



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

## ÚSTAV VODNÍCH STAVEB

INSTITUTE OF WATER STRUCTURES

## ÚPRAVA TOKU S VYUŽITÍM CIVIL3D A HEC-RAS

RIVER ADAPTATION WITH CIVIL3D AND HEC-RAS

### BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Monika Filípková

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. David Duchan, Ph.D.

BRNO 2017



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

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

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

<b>Student</b>	Monika Filípková
<b>Název</b>	Úprava toku s využitím CIVIL 3D a HEC-RAS
<b>Vedoucí práce</b>	Ing. David Duchan, Ph.D.
<b>Datum zadání</b>	30. 11. 2016
<b>Datum odevzdání</b>	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. 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**

Bakalárska práca sa zaoberá zhodnotením súčasného stavu vybraného úseku toku rieky Moravy v okolí mesta Olomouc a následným návrhom úpravy a návrhom protipovodňovej ochrany. V prvom kroku sú vykonané hydraulické overenia toku s využitím programu CIVIL3D a HEC-RAS. Na základe výsledkov z 1D modelu je vykonaný návrh úpravy toku s cieľom navýšenia kapacity toku a redukciou rozlievania vody.

## **ABSTRACT**

This bachelor thesis deals with the evaluation of the current state of the selected section of the Morava river around the city of Olomouc and the subsequent modification and desing of the flood protection. In the first step, hydraulic flow verification using CIVIL 3D and HEC – RAS is performed. Based on the results of the 1D model, proposal river adaptation is then also executed with the aim to incerase the flow capacity and to reduce the water effusion.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Morava, Olomouc, úprava toku, vodný tok, protipovodňová ochrana, rozliv vody, HEC-RAS

## **KEYWORDS**

Morava, Olomouc, river adaptation, water flow, .flood protection, flood aeras, HEC-RAS

## **BIBLIOGRAFICKÁ CITÁCIA VŠKP**

Monika Filípková *Úprava toku s využitím CIVIL 3D a HEC-RAS*. Brno, 2017. 40 s., 18 s. příl.  
Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodních staveb.  
Vedoucí práce Ing. David Duchan, Ph.D.

## **PODĚKOVÁNÍ**

V prvom rade by som chcela poďakovať môjmu vedúcemu bakalárskej práce Ing. Davidovi Duchanovi, Ph D. za odbornú pomoc, cenné rady a ochotu, ďalej mojej rodine za trpezlivosť a podporu.

## **PROHLÁŠENÍ**

Prehlasujem, že som bakalársku prácu spracovala samostatne a že som uviedla všetky použité informačné zdroje.

V Brně dňa 22.5. 2017

.....  
Monika Filípková  
Autor práce

# OBSAH

<b>1</b>	<b>ÚVOD</b> .....	<b>9</b>
<b>2</b>	<b>CIELE PRÁCE</b> .....	<b>10</b>
<b>3</b>	<b>PODKLADY</b> .....	<b>11</b>
<b>4</b>	<b>METÓDY RIEŠENIA</b> .....	<b>12</b>
4.1	Prúdenie kvapaliny .....	12
4.2	Metóda po úsekoch .....	12
<b>5</b>	<b>ZÁUJMOVÁ LOKALITA</b> .....	<b>14</b>
5.1	Správne údaje .....	14
5.2	Údaje o povodí .....	14
5.3	Geologické pomery .....	16
5.4	Hydrogeologické pomery .....	16
5.5	Pedologické pomery .....	17
5.6	Klimatické pomery .....	17
5.7	Hydrologické pomery .....	18
5.8	Údaje o poľnohospodárstve .....	19
5.9	Údaje o lesníctve .....	19
5.10	Údaje o priemysle .....	19
5.11	Požiadavky na odber .....	19
5.12	Splavnosť .....	20
5.13	Objekty v danej lokalite .....	20
<b>6</b>	<b>POSTUP RIEŠENIA</b> .....	<b>21</b>
6.1	CIVIL 3D .....	21
6.2	HEC-RAS.....	21
6.3	GIS (Geografický informačný systém) .....	21
6.4	Postup práce v programoch .....	21
<b>7</b>	<b>OVERENIE KAPACITY</b> .....	<b>24</b>
7.1	Úvod.....	24
7.2	Posúdenie kapacity pôvodného koryta .....	25
7.3	Porovnanie rozlívov .....	26
<b>8</b>	<b>NÁVRH ÚPRAVY A PPO</b> .....	<b>28</b>
8.1	Úvod.....	28
8.2	Vlastný návrh PPO .....	30
8.2.1	Úprava toku.....	30
8.2.2	Návrh PPO .....	30
8.3	Hydraulické overenie Návrhu .....	33
<b>9</b>	<b>ZÁVER</b> .....	<b>35</b>
<b>10</b>	<b>LITERATÚRA</b> .....	<b>36</b>
<b>11</b>	<b>ZOZNAM OBRÁZKOV</b> .....	<b>37</b>
<b>12</b>	<b>ZOZNAM TABULIEK</b> .....	<b>38</b>
<b>13</b>	<b>ZOZNAM SKRATIEK A SYMBOLOV</b> .....	<b>39</b>
<b>14</b>	<b>ZOZNAM PRÍLOH</b> .....	<b>40</b>



# 1 ÚVOD

Rieka Morava patrí medzi veľké rieky na území Českej republiky s priemerným prietokom  $120 \text{ m}^3/\text{s}$ , preto je nutné dbať na správnu úpravu rieky v kritických oblastiach. Konkrétne sa jedná o úsek toku v okolí mesta Olomouc v riečnom kilometri 228,024 – 242,963, čo tvorí celkovú dĺžku necelých 15 km. Už v minulosti boli v Olomouci zaznamenané veľké povodne napríklad z roku 1997, kde počas noci voda zaplavila takmer celé mesto. Maximálny prietok počas tejto povodne bol odhadovaný na viac ako  $780 \text{ m}^3/\text{s}$ . [1] V Olomouci sa nachádzajú dôležité inštitúcie, ako sú napríklad vojenská nemocnica, železničná stanica, či historické centrum, ktoré je treba chrániť pred povodňami.

## 2 CIELE PRÁCE

Hlavným cieľom mojej práce je chrániť mesto pred povodňovými prietokmi. Na rieke Morave v riečnom kilometri 228,024 – 242,963 v okolí mesta Olomouc bude urobené overenie kapacity stávajúceho stavu a následný návrh úpravy toku a protipovodňovej ochrany (PPO).

Práca je rozdelená do viac častí. Na úvod sú charakterizované základné informácie o rieke a povodí zhrnuté do sprievodnej správy, kde sú zahrnuté aj informácie o klimatických, geologických či hydrologických podmienkach v danej oblasti. Ďalším krokom sú hydrotechnické výpočty, ktoré sú vytvorené pomocou programu HEC-RAS. Posledná časť je venovaná vlastnému návrhu úpravy.

Konkrétne ciele:

- Popis a overenie kapacity koryta,
- návrh úpravy koryta,
- návrh PPO,
- hydraulické overenie návrhu PPO.

### **3 PODKLADY**

Na danú tému bakalárskej práce boli poskytnuté nasledovné podklady:

[A] AQUA TIS a.s., február 2000, rieka Morava, priečne profily 228,024 – 242,963 r. km. Formát DWG.

[B] AQUA TIS a.s., február 2000, rieka Morava, pozdĺžny profil 228,024 – 242,963 r. km. Formát DWG.

[C] AQUA TIS a.s., február 2000, rieka Morava, Technická správa. Textový dokument.

[D] AQUA TIS a.s., február 2000, Situácia so zameranými priečnymi profilmi. Formát DWG.

[E] Databáza DIBAVOD, 2017. Rozlivy pri Q5, Q20 a Q100, osy toku, km toku. Formát SHP

## 4 METÓDY RIEŠENIA

### 4.1 Prúdenie kvapaliny

Prúdenie v toku delíme na:

- **Ustálené** - pri ustálenom (stacionárnom) prúdení sú hydraulické veličiny (prietok, prierezová rýchlosť, prietočná plocha) v čase nemenné a závisia len na polohe.
- **Neustálené** – pri neustálenom (nestacionárnom) prúdení sú hydraulické veličiny funkciou času aj polohy.
- **Rovnomerné** – je zvláštnym prípadom pohybu ustáleného, pri ktorom sú prietóčné prierezy na celom úseku konštantné. Pretože pri pohybe ustálenom je prietok vody  $Q$  konštantný, prierezové rýchlosti sú tiež konštantné a to nastáva pri konštantnom sklone dna koryta, pri jeho konštantných drsnostiach a nemenných priečných profiloch.
- **Nerovnomerné** – pri nerovnomernom ustálenom prúdení sú hydraulické veličiny konštantné v čase, ale prierezová rýchlosť a prietočná plocha sa menia po dĺžke prúdu, čo je dané napríklad premenlivým sklonom dna koryta, premenných priečných profiloch, drsnostiach, atď. [2]

V rámci práce je uvažované ustálené nerovnomerné prúdenie, ktoré program HEC-RAS rieši pomocou metódy po úsekoch.

### 4.2 Metóda po úsekoch

Je to najpoužívanejšia metóda s postupným riešením. Túto metódu je možné použiť v prípade prizmatických aj prirodzených koryt. Metóda vychádza z Bernoulliho rovnice a je založená na postupnom hľadaní druhej hĺbky na úseku  $\Delta L$  vid' obr. 4.1. Koryto sa rozdelí na úseky o dĺžkach  $\Delta L_j$  a predpokladá sa, že prietóčné profily sa menia spojitou z hodnôt  $S_i, v_i$  v hornom profile na hodnoty  $S_{i+1}, v_{i+1}$  v dolnom profile. Medzi profilmi je priemerný sklon dna  $i_{0j}$  a celková stratová výška  $h_{zj}$ . Potom riešenie vyplýva z Bernoulliho rovnice. [2]

$$i_{0j} * \Delta L_j + h_i + \frac{\alpha v_i^2}{2g} = h_{i+1} + \frac{\alpha v_{i+1}^2}{2g} + h_{zj} \quad (4.1)$$

ak označíme rozdiel hladín na úseku  $\Delta h_j$ :

$$\Delta h_j = i_{0j} * \Delta L_j + h_i - h_{i+1} \quad (4.2)$$

po úprave dostaneme:

$$\Delta h_j = \frac{\alpha(v_{i+1}^2 - v_i^2)}{2g} + h_{zj}, \text{ kde} \quad (4.3)$$

$g$ - tiažové zrýchlenie ( $9,806 \text{ m/s}^2$ ),

$\alpha$ - Coriolisovo číslo,

$v_i, v_{i+1}$ - rýchlosť v daných profiloch,

$h_{zj}$ - súčet strát trením a miestnych strát na danom úseku.

Celkovú stratovú výšku  $h_{zj}$  dostaneme ako súčet strát trením  $h_{tj}$  a strát miestnych  $h_{mj}$ :

$$h_{zj} = h_{tj} + h_{mj} \quad (4.4)$$

pričom stratovú výšku trením vyjadríme z Chézyho rovnice, kde  $i_{pj}$  je priemerný sklon čiary energie:

$$h_{zj} = i_{pj} \cdot \Delta L_j \quad (4.5)$$

Miestne straty vyjadríme ako časť absolútnej hodnoty rozdielu rýchlostných výšok, kde  $\xi$  je súčiniteľ miestnej straty:

$$h_{mj} = \xi \cdot \left| \frac{\alpha v_{i+1}^2 - \alpha v_i^2}{2g} \right| \quad (4.6)$$

Výpočet sklonu čiary energie vychádza z Chézyho rovnice:

$$i_{pj} = \frac{Q^2}{S_{pj}^2 \cdot C_{pj}^2 \cdot R_{pj}} \quad (4.7)$$

$Q$  – prietok daným úsekom koryta,

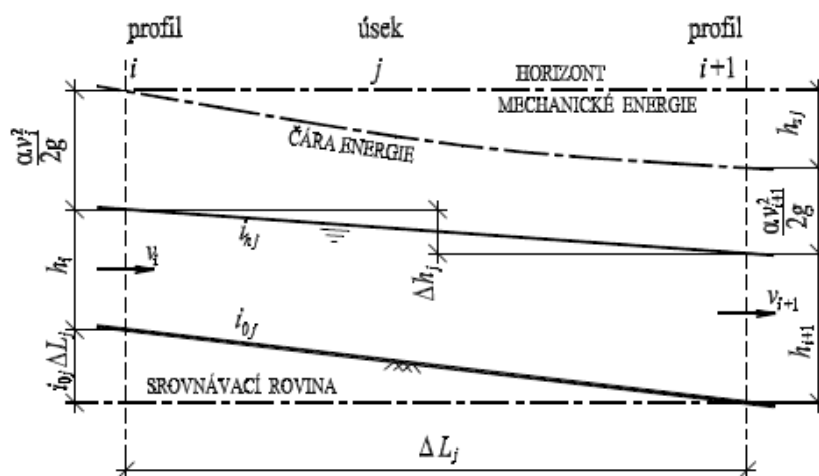
$S_{pj}$  – priemerná hodnota prietocnej plochy medzi susednými profilmi,

$C_{pj}$  – priemerná hodnota Chézyho súčiniteľa medzi susednými profilmi,

$R_{pj}$  – priemerná hodnota hydraulického polomeru medzi susednými profilmi.

Na režime prúdenia závisí smer postupu riešenia:

- Pri **riečnom** prúdení sa postupuje v smere **proti prúdu** a platí pri rozdiel rýchlostných výšok znamienko + pre riešenie krivky vzdutia a – pre riešenie krivky zníženia
- Pri **bystrinnom** prúdení sa postupuje v smere **po prúde** a platí pri rozdiel rýchlostných výšok znamienko – pre riešenie krivky vzdutia a + pre riešenie krivky zníženia [2]



Obr. 4.1: Schéma pre výpočet nerovnomerného prúdenia [2]

## 5 ZÁUJMOVÁ LOKALITA

### 5.1 Správne údaje

Riešený úsek toku Morava sa nachádza v riečnom kilometri 228,02420 – 242,96304 v meste Olomouc v Olomouckom kraji. Tok je spravovaný Povodím Moravy s. p.

- Povodí Moravy s. p., Drevařská 11, Brno 601 75.
- Číslo hydrologického poradia je 4-10-01-001. [3]

### 5.2 Údaje o povodí

Morava pramení pod Králickým Sněžníkom v nadmorskej výške 1380 m n. m. V hornom úseku tečie úzkym údolím až k sútoku s Desnou u Postělmova, kde sa otvára široké údolie s inundáciami. Pod Olomoucom do rieky vteká jej najväčší prítok Bečva. Celková dĺžka rieky Moravy na území Českej republiky dosahuje 284,5 kilometrov a celková dĺžka rieky až po sútok s Dunajom je 354 kilometrov. V mieste, kde rieka opúšťa ČR sa do nej vlieva pravostranný prítok rieky Dyje. Celé povodie má rozlohu 9 973 km<sup>2</sup> a je zobrazené na obrázku č. 5.1. Povodie Moravy leží v juhovýchodnej časti Českej republiky, jeho hranicu tvorí na severe a západe rozvodnica rieky Moravy, na východe a juhu štátna hranica medzi Českou a Slovenskou republikou. Oblasť povodia Moravy ma pretiahnutý tvar v smere sever - juh, výrazným výbežkom smerom k východu, ktorý tvorí rieka Bečva. Hlavným tokom v povodí Moravy je rieka Morava.

Ďalšie prítoky do Moravy sú:

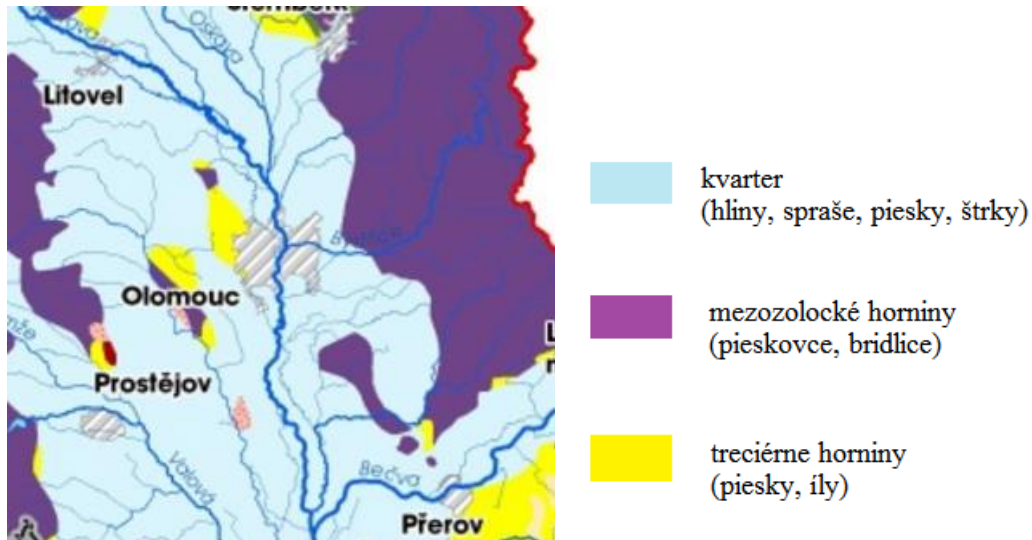
- *Pravostranné*: Moravská Sázava, Mírovka, Blata, Třebuvka, Valová, Haná, Dyje.
- *Lavostranné*: Krupá, Branná, Desná, Oskava, Trusovický potok, Bystřice, Rusnava, Dřevnice, Březnice, Olšava, Velička, Myjava. [3]



Obr. 5.1: Správné členenie oblasti povodia rieky Moravy [3]

### 5.3 Geologické pomery

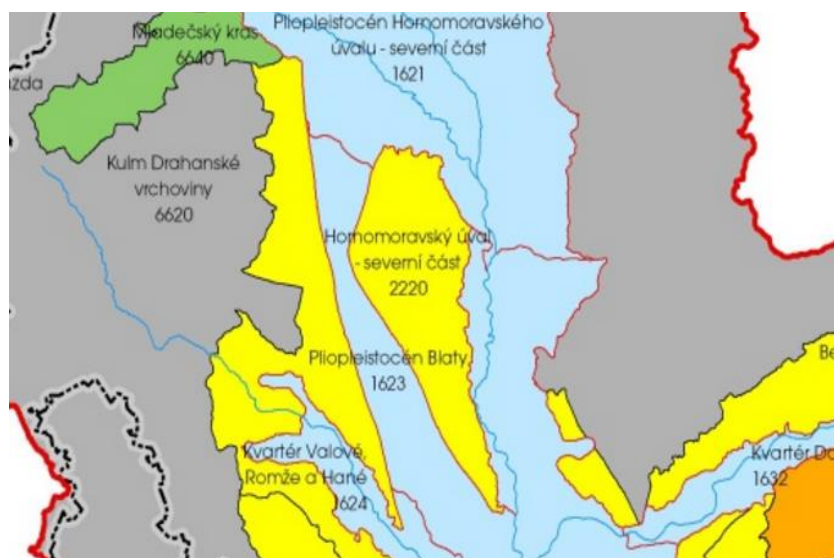
Územie oblasti povodia Moravy zasahuje z hľadiska regionálnej geológie do oboch základných geologických jednotiek ČR – Českého masívu a vonkajších západných Karpát. V okolí mesta Olomouc sa nachádza niekoľko geologických oblastí. Medzi najväčšiu geologickú oblasť patrí kvarter t.j. hliny, spraše, štrky a piesky. Ďalej sa tam nachádzajú mezozolické horniny ako sú pieskovce a bridlice (viď obr. 5.2) [3]



Obr. 5.2: Geológia oblasti povodia rieky Moravy v okolí mesta Olomouc [3]

### 5.4 Hydrogeologické pomery

Na území povodia rieky Moravy môžeme rozlíšiť niekoľko hydrogeologických oblastí, ktoré sú podmienené geologickou stavbou. Sú to západná, jedenická a beskydsko - karpatská oblasť. Hydrogeologické pomery v okolí mesta Olomouc sú zachytené na obrázku 5.3. [3]



Obr. 5.3: Hydrogeologické pomery oblasti povodia rieky Moravy v okolí mesta Olomouc [3]



## 5.5 Pedologické pomery

Pôdu môžeme chápať ako samostatný historický prírodný útvar, ktorý vznikol v dôsledku pôsobenia vonkajších činiteľov na matičnú horninu v určitom čase. V oblasti povodia Moravy v najväčšej miere prevláda kambizem, ktorá sa vyskytuje približne na polovici rozlohy povodia, ďalej černoze, hnedozem, a fluvizem glejová. Ostatné typy vyskytujúce sa na území povodia: Rakner, redzina, pararendzina, černice, šedoze, uvizem, podzol, pseudoglej, glej, organozem. Viac podrobností je vidieť z obrázku 5.4. [3]



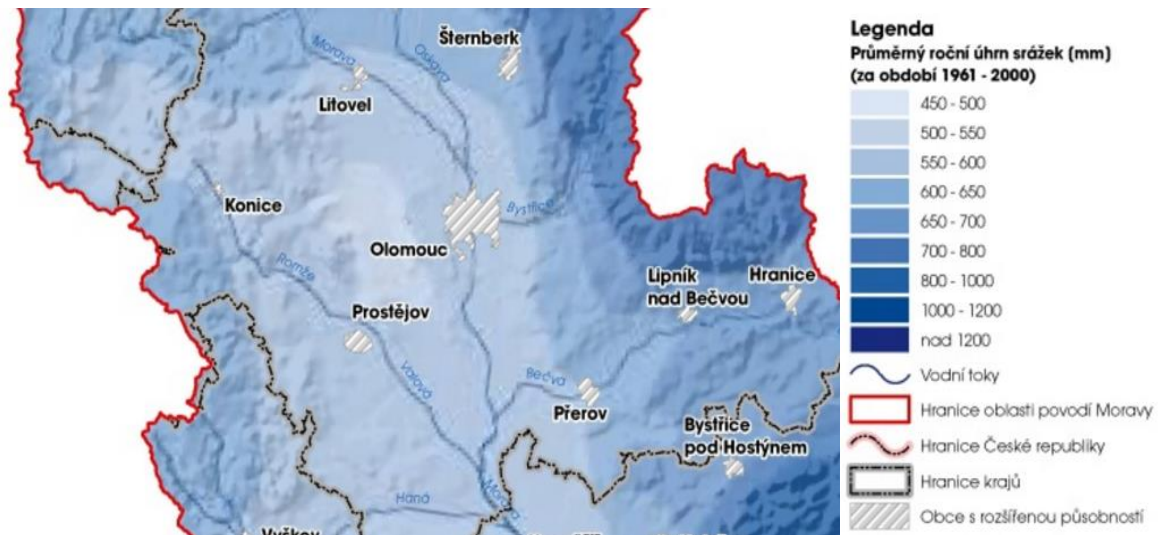
Obr. 5.4: Pedologické pomery oblasti povodia rieky Moravy v okolí mesta Olomouc [3]

## 5.6 Klimatické pomery

Klimatické pomery záujmového územia sú dané jeho polohou v miernom pásme s pravidelným striedaním 4 ročných období s kombináciou vplyvov oceánskeho a kontinentálneho podnebia. Z klimatologického hľadiska je toto územie značne pestré, čo je dané jeho veľkým výškovým rozpätím. Mierne teplé oblasti sa vyskytujú v páse šírky 20 km pozdĺž rieky Moravy. V ostatných polohách sú zastúpené všetky 3 typy mierne teplých oblastí.

Priemerný dlhodobý úhrn zrážok za obdobie 1961-1990 je pre danú oblasť 670 mm. V dlhodobom priemere je zrážkovo najbohatší mesiac jún s úhrnom zrážok 89 mm. Najmenej zrážok padne v mesiacoch február a marec s dlhodobým úhrnom zrážok 37 mm.

Priemerná dlhodobá ročná teplota v povodí Moravy je 8,1°C, najchladnejším mesiacom je január, s priemernou dlhodobou teplotou vzduchu -2,6°C, najteplejší mesiac je jún s priemernou dlhodobou teplotou vzduchu 17,7°C. [3]



Obr. 5.5: Priemerný ročný úhrn zrážok oblasti povodia rieky Moravy v okolí mesta Olomouc  
**Chyba! Nenašiel sa žiaden zdroj odkazov.**



Obr. 5.6: Priemerná ročná teplota vzduchu oblasti povodia rieky Moravy v okolí mesta Olomouc [3]

## 5.7 Hydrologické pomery

Po stránke hydrologickej oblasti povodia Moravy patrí k úmoriu Čierneho mora, vodu odvádza prostredníctvom rieky Moravy do Dunaja. Hlavnú pramennú oblasť tvoria hory v severovýchodnej časti povodia – Jeseníky, Beskydy a Karpaty.

Z hľadiska hydrologického režimu patrí horská časť Bečvy k horskej – snehovej oblasti s maximom vodnosti v apríli. Najmenej vodné mesiace pripadajú na koniec zimy. Hlavným zdrojom vodnosti je voda z tanúceho snehu.

V roku 1999 spravilo ČHMU prehodnotenie hydrologických dát pre profil Morava-Olomouc Nové Sady. Skôr uvádzaný prietok pre Moravu Olomouc Nové Sady bol  $Q_{100} = 484 \text{ m}^3/\text{s}$ . Nová hodnota prietoku  $Q_{100}$  je vyššia o 14%. [3]

Tab. 5.1: N-ročné prietoky pre profil Morava-Olomouc Nové Sady [3]

N (rokov)	1	2	5	10	20	50	100
Q(m <sup>3</sup> /s)	135	185	258	319	284	476	551

## 5.8 Údaje o poľnohospodárstve

Poľnohospodárska pôda tvorí 53,03% plochy oblasti povodia Moravy a z toho orná pôda je 37,93% plochy oblasti povodia. [3]

## 5.9 Údaje o lesníctve

V oblasti povodia rieky Moravy sa nachádza 35,57% z celkovej plochy a to je viac ako celoštátny priemer 32,8%. Vo všetkých oblastiach povodia prevažujú ihličnaté lesy 65,1%, listnatých lesov je 34,9%. [3]

## 5.10 Údaje o priemysle

Priemysel je sústredený najmä v strednej časti povodia Moravy. V Olomouckom kraji je rozvinutý priemysel potravinársky, textilný a odevný, výroba strojov a zariadení, priemysel optiky a optických prístrojov a ďalšie. [3]

## 5.11 Požiadavky na odber

K 31.10.2006 bolo do Registra v oblasti povodia Moravy zaradených celkom 252 odberov povrchových a podzemných vôd, pričom povrchových vôd bolo 33 a odberov podzemných vôd 219. Na obrázku 5.7 sú vidieť všetky odbery v danej oblasti a aj ich veľkosť. [3]



Obr. 5.7: Požiadavky na odber povrchovej a podzemnej vody v oblasti povodia Moravy v okolí mesta Olomouc [3]

## 5.12 Splavnosť

V Olomouckom kraji sa nachádza priehrada Plumlov, na ktorej sa prevádzkujú vodné športy, avšak nie sú tu povolené motorové plavidlá. [3]

## 5.13 Objekty v danej lokalite

V našej lokalite sa nachádza zástavba na oboch stranách toku (mesto Olomouc) a to od riečného kilometra 230,339 do 237,876. Ďalej od riečného kilometra 239,855 – 240,685 je zástavba na pravej strane (dedinka Chomoutov). Na ostávajúcej časti toku sa nachádzajú polia. [3]

Na danom úseku toku sa nachádzajú tieto objekty, ich hodnoty sú uvedené v riečnych kilometroch (ďalej len r. km):

- Pohyblivá hať (jez) r. km 233,580
- Cestný most r. km 230,600
- Železničný most r. km 231,805
- Cestný most r. km 232,368
- Cestný most r. km 233,099[
- Cestný most r. km 233,739
- Potrubná lávka r. km 233,772
- Železničný most r. km 233,837
- Cestný most r. km 234,066
- Cestný most r. km 234,766
- Cestný most r. km 235,017
- Lávka pre peších r. km 235,971
- Cestný most r. km 237,182
- Potrubná lávka r. km 238,429
- Cestný most r. km 241,453
- Potrubná lávka r. km 242,605 [4]Chyba! Nenašiel sa žiaden zdroj odkazov.

## 6 POSTUP RIEŠENIA

V rámci riešenia bakalárskej práce boli použité programy CIVIL 3D, HEC-RAS a GIS, ktoré pomáhajú lepšie a rýchlejšie spracovávať údaje a dáta.

### 6.1 CIVIL 3D

AutoCAD Civil 3D je výkonná integrovaná aplikácia pre modelovanie a efektívnejšie projektovanie v oblastiach: doprava a líniové stavby, projekty obytných a obchodných zón, práca s krajinou, potrubím, kanálmi, rekultiváciou, sanáciou, ťažbou nerastných surovín a ďalších. [5]

### 6.2 HEC-RAS

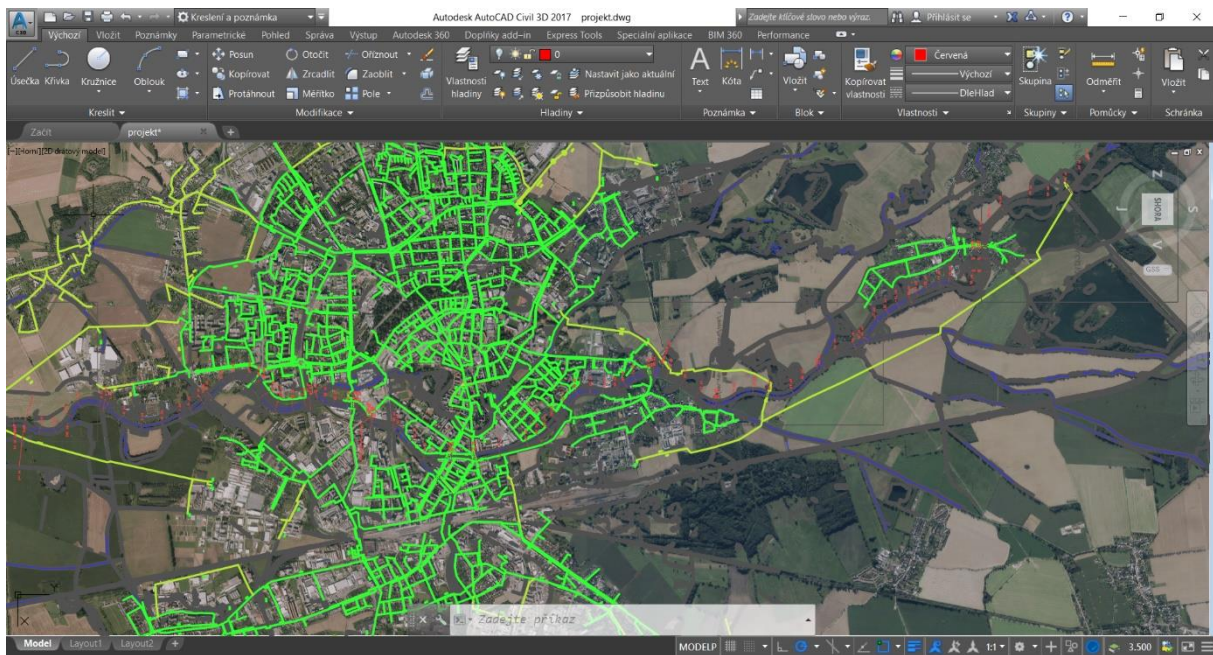
Program HEC-RAS je počítačový program, ktorý modeluje hydraulické prúdenie vody prírodných riek a iných kanálov. V dnešnej dobe existuje v programe 1D aj 2D modelovanie. Bol vyvinutý americkým ministerstvom obrany za účelom správy riek, prístavov a iných verejných prác. [6]

### 6.3 GIS (Geografický informačný systém)

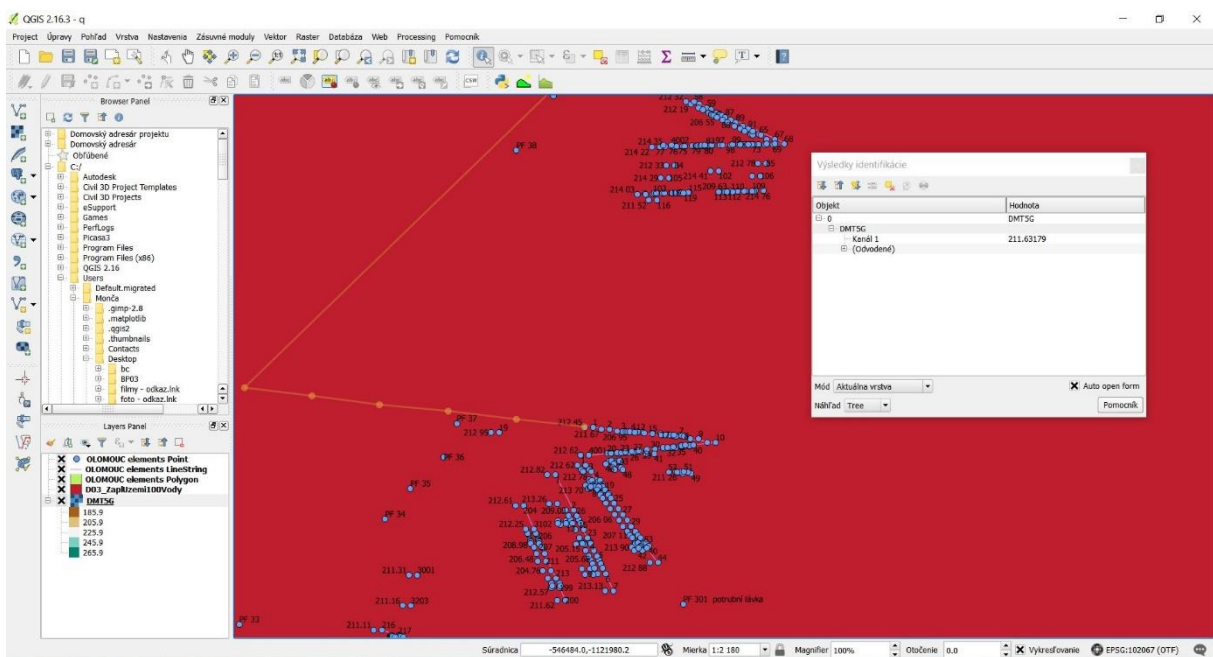
Program GIS je organizovaný súhrn počítačovej techniky, programového vybavenia a geografických dát navrhnutý tak, aby mohol efektívne získavať, ukladať, aktualizovať, analyzovať, prenášať a zobrazovať všetky druhy geografických vzťahných informácií. [7]

### 6.4 Postup práce v programoch

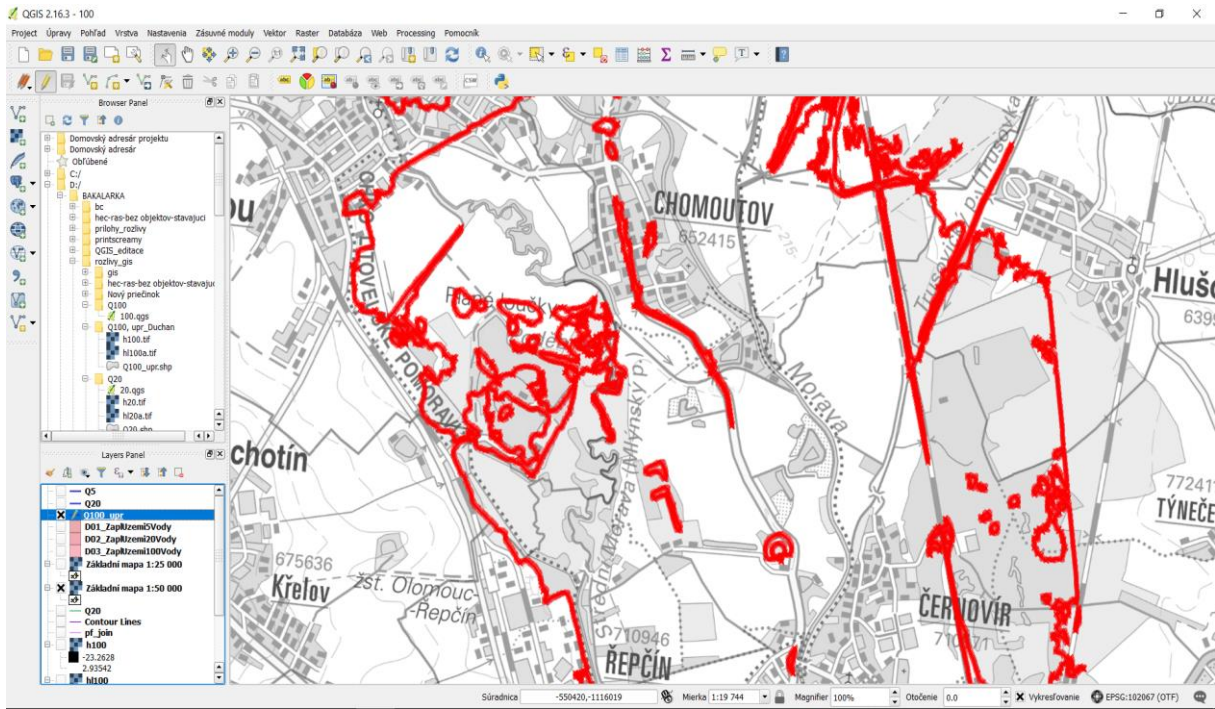
- Upravenie bodov priečných profilov v programe Excel [D] a ich následné načítanie do programu Civil 3D,
- načítanie ďalších pomocných DWG súborov do programu Civil 3D [E] a podloženie ortofoto mapou (obr. 6.1),
- stiahnutie digitálneho modelu terénu piatej generácie (DMR5G) a následné nameranie a doplnenie inundačných území v daných priečných profiloch v programe GIS (obr. 6.2),
- vloženie 98 priečných profilov aj s doplnenými bodmi do programu HEC-RAS [A], ďalej vloženie aj 11 mostných objektov a jednej hate [C],
- nastavenie okrajových podmienok a v programe HEC-RAS pomocou 1D modelovania a následné spustenie výpočtu,
- overenie kapacity existujúceho stavu daného úseku (obr. 6.4),
- vloženie profilov a hladín do programu GIS a následné vygenerovanie rozlivov pre Q100, Q20 a Q5 (obr. 6.3),
- porovnanie rozlivov s podkladmi zo stránky DIBAVOD [E],
- návrh úpravy koryta toku,
- návrh protipovodňovej ochrany,
- overenie návrhu v programe HEC-RAS a následné spracovanie.



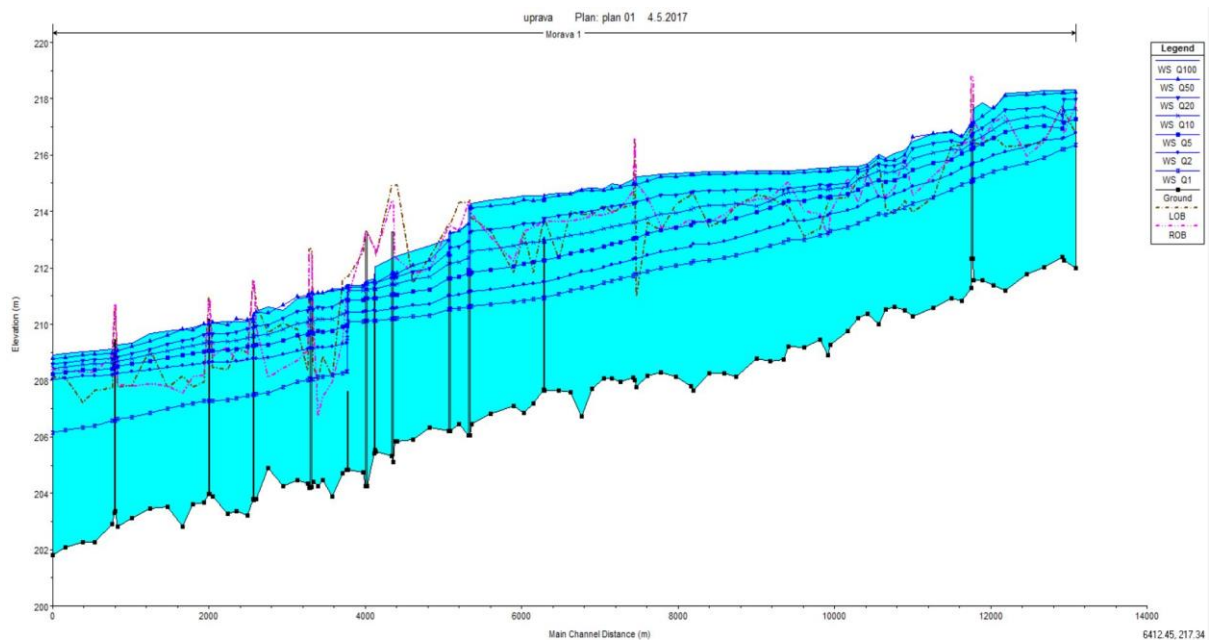
Obr. 6.1: Ukážka práce v programe CIVIL 3D



Obr. 6.2: Ukážka dodatočného merania v programe GIS



Obr. 6.3: Ukážka úpravy nameraných rozlivov v programe GIS



Obr. 6.4: Ukážka práce v programe HEC-RAS

## 7 OVERENIE KAPACITY

### 7.1 Úvod

Výpočet bol urobený na 98 profiloch na rieke Morave v okolí mesta Olomouc v riečnom kilometri od 228,02420 - 242,96304. [A] Pomocou programu HEC-RAS bola vypočítaná kapacita daného úseku pre ustálené nerovnomerné prúdenie.

Určenie drsností pre daný stav koryta je náročné, keďže terajší stav neodpovedá stavu z roku 2000, z ktorého nám boli poskytnuté podklady. Drsnosti podľa Manninga boli určené pomocou dostupných katalógov, odhadu stavu toku a doterajších znalostí. Pre dno koryta bola zvolená drsnosť 0,033, pre svahy 0,04, pre zatresnuté svahy to je hodnota 0,054 a pre okolité polia hodnota 0,03 a ich interpolácie. Ešte zložitejšie to bolo pri určení drsnosti v zastavenej časti mesta z dôvodu posúdenia rozlivov. Pri určení tejto drsnosti sa vychádzalo z tzv. jednotkového hektáru, kde bola vytvorená reprezentatívna plocha o rozmere 1ha a na nej bol určený súčiniteľ drsnosti hodnotou 0,12.

Pri výpočte HEC-RAS v programe je potrebné zadať okrajovú podmienku, ktorá bola zvolená na základe znalosti N-ročných prietokov a sklonu toku. Bolo zadaných celkom 7 hodnôt a to konkrétne pre prietok  $Q_{100}$ ,  $Q_{50}$ ,  $Q_{20}$ ,  $Q_{10}$ ,  $Q_5$ ,  $Q_2$  a  $Q_1$ , ktorých hodnoty môžete vidieť v tabuľke 5.1. Keďže nebol známy priebeh hladín, tak sa použila podmienka Normal Depth, ktorá je definovaná na zadaní pozdĺžneho sklonu dna a to hodnotou 0,00041. V riešenom úseku je riečne prúdenie a preto je metóda po úsekoch riešená od dolného profilu smerom proti prúdu k hornému profilu.

Z výsledkov prúdenia bola zistená kapacita jednotlivých úsekov. Informácie o kapacite úsekov boli zostavené do tabuľky 7.1.



## 7.2 Posúdenie kapacity pôvodného koryta

Tab. 7.1: Posúdenie kapacity na 98 profiloch daného úseku.

Označenie	Staničenie (km)	Q <sub>N</sub>		Označenie	Staničenie (km)	Q <sub>N</sub>	
		LB	PB			LB	PB
PF1	229.803	Q2	Q5	PF50	235.972	Q10	Q10
PF2	229.967	Q2	Q2	PF51	233.163	Q2	Q10
PF3	230.190	< Q1	Q2	PF52	236.307	Q20	Q10
PF4	230.339	< Q1	Q2	PF53	236.448	Q10	Q10
PF5	230.559	< Q1	Q20	PF54	236.579	Q10	Q10
PF6	230.605	Q100	Q100	PF55	236.740	Q20	Q10
PF7	230.632	< Q1	< Q1	PF56	236.833	Q10	Q10
PF8	230.816	< Q1	< Q1	PF57	236.947	Q10	Q10
PF9	231.047	Q10	< Q1	PF58	237.106	Q20	Q50
PF10	231.271	< Q1	< Q1	PF59	237.127	Q100	Q100
PF11	231.466	< Q1	< Q1	PF60	237.146	< Q1	Q100
PF12	231.595	< Q1	< Q1	PF61	237.296	Q5	Q20
PF13	231.742	< Q1	< Q1	PF62	237.464	Q2	Q2
PF14	231.811	Q100	Q100	PF63	237.656	Q10	Q2
PF15	231.839	Q1	Q2	PF64	237.847	Q20	Q5
PF16	232.032	Q1	Q2	PF65	237.876	Q20	Q2
PF17	232.148	Q2	Q1	PF66	238.087	Q2	Q2
PF18	232.291	Q2	Q1	PF67	238.279	Q2	Q5
PF19	232.373	Q100	Q100	PF68	238.430	Q5	Q5
PF20	232.401	Q50	Q10	PF69	238.693	Q10	Q10
PF21	232.556	Q5	Q10	PF70	238.863	Q10	Q10
PF22	232.747	Q10	Q10	PF71	239.040	Q10	Q20
PF23	232.926	Q5	< Q1	PF72	239.099	Q5	Q20
PF24	233.060	< Q1	Q1	PF73	239.299	Q1	Q2
PF25	233.109	Q100	Q100	PF74	239.498	Q1	Q2
PF26	233.127	< Q1	Q10	PF75	239.599	Q5	< Q1
PF27	233.195	< Q1	< Q1	PF76	239.633	Q2	Q2
PF28	233.250	< Q1	< Q1	PF77	239.855	Q5	Q20
PF29	233.374	< Q1	< Q1	PF78	239.986	Q20	Q2
PF30	233.506	Q100	Q1	PF79	240.115	Q20	Q20
PF31	233.559	Q100	Q50	PF80	240.253	Q20	Q1
PF32	233.564	Q100	Q50	PF81	240.338	Q1	Q2
PF33	233.580	Q100	Q50	PF82	240.453	< Q1	Q2
PF34	233.720	Q100	Q100	PF83	240.591	Q1	Q20
PF35	233.744	Q100	Q100	PF84	240.685	< Q1	Q1
PF36	233.842	Q100	Q100	PF85	240.950	< Q1	Q2
PF37	233.851	Q100	Q100	PF86	241.181	Q10	Q5
PF38	234.070	Q100	Q100	PF87	241.317	Q10	Q10
PF39	234.088	Q100	Q50	PF88	241.433	Q100	Q10
PF40	234.293	Q5	Q10	PF89	241.453	Q100	Q100
PF41	234.507	Q20	Q10	PF90	241.470	Q5	Q50
PF42	234.773	Q100	Q100	PF91	241.578	Q2	Q5
PF43	234.791	Q100	Q50	PF92	241.725	Q5	Q20
PF44	235.004	Q100	Q100	PF93	241.876	Q2	Q20
PF45	235.046	Q20	Q20	PF94	242.149	Q2	Q1
PF46	235.284	Q10	Q5	PF95	242.375	Q2	Q2
PF47	353.582	Q2	Q2	PF96	242.606	Q50	Q50
PF48	235.712	Q5	Q5	PF97	242.818	Q10	Q2
PF49	235.839	Q1	Q10	PF98	242.963	Q2	Q10

Z tabuľky 7.1 je vidieť, že sa v danom úseku vyskytuje mnoho nekapacitných profilov, ktoré nevyhovujú ani prietoku  $Q_1$ , čo je  $135 \text{ m}^3/\text{s}$ . Nekapacitné miesta sa nachádzajú hlavne na začiatku a na konci úseku, čo nie je veľký problém, keďže zástavba sa nachádza od profilu č. 5 do profilu č. 65. Avšak na druhej strane sa tu nachádza aj mnoho profilov, ktoré vyhovujú aj prietoku  $Q_{100} = 551 \text{ m}^3/\text{s}$ . Tieto kapacitné profily sa nachádzajú najmä v úsekoch, kde sú umiestnené mostné objekty. Ako možno vidieť, tak veľa profilov, ktoré vyhovujú prietoku  $Q_{100}$  sa nachádza aj v úseku, v ktorom je zástavba.

Tab. 7.2: Posúdenie kapacity mostných objektov daného úseku.

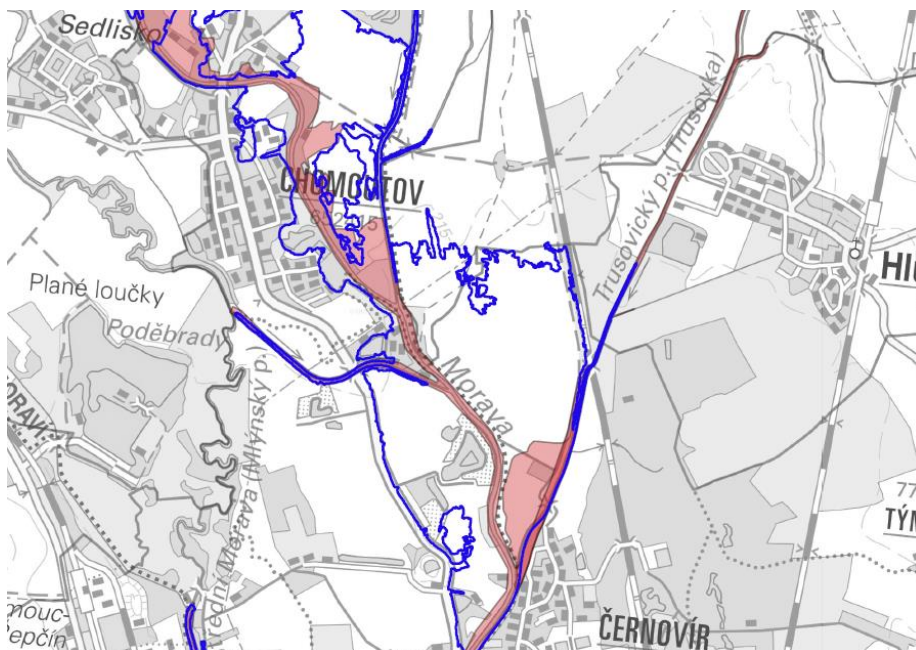
Označenie	Staničenie (km)	$Q_N$	
		LB	PB
1	230.600	Q100	Q100
2	231.805	Q100	Q100
3	232.368	Q20	Q20
4	233.099	Q50	Q50
5	233.746	Q100	Q100
6	233.836	Q100	Q100
7	234.066	Q100	Q100
8	234.766	Q10	Q10
9	235.017	Q2	Q2
10	235.971	Q5	Q5
11	241.453	Q100	Q100

Ako je vidieť v tabuľke 7.2, veľa objektov hlavne v centre mesta je vysoko kapacitných, dokonca aj nad  $Q_{100}$ . Cestné mosty v staničení 235,017 a 235,971 sú veľmi málo kapacitné. Žiadny z mostov nie je úplne nekapacitný.

### 7.3 Porovnanie rozlivov

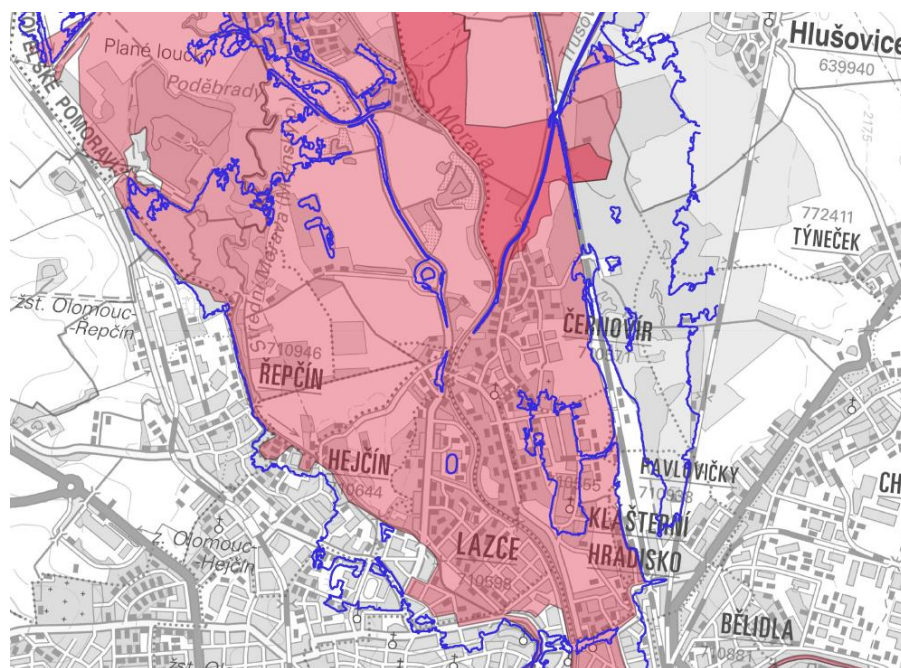
Porovnávali sa rozlivy, ktoré boli vypočítané v programe HEC-RAS a následne vykreslené pomocou programu GIS s rozlivami, ktoré boli poskytnuté databázou DIBAVOD [E] a to konkrétne pri prietoku  $Q_5$ ,  $Q_{20}$  a  $Q_{100}$ . Odchýlky medzi rozlivmi boli spôsobené veľkým časovým rozmedzím dát. Dáta z databázy boli aktualizované v roku 2016, pričom dáta poskytnuté na výpočty sú z roku 2000. V tomto rozmedzí bola v Olomouci urobená úprava toku, čo značne ovplyvňuje výsledky.

Pri prietoku  $Q_5$ , sú veľké odchýlky najmä v hornej a spodnej časti toku, kde sa podľa výpočtov predpokladá väčší rozliv ako z výsledkov z databázy DIBAVOD ako je vidieť na obrázku 7.1. Tieto nezrovnalosti sú spôsobené najmä starými vstupnými dátami. Celé zobrazenie rozlivov sa nachádza v prílohe č.4.



Obr. 7.1: Odchýlky v rozlivoch pri prietoku  $Q_5$  v hornej časti toku

Porovnanie rozlivov  $Q_{20}$  (príloha č.5) vyzerá byť presnejšie ako pri  $Q_5$ , jedinou nejasnosťou je železničná trať, ktorá sa nachádza na pravom brehu a to v riečnom kilometri 234.507 – 238.863. Podľa výpočtov sa voda dostane aj za navýšenú trať, pričom rozliv z databázy železničná trať zastaví vid'. obr. 7.2.



Obr. 7.2: Odchýlky v rozlivoch pri prietoku  $Q_{20}$  v okolí železničnej trate

Posledné porovnanie je pri prietoku  $Q_{100}$ , ktorý je podľa prílohy č. 6 najpresnejší. Avšak platí to isté ako pri rozlivoch pri prietoku  $Q_{20}$ , vypočítané rozlivy prejdú aj za železničnú trať.

## 8 NÁVRH ÚPRAVY A PPO

### 8.1 Úvod

Ochrana pred povodňami zahŕňa súbor opatrení, ktoré predchádzajú a zamedzujú ohrozeniu zdravia, životov a majetkov občanov, spoločností a životného prostredia pri povodniach, vykonávaná predovšetkým systematickou prevenciou. [8]

Protipovodňové opatrenia delíme na aktívne a pasívne:

- **Aktívne** sú založené na preventívnych prístupoch. Cieľom je zaisťovanie optimálneho rozvoja v záplavových územiach.
- **Pasívne** opatrenia slúžia k priamej ochrane majetku obyvateľov, ktorý bol v záplavovom území umiestnení. Podstatný rozdiel oproti aktívnym protipovodňovým opatreniam je potreba vynaložiť dodatočné verejné či súkromné investície. [9]

Protipovodňové opatrenia môžeme tiež rozdeliť na technické a netechnické. Technické opatrenie zahŕňa zvýšenie kapacity koryt, ich stabilizáciu, t.j. opevňovanie, výstavba ochranných hrádzí, retenčných nádrží atď. K netechnickým sa radia: definovanie záplavových území alebo zón, predpovedné a varovné systémy a tiež aj výchova verejnosti k zodpovednému správaniu sa pri povodňových situáciách. [9]

#### Preventívne opatrenia

Medzi preventívne opatrenia patria povodňové plány, povodňové prehliadky, predpovedná a hlásna služba, technická príprava protipovodňovej ochrany a stanovenie záplavových území. [9]

#### Opatrenia pri nebezpečí povodne

O opatrenia pri nebezpečí povodne sa starajú predovšetkým predpovedné a hlásne služby a to varovaním pri nebezpečí povodne spôsobenými prírodnými javmi a umelými vplyvmi.

- *Riadené ovplyvňovanie odtokových pomerov* - predpoklad príchodu povodne a včasná optimalizácia odtoku
- *Povodňové zabezpečovacie práce* – slúžia k zmierneniu priebehu povodne a ich škodlivých následkov (odstraňovanie prekážok v koryte, rozrušovanie ľadových zápch, ochrana koryta, ochrana proti preliatiu alebo pretrhnutiu ochranných hrádzí, inštalácia protipovodňových zábran, obmedzenie znečistenia vôd, stabilizácia proti zosuvom...)
- *Povodňové záchranné práce* – technické aj organizačné opatrenia vykonávané v priebehu povodne na záchranu životov a majetkov
- *Opatrenia po povodni* – obnovenie dodávok pitnej vody, elektrickej energie, plynu, telefónnych spojení. Taktiež sa vykonáva revitalizácia celého zasiahnutého územia. Obnova poškodených komunikácií, hygienické opatrenia, vyčerpanie vody, odstránenie nánosov atď. [10]

## Stabilné protipovodňové systémy

Stabilné protipovodňové systémy sú väčšinou tvorené zo zeminy, ktorá za vyhrabáva z pôvodného koryta pri prečisťovaní alebo rozširovaní. V zastavaných územiach sú väčšinou budované hrádzky blízko koryta zhotovené z betónu alebo murované. [12]

Stabilné alebo pevné hrádzky sa často kombinujú s mobilnými hradeniami, a to vtedy, keby stabilná hrádzka dosahovala veľkých rozmerov a to by nebolo možné, tak sa na pevné hrádzky nainštalujú drážky pre mobilné hradenie a využijú sa výhody kombinácií.

## Mobilné protipovodňové systémy

Tento druh je v ČR najrozšírenejší. Používajú sa:

- *Klasické vrecia s pieskom* – ktoré sa používajú najčastejšie, avšak majú veľa nevýhod a to je zlá manipulácia, vznik spár.
- *Tandemové vrecia* – jednoduchý, účinný, finančne dostupný spôsob. Jedná sa o dvojkomorové vrecia, ktoré majú nižšiu hmotnosť a sú efektívnejšie ako klasické.
- *Ďalšie možnosti použitia vriec* – utesňovanie otvorov
- *Pryžotextilné vaky* – jednotlivé diely sa spoja nepriepustnou textúriou a naplnia sa vodou. Výhodou je ľahké skladovanie a rýchla inštalácia.
- *Ďalšie druhy mobilných protipovodňových systémov*
  - Hradenie plnené vodou alebo inými materiálmi – konštrukcia vyrobená s oceľových trubiek a plášťa, ten sa navliekne na konštrukciu, zafixuje sa a naplní.
  - Bariéry s ohýbaných profilov – vyrobené z pozinkovaných plechov, ktoré sú vyrobené do tvaru písmena A. Nepriepustnosť je zaistená plastovou fóliou. Výhodou je ľahká manipulácia a nízka hmotnosť.
  - Prefabrikované betónové zábrany – používajú sa tzv. betónové zvodidlá, ktoré odolávajú záplavovým vlnám a aj rýchlo prúdiacemu toku.
  - Systém hliníkových hradidlových profilov – skladajú sa z hliníkových profilov, ktoré sa vkladajú medzi dva hliníkové stĺpy. Sú opatrené špeciálnym esovitým zámkom. Výhodou je nízka hmotnosť, a zároveň rýchla a ľahká montáž. [10]

## 8.2 Vlastný návrh PPO

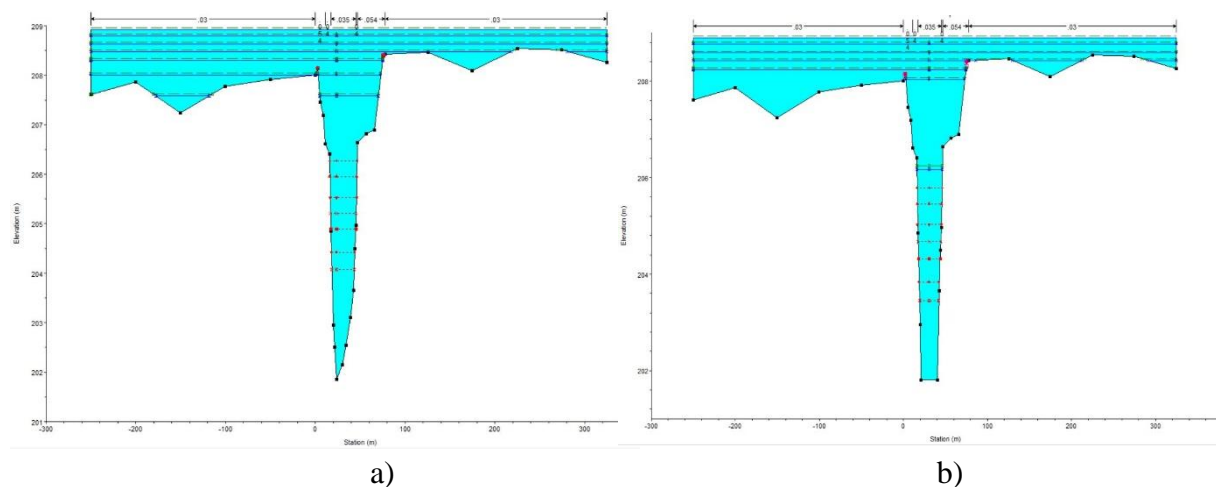
Pri vlastnom návrhu sa vychádza z doporučených štandardov z plánu hlavných povodí Českej republiky. A to konkrétne pri ochrane historického centra, ktoré sa nachádza na ľavom brehu, sa za návrhový prietok pokladá hodnota  $Q_{100}$ . Pri ochrane súvislej zástavby alebo priemyslových areálov sa vychádza z návrhovej hodnoty  $Q_{50}$ . [11]

Cieľom tohto návrhu úpravy toku je ochrana okolitej zástavby, ľudí a ich majetku pred povodňovými prietokmi, to znamená zabrániť vylievaniu vody z koryta tam, kde je to neprípustné. A to konkrétne malou, rýchlou a jednoduchou úpravou samotného koryta a následne návrhom vhodnej PPO. Návrh bude zameraný na oblasť, kde sa nachádza zástavba, konkrétne od riečneho kilometra 230,559 až 237,876.

### 8.2.1 Úprava toku

Najlepšia možnosť úpravy toku by bolo upraviť kompletne trasu a aj tvar koryta, čo je ale v našom konkrétnom prípade nemožné a neekonomické, pretože oblasť úpravy sa nachádza v meste, v ktorom je veľa objektov.

Preto sa navrhla len jednoduchá úprava koryta a to ľahkým vyrovnaním pozdĺžneho sklonu, hlavne prehrabaním dna, odstránením nánosov a prekážok v koryte, ľahkými opravami brehov koryta a jeho vyčistením.



Obr. 8.1: a) Profil bez úpravy dna, b) Profil s úpravou dna

### 8.2.2 Návrh PPO

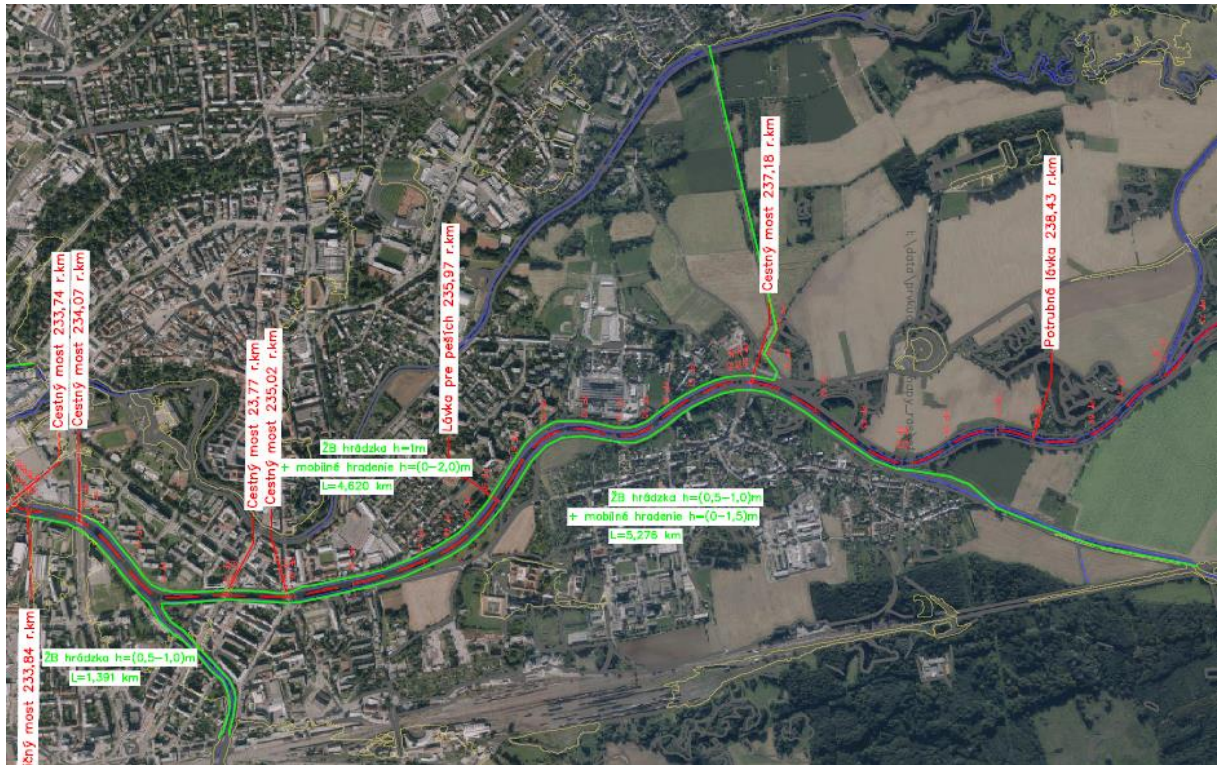
V bezprostrednom okolí toku boli navrhnuté stabilné protipovodňové hrádzky 0,5 m – 1 m vysoké a 0,3 m široké zo železobetónu (ďalej ŽB). Keďže ochrana stabilnými hrádzkami je nedostačujúca pre  $Q_{50}$  a  $Q_{100}$ , tak sa navrhlo i mobilné protipovodňové hradenie, ktorého drážky sú umiestnené na stabilnej ŽB hrádzke s výškou 0,5 m – 3,5 m. Celý úsek je rozdelený na šesť menších častí, ktoré budú popísané podrobnejšie. Taktiež je v celom úseku započítaná bezpečnostná rezerva 0,3 m. Umiestnenie hrádzok a jednotlivé časti úsekov sa nachádzajú v prílohe č. 3.

Prvý úsek tvorí horná časť toku v riečnom kilometri 241,876 – 237,855, kde sa nachádza dedinka Chomoutov (obr 8.2). Pravá strana toku je zložitá a neekonomická na návrh protipovodňovej ochrany vzhľadom na veľké rozlivy a malú zástavbu v tejto oblasti, preto je ako ochrana volená evakuácia osôb. Avšak na ľavej strane sa nachádza väčšia oblasť zástavby, ktorú je nutné ochrániť. V tomto úseku je navrhnutá ŽB hrádzka o výške 0,5 m – 1,0 m. Približne na 50% z celkovej dĺžky je postačujúca ochrana hrádzkami a to najmä od staničenia 241,181 – 241,876, zostávajúcu časť je nutné doplniť o mobilné protipovodňové hradenie, ktorého samotná výška dosahuje maximálne 1,0 m. To znamená, že ŽB hrádzka s mobilnou stenou dosahuje v súčte výšku 2,0 m. Vo výške protipovodňovej ochrany je už započítaná bezpečnostná rezerva 0,3 m. Ochrana celého prvého úseku je navrhnutá na  $Q_{50}$ . Celková dĺžka PPO v danom úseku je 2,823 km. V hornej časti je hrádzka zviazaná do cesty, ktorá je dostatočne vyvýšená nad hladinu. Dolná časť je zviazaná tak do terénu, aby nespôsobovala spätné vzdutie a pretečenie vody.



Obr. 8.2: Umiestnenie protipovodňovej ochrany v prvom úseku

Druhý a zároveň najdlhší úsek s celkovou dĺžkou PPO 5,276 km sa nachádza od riečného kilometra 234,507 – 237,876 na pravej strane toku. Tu je navrhnutá ŽB hrádzka o výške v rozmedzí 0,5 m – 1,0 m. V spodnej časti tohto úseku je dostačujúca samotná hrádzka, ale pri pokračovaní smerom proti prúdu sa výška hladiny zvyšuje a je nutné na ŽB hrádzky pridať mobilné hradenie s maximálnou výškou 1,5 m, počítané aj s bezpečnostnou rezervou 0,3 m. To znamená, že maximálna celková výška je 2,5 m. Zviazanie týchto ochranných hrádzok do terénu je zložitá kvôli veľkej ploche rozlivu. Horná časť hradenia je zviazaná až do vzdialenej vyvýšenej železničnej trate a spodná časť je zviazaná smerom proti prúdu malého prítoku rieky Bystřice až do cestného mostu do bezpečnej vzdialenosti, aby sa voda spätné nevzdula.



Obr. 8.3: Umiestnenie protipovodňovej ochrany v druhom, treťom a štvrtom úseku

Tretí úsek sa nachádza na ľavej strane toku od riečneho kilometra 234,070 do 237,296. Celková dĺžka PPO je 4,620 km. Tento úsek je z prevažnej väčšiny navrhnutý na  $Q_{100}$  a to konkrétne v staničení 234,070 - 233,163 r. km. Zostávajúca časť je navrhnutá na prietok  $Q_{50}$ . Po celej dĺžke sú navrhnuté stabilné ŽB hrádzky s výškou 1,0 m. Napriek tomu je výška nedostatočná a je navrhnuté aj mobilné protipovodňové hradenie s výškou, ktorá sa pohybuje v rozmedzí od 0,5 m do 2,0 m vrátane rezervy. Celková maximálna výška je 3,0 m. Aby sa voda nerozliala do zastavanej časti mesta z horných polôh, kde je rozliv možný, tak musí byť horný úsek zviazaný až do ďalekého vyvýšeného úseku (obr. 8.3). Spodná časť hradenia je zviazaná do cestného mostu.

Najkratší štvrtý úsek s celkovou dĺžkou protipovodňového hradenia 1,391 km sa nachádza na pravom brehu toku v riečnom kilometri od 233,851 do 234,507. V tomto úseku sú rozlivy minimálne avšak stále významné. Na ochranu okolitej zástavby v tomto prípade stačí stabilná ŽB hrádza s pohybujúcou sa výškou od 0,5 m do 1,0 m, vrátane rezervy aby zastavila prietok  $Q_{50}$ . Horná časť hradenia je zviazaná v smere proti prúdu prítoku Bystřice do mosta do bezpečnej vzdialenosti. Spodná časť je zviazaná do vyvýšeného železničného mostu (obr. 8.3).

Piaty úsek sa nachádza v riečnom kilometri od 231,466 do 233,374 na pravej strane toku, pričom horná polovica PPO ohraničuje tok a dolná polovica bráni spätnému vzdutiu vody a zaplavení zástavby proti návrhovému prietoku  $Q_{50}$ . Po celom úseku je navrhnutá ŽB hrádza so stabilnou výškou 1 m. Výška tejto hrádzky vrátane bezpečnostnej rezervy je dostačujúca pre polovicu hradenia, ktoré zabraňuje spätné vzdutie. Na hrádzku, ktorá ohraničuje rieku, je nutné namontovať drážky mobilného provizórneho hradenia s výškou, ktorá dosahuje na niektorých miestach až 3,5 m, čiže maximálna výška dosahuje 4,5 m vrátane rezervy. Zviazanie hornej



časti hrádzky je do vyvýšeného svahu rieky. V spodnej časti je zaviazanie až do vzdialenej vyvýšenej železničnej trate (obr. 8.4).



Obr. 8.4: Umiestnenie protipovodňovej ochrany v piatom a šiestom úseku

Šiesty najspodnejší úsek je umiestnený na ľavej strane toku v riečnom kilometri od 230,605 do 233,374. Celková dĺžka ochranného hradenia je 3,316 km. Navrhnutá je stabilná ŽB hrádzka s výškou 1 m po celej dĺžke. Táto ochrana je ako vo väčšine úsekoch nedostačujúca a preto sú nad hrádzky navrhnuté aj mobilné protipovodňové steny do výšky 2,0 m. Výška celého protipovodňového systému je maximálne 3,0 m, čo postačuje na zachytenie prietoku  $Q_{50}$ . Horná a tak isto aj spodná časť hradenia je zaviazaná do cestného mostu (obr. 8.4).

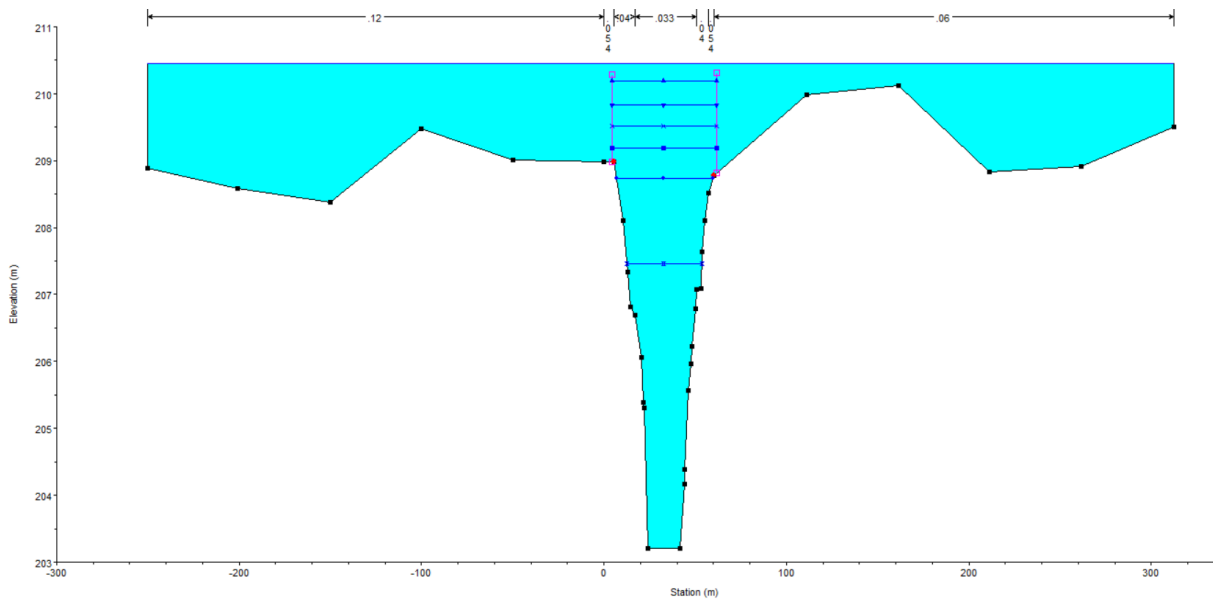
Celková dĺžka protipovodňovej ochrany v záujmovej oblasti je 18,727 km. V úsekoch toku, kde je povolený rozliv vody, sa nenachádza žiadna zástavba. Všetky rozlivy sú zachytené a bezpečne odvedené späť do koryta.

### 8.3 Hydraulické overenie Návrhu

Overenie návrhu prebehlo pomocou programu HEC-RAS, kde sa upravilo dno a steny koryta a ďalej boli vložené levees (hrádzky) vo výškach navrhnutých protipovodňových systémov ako je naznačené na obrázku 8.5. Prebehol výpočet a skontrolovalo sa, či je navrhnutá výška protipovodňových hrádzok dostatočne vysoká.

Pri samotnom upravení dna a stien koryta, a tým pádom aj ľahkého vyrovnania pozdĺžneho sklonu, sa výška hladiny zmenila iba minimálne (niekoľko milimetrov). Preto sa pokračovalo v návrhu ochranných hrádzok. Stabilné protipovodňové železobetónové steny do výšky 1m boli na niektorých miestach dostačujúce, avšak sa vyskytovalo veľa miest, ktoré by potrebovali väčšiu ochranu. Navrhli sa teda mobilné protipovodňové systémy do maximálnej výšky 3,5 m.

Nakoniec prebehol výpočet, ktorý overil, že návrh protipovodňovej ochrany je dostačujúci a vyhovel.



Obr. 8.5: Navrhnuté levees (hrádzky) v PF 18

## 9 ZÁVER

V dnešnej dobe je veľmi dôležité chrániť ľudí a ich majetky. Keďže mestá sa čím ďalej rozrastajú nie je možná evakuácia všetkých obyvateľov pred povodňou, a preto je nutné chrániť ich iným spôsobom. Avšak ochranu treba navrhnuť tak, aby v čo najmenšej miere narúšala ekosystém toku a aby korešpondovala s okolitou krajinou. A to všetko pomocou vhodných úprav toku, koryta a správnym návrhom PPO.

Najväčší problém, ktorý sa vyskytol počas riešenia boli podklady, ktoré sú z roku 2000, keďže v dnešnej dobe už je tok nejakým spôsobom upravený. Tým pádom sa líšia niektoré výsledky ako napríklad pri porovnaní rozlivov.

Hlavným cieľom práce bolo zhodnotiť súčasný stav vybraného úseku rieky Moravy v okolí mesta Olomouc a zároveň navrhnuť vhodnú úpravu. Postupným spracovaním dostupných dát a podkladov sa v programe HEC-RAS vypočítala kapacita existujúceho stavu daného úseku, ktorá bola z väčšiny nevyhovujúca. Na základe týchto výpočtov sa začalo uvažovať nad správnym návrhom PPO. Kvôli veľkým rozlivom, kde hladiny dosahovali vysoko nad terén sa zvolila ochrana stabilnými ŽB hrádzkami kombinované s mobilným protipovodňovým hradením, pričom ľahká úprava dna a sklonu toku je nedostačujúca. Dôležitá bola ochrana historického centra a ďalších inštitúcií ako je nemocnica. Samotný návrh je iba ideový a pri podrobnejšom návrhu je nutné situáciu prebrať komplexnejšie napríklad zhotovením pozdĺžneho profilu s vykreslenými výškami ochranných hrádzí. Nakoniec prebehlo celkové overenie návrhu, ktoré bolo vyhovujúce.

Tento návrh PPO je enormný a musí sa zväžiť ekonomické hľadisko takejto veľkej stavby. A to z pohľadu vzniknutej škody bez PPO, evakuácie osôb a ceny samotnej výstavby PPO. Na základe toho posúdenia sa vyberie najsprávnejšia možnosť návrhu.

## 10 LITERATÚRA

- [1] Zkapacitnění koryta řeky Moravy v Olomouci. Hnutí Duha [online]. [cit. 2017-02-19]. Dostupné z: <http://olomouc.hnutiduha.cz/nase-aktivity/ochrana-vod/zkapacitneni-koryta-reky-moravy-v-olomouci/>
- [2] JANDORA, Jan a Jan ŠULC. Hydraulika: Modul 01. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2007. ISBN 978-80-7204-512-9
- [3] Popis oblasti povodí. *PMO-Povodí řeky Moravy* [online]. 2009 [cit. 2017-02-19]. Dostupné z: <http://www.pmo.cz/pop/2009/Morava/End/a-popis/a-1.html>
- [4] AQUA TIS a.s., február 2000, rieka Morava, Technická správa. Textový dokument.
- [5] AutoCAD Civil 3D: Co je Autodesk Civil 3D? *Cadstudio* [online]. [cit. 2017-03-01]. Dostupné z: <http://www.cadstudio.cz/civil3d>
- [6] JANDORA, J., UHMANOVÁ, H. Proudění v systémech říčních koryt. Brno: Akademické nakladatelství CERM®, 2006. ISBN 80-214-1160-0
- [7] What is GIS? *Esri* [online]. [cit. 2017-03-01]. Dostupné z: <http://www.esri.com/what-is-gis>
- [8] Ochrana před přirozenými a zvláštními povodněmi v ČR [online]. , 17 [cit. 2017-03-31]. Dostupné z: <http://www.firebrno.cz/uploads/dokumenty .PDF info pro obcany/Povodne ochrana priruc ka.pdf>
- [9] Protipovodňová opatření v Česko-Slovenském příhraní. *Možnosti řešení povodňových situací* [online]. 2012 [cit. 2017-03-19]. Dostupné z: <http://www.cs-povodne.eu/Protipovodnova-ochrana-a-povodne/Protipovodnova-opatreni>
- [10] CICHÁ, Veronika. *Protipovodňová opatření* [online]. Pardubice, 2013 [cit. 2017-03-31]. Dostupné z: [https://dk.upce.cz/bitstream/handle/10195/51854/CichaV\\_ProtipovodnovaOpatreni\\_OS\\_2013.pdf?sequence=2&isAllowed=y](https://dk.upce.cz/bitstream/handle/10195/51854/CichaV_ProtipovodnovaOpatreni_OS_2013.pdf?sequence=2&isAllowed=y). Bakalářská práce. Univerzita Pardubice. Vedoucí práce Ing. Ondřej Svoboda.
- [11] Plán hlavních povodí České republiky: schválený usnesením vlády ČR ze dne 23. května 2007 č. 562. Praha: Ministerstvo zemědělství, 2007. ISBN 9788070846322.
- [12] Pöyry Environment a.s, ed. STUDIE PROTIPOVODŇOVÝCH OPATŘENÍ NA ÚZEMÍ JIHOMORAVSKÉHO KRAJE [online]. Brno, 2007 [cit. 2017-05-05]. Dostupné z: [http://www.kr-jihomoravsky.cz/archiv/ozp/protipovodnova\\_opatreni\\_jmk\\_2007/3\\_cast/Kapitola\\_3\\_zaver.pdf](http://www.kr-jihomoravsky.cz/archiv/ozp/protipovodnova_opatreni_jmk_2007/3_cast/Kapitola_3_zaver.pdf). Technická zpráva.

# 11 ZOZNAM OBRÁZKOV

- Obr. 4.1: Schéma pre výpočet nerovnomerného prúdenia
- Obr. 5.1: Správne členenie oblasti povodia rieky Moravy
- Obr. 5.2: Geológia oblasti povodia rieky Moravy v okolí mesta Olomouc
- Obr. 5.3: Hydrogeologické pomery oblasti povodia rieky Moravy v okolí mesta Olomouc
- Obr. 5.4: Pedologické pomery oblasti povodia rieky Moravy v okolí mesta Olomouc
- Obr. 5.5: Priemerný ročný úhrn zrážok oblasti povodia rieky Moravy v okolí mesta Olomouc
- Obr. 5.6: Priemerná ročná teplota vzduchu oblasti povodia rieky Moravy v okolí mesta Olomouc
- Obr. 5.7: Požiadavky na odber povrchovej a podzemnej vody v oblasti povodia Moravy v okolí mesta Olomouc
- Obr. 6.1: Ukážka práce v programe CIVIL 3D
- Obr. 6.2: Ukážka dodatočného merania v programe GIS
- Obr. 6.3: Ukážka úpravy nameraných rozlivov v programe GIS
- Obr. 6.4: Ukážka práce v programe HEC-RAS
- Obr. 7.1: Odchýlky v rozlivoch pri prietoku  $Q_5$  v hornej časti toku
- Obr. 7.2: Odchýlky v rozlivoch pri prietoku  $Q_{20}$  v okolí železničnej trate
- Obr. 8.1: a) Profil bez úpravy dna, b) Profil s úpravou dna
- Obr. 8.2: Umiestnenie protipovodňovej ochrany v prvom úseku
- Obr. 8.3: Umiestnenie protipovodňovej ochrany v druhom, treťom a štvrtom úseku
- Obr. 8.4: Umiestnenie protipovodňovej ochrany v piatom a šiestom úseku
- Obr. 8.5: Navrhnuté levees (hrádzky) v PF 18

## **12 ZOZNAM TABULIEK**

Tab. 5.1: N-ročné prietoky pre profil Morava-Olomouc Nové Sady.

Tab. 7.1: Posúdenie kapacity na 98 profiloch daného úseku.

Tab. 7.2: Posúdenie kapacity mostných objektov daného úseku.

## 13 ZOZNAM SKRATIEK A SYMBOLOV

ČHMU	Český hydrometeorologický ústav
ČR	Česká republika
DMR5G	digitálny model terénu piatej generácie
LB	ľavý breh
PB	pravý breh
PF	profil
PPO	protipovodňová ochrana
ŽB	železobetón

C	[-]	Chézyho súčiniteľ
g	[m/s <sup>2</sup> ]	tiažové zrýchlenie
h	[m]	výška hladiny vody
h <sub>mj</sub>	[m]	miestne straty
h <sub>ij</sub>	[m]	straty trením po dĺžke
h <sub>zj</sub>	[m]	celková stratová výška
i <sub>0j</sub>	[-]	priemerný sklon dna
i <sub>pj</sub>	[-]	priemerný sklon čiary energie
Q	[m <sup>3</sup> /s]	prietok
Q <sub>m</sub>	[m <sup>3</sup> /s]	m-denný prietok
Q <sub>N</sub>	[m <sup>3</sup> /s]	N-ročný prietok
R	[m]	hydraulický polomer
S	[m <sup>2</sup> ]	plocha profilu
v	[m/s]	rýchlosť v profile
α	[-]	Coriolisovo číslo
Δh	[m]	rozdiel hladín na úseku
ΔL	[m]	úsek dĺžky
ξ	[-]	súčiniteľ miestnej straty

## **14 ZOZNAM PRÍLOH**

- Príloha č. 1 – Situácia širších vzťahov
- Príloha č. 2 – Situácia záujmovej lokality
- Príloha č. 3 – Situácia s navrhnutou PPO
- Príloha č. 4 – Porovnanie rozlivov  $Q_{100}$
- Príloha č. 5 – Porovnanie rozlivov  $Q_{20}$
- Príloha č. 6 – Porovnanie rozlivov  $Q_5$
- Príloha č. 7 – Rez hrádzkou