
11	-599540.05746026	-1164332.3771198
12	-599306.11105264	-1164396.3302284

Obr. 7.15 Souřadnice os „Breaklines“ pro vytvoření osy „Lateral Structure“

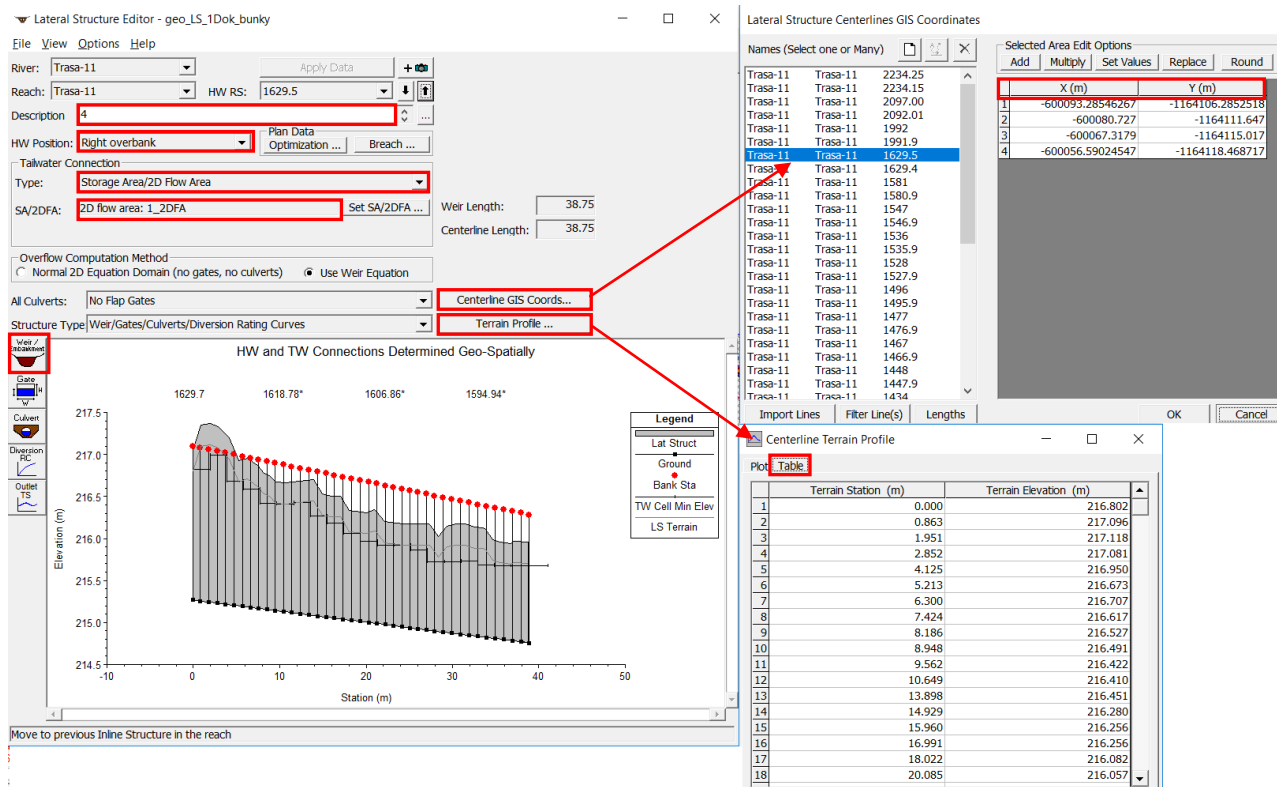
Dále mohlo proběhnout vytvoření samotné „Lateral Structure“ (dále „LS“). To se provádělo v „Lateral Structure editor“ (Obr. 7.17). Příkazem „Add a Lateral Structure“ v záložce „Options“ byla vytvořena nová „LS“ a přiřazeno jí staničení blízké horní profilu, kde má být umístěna. Kliknutím na „OK“ byl vytvořen nový objekt.

Dále je nutno podotknout, že DMT 5G není tak přesný jako zaměření na místě geodetem. Povrch je snímkován laserem z měřicího letadla a je nasnímkován i s vegetačním pokryvem, dálničními mosty, nadzemním vedením a vodní hladinou. Je tedy

na místě přihlídnout k určité nepřesnosti tohoto modelu. Nepřesnost modelu můžeme vidět na (Obr. 7.16).



Obr. 7.16 Ukázka nepřesnosti DMT 5G



Obr. 7.17 Okno editoru „Lateral Structure editor“

Jakmile bylo přidáno staničení „LS“ mohlo se pokračovat v další editaci. Nejprve bylo vhodné si „LS“ patřičně popsat díky snadné orientaci ve velkém počtu „LS“. Dále byly nakopírovány souřadnice pro osu „LS“ ze souřadnic „Breaklines“. Poté se „LS“ přiřadila správná „HW Position“ (levý či pravý břeh) a zvolil správný typ „Tailwater Connection“ jako „Storage Area/2D Flow Area“. Dále byla zvolena správná 2D oblast ve, které se „LS“ nachází.

Mohlo se tedy přistoupit k modelování „LS“. K tomu nám posloužily souřadnice z DMT 5G po rozkliknutí tlačítka „Terrain Profile“ a zvolení záložky „Table“. Hodno byly zkopírovány do staničení a elevace „Weir/Embankment“ (Obr. 7.18). Dále byl zvolen druh

přelivu jako široká koruna „Broad Crested“. Byla zvolena šířka přelivné hrany „Weir Width“ 1 m, zvolen přepadový koeficient „Weir coefficient“ na 1,1 a vzdálenost od horního profilu „HW Distance to Upstream XS“ 1 m. Důležité bylo zvětšit elevaci „LS“ o cca 25 cm aby nebyla „LS“ nižší než je daný terén.

Pro nastavení připojení jednotlivých příčných profilů 1D modelu a buněk 2D oblasti bylo provedeno po rozkliknutí tlačítka „HW Connections“ respektive „TW Connections“. Byla vybrána možnost automatického nastavení staničení a to možností „Computed weir default stationing“ (Obr. 7.19).

Lateral Weir Embankment

Weir Data
 Weir Width: 1
 Weir Computations: Standard Weir Eqn
 Standard Weir Equation Parameters
 Weir flow reference: Water Surface
 Weir Coefficient (Cd): 1.1
 Weir Crest Shape: Broad Crested

Weir Stationing Reference
 HW Distance to Upstream XS: 1
 TW flow goes: to a point between two XS's

Embankment Station/Elevation Table

	Station	Elevation
1	0.	217.052
2	0.863	217.346
3	1.951	217.368
4	2.852	217.331
5	4.125	217.2
6	5.213	216.923
7	6.3	216.957
8	7.424	216.867
9	8.186	216.777
10	8.948	216.741
11	9.562	216.672
12	10.649	216.66
13	13.898	216.701
14	14.929	216.53
15	15.96	216.506
16	16.991	216.506
17	18.022	216.332
18	20.085	216.307
19	20.925	216.339
20	21.116	216.329
21	22.147	216.202
22	24.271	216.171

Obr. 7.18 Okno s „Lateral Weir Embankment“

HW Lateral Structure Connections

Computed Default Weir Stationing (selected)

	XS RSs	Weir Station
1	1629.7	-0.08
2	1628.71*	0.82
3	1627.71*	1.79
4	1626.72*	2.76
5	1625.73*	3.73
6	1624.74*	4.71
7	1623.74*	5.67
8	1622.75*	6.62
9	1621.76*	7.57
10	1620.76*	8.53
11	1619.77*	9.49
12	1618.78*	10.45
13	1617.78*	11.41
14	1616.79*	12.37
15	1615.80*	13.35
16	1614.81*	14.35
17	1613.81*	15.35
18	1612.82*	16.34
19	1611.83*	17.34

TW Lateral Structure Connections

Computed Default Weir Stationing (selected)

	2D Face Points	Weir Station
1	29746	-1.119811E-02
2	29745	1.92591
3	29747	3.86274
4	29748	5.799571
5	29749	7.736401
6	29750	9.673231
7	29751	11.61006
8	29752	13.5473
9	29753	15.48399
10	29754	17.42052
11	29755	19.35734
12	29756	21.29417
13	29757	23.23099
14	29758	25.16782
15	29759	27.10388
16	29760	29.04174
17	29761	30.97825
18	29762	32.91507
19	29763	34.85189

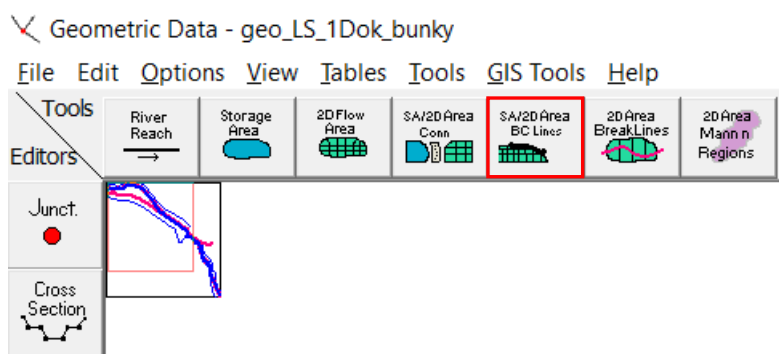
Obr. 7.19 Okna pro nastavení připojení staničení 1D příčného profilu a 2D buňky k „Lateral Structure“

Okrajové podmínky

Výpočet probíhal jako 1D + 2D v neustáleném režimu proudění. Jako okrajové podmínky byly použity vstupní data dle Tab.6.1.[1]

Zadání okrajových podmínek pro **1D model** bylo následující: v horním profilu v ř. km 3,843 byla nastavena okrajová podmínka formou „Flow Hydrograph“ a v dolním profilu v ř. km 1,600 byl nastaven „Stage Hydrograph“ (Obr. 7.21).

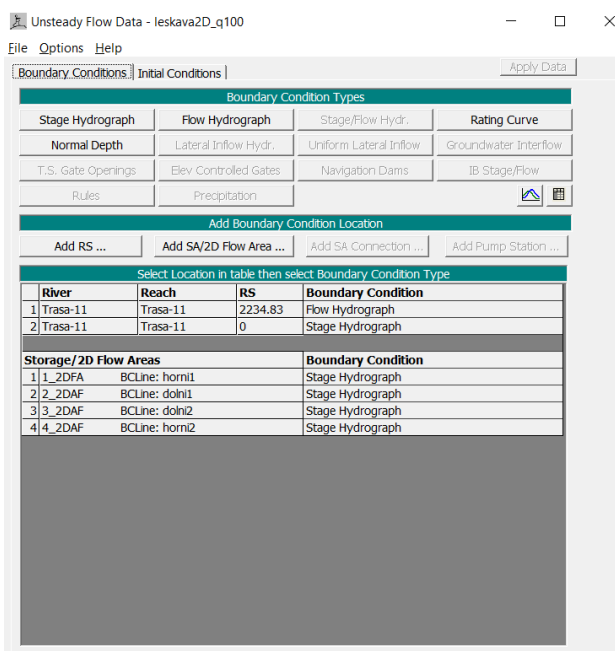
Zadání okrajových podmínek pro 2D výpočtový mesh bylo provedeno v editoru „Geometric Data“ pomocí „SA/2D Area BC Lines“ (Obr 7.20). Kliknutím na ikonu se zobrazí nástroj pro kreslení křivky a v koncových bodech 2D oblastí (kde známe hloubky hladin) se tažením nakreslí požadovaná „BC Line“. Je vhodné „BC lines“ řádně pojmenovat.



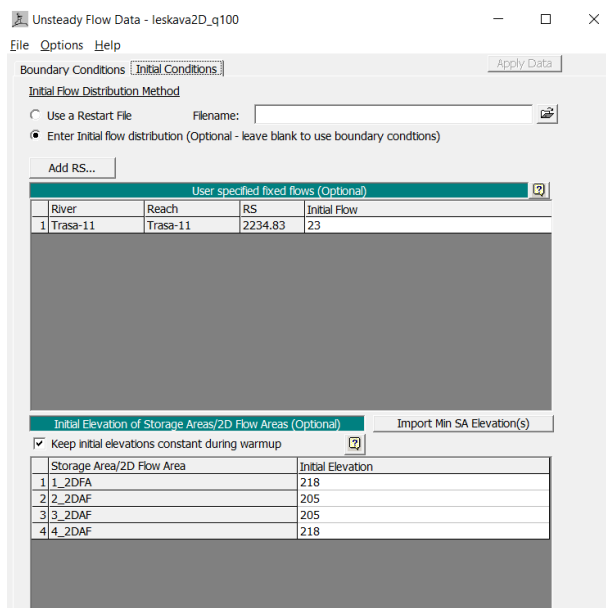
Obr. 7.20 Okno pro nástroj kreslení „BC Lines“

Po nakreslení se v okně pro zadávání okrajových podmínek pro režim neustáleného proudění objevily v našem případě 4 „BC Lines“. Každé z nich byl přiřazen „Stage Hydrograph“ s hloubkou hladiny při počítaném průtoku (Obr. 7.21).

Dále bylo přepnuto na záložku „Initial Conditions“, kde byl nastaven počáteční průtok pro horní profil a počáteční výšky hladin pro oblasti 2D výpočtového meshe (Obr. 7.22).



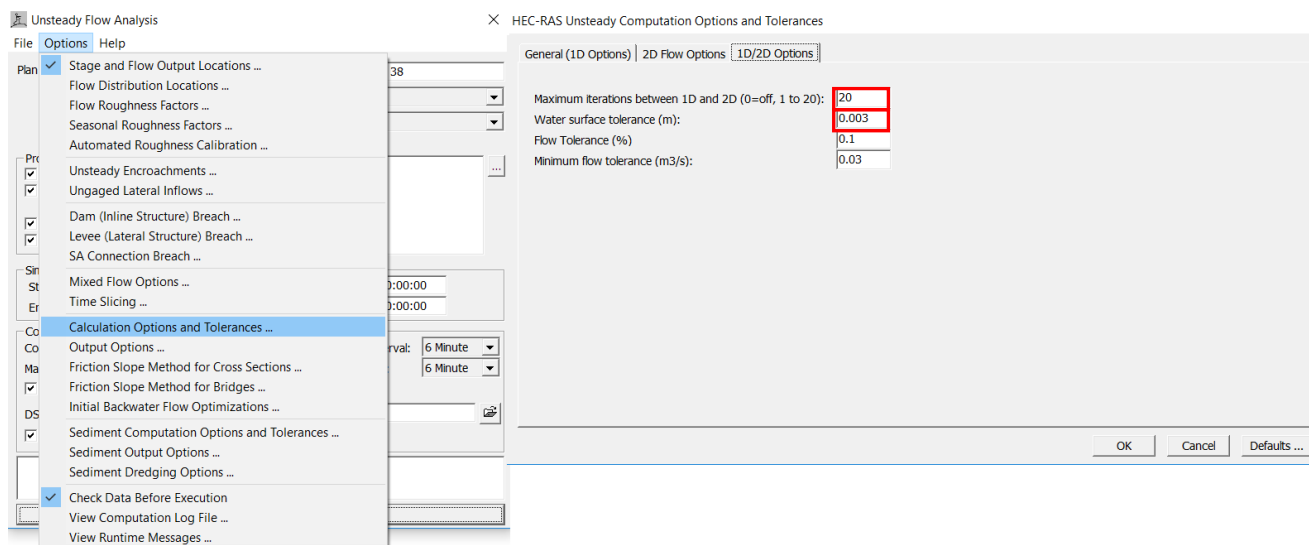
Obr. 7.21 Okno s okrajovými podmínkami pro neustálené proudění



Obr. 7.22 Neustálené proudění – záložka „Initial Conditions“

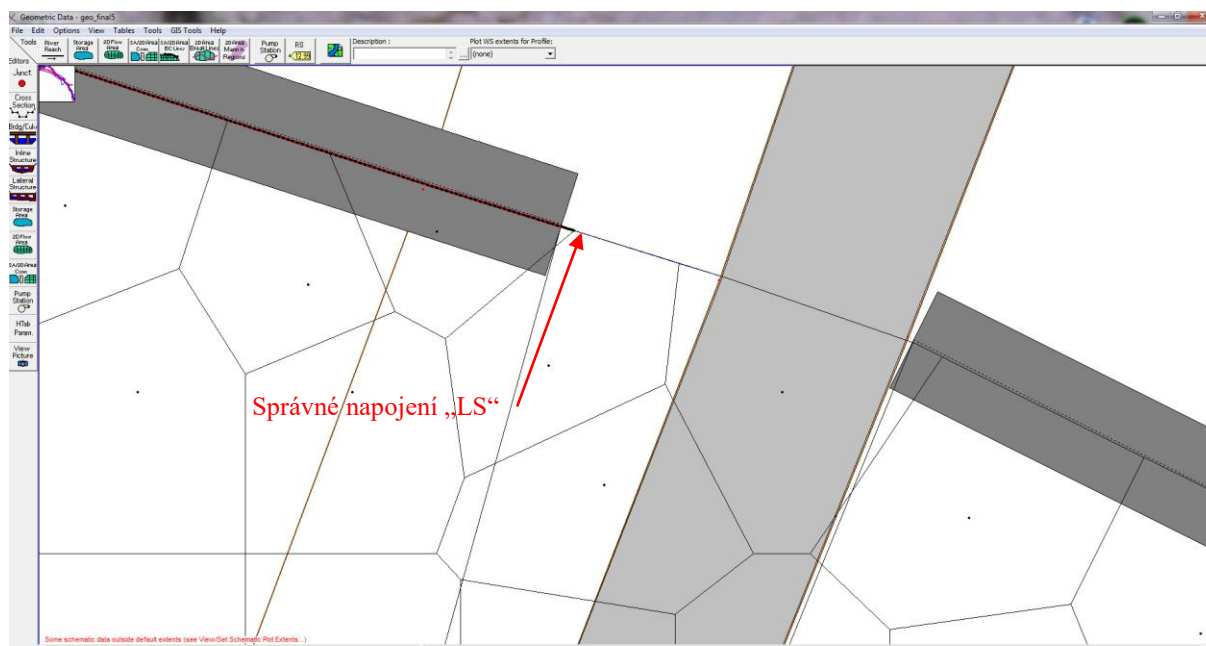
Kalibrace výpočtu při neustáleném proudění 1D + 2D

Při kalibraci výpočtu bylo nutné dbát na řadu věcí, které výpočet ovlivňují. Především je to počet iterací mezi hladinami, které HEC-RAS při analýze počítá, časový interval při, kterém provádí výpočty, tolerance výšky vypočtené hladiny (Obr. 7.23).



Obr. 7.23 Kalibrace 1D/2D

Dále bylo velmi důležité zakreslení a poloha „Lateral Structure“ před horní profil, ke kterému je umístěna. Zásadní pro správnou funkci geometrie při výpočtu bylo, aby „Lateral Structure“ nebyla napojená na buňku, která přesahuje profil mezi, kterými je „Lateral Structure“ (Obr. 7.24).



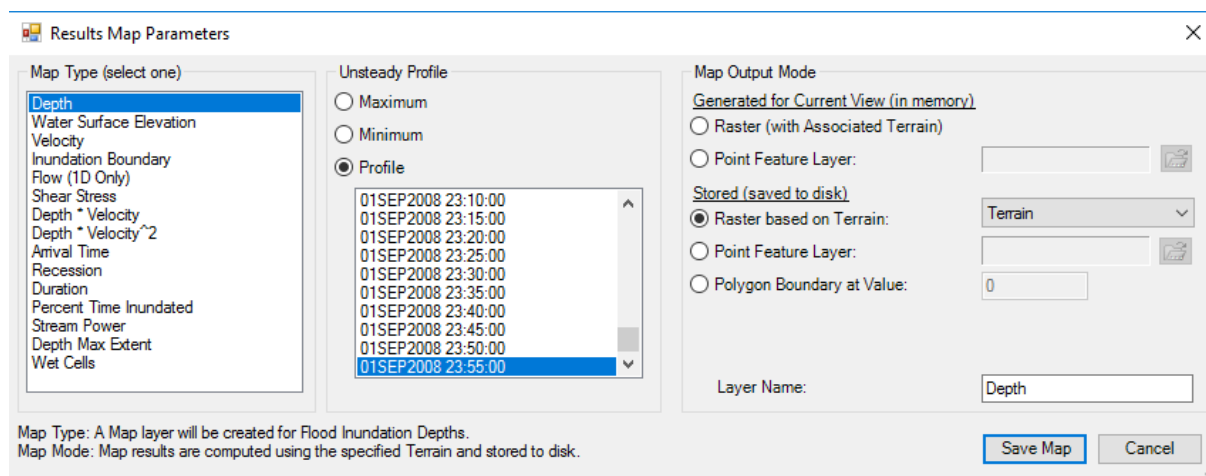
Obr. 7.24 Ukázka správného napojení „LS“ na buňku

Export výsledků z programu HEC-RAS

Export výsledku byl proveden pomocí záložky „RAS Mapper“. Zde si zvolíme požadovaný podklad a kliknutí pravým tlačítkem myši byla vybrána požadovaná možnost. V případě geometrie (příčných profilů, osy toku, objektů) lze vybrat možnost „Export Layer“ a vyexportovat ji ve formátu *SHP, který lze načíst jako podklad do programu Qgis.

V případě exportu výsledků vypočtených hloubek a rozlivů bylo nutno postupovat kliknutím na možnost „Edit map parameters“ (Obr. 7.25). V tomto okně lze navolit požadovaná položka v daném profilu v čase neustáleného proudění. Zvolilo se „Stored (saved to disk)“ a zaškrtnuto bylo políčko „Raster based on Terrain“. Tímto způsobem se mapa uložila ve formátu *TIF do adresáře s výpočty.

Tento soubor lze podložit v Qgisu jako rastrový podklad a zobrazit stejně jako v „RAS Mapper“.



Obr. 7.25 Export výsledků hladin a rozlivů z programu HEC-RAS

8 HYDROTECHNICKÉ VÝPOČTY

8.1 STANOVENÍ SOUČINITELE DRSNOSTI

Stanovení součinitele drsnosti probíhalo pro každý model (1D, 2D) zvlášť. Drsnosti byly voleny dle fotografických a tabulkových katalogů drsností. Fotografický katalog [7] pracuje na principu přiřazení vhodné fotografie typu koryta, které má charakterizovanou svou drsnost. Tabulkový katalog např. dle Výbory [6] funguje na principu přiřazení drsnosti při shodujícím popisu typu koryta.

Pro 1D model byly drsnosti zadávány v programu HEC-RAS přímo do příčných profilů koryta. Pro 2D výpočtový mesh byly drsnosti zadávány pomocí polygonů využití území v programu QGIS (kap. č. 7.2.2).

Stanovené součinitele drsnosti dle druhu povrchu uvádí Tab.8.1.

Tab.8.1 Přehled drsností použitých při výpočtu

Druh povrchu	inundace 2D		
	MIN	VOLENO	MAX
Dno - Štěrkové, štěrkopísčité	0.040	0.050	0.055
Dno - Betonové	0.020	0.023	0.025
Dno - Polovegetační tvárnice	0.025	0.030	0.035
Dno - Betonový torkret značně poškozený	0.020	0.026	0.032
Břeh - Vegetační opevnění - udržované	0.040	0.047	0.055
Břeh - Vegetační opevnění - zarostlé	0.035	0.051	0.055
Břeh - Beton	0.020	0.023	0.025
Břeh - Betonová nábrežní zeď	0.018	0.020	0.025
Břeh - Zdivo z lomového kamene	0.025	0.030	0.038
Berma	0.040	0.058	0.065
Budovy	0.400	0.520	0.600
Okrasný porost - Park	0.035	0.038	0.040
Ovocný sad - Zahrada	0.045	0.048	0.050
Louky, pastviny	0.032	0.035	0.038
Půda s křovinatým porostem	0.040	0.042	0.050
Lesní půda s keřovým patrem	0.080	0.082	0.085
Lesní půda se stromy	0.065	0.066	0.070
Silnice a dálnice - Asfalt	0.018	0.019	0.021
Železniční násyp	0.035	0.036	0.040
Polní cesty	0.039	0.040	0.045
Dlážděné cesty	0.024	0.026	0.028
Voda	0.010	0.015	0.016

8.2 KONKRÉTNÍ OKRAJOVÉ PODMÍNKY VE VÝPOČTU

Výpočet řešeného úseku probíhal v neustáleném proudění v kombinaci výpočtu 1D+2D. Tedy okrajové podmínky byly zvoleny formou hydrogramů průtoků a výšek hladin v daném staničení.

Byly zadány okrajové podmínky v horní části úseku toku v ř. km. 3,843 (most) a v dolní části úseku v ř. km 1,600 (žel. most).

Celkový čas simulace proudění byl zadán na 48 hodin. Přičemž časový interval hydrogramů byl 10 minut. Časový krok pro výpočet byl zadán na 1 sekundu. Pro daný úsek byly zvoleny 4 oblasti 2D proudění. Byly zvoleny 4 „BC Lines“. 2 „BC Lines“ byly nakresleny v ř. km 3,843 a další 2 „BC Lines“ byly nakresleny v ř. km 1,600.

Konkrétní velikosti průtoků a výšky hladin uvádí Tab.8.2.

Tab.8.2 Průtoky a výšky hladin vstupující do okrajových podmínek

	1D + 2D			
	ZÚ ř. km 1.600		KÚ ř. km 3.843	
	Q [m ³ .s ⁻¹]	H [m]	Q [m ³ .s ⁻¹]	H [m]
Q ₅	4.1	203.91	3.0	221.43
Q ₂₀	11.5	204.64	8.5	221.87
Q ₁₀₀	31.0	206.22	23.0	222.53

8.3 POSOUZENÍ KAPACITY

Na základě provedených výpočtů byla stanovena kapacita v jednotlivých úsecích toku. Kapacita je uvedena v Tab. 8.3 a byla porovnávána s výsledky výpočtu pro Q₅, Q₂₀, Q₁₀₀.

Tab. 8.3 Posouzení kapacity koryta v daných profilech

PF	Staničení	LB	PB
[-]	[ř. km]		
318	3.843	Q100	Q100
317	3.808	Q100	< Q20
99	3.705	Q100	Q100
98	3.700	Q100	Q100
315	3.659	< Q5	Q100
96	3.600	Q100	Q100
95	3.593	Q100	Q100
85	3.244	Q100	Q20
314	3.218	Q20	Q20
83	3.187	Q100	< Q5
81	3.090	Q100	< Q5
80	3.078	Q20	Q20
79	3.022	Q100	< Q5
78	3.015	Q100	Q20
77	2.999	Q20	< Q5
76	2.996	Q20	< Q5
75	2.988	< Q5	Q20
74	2.982	< Q5	Q20

73	2.937	Q20	< Q5
313	2.876	Q100	Q100
70	2.802	< Q5	Q100
312	2.646	< Q5	Q100
68	2.602	< Q5	Q100
311	2.366	Q20	Q20
63	2.356	Q100	Q100
62	2.350	Q100	Q100
61	2.340	Q100	Q100
59	2.321	Q100	Q100
58	2.275	Q100	Q100
57	2.260	Q100	Q100
56	2.237	Q100	Q100
55	2.215	Q20	Q20
53	2.085	Q20	Q20
51	1.960	Q100	Q100
49	1.878	< Q5	< Q5
49	1.796	< Q5	< Q5
310	1.755	< Q6	Q20
47	1.711	< Q5	< Q5
46	1.702	< Q5	< Q5
45	1.690	< Q5	< Q5
309	1.685	< Q5	< Q5
46	1.600	Q20	Q20

8.4 IDEOVÝ NÁVRH PPO

Jelikož se řešená část nachází na okraji intravilánu jihovýchodní části města Brna, s přihlédnutím na místní podmínky okolního prostředí a sociálních aspektů, bude nejschůdnějším protipovodňovým opatřením tízná betonová zeď. Návrh n-letosti povodně vycházel z Plánu hlavních povodí [13].

Výšky betonových zdí budou 20 cm nad Q_{20} . Tam, kde není možné budovat zeď až do výšky 20 cm nad hladinu Q_{20} , bude zeď vybetonována do přípustné výšky a umožněno zvýšení mobilním hrazením. Toto hrazení bude mít přesah 20 cm nad Q_{100} . Mobilní hrazení bude možné instalovat na všechny betonové zdi. Přípustné výšky betonových zdí se vyskytují v rozmezí 1,5 – 1,8 m.

Problém nastává tehdy, kdy je čas začít řešit včasné nainstalování tohoto mobilního hrazení. Proto je nutné mít tuto skutečnosti na paměti.

Při návrhu PPO byly brány v úvahu přístupy na pozemky a křížení s komunikacemi. V těchto místech bude betonová zeď přerušena a hrazení nahradí mobilní hrazení.

Detailní návrh PPO bude realizován v následujícím stupni projektové dokumentace. Dělení PPO na stavební objekty obsahuje příloha C.03. Jako všechny stavební objekty budou zhotoveny tízně betonové zdi. Při detailním návrhu v dalším stupni projektové dokumentace bude uvažováno se založením a základovými poměry dle stability betonové zdi a statických posudků železobetonové konstrukce. Součástí bude i hydrogeologický průzkum.

Celkem bylo navrženo 6 stavebních objektů.

Stavební objekty na levém břehu

PPO na levém břehu je rozdělena na dva stavební objekty a to na:

- SO – 01 Betonová tížná zeď s možností mobilního hrazení
- SO – 02 Betonová tížná zeď s možností mobilního hrazení

SO – 01 Betonová tížná zeď s možností mobilního hrazení (ř. km 2,366 – 3,218)

Toto hrazení na úseku ř. km 2,366 – 3,218 je rozlehlé a bude ochraňovat přilehlé území před rozlivem a to především průmyslovou zónu. Zeď bude začínat za železničním mostem st. 2,366 a bude situovat proudící vodu pod most, kde v místě za mostem je možný její rozliv po pravé straně. V místech křížení s mosty bude provedeno správné zavázání do terénu, aby se neporušila stabilita konstrukce jak mostní tak PPO.

SO – 02 Betonová tížná zeď s možností mobilního hrazení

Zeď je situována vlevo od staničení ř. km 3,218. Stavební objekt půjde rovnoběžně s polní cestou a bude mít za úkol chránit přilehlé rodinné domy. Bude bránit rozlivu a situovat ho na přilehlou ornou půdu.

Stavební objekty na pravém břehu

PPO na pravém břehu je rozdělena na čtyři stavební objekty a to na:

- SO – 03 Betonová tížná zeď s možností mobilního hrazení
- SO – 04 Betonová tížná zeď s možností mobilního hrazení
- SO – 05 Betonová tížná zeď s možností mobilního hrazení
- SO – 06 Betonová tížná zeď s možností mobilního hrazení

SO – 03 Betonová tížná zeď s možností mobilního hrazení

Stavební objekt je situován po pravé straně ř. km 1,711. Tato konstrukce má za úkol situovat rozliv do přilehlého prostranství, kde se rozliv rozprostře a nebude ohrožovat přilehlou zástavbu. V chráněné oblasti se nachází průmyslová zóna.

SO – 04 Betonová tížná zeď s možností mobilního hrazení(ř. km 1,711 – 1,796)

PPO leží na úseku ř. km 1,711 – 1,796. Slouží k usměrnění průtoků a napomáhání následného rozlivu pomocí SO – 03.

SO – 05 Betonová tížná zeď s možností mobilního hrazení(ř. km 2,366 – 3,218)

Betonová zeď bude příslušně navázána na železniční most st. 2,366. Hlavní důvodem této PPO je zabránit rozlivům přes železniční násyp a situovat je do spodní části toku.

SO – 06 Betonová tížná zeď s možností mobilního hrazení

Tento stavební objekt je situován po pravé straně ř. km 3,218. Jeho hlavní funkcí je směřovat rozlivy do přilehlých zahrádkářských kolonií a chránit tak železniční trať a její násyp.

9 ZÁVĚR

Za přispění všech podkladů, prohlídky a seznámení se z oblastí byl vytvořen model proudění vody v 1D+2D oblasti. Pro kalibraci 1D a 2D geometrie bylo použito podkladů z Generelu odvodnění města Brna. [1] Pro sestavený model byly použity okrajové podmínky dle měrných křivek z daných profilů. Výsledky výpočtů byly ve formě rozlivů a hloubek vody. Na základě těchto výsledků byla stanovena kapacita koryta. Takto získané výsledky byly prezentovány ve formě map hloubek a map rozlivů. Dále následoval návrh ideového protipovodňového opatření na průtok Q_{100} .

V textové části bakalářské práce je popisována příprava dat k sestavení modelu 1D+2D proudění, samotné sestavení modelu, výpočet a export výsledků 1D+2D proudění.

Jako součást této kapitoly je dále provedeno:

- Zhodnocení výpočtů 1D+2D proudění.
- Zhodnocení vypočtených rozlivů.
- Zhodnocení vypočtených hloubek.
- Porovnání stávajících a vypočtených rozlivů.

9.1 ZHODNOCENÍ VÝPOČTŮ 1D+2D PROUDĚNÍ

Výpočty probíhaly v mixovaném režimu proudění. Tento režim byl kalibrován až do té doby, kdy byl výpočet stabilní a nevykazoval chybná hlášení. Největším problémem při výpočtech byla změna režimů proudění. Při této změně docházelo k rozkolísání hladin. Tento problém byl vyřešen citlivou kalibrací geometrie, okrajových podmínek a výpočetního zadání.

9.2 ZHODNOCENÍ VYPOČTENÝCH ROZLIVŮ

Zhodnocení pro Q_5

Při tomto průtoku je koryto ve většině profilech kapacitní. Problém nastává u mostu M2 na ř. km 1,695. Tento most je zcela nekapacitní a bude příčinou vzduť hladiny na konci řešeného úseku.

Nejvíce znatelný rozliv bude za železničního mostem M5 na ř. km 2,366. Zde se průtok rozlívá na pravou stranu koryta, kde bude situovaným navrhnutým PPO a zadržem násypem dálničního mostu. Detailnější informace o rozlivech viz. příloha C.04.

Zhodnocení pro Q_{20}

V závislosti na tomto rozlivu lze říci, že navrhnutá PPO zaručí rozlití rozlivů do přilehlých zahrádkářských kolonií a tak zabráni rozlivu do průmyslových zón a zón s rodinnými domy. Výstup rozlivů je v příloze C.05.

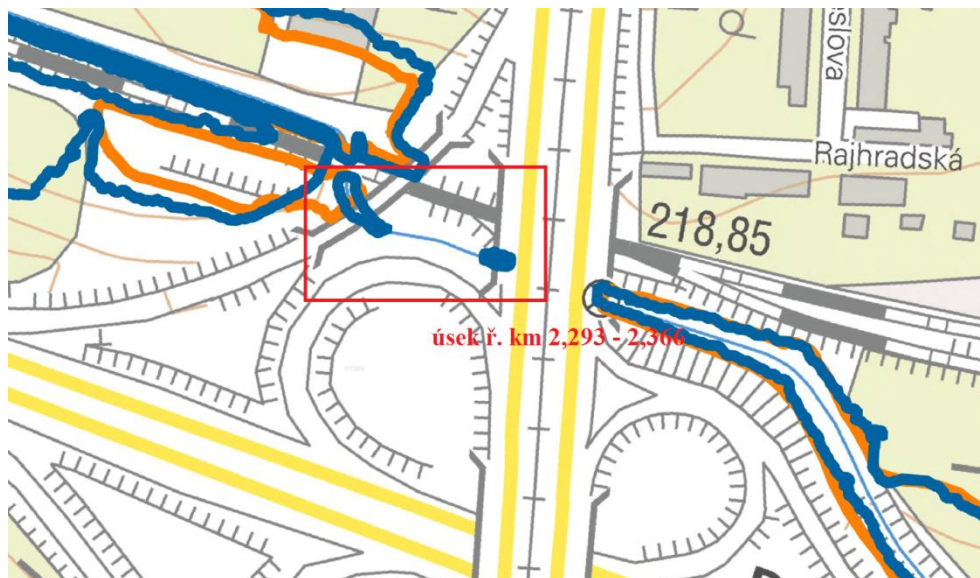
Zhodnocení pro Q_{100}

Rozlivy pro Q_{100} vychází znatelně větší než pro ostatní dva průtoky. Svým tvarem se přibližují rozlivům pro Q_{20} .

K největšímu rozlivu dojde v horní oblasti řešeného úseku a to do přilehlých zahrádkářských kolonií a oblasti kolem levého břehu. Tato skutečnost je řešena návrhem ideového PPO, tak aby byly rozlivy situovány do oblastí zahrádkářských kolonií a orné půdy k zabránění vstupu vody do intravilánu města.

Dále je nutné podotknout, že rozlivy v oblasti ř. km 2,293 – 2,321 nebyly v 2D modelu uvažovány a v dalším stupni projektové dokumentace by bylo vhodné tuto skutečnost zahrnout do celé oblasti 2D (Obr. 9.1). Výstupy rozlivu viz. příloha C.06

Úsek byl počítán pouze jako 1D proudění z důvodu jeho složitosti při výpočtu 2D. Úsek koryta v tomto úseku je kapacitní.



Obr. 9.1 Úsek bez 2D oblasti

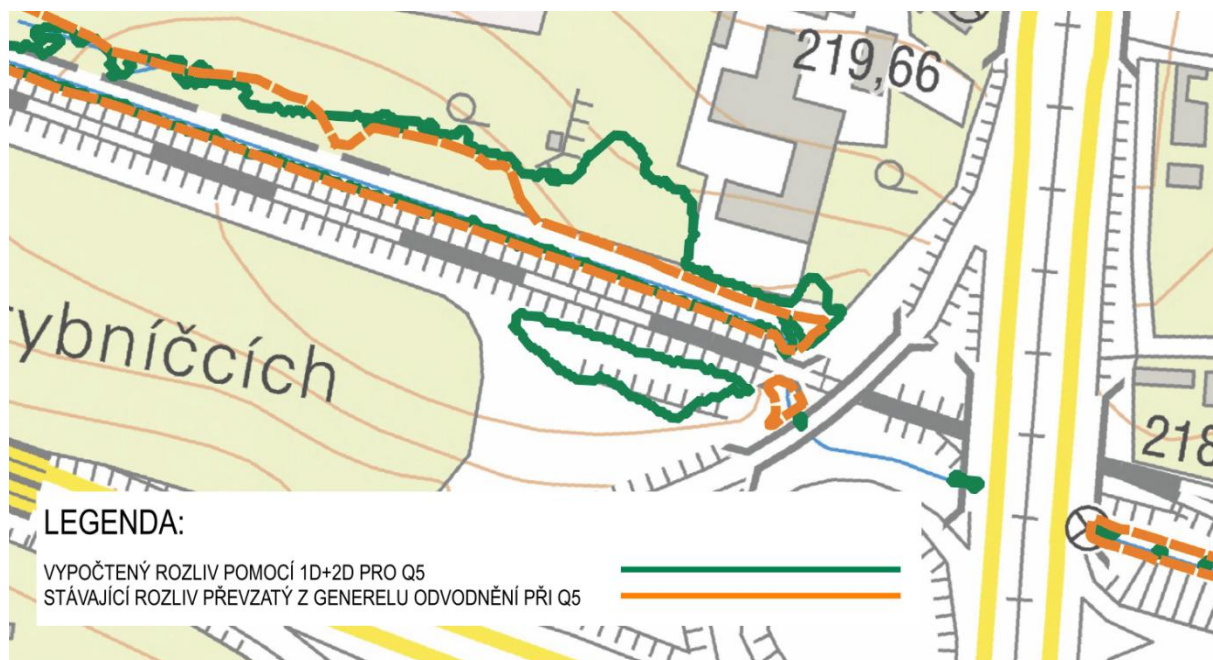
9.3 ZHODNOCENÍ VYPOČTENÝCH HLOUBEK

Vypočtené hloubky rozlivů se pohybují v rozmezí od 0,00 m do 3,13 m. Největší hloubky nastávají za železničním mostem M5 po pravé straně koryta, kde se zadržují o násyp dálničního mostu M4 na ř. km 2,293. Detailnější velikosti a rozmístění hloubek viz. přílohy C.07 – C.09.

9.4 POROVNÁNÍ STÁVAJÍCÍCH A VYPOČTENÝCH ROZLIVŮ

V bakalářské práci byly vypočteny rozlivy pomocí programu HEC-RAS ve formě 1D+2D proudění. Porovnávány byly rozlivy z podkladů Generelu odvodnění města Brna. Rozlivy obdržené z GOMB, byly počítány pomocí programu HEC-RAS ve formě 1D proudění. Tedy se jednalo o jiný typ výpočtu a tím se mohou výsledky výpočtů lišit.

Výsledky rozlivů se nejvíce liší v úseku u železničního mostu M5 na ř. km 2,366 a v oblasti zahrádkářských kolonií v horní části řešeného úseku (Obr. 9.2). Dále lze říci, že ve spodní části řešeného úseku u mostu M1 na ř. km 1,600 jsou rozlivy pro Q_{20} a Q_{100} poměrně podobného tvaru a pro Q_5 je zde patrný rozdíl rozlivu do blízké orné půdy.



Obr. 9.2 Rozdílnost rozlivů vypočtených a stávajících

10 POUŽITÉ ZDROJE A PODKLADY

- [1] Generel odvodnění města Brna: Část toky - č. 8 Leskava. Brno, 2007.
- [2] JANDORA, Jan a Jan ŠULC. *Hydraulika: modul 01*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2007. Studijní opory pro studijní programy s kombinovanou formou studia. ISBN 9788072045129.
- [3] JANDORA, Jan, Vlastimil STARA a Miloš STARÝ. *Hydraulika a hydrologie*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2011. ISBN 978-807204-739-0.
- [4] GARY W. a BRUNNER. *HEC-RAS River Analysis system: Hydraulic Reference Manual* [online]. Version 5.0 Davis California, 2017 [cit. 2017-05-16]. Dostupné z: <http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/documentation/HEC-RAS%205.0%202D%20Modeling%20Users%20Manual.pdf>
- [5] CHOW, Ven Te. *Open-Channel Hydraulics*. New York: McGraw-Hill Book Company, 1960, 680 s.
- [6] RAPLÍK, Milan, Pavel VÝBORA a Karel MAREŠ. *Úprava tokov*. Bratislava: Alfa, 1989. ISBN 80-05-00128-2.
- [7] UHMANOVÁ, Hana a Lukáš SMELÍK. *Fotografický katalog drsností* [online]. [cit. 2017-05-16]. Dostupné z: <https://sites.google.com/site/katalogdrsnosti/>
- [8] VÚV T.G.Masaryka: O projektu DIBAVOD. [online]. Praha: Výzkumný ústav vodohospodářský T.G.Masaryka: veřejná výzkumná instituce - Obor ochrany vod a informatiky, 2014 [cit. 2017-05-16]. Dostupné z: <http://www.dibavod.cz/>
- [9] KÜHBACHER, Christian. *Shallow Water: Derivation and Applications* [online]. In: . s. 1-102 [cit. 2017-05-16]. Dostupné z: <http://www.mathematik.tu-dortmund.de/lsiii/cms/papers/Kuehbacher2009.pdf>
- [10] *Český ústav zeměměřičský a katastrální (ČÚZK)* [online]. Praha 2017 [cit. 2017-05-16]. Dostupné z: <http://www.cuzk.cz/>
- [11] Geologická mapa: http://mapy.geology.cz/geocr_50/
- [12] Drbal, K., aj. Metodika tvorby mappovodňového nebezpečí a povodňových rizik, VÚV T. G. M. Brno, 2009.
- [13] Plán hlavních povodí České republiky: schválený usnesením vlády ČR ze dne 23. května 2007 č. 562. Praha: Ministerstvo zemědělství, 2007. ISBN 9788070846322.

SEZNAM TABULEK

Tab.6.1 N - leté průtoky pro řeku Leskavu v řešeném úseku [1]	18
Tab. 6.2 Přehled objektů na řešeném úseku toku	27
Tab.7.1 Popis 2D oblastí	35
Tab.8.1 Přehled drsností použitých při výpočtu.....	43
Tab.8.2 Průtoky a výšky hladin vstupující do okrajových podmínek	44
Tab. 8.3 Posouzení kapacity koryta v daných profilech	44

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 3.1 Zaměřené příčné profily [1]	5
Obr. 3.2 Zaměřené podélné profily [1]	6
Obr. 3.3 Digitální model terénu 5G s modře vyznačenou osou řešeného úseku toku	6
Obr. 3.4 Webová mapová služba spuštěná v programu AutoCad Civil 3D 2017	7
Obr. 3.5 Měrné křivky Mostu v horním profilu řešeného úseku v ř. km. 3,843 [1]	7
Obr. 3.6 Měrné křivky Mostu v dolním profilu řešeného úseku v ř. km. 1,600 [1].....	8
Obr. 4.1 Schéma ustáleného rovnoměrného proudění [2].....	9
Obr. 4.2 Křivky vzduší a snížení [2].....	10
Obr. 4.3 Směr výpočtu nerovnoměrného proudění metodou po úsecích [2]	11
Obr. 4.4 Schéma výpočtu nerovnoměrného proudění metodou po úsecích.....	11
Obr. 6.1 Geologická mapa řešeného území M 1:50 000, [11]	16
Obr. 6.2 Trasa toku v zájmové lokalitě [10]	17
Obr. 6.3 Úsek koryta v ř. km 1,600 – 1,695 [1]	19
Obr. 6.4 Nánosy na úseku koryta v ř. km 1,600 – 1,695.....	19
Obr. 6.5 Výmoly na úseku koryta v ř. km 1,600 – 1,695.....	19
Obr. 6.6 Vtok do zaústění pod dálničním mostem v ř. km 1,837	20
Obr. 6.7 Část koryta v ř. km 1,600 - 1,837 [1].....	20
Obr. 6.8 Výtok zaklenutí v ř. km 2,337.....	20
Obr. 6.9 Betonové koryto v ř. km 2,293 – 3,355 [1].....	21
Obr. 6.10 Řada lávek v ř. km 2,930 – 3,183 [1].....	21
Obr. 6.11 Charakter koryta v ř. km 3,183 – 3,843	22
Obr. 6.12 Most na ř. km. 1,600	22
Obr. 6.13 Most na ř. km. 1,695	23
Obr. 6.14 Dálniční Most na ř. km. 1,837 [1].....	23
Obr. 6.15 Dálniční most na ř. km. 2,337 – pohled proti vodě.....	23
Obr. 6.16 Zaklenutí na ř. km. 2,293 – 2,337 – pohled proti vodě [1]	24
Obr. 6.17 Železniční most na ř. km. 2,366.....	24
Obr. 6.18 Lávky na ř. km. 2,930 – 3,183	24
Obr. 6.19 Betonová lávka na ř. km. 3,244	25
Obr. 6.20 Spádový stupeň na ř. km. 3,594	25
Obr. 6.21 Most na ř. km. 3,702	26
Obr. 6.22 Most na ř. km. 3,843	26
Obr. 7.1 Schéma postupu práce.....	28

Obr. 7.2 Vytvořený digitální model terénu v programu AutoCad Civil 3D	29
Obr. 7.3 Příklad vytvořené osy toku a příčných profilů.....	30
Obr. 7.4 Vytvoření polygonů využití území v programu QGIS.....	30
Obr. 7.5 Základní okno programu HEC-RAS 5.0.....	31
Obr. 7.6 Mostní objekt na ř. km. 3,702	31
Obr. 7.7 Okno pro načtení souboru s koordinačním systémem	32
Obr. 7.8 Okno pro načtení terénních podkladů	33
Obr. 7.9 Ukázka výpočtového meshe s křivkou „Breakline“ v místě železničního násypu	34
Obr. 7.10 Terminologie 2D výpočtového meshe	34
Obr. 7.11 Editor 2D oblastí	36
Obr. 7.12 Okno pro zadání rozměru buněk meshe.....	36
Obr. 7.13 Nástroje pro editaci bodů a objektů	36
Obr. 7.14 Výsledný 2D výpočtový mesh	37
Obr. 7.15 Souřadnice os „Breaklines“ pro vytvoření osy „Lateral Structure“	37
Obr. 7.16 Ukázka nepřesnosti DMT 5G	38
Obr. 7.17 Okno editoru „Lateral Structure editor“	38
Obr. 7.18 Okno s „Lateral Weir Embankment“	39
Obr. 7.19 Okna pro nastavení připojení staničení 1D příčného profilu a 2D buňky k „Lateral Structure“	39
Obr. 7.20 Okno pro nástroj kreslení „BC Lines“	40
Obr. 7.21 Okno s okrajovými podmínkami pro neustálené proudění	40
Obr. 7.22 Neustálené proudění – záložka „Initial Conditions“	41
Obr. 7.23 Kalibrace 1D/2D	41
Obr. 7.24 Ukázka správného napojení „LS“ na buňku	42
Obr. 7.25 Export výsledků hladin a rozlivů z programu HEC-RAS.....	42
Obr. 9.1 Úsek bez 2D oblasti	48
Obr. 9.2 Rozdílnost rozlivů vypočtených a stávajících.....	49

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

A ...	Průtočná plocha	[m ²]
i ₀ ...	Sklon dna	[-]
i _h ...	Sklon hladiny	[-]
i _p ...	Průměrný sklon čáry energie	[-]
v ...	Rychlost	[m.s ⁻¹]
Q ...	Průtok	[m ³ .s ⁻¹]
C ...	Chézyho rychlostní součinitel	[-]
R ...	Hydraulický poloměr	[m]
O ...	Omočený obvod	[m]
ΔL ...	Průtočná plocha	[m]
h _z ...	Celková ztrátová výška	[m]
α ...	Coriolisovo číslo	[-]
H ...	Nadmořská výška hladiny	[m n. m.]
x,y ...	Vzdálenost v daném směru	[m]
t ...	Čas	[s]
τ ...	Smykové napětí	[Pa]
T ...	Turbulentní smykové napětí	[Pa]
n ...	Manningův drsnostní součinitel	[-]
ξ ...	Součinitel místní ztráty	[-]

SEZNAM PŘÍLOH

C.01	Situace širších vztahů
C.02.1	Podrobná situace 1
C.02.2	Podrobná situace 2
C.02.3	Podrobná situace 3
C.03	Ideový návrh PPO
C.04	Mapa srovnání rozlivů pro Q_5
C.05	Mapa srovnání rozlivů pro Q_{20}
C.06	Mapa srovnání rozlivů pro Q_{100}
C.07	Mapa hloubek při Q_5
C.08	Mapa hloubek při Q_{20}
C.09	Mapa hloubek při Q_{100}