



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV VODNÍCH STAVEB

INSTITUTE OF WATER STRUCTURES

NÁVRH A POSOUZENÍ SUCHÉ NÁDRŽE A PROTIPOVODŇOVÉ OCHRANY

DESIGN OF SMALL RESERVOIRS AND FLOOD PROTECTION

DIPLOMOVÁ PRÁCE

DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Martin Pikna

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. DAVID DUCHAN, Ph.D.

BRNO 2019



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

FAKULTA STAVEBNÍ

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

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Student	Bc. Martin Pikna
Název	Návrh a posouzení suché nádrže a protipovodňové ochrany
Vedoucí práce	Ing. David Duchan, Ph.D.
Datum zadání	31. 3. 2018
Datum odevzdání	11. 1. 2019

V Brně dne 31. 3. 2018

prof. Ing. Jan Šulc, CSc.
Vedoucí ústavu

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

PODKLADY A LITERATURA

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".
- 3) ES 2007. Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2007/60/ES ze dne 23. října o vyhodnocování a zvládnutí povodňových rizik.
- 4) MŽP ČR 2009. Metodika tvorby map povodňového nebezpečí a povodňových rizik. VÚV T.G. Masaryka v.v.i, Brno. Ministerstvo životního prostředí ČR, Praha.
- 5) Zákon 254/2001 Sb. o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon).

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

Na vybrané lokalitě bude proveden návrh suché nádrže a případně protipovodňové ochrany. Návrh bude hydraulicky ověřen.

Výstupy:

- 1) Textová část
- 2) Mapové výstupy

STRUKTURA DIPLOMOVÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

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

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

ABSTRAKT

Diplomová práce se zabývá návrhem protipovodňové ochrany obce Hrušky (okres Vyškov). V rámci práce proběhlo hydraulické posouzení toků protékajících tímto územím. Jednalo se o toky Litava (ř. km 19,460 – 20,928) a Rakovec (ř. km 0,000 – 0,638). Posouzení proběhlo pro průtoky Q_5 , Q_{20} a Q_{100} . Výpočet byl proveden za pomoci 2D numerického modelu proudění vody v programu HEC-RAS 5.0.6. Na základě výsledných výpočtů bylo navrženo protipovodňové opatření zahrnující i suchou nádrž a také byla stanovena kapacita nově navrženého mostního objektu. Základním vstupním údajem pro práci byla studie z roku 2013 „*Litava II – přírodě blízká protipovodňová opatření a obnova přirozené hydromorfologie a retenční kapacity toku a nivy v úseku ř. km 16,0 (Újezd u Brna) až ř. km 24,0 (Slavkov u Brna)*“. Práce byla zpracovávána jako reálný projekt v projekční kanceláři Regioprojekt Brno, s.r.o.

KLÍČOVÁ SLOVA

HEC-RAS 5.0.6
Protipovodňová ochrana
Suchá nádrž
Transformace povodňové vlny
Revitalizace toku a nivy
2D proudění povrchové vody

ABSTRACT

The diploma thesis deals with the design of the flood protection of the village Hrušky (Vyškov district). The hydraulic analysis of the water flow on the rivers Litava (river station km 19,460 - 20,928) and Rakovec (river station km 0,000 - 0,638) was done. The hydraulic analysis was performed on the Q_5 , Q_{20} and Q_{100} flows. For analysis was used a 2D numerical flow model in HEC-RAS 5.0.6. Based on results was designed a flood protection including a dry reservoir. The input data for the diploma thesis was the 2013 study „*Litava II – přírodě blízká protipovodňová opatření a obnova přirozené hydromorfologie a retenční kapacity toku a nivy v úseku ř. km 16,0 (Újezd u Brna) až ř. km 24,0 (Slavkov u Brna)*“. The diploma thesis was processed as a real project in the design office of Regioprojekt Brno, s.r.o.

KEYWORDS

HEC-RAS 5.0.6
Flood protection
Small reservoirs
Flood wave transformation
River revitalization
2D water flow

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

Bc. Martin Pikna *Návrh a posouzení suché nádrže a protipovodňové ochrany*. Brno, 2018. 86 s., 100 s. příl. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodních staveb. Vedoucí práce Ing. David Duchan, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané diplomové práce s názvem *Návrh a posouzení suché nádrže a protipovodňové ochrany* je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 24. 11. 2018

Bc. Martin Pikna
autor práce

PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci s názvem *Návrh a posouzení suché nádrže a protipovodňové ochrany* zpracoval(a) samostatně a že jsem uvedl(a) všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 24. 11. 2018

Bc. Martin Pikna
autor práce

PODĚKOVÁNÍ

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

Mé poděkování patří i kolektivu kolegů z firmy Regioprojekt Brno, s.r.o., a též firmě samotné, bez jejichž pomoci by bylo velmi obtížné práci zpracovat. Především děkuji Ing. Michalovi Kachtíkovi a Ing. Petru Marčákovi za odbornou konzultaci dané problematiky a umožnění rozvíjení praxe v tomto oboru.

Dále bych chtěl poděkovat své rodině a blízkým za psychickou podporu při vypracovávání této práce.

OBSAH

1	ÚVOD	4
2	CÍLE	5
3	VSTUPNÍ PODKLADY	6
3.1	Studie proveditelnosti z roku 2013	6
3.2	Geodetické zaměření.....	6
3.2.1	Bodové pole.....	6
3.3	Digitální model reliéfu 5. generace (DMR 5G).....	7
3.4	Biologický průzkum.....	7
3.5	Hydrologická data.....	7
3.5.1	Litava ř. km 20,450.....	7
3.5.1	Rakovec ř. km 0,000.....	8
3.5.2	Litava ř. km 20,460 – nad soutokem.....	8
3.5.3	Teoretická povodňová vlna při průtoku Q_{100}	9
3.6	Databáze dibavod.....	9
3.7	Webová mapová služba (WMS).....	10
4	TEORIE PROUDĚNÍ VODY V OTEVŘENÝCH KORYTECH V JEDNOROZMĚRNÉM PROSTŘEDÍ (1D)	11
4.1	Ustálené rovnoměrné proudění vody o volné hladině.....	11
4.2	Ustálené nerovnoměrné proudění vody o volné hladině.....	12
5	TEORIE PROUDĚNÍ VODY V DVOJROZMĚRNÉM PROSTŘEDÍ (2D)	16
5.1	Základní rovnice pro výpočet	16
6	POPIS ZÁJMOVÉ LOKALITY A SOUČASNÉHO STAVU	18
6.1	Popis širších vztahů řešeného území	18
6.2	Dřívejší povodňové události.....	18
6.3	Klimatické poměry.....	19
6.4	Geomorfologické a geologické poměry.....	19
6.4.1	Geomorfologie.....	19
6.4.2	Geologie.....	20
6.5	Hydrogeologické údaje	21

6.6	Hydrologie	21
6.7	Charakteristika záplavového území litavy a rakovce v řešeném úseku	22
6.8	Popis stávajícího stavu řešeného úseku	23
6.8.1	Litava ř. km 19,460 – 20,928 (kilometrůž stávajícího stavu).....	23
6.8.2	Rakovce ř. km 0,000 – 0,638 (kilometrůž stávajícího stavu).....	29
6.8.3	Přehled staničení a objektů na stávajícím stavu řešeného úseku toku	32
7	NÁVRHOVÝ STAV PŘÍRODĚ BLÍZKÉ PROTIPOVODŇOVÉ OCHRANY A REVITALIZACE KORYTA LITAVY A RAKOVCE	33
7.1	Stanovení požadované protipovodňové ochrany	33
7.2	Popis etapizace projektu.....	33
7.3	Účel navrženého ppo a revitalizace koryta	34
7.4	Popis navrženého opatření a změn rozsahu povodňového ohrožení	35
7.4.1	ETAPA I. - Litava ř. km 19,460 – 19,822	36
7.4.2	ETAPA I. - Litava ř. km 19,822 – 20,460	38
7.4.3	ETAPA I. - Rakovce ř. km 0,000 – 0,722.....	40
7.4.4	ETAPA II. – SO 08 Suchá nádrž	42
7.4.5	ETAPA II. – SO 09 Revitalizace toku Litava a jeho nivy	43
8	POSTUP ŘEŠENÍ PRÁCE.....	45
8.1	Použitý software.....	45
8.1.1	HEC-RAS 5.0.6	45
8.1.2	Atlas DMT	46
8.2	Postup při vypracovávání.....	46
8.2.1	Práce v programu Atlas DMT	46
8.2.2	Práce v programu ArcGIS 10.5.....	49
8.2.3	Práce v programu HEC-RAS 5.0.6.....	53
9	HYDROTECHNICKÉ VÝPOČTY	62
9.1	Stanovení součinitele drsnosti.....	62
9.2	Konkrétní okrajové podmínky výpočtových modelů.....	62
9.2.1	1D model proudění	63
9.2.2	2D model proudění	63
9.3	Posouzení kapacity Koryt toků.....	64
9.3.1	Stávající stav	64
9.3.2	Návrhový stav	67
9.4	Suchá nádrž Hrušky	70
9.4.1	Batygrafie nádrže.....	70
9.4.2	Základní parametry Suché nádrže Hrušky	71
9.4.3	Transformace povodňové vlny při Q_{100} Suchou nádrží Hrušky.....	72
10	ZÁVĚR	74
10.1	Zhodnocení výpočtů 1d A 2d proudění.....	74

Diplomová práce

10.1.1	Model 1D	74
10.1.2	Model 2D	74
10.1.3	Rozdíl mezi 1D a 2D výpočtem.....	75
10.2	Zhodnocení navržených opatření.....	76
10.3	Zhodnocení transformace	76
10.4	Zhodnocení vypočtených rozlivů.....	76
10.4.1	Stávající stav	76
10.4.2	Návrhový stav	76
10.5	Zhodnocení vypočtených hloubek.....	77
10.5.1	Stávající stav	77
10.5.2	Návrhový stav	77
11	POUŽITÉ ZDROJE A PODKLADY.....	78
	SEZNAM TABULEK	81
	SEZNAM OBRÁZKŮ	82
	SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ	85
	SEZNAM PŘÍLOH.....	86

1 ÚVOD

Práce pojednává o přírodě blízkém protipovodňovém opatření obce Hrušky u Brna a je součástí reálného projektu, který byl zpracováván studentem v rámci brigádní činnosti ve firmě Regioprojekt Brno, s.r.o. [38] zabývající se projekční činností v oboru krajinného inženýrství, vodního a lesního hospodářství.

Řešené území se nachází jihovýchodně od města Brna v katastrálním území Hrušky u Brna. Budoucí protipovodňová opatření budou realizována na vodních tocích Litava v ř. km 19,460 – 20,928 o délce úseku 1468 m a Rakovec v ř. km 0,000 – 0,638 o délce úseku 638 m.

Protipovodňová opatření vychází ze studie z roku 2013 a jsou rozdělena do dvou etap (I. a II.). Každá Etapa bude realizována samostatně a bude dodržena jejich plynulá návaznost. Opatření budou realizovány formou technickou a to jako: protipovodňové sypané zemní hráze, betonové zdi, revitalizace toku a suchou nádrží.

2 CÍLE

Cílem diplomové práce je hydraulické posouzení stávajícího stavu koryta Litavy a Rakovce, včetně stanovení kapacity objektů na nich se nacházejících. Na základě výpočtů bylo navrženo a hydraulicky posouzeno vhodné přírodě blízké protipovodňové opatření.

Hydraulické posouzení bylo provedeno pro návrhové průtoky Q_5 , Q_{20} a Q_{100} . Výpočet byl proveden formou 1D a 2D numerického modelu proudění vody v programu HEC-RAS 5.0.6. [28] Jako návrhový stav bylo navrženo ohrázení toků s využitým prostorem pro meandrový pás, který umožňuje samovolný vývoj toku. Dále byla navržena suchá nádrž zadržující povodňové průtoky.

Z výsledných hydraulických výpočtů a navržených opatření byly vypracovány mapy hloubek a mapy rozlivů pro všechny návrhové průtoky. Bylo provedeno zhodnocení výpočtu 1D a 2D modelů a porovnány výsledky s hodnotami udávané Povodím Moravy, s.p.

Cíle práce:

- Stanovení kapacity koryta.
- Návrh přírodě blízkého protipovodňového opatření.
- Určení rozlivů.
- Porovnání stávajících a vypočtených rozlivů.
- Vypracování map hloubek a rozlivů.
- Návrh Suché nádrže Hrušky.

3 VSTUPNÍ PODKLADY

Jako výchozí podklady byly použity: Studie proveditelnosti stavby z roku 2013, Geodetické zaměření stávajícího stavu z listopadu 2017, ZK-Brno s.r.o., Digitální model 5. Generace poskytnutý ČÚZK, Digitální katastrální mapa, Místní šetření z roku 2017 a 2018, Údaje ČHMÚ ze dne 19. 2. 2018, Biologický průzkum ze srpna 2018 – Ekopontis, s.r.o., Vodohospodářská mapa v měřítku 1:50 000, Základní mapa 1:10 000.

3.1 STUDIE PROVEDITELNOSTI Z ROKU 2013

Studie pojednává o rozsáhlém přírodě blízkém protipovodňovém opatření na jejímž základu je projekt protipovodňové ochrany obce Hrušky zpracováván. V rámci studie jsou zde v Hruškách navržena opatření formou levobřežního a pravobřežního ohrázování toků Litava a Rakovec včetně jejich revitalizace. Součástí navržené ochrany je i suchá nádrž Hrušky, která by měla fungovat v součinnosti s ostatními navrženými suchými nádržemi Vážany a Zbýšov. [31]

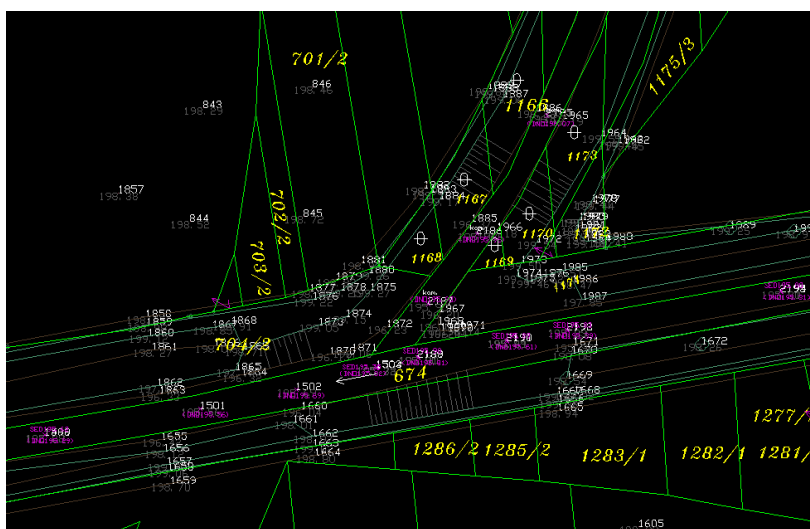
3.2 GEODETICKÉ ZAMĚŘENÍ

Řešený prostor včetně blízkého okolí a dalších prvků souvisejících s vykreslením a vytyčením navržené stavby, byl geodeticky zaměřen v 11/2017. Území bylo zaměřeno firmou ZK-BRNO s.r.o., v souřadnicovém systému S-JTSK a výškovém systému Bpv. Naměřená data byla geodety zpracována výpočetním programem a následně byla převedena do grafického prostředí. [32]

3.2.1 Bodové pole

Bodové pole bylo vytyčeno geodety pro snadnější zpracování modelu terénu. Body byly měřeny především na hranách a patách koryt toků. Z těchto bodů byl vypracován digitální model terénu stávajícího stavu koryt a přilehlého okolí. Zaměřeny byly i stávající mostní konstrukce.

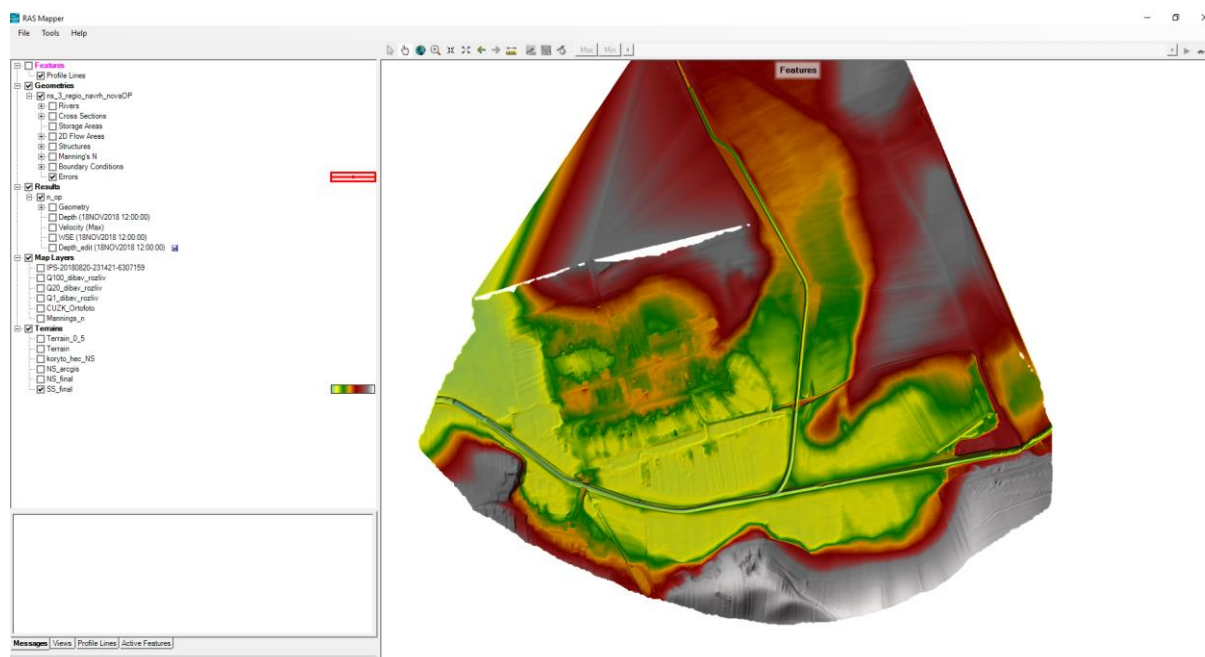
Naměřená data byla dodána geodetickou firmou v elektronické formě ve formátech editovatelných programy AtlasDMT, Autocad a v textovém souboru jako výčet bodů se souřadnicemi X, Y a výškou z v souřadném systému S-JTSK. (Obr. 3.1)



Obr. 3.1 Zaměřené výškové body

3.3 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 diskrétních bodů v nepravidelné trojúhelníkové síti (TIN). Souřadnice jsou ve tvaru X, Y a 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 5.0.6 (obr. 3.2)



Obr. 3.2 DMT řešeného úseku v programu HEC-RAS

3.4 BIOLOGICKÝ PRŮZKUM

V srpnu roku 2018 provedla firma Ekopontis, s.r.o. na řešeném úseku toků Litavy a Rakovce biologický průzkum. Ze závěru průzkumu vyplývá, že realizováním navrženého PPO nedojde k narušení přirozené funkce ekosystému. Také bylo doporučeno vegetační složení odpovídající řešené lokalitě a upozorněno na možný výskyt chráněných druhů živočichů, zejména hmyzu. Na tyto skutečnosti bude brán zřetel při zpracovávání dalšího stupně projektové dokumentace. [33]

3.5 HYDROLOGICKÁ DATA

Hydrologická data byla obdržena od ČHMÚ na základě objednávky firmou Regioprojekt Brno, s.r.o. [34]

3.5.1 Litava ř. km 20,450

Základní hydrologické údaje ČHMÚ (02/2018) pro **Litavu** ř. km 20,450 - profil pod soutokem Litavy s Rakovcem.

Vodní tok: Litava (Cézava)

IDVT: 10100046

Hydrologické číslo pořadí: 4-15-03-0820

Plocha povodí: 425,48 km²

Dlouhodobý průměrný průtok Q_a: 0,781 m³/s

Tab.3.1 m – denní průtoky pro Litavu ř. km 20,450

Dnů	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	355	364
Q _{md} [l/s]	1644	1079	833	702	610	519	449	378	315	239	172	99	52

Tab.3.2 N – leté průtoky pro Litavu ř. km 20,450

Roků	1	2	5	10	20	50	100
Q _N [m ³ /s]	9,3	13	20	26	34	45	56

3.5.1 Rakovec ř. km 0,000

Základní hydrologické údaje ČHMÚ (02/2018) pro **Rakovec ř. km 0,000** - profil nad soutokem Rakovce s Litavou.

Vodní tok: Rakovec

IDVT: 10100117

Hydrologické číslo pořadí: 4-15-03-0810

Plocha povodí: 142,78 km²

Dlouhodobý průměrný průtok Q_a: 0,265 m³/s

Tab.3.3 m – denní průtoky pro Rakovec ř. km 0,000

Dnů	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	355	364
Q _{md} [l/s]	593	400	312	262	227	192	162	136	110	84	57	31	12

Tab.3.4 N - leté průtoky pro Rakovec ř. km 0,000

Roků	1	2	5	10	20	50	100
Q _N [m ³ /s]	4,8	7,1	11	16	21	31	39

3.5.2 Litava ř. km 20,460 – nad soutokem

Dále byly použity hydrologické údaje pro úsek **Litavy ř. km 20,460 nad soutokem Litavy s Rakovcem** ze studie uvedené v použitých podkladech. Tyto údaje jsou:

Tab.3.5 N - leté průtoky pro Litavu ř. km 20,460 – nad soutokem

Roků	1	2	5	10	20	50	100
Q _N [m ³ /s]	6,3	7,1	15,5	21	28	38,5	49

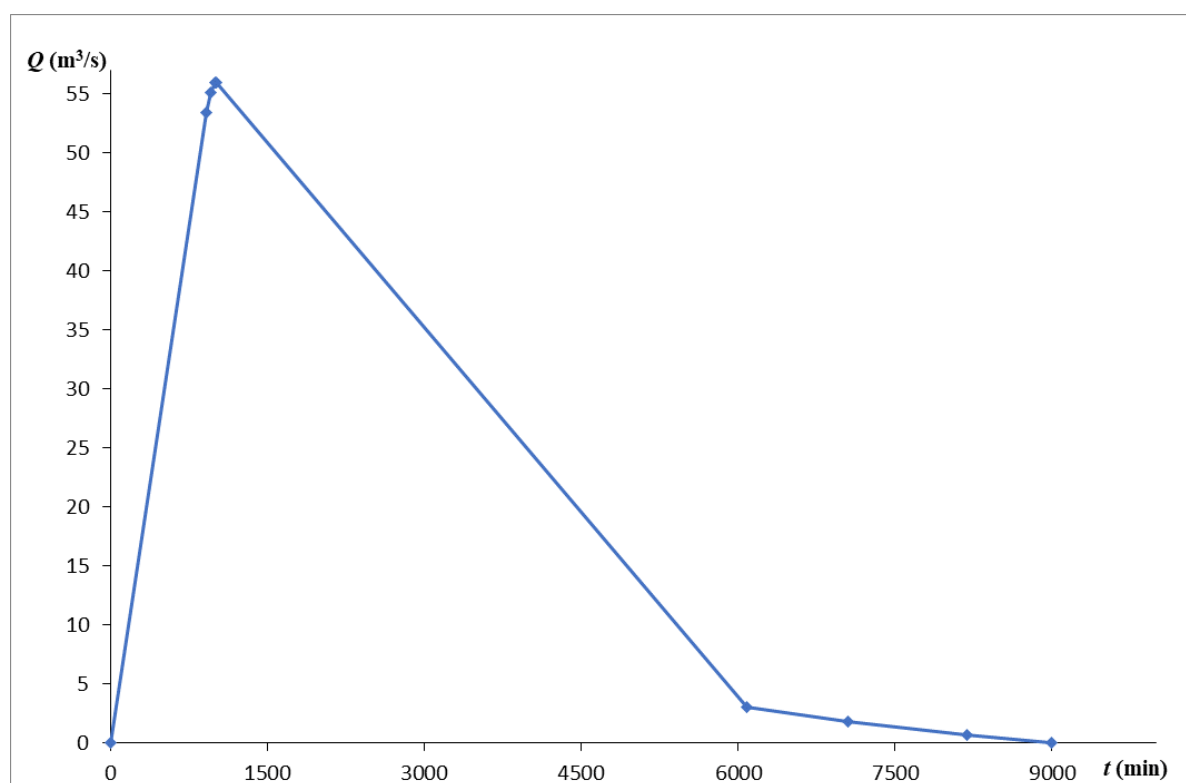
Je nutno uvažovat s určitou nepřesností dat z důvodu jejich stáří. Tato skutečnost byla zohledněna ve výpočtu stanovením daných hodnot příčinných koeficientů. [34]

3.5.3 Teoretická povodňová vlna při průtoku Q_{100}

Údaje o TPV jsou pořízeny pro tok Litava v profilu pod soutokem s tokem Rakovec. (obr. 3.3)

Tab.3.6 Průběh teoretické povodňové vlny [34]

TPV ₁₀₀	
Čas [min]	Q [m ³ .s ⁻¹]
0	0
919	53.442
958	55.147
1000	56.000
1017	56.000
6080	3.014
7053	1.784
8189	0.660
9000	0



Obr. 3.3 Hydrogram teoretické povodně [34]

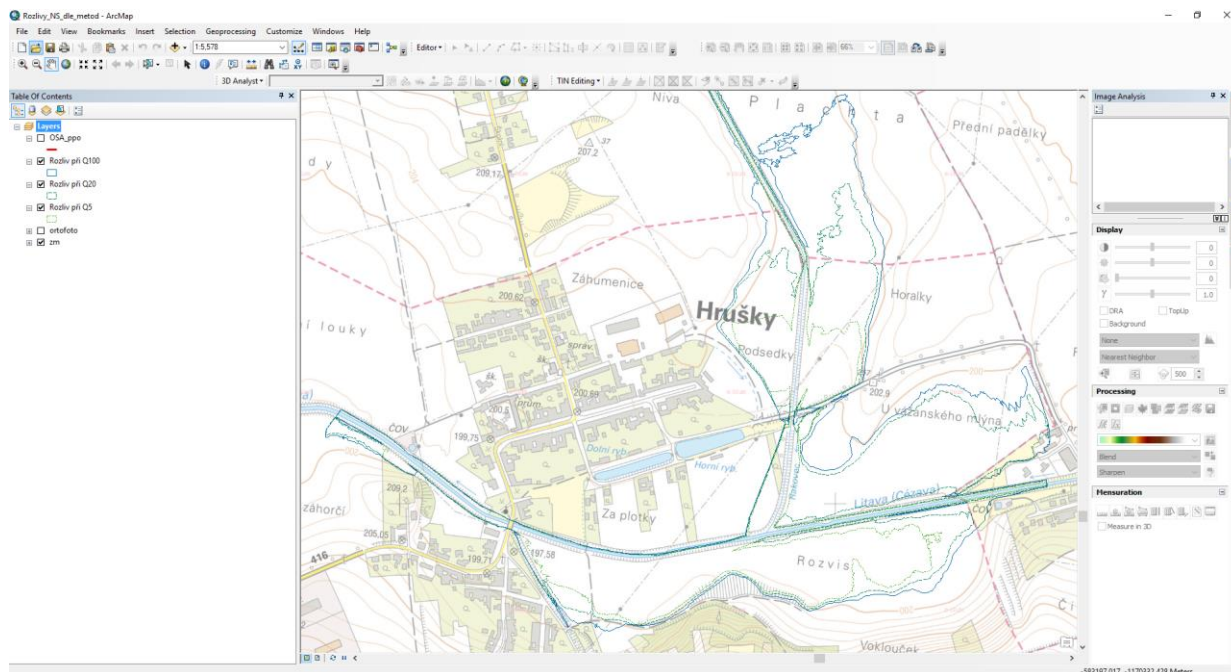
3.6 DATABÁZE DIBAVOD

Digitální báze vodohospodářských dat vyvíjených Výzkumným ústavem vodohospodářským T.G.M.,v.v.i. [17] Obsahuje množství vrstev, které lze zobrazit prostřednictvím ČÚZK ZABAGED nebo stáhnou jako podkladové vrstvy ve formátu SHP. Databáze DIBAVOD obsahuje: osy vodních toků, kilometráže vodních toků, plochy povodí,

čísla hydrologického pořadí, Vodohospodářské mapy v měřítku 1:50 000, správcovství vodních toků, rozlivy při N – letostech Q_{100} , Q_{20} a Q_5 , Mapy záplavových území zpracované dle směrnice 2007/60/ES [14]. Databáze je průběžně vyvíjena a aktualizována. [17]

3.7 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. Například lze podložit Základní mapy v měřítku 1:10 000. (obr. 3.4) Služba může posloužit například v prostředí ArcMap 10.5. (obr. 3.4)



Obr. 3.4 Webová mapová služba ze serveru cuzk.cz spuštěná v prostředí programu ArcGis 10.5 [30]

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*.

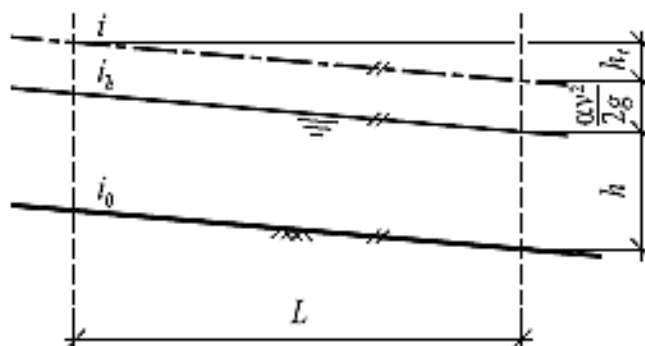
Při *ustáleném* proudění jsou hydraulické charakteristiky, jako je průtok, průřezová rychlost a průtočná plocha konstantní jak po délce, tak i v čase. *Ustálené* proudění se dělí na *rovnoměrné* a *nerovnoměrné*. Při *neustáleném* proudění se mění průtok i průřezová rychlost v čase po délce koryta, tedy 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. [1] [2]

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 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 [1]

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).

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

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

Hydraulický poloměr R vypočteme ze vztahu (4.2).

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

Průřezová rychlost se stanoví z Chézyho rovnice:

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

Kde C je Chézyho rychlostní součinitel [$\text{m}^{0.5} \cdot \text{s}^{-1}$], R je hydraulický poloměr [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 [m^2] a O je omočený obvod [m]. [1] [2]

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. [1] Tyto ztráty mohou být:

- Ztráty třením po délce.
- Ztráty místní.

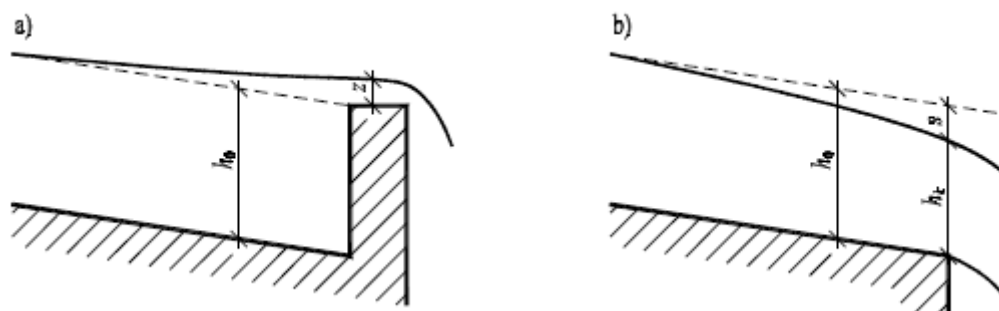
Ztráty třením po délce

Vznikají při pohybu vody v korytě třením, o stěny koryta o příslušné 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 příslušnou hodnotu z . V podélném řezu pak hladina vytvoří **křivku vzduť**. 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). [1] [2]



Obr. 4.2 Křivky vzduť a snížení [1]

Způsob výpočtu nerovnoměrného ustáleného proudění

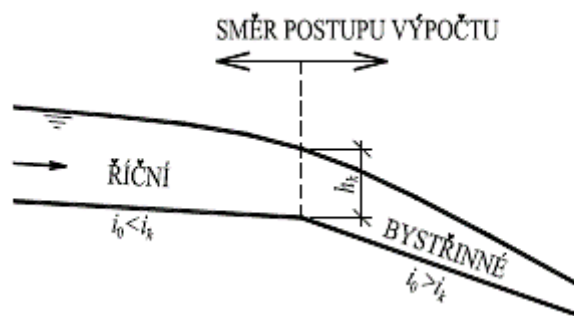
Jednou z možností řešení výpočtu nerovnoměrného ustáleného proudění se nazývá **metoda po úsecích**. Tato metoda vychází v Bernoulliho rovnice (4.5) a to pro všechna proudová vlákna. Princip spočívá v rozdělení řešené délky toku na počet úseků o délce ΔL_j . V těchto úsecích předpokládáme, že průtočná 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} . [1] [2]

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

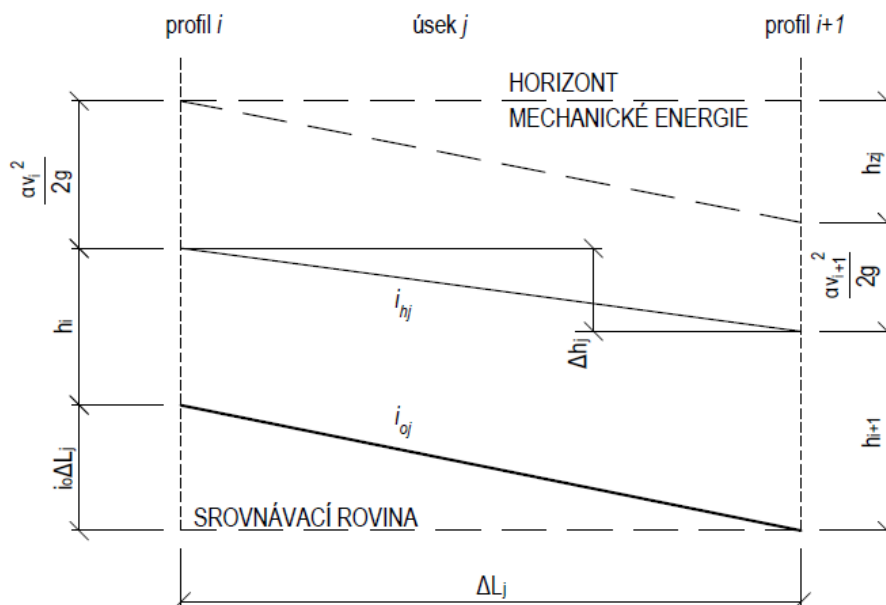
- říční,
- bystrinný.

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 [1]



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 po délce [m].

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

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

Kde ξ je součinitel místních ztrát, v je průřezová rychlost [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$] a α je Coriolisovo číslo.

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

$$h_{tj} = i_{pj} \cdot \Delta L_j$$

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

Průměrný sklon čáry energie se spočte:

$$i_{pj} = \frac{Q^2}{A^2_{pj} \cdot C^2_{pj} \cdot R_{pj}} \quad (4.9)$$

Kde Q je průtok daným úsekem [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$], A je průtočná plocha [m^2], C_{pj} je Chézyho rychlostní součinitel pro daný úsek [-] a R je hydraulický poloměr [m]. [1] [2]

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. [10]

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“. [3] [10] [24]

Předpoklady pro proudění v 2D:

- Nestlačitelná kapalina.
- Izotermický děj.

Jako neznámé funkce zde vstupují:

- 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 [m n. m.], h je hloubka vody [m], v_{xs} je vektor rychlosti ve směru x a v_{ys} je vektor rychlosti ve směru y [$m \cdot s^{-1}$].

Pohybové rovnice: [10]

Pohybová rovnice ve směru x :

$$\begin{aligned} \frac{\partial(hv_{ys})}{\partial t} + \frac{\partial(hv_{xs}^2)}{\partial x} + \frac{\partial(hv_{xs}v_{ys})}{\partial y} - f \cdot h \cdot v_{xs} = \\ = \frac{\partial(hT_{xy})}{\partial x} + \frac{\partial(hT_{yy})}{\partial x} + \tau_y^{\text{hlad}} - \tau_y^{\text{dno}} \end{aligned} \quad (5.2)$$

Pohybová rovnice ve směru y:

$$\begin{aligned} \frac{\partial(hv_{xs})}{\partial t} + \frac{\partial(hv_{xs}^2)}{\partial x} + \frac{\partial(hv_{xs}v_{ys})}{\partial y} - f \cdot h \cdot v_{ys} = \\ = \frac{\partial(hT_{xx})}{\partial x} + \frac{\partial(hT_{xy})}{\partial x} + \tau_x^{\text{hlad}} - \tau_x^{\text{dno}} \end{aligned} \quad (5.3)$$

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

Program HEC-RAS využívá směřovací rovnici a turbulentní model, které jsou popsány v manuálu HEC-RAS. [28]

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 :

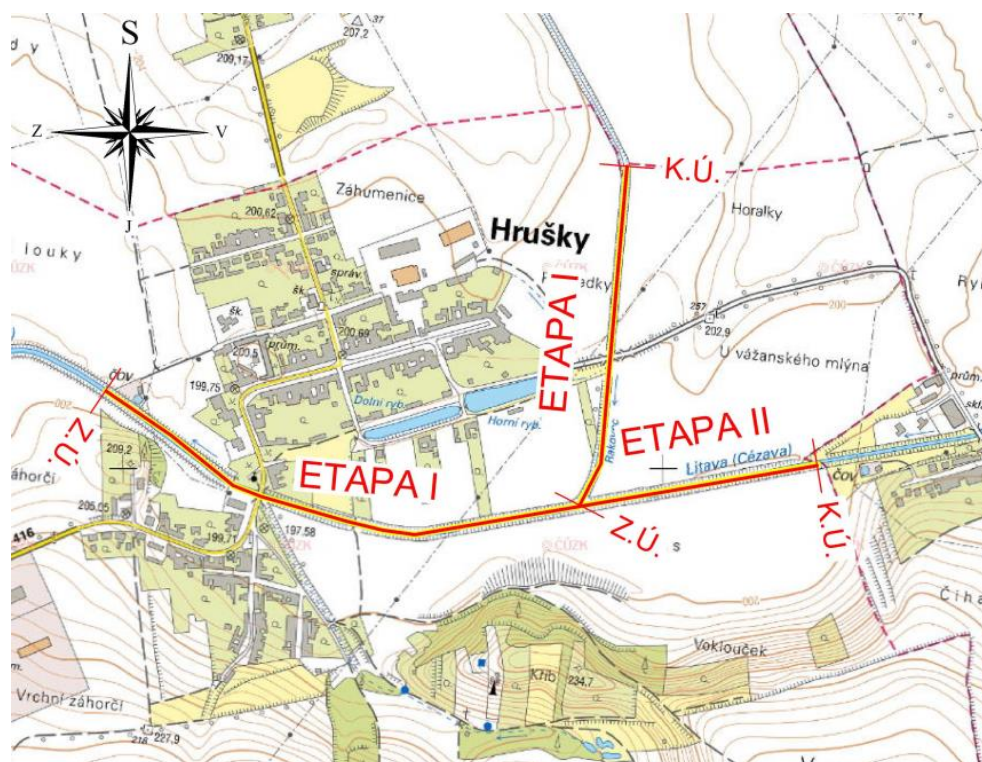
$$h(x, y, t) = h(t)/\Gamma_2 \quad (5.9)$$

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). [10] [28]

6 POPIS ZÁJMOVÉ LOKALITY A SOUČASNÉHO STAVU

6.1 POPIS ŠIRŠÍCH VZTAHŮ ŘEŠENÉHO ÚZEMÍ

Zájmová lokalita se nachází v Jihomoravském kraji, v okrese Vyškov, v k. ú. Hrušky u Brna a Vážany nad Litavou. Samotná stavba je situována na úseku toku Litavy a Rakovce protékající katastrálním územím Hrušky u Brna a Vážany nad Litavou. Stávající stav koryt obou předmětných toků je napřímený, což svědčí o tom, že byly v minulosti jak koryta, tak jejich nivy zbaveny jejich členitosti. Cílem práce je vedle protipovodňové ochrany obce Hrušky obnovit členitost vodního prostředí a jeho schopnost vodu v krajině udržet.



Obr. 6.1 Trasy toků v zájmové lokalitě

6.2 DŘÍVEJŠÍ POVODŇOVÉ UDÁLOSTI

Zájmová lokalita se nachází v záplavovém území toku Litavy a Rakovce. V první polovině května roku 2010 došlo ke stoupání hladin v tocích Litava a Rakovec. 22. 5. 2010 byl vyhlášen I. povodňový stupeň. Došlo k povodňové události, při které byly zaplaveny sklepy rodinných domů, zemědělské pozemky, zahrady a rybníky. Důvodem této události byly vydatné deště a 2. června 2010 v 8 hodin ráno byl vyhlášen III. povodňový stupeň a svolána místní pohotovost. Za pomoci hasičů byl rozliv povodně zastaven za pomoci hráze z pytlů. Jakmile došlo k poklesu hladiny, byly zhotoveny rigoly přes účelové komunikace pro zvýšení odtoku vody v inundaci (obr. 6.2). [35]



Obr. 6.2 Soutok Litavy s Rakovcem – povodňová události v obci Hrušky z 2. června roku 2010 [35]

6.3 KLIMATICKÉ POMĚRY

Posuzovaná lokalita se nachází dle Quitta, na základě jeho klimatického rozdělení, v teplé klimatické oblasti T4. Tato oblast je charakterizována velmi dlouhým, suchým a teplým létem. Největší průměrná denní teplota činí 30,8 °C. V této oblasti je přechodné období velmi krátké s teplým jarem a podzimem. Zimní období je krátké a mírně teplé. Sněhová pokrývka má zde velmi krátké trvání. Nejnižší naměřená průměrná sezónní teplota v zimě činí -6,3 °C. Nejvyšší roční úhrn srážek zde dosahuje hodnoty 687 mm. [27]

6.4 GEOMORFOLOGICKÉ A GEOLOGICKÉ POMĚRY

6.4.1 Geomorfologie

Jak je již v předchozích kapitolách zmíněno, řešená lokalita se nachází v Jihomoravském kraji, v okrese Vyškov, v k. ú. Hrušky u Brna. Geomorfologická klasifikace je následující:

- Systém: Alpsko-himalájský
- Provincie: Západní Karpaty
- Subprovincie: Vněkarpatské sníženiny
- Oblast: Západní vněkarpatské sníženiny
- Celek: Dyjsko-svratecký úval
- Podcelek: Pracká pahorkatina
- Okrsek: Cezavská niva

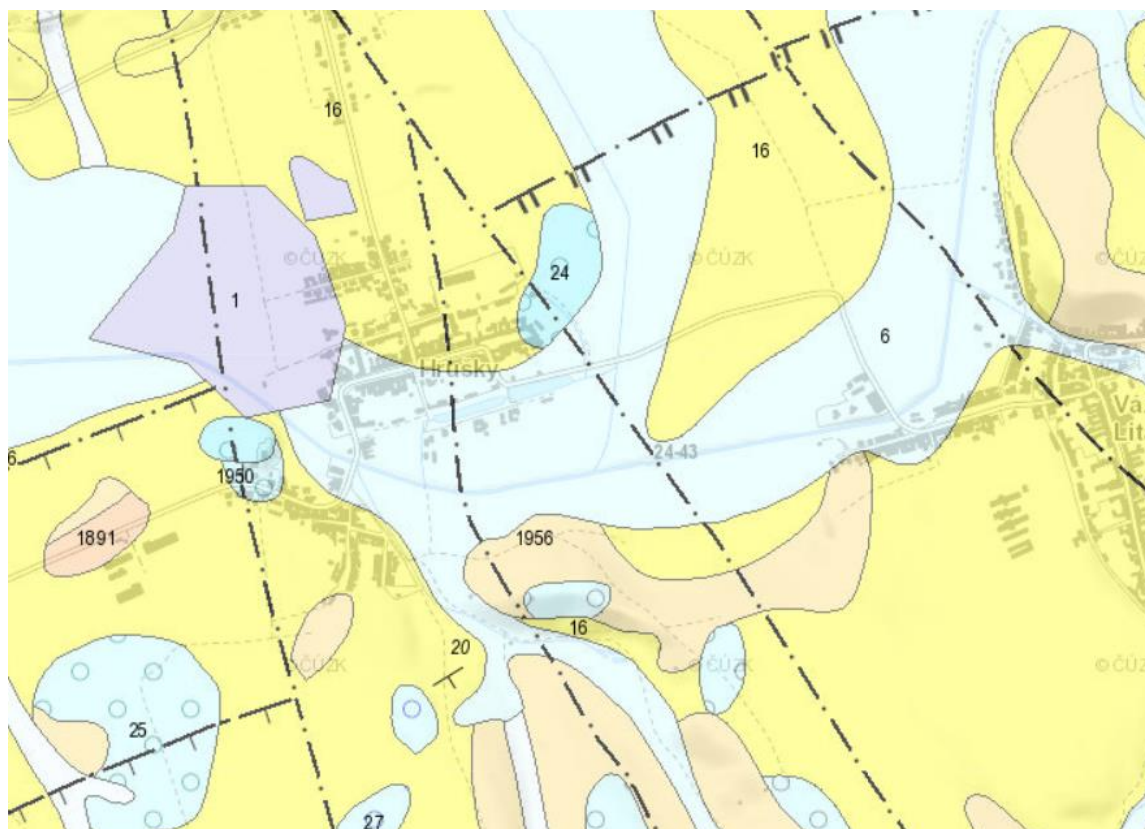
Pracká pahorkatina se nachází v severovýchodní části Dyjsko-svrateckého úvalu. Jedná se o členitou pahorkatinu tvořenou neogenními a kvartérními sedimenty. Západní část tvoří terasy řeky Svitavy, východní část tvoří neogenní sedimenty překryté sprašemi v širokém údolí řeky Litavy. Součástí Pracké pahorkatiny je Cezavská niva. Jedná se o akumulární rovinu podél řeky Litavy (Cezavy) [6]

6.4.2 Geologie

Z regionálně-geologického hlediska se zájmové území nachází na hranici flyšového pásma vnější skupiny příkrovů Západních Karpat a karpatské předhlubně. V období kvartéru byly paleogenní a neogenní sedimenty překryty deluvioeolickými, eolickými, deluviálními až deluviofluviálními, nivními a antropogenními sedimenty. [6]

Mohou se zde vyskytovat: sedimenty říčních teras, které jsou tvořeny písky a štěrky šedohnědé až rezavého zbarvení. Dále se zde vyskytují spraše a sprašové hlíny. Podél vodotečí se zde usazovaly písčité, hlinité a štěrkovité nivní sedimenty. V oblastech záplavy jsou rozšířeny antropogenní sedimenty a to hlavně formou navážky různorodého složení. [6]

Geologické zastoupení je patrné z geologické mapy. (obr. 6.3, kde světle žlutá – spraš a sprašová hlína, 6 – nivní sediment, 24 – písek, štěrk, 1891 – organogenní vápence, 1950 – vápenec, 1956 – jílovec, pískovec)



Obr. 6.3 Geologická mapa řešeného území M 1:50 000 [20]

6.5 HYDROGEOLOGICKÉ ÚDAJE

Hydrogeologické zařazení:

- Hydrogeologický rajon: Středomoravské Karpaty
- ID hydrogeologického rajónu: 3230
- Povodí: Dunaj

Ve flyšovém pásmu se nachází pískovce a slepence, které mají puklinovou propustnost. Pásma tektonických linií drénují infiltrační území. Hydrogeologickým kolektorem je přípovrchová zóna rozvětrání, která má zvýšenou propustnost. Jílovité horniny (jílovce, jíly, břidlice) jsou prakticky bez průlinové propustnosti, takže oběh a pohyb podzemní vody je téměř znemožněn. Tyto sedimenty mají funkci izolátorů. Kvartérní spraše a sprašové hlíny se podílejí na omezení infiltrace atmosférických srážek do podložních kolektorů. Jejich hydrogeologické vlastnosti jsou na rozhraní průlinového kolektoru a regionálního izolátoru. [7]

6.6 HYDROLOGIE

Litava

Vodní tok Litava náleží k povodí 4. řádu „Litava“ č. h. p. 4-15-03-0820-0-00. Toto povodí spadá pod povodí 3. řádu „Dunaj“ č. h. p. 4-15-03. Řešené území je odvodňováno směrem k západu tokem Litava. Plocha povodí Litavy činí 425,48 km². Řeka Litava pramení ve Zlínském kraji na vrchovině Chřiby ve výšce cca 510 m n. m. jihovýchodně od obce Cetechovice. Délka toku dosahuje orientačně asi 59 km. Řeka ústí do Svatky na ř. km 29,0 v Židlochovicích. [17]

Obcí, jimiž tok Litava protéká, je značné množství např.: Bučovice, Slavkov u Brna, Vážany nad Litavou, Újezd u Brna, Hrušky u Brna atd.

Údaje o průtocích a dalších hydrologických hodnotách jsou uvedeny v kap. 3.5.

Rakovec

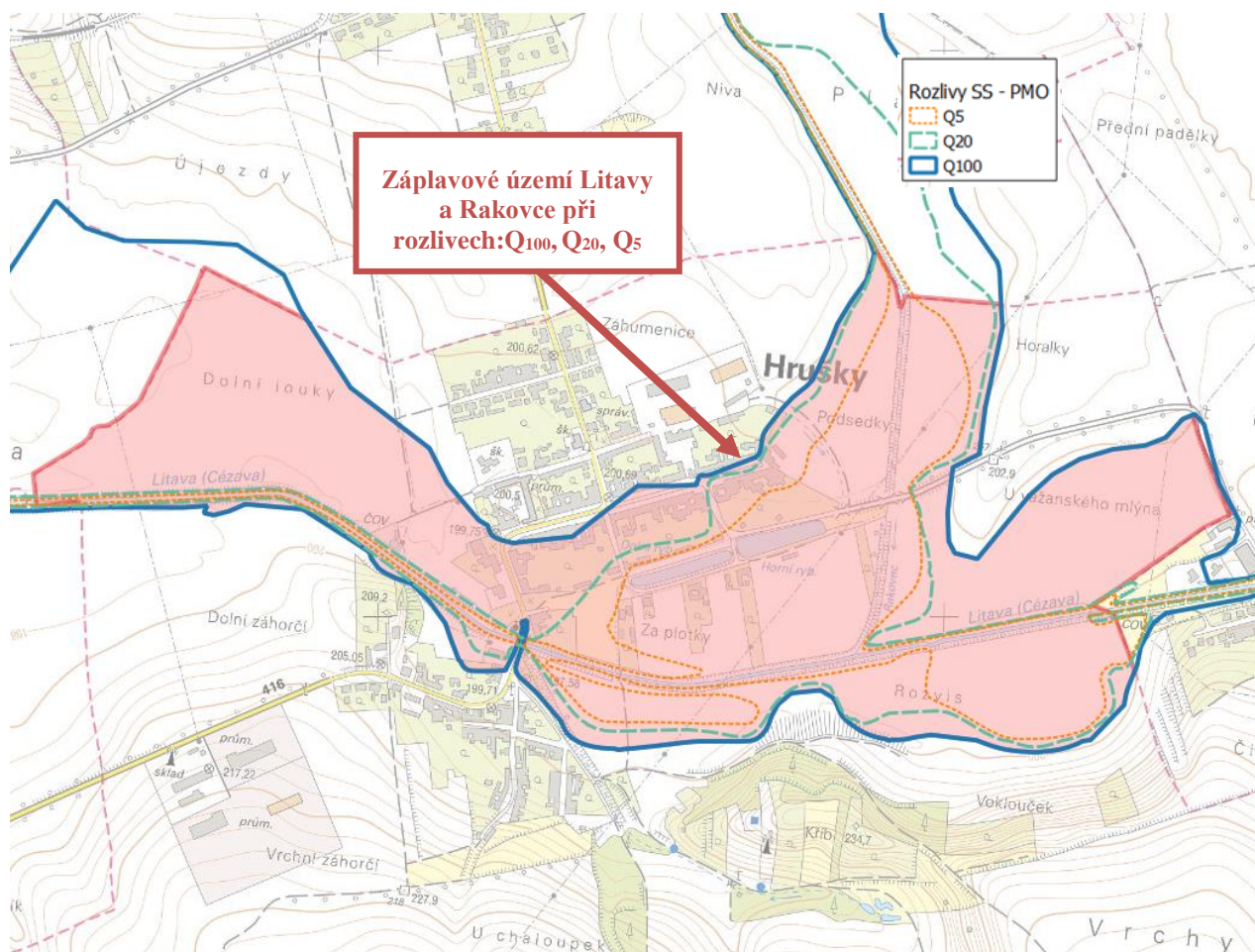
Vodní tok Rakovec náleží k povodí 4. řádu „Litava“ č. h. p. 4-15-03-0810-0-00. Délka toku je cca 37 km. Velikost plochy povodí činí 142,78 km². Tok Rakovec pramení v Jihomoravském kraji v katastrálním území Jedovnice v nadmořské výšce cca 560 m n. m. Ve své horní části protéká tok převážně zalesněnou oblastí, kde vytváří menší meandry a je mu umožněn samovolný rozvoj koryta a nivy. Ve střední a spodní části toku protéká již intravilánem a extravilánem obcí. [17]

Údaje o průtocích a dalších hydrologických hodnotách jsou uvedeny v kap. 3.5.

6.7 CHARAKTERISTIKA ZÁPLAVOVÉHO ÚZEMÍ LITAVY A RAKOVCE V ŘEŠENÉM ÚSEKU

Záplavové území Litavy a Rakovce se setkává v k. ú. Hrušky u Brna. Voda vybřežuje jak z Litavy, tak z Rakovce. Příčinnou této skutečnosti je nedostatečná kapacita koryta nad obcí Hrušky. Jakmile dojde k vybřežení, voda se začne vzdouvat západním směrem k intravilánu obce. Při povodňové události jsou zaplavovány zemědělské pozemky, technická a dopravní infrastruktura obce, areály účelové zástavby, obytná zástavba, rybníky a menší vodoteče.

Rozloha záplavové území Litavy a Rakovce v části řešeného úseku je cca 0,82 km². Na obr. 6.4 lze vidět rozlohu rozlivů při průtocích Q_{100} , Q_{20} a Q_5 v k. ú. Hrušky u Brna. Rozlivy stávajícího stavu byly poskytnuty Povodím Moravy, s.p. [37].



Obr. 6.4 Záplavové území Litavy a Rakovce v KÚ Hrušky u Brna o rozloze cca 0,82 km² [36]

6.8 POPIS STÁVAJÍCÍHO STAVU ŘEŠENÉHO ÚSEKU

6.8.1 Litava ř. km 19,460 – 20,928 (kilometráž stávajícího stavu)

Předmětný úsek stávajícího stavu koryta toku Litava je situovaný od ř. km 19,460 (ČOV) po ř. km 20,928, tedy v celkové délce 1468 m.

Popis koryta a stávajícího protipovodňového opatření

Stávající protipovodňová opatření na toku jsou řešena technickým opatřením ve formě pravobřežní a levobřežní zemní sypané hráze. Příčný profil koryta má charakter jednoduchého lichoběžníku. Koryto toku je z velké části na levém a pravém břehu poškozeno břehovými nátržemi. Dno má pravidelný sklon a břehy jsou opevněny osetím travním drnem, pomístně jsou paty svahu opevněny kamenným záhozem. V celé délce toku se na levém i pravém břehu vyskytují keře, náletové dřeviny a stromy.

V rámci hydrotechnických výpočtů bylo počítáno se vzduším od jezu Zbýšov, který je situovaný cca 870 m pod začátkem řešeného úseku na toku Litava (hladiny ovlivněné vzduším jezu byly pro výpočty poskytnuty Povodím Moravy, s.p., útvarem hydroinformatiky). [37] Stávající stav předmětného úseku koryta toku je kapacitní na průtoky nižší než $Q_5 = 20 \text{ m}^3/\text{s}$. Při průtoku Q_5 a průtocích vyšších, začne voda přelévat pravobřežní i levobřežní hráze a dochází k vybřežení do přilehlých oblastí. Pod soutokem s Rakovcem voda zaplavuje dopravní

a technickou infrastrukturu obce, obytnou zástavbu a občanské vybavení obce. Při průtoku Q_{100} sahá záplavové území až po silnici II. třídy č. 416 a zaplavuje silnici III. třídy č. 4194. Čistírna odpadních vod je při průtocích Q_{100} zaplavena hloubkami v rozmezí 0,5 až 1,0 m.

Silniční most na ř. km 19,821 toku Litavy

Při průtocích vyšších než Q_5 je značně ovlivněna kapacita stávající mostní konstrukce na komunikaci II. třídy č. 416. Ze studie uvedené v podkladech [31] vychází kapacita mostní konstrukce na průtok Q_{20} . Při průtoku $Q_{100} = 56 \text{ m}^3/\text{s}$ je hladina dle provedených výpočtů cca 7 cm nad úrovní spodní mostovky. Je tedy nutné k dodržení bezpečnostního převýšení spodní hrany mostovky 50 cm nad hladinou Q_{100} zvýšit mostní konstrukci o cca 60 cm.

V ř. km 20,005 se nachází stávající lávka, která bude odstraněna.

V levobřežní inundaci se nachází pozemky orné půdy, zahrady a z části se jedná o infrastrukturu a komunikace obce. Do pravobřežní inundace zasahuje z velké části obytná část obce, občanské vybavení, veřejné prostranství, sportoviště a rybníky.

V rámci hydraulických výpočtů provedených v rámci práce (viz. Kap. 9) byly zjištěny rozdílné výšky hladin s výškami hladin uvedené ve studii z roku 2013 [31]. Pro výsledný návrh záplavového území obce Hrušky byla po konzultaci s Povodím Moravy vyšší vypočtená hladina, tedy záplavové území ze studie z roku 2013. Jako možná příčina rozdílných hydrotechnických výpočtů se jeví rozdílnost hydrologických dat (poskytnuté průtoky ČHMÚ II. až III. třídy) a výpočtových modelů (hydrotechnické výpočty předmětné práce počítány v softwaru HEC-RAS [28]).

Fotodokumentace stávajícího stavu Litavy v řešeném úseku



Obr. 6.5 Tok Litava ř. km 19,460 – 19,824 – ČOV – pohled po toku



Obr. 6.6 Tok Litava – pohled proti toku na silniční most v ř. km 19,821



Obr. 6.7 Tok Litava – výust ČOV do recipientu – pohled proti toku

- Stávající výust bude odstraněna a zbudována nová.



Obr. 6.8 Tok Litava – koryto toku v ř. km 19,460 – 19,821 (ČOV – silniční most) – pohled po toku



Obr. 6.9 Tok Litava – levostranný bezejmenný přítok Litavy v ř. km 19,821

- Na levém břehu bude vybudována protipovodňová zeď.



Obr. 6.10 Tok Litava – usek koryta toku v ř. km 19,821 – 20,432 – pohled proti toku



Obr. 6.11 Tok Litava – stávající lávka v ř. km 20,005 – pohled po toku

- Stávající lávka bude odstraněna.



Obr. 6.12 Tok Litava ř. km 20,432 – soutok Litavy s Rakovcem



Obr. 6.13 Tok Litava – úsek koryta toku v ř. km 20,432 – 20,928 – pohled proti toku

6.8.2 Rakovec ř. km 0,000 – 0,638 (kilometráž stávajícího stavu)

Popis koryta a stávajícího protipovodňového opatření

Koryto toku řešeného úseku má v celé délce řešeného úseku 638 m tvar jednoduchého lichoběžníku. Stejně jako koryto toku Litavy je koryto stávajícího stavu Rakovce ohrázováno sypanými hrázemi. V ř. km 0,264 je situovaná jezová konstrukce, která zajišťuje odběr do přilehlých rybníků. Sklon dna je v místě nad a pod jezovou konstrukcí proměnný, v úseku pod jezem strmější (cca 0,4%) a v úseku nad jezem mírnější (cca 0,1%). Břehy koryta toku jsou opevněny travním drnem, záhozovou patkou a jejich sklon se pohybuje od 1:1,5 – 1:2,5. V místě silničního mostu a jezové konstrukce jsou břehy a dno opevněny dlažbou z lomového kamene. V celé délce toku se na levém i pravém břehu vyskytují keře, náletové dřeviny a stromy.

V ř. km 0,287 se nachází silniční most (komunikace III. třídy č. 4194). Mostní konstrukce je kapacitní na průtok $Q_{100} = 56 \text{ m}^3/\text{s}$ při bezpečnostním převýšení cca 0,47 cm nad touto vypočtenou hladinou.

Tok Rakovec je na řešeném úseku ř. km 0,000 (soutok Litavy s Rakovcem) po ř. km 0,638 kapacitní na průtoky menší jak $Q_5 = 11 \text{ m}^3/\text{s}$. Při průtoku Q_5 a vyšším dochází k vyběžení vody do přilehlých inundačních prostor, kde voda zaplavuje dopravní a technickou infrastrukturu obce, obytnou zástavbu a občanské vybavení obce.

Fotodokumentace stávajícího stavu Rakovce v řešeném úseku



Obr. 6.14 Tok Rakovec – silniční most v ř. km 0,287 – pohled proti toku



Obr. 6.15 Tok Rakovec – stávající jez v ř. km 0,264 – pohled proti toku

- Stávající jez bude odstraněn a bude zbudován nový skluz.



Obr. 6.16 Tok Rakovec – úsek koryta toku v ř. km 0,000 – 0,638 – pohled po toku



Obr. 6.17 Tok Rakovec – pohled proti toku ze silnice III. třídy č. 4194

6.8.3 Přehled staničení a objektů na stávajícím stavu řešeného úseku toku

Popis objektů je uveden v tab. 6.1 a jsou zobrazeny na obr. 6.16 a 6.17.

Tab. 6.1 Staničení a objekty na řešeném úseku Litavy

LITAVA	
Objekt	Staničení [ř. km]
ZÚ - ČOV	19,460
Silniční most na komunikaci II. třídy č. 416	19,821
Lávka	20,005
Soutok s Rakovcem	20,432
KÚ	20,928

Tab. 6.2 Přehled objektů na řešeném úseku toku Rakovec

RAKOVEC	
Objekt	Staničení [ř. km]
ZÚ - soutok s Litavou	0,000
Jezová konstrukce	0,264
Silniční most na komunikaci III. třídy č. 4194	0,287
KÚ	0,638

7 NÁVRHOVÝ STAV PŘÍRODĚ BLÍZKÉ PROTIPOVODŇOVÉ OCHRANY A REVITALIZACE KORYTA LITAVY A RAKOVCE

Návrh opatření vychází a čerpá ze studie z roku 2013 [31]. Jedná se o technické opatření, ale zároveň přírodě blízké opatření v podobě navýšení zemních sypaných hrází, rozvolnění koryta toku a umožnění jeho samovolného vývoje, umožnění rozlivů do přilehlých inundací nivy koryt toků a vybudování suché nádrže, která bude zadržovat povodňové průtoky a zadržovat vodu v krajině.

7.1 STANOVENÍ POŽADOVANÉ PROTIPOVODŇOVÉ OCHRANY

Řešené záplavové území se nachází jak na zemědělsky obdělávaných plochách, tak v části intravilánu obce Hrušky se souvislou zástavbou, průmyslovými areály a liniovými stavbami.

Podle požadavku Povodí Moravy, s.p. je protipovodňová ochrana na toku Rakovec i Litava navržena na **návrhový průtok Q_{100}** s bezpečnostním převýšením výškové kóty koruny protipovodňové hráze a zdi 0,5 m nad hladinou Q_{100} . Pokud by nebyly vydány požadavky PMO byl by návrhový průtok určen dle tab. 7.1.

Tab. 7.1 Normové požadavky pro stanovení návrhového průtoku podle druhu přilehlých pozemků

Druh přilehlých pozemků	Druh přilehlých pozemků (chráněné pozemky)	Návrhový průtok
TNV 75 2103 Úprava řek	Souvislá zástavba, průmyslový areál, významné liniové stavby a objekty	$\geq Q_{50}$
	Historická centra měst, historická zástavba	$\geq Q_{100}$
ČSN 75 2101 Ekologizace úprav vodních toků (na tuto normu se odkazuje TNV 75 2102 Úpravy potoků)	Souvislá zástavba, průmyslový areál, významné liniové stavby a objekty	$\geq Q_{50}$
	Historická centra měst, historická zástavba	$\geq Q_{100}$

7.2 POPIS ETAPIZACE PROJEKTU

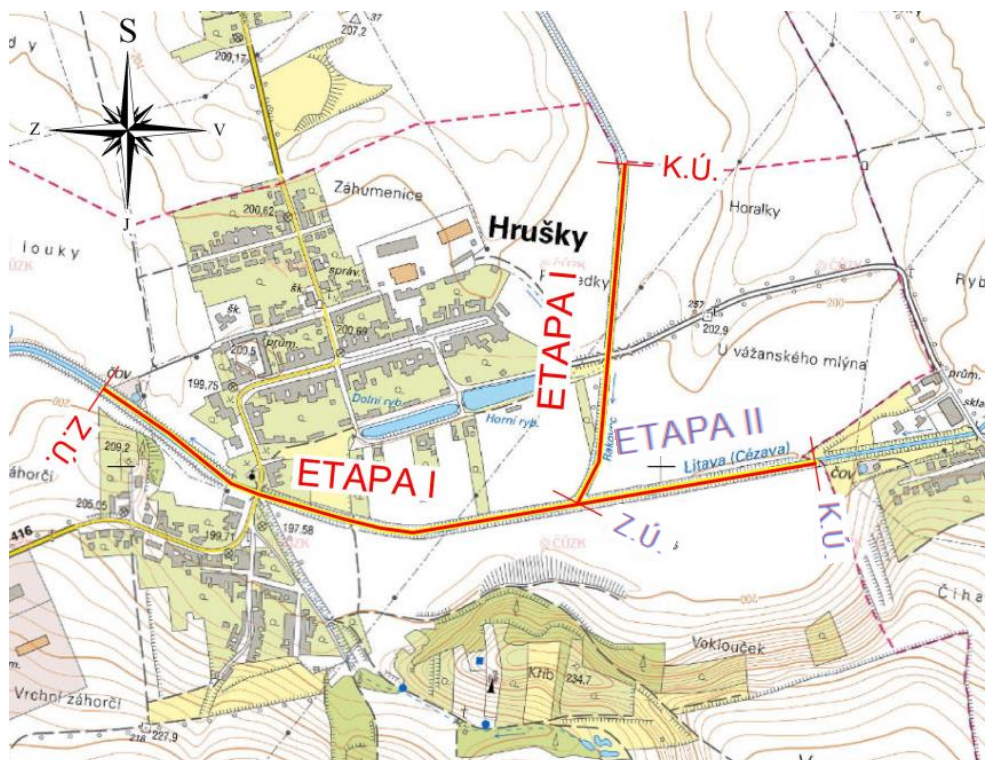
Stavba byla rozdělena na ETAPY - **ETAPA I** a **ETAPA II** z důvodu komplexního řešení zájmové lokality kolem obce Hrušky.

Návrhový stav je členěn na 2 etapy (Obr. 7.1). V rámci **ETAPY I** bude provedena protipovodňová ochrana obce Hrušky na Litavě od ř. km 19,460 po ř. km 20,460 (kilometrůž návrhového stavu) a na Rakovci od ř. km 0,000 po ř. km 0,722 (kilometrůž návrhového stavu). Na Litavě bude provedeno rozvolnění koryta toku a vybudování protipovodňové ochranné zemní sypané hráze na pravém břehu a protipovodňové zdi na levém břehu (stísněné prostorové podmínky). Na toku Rakovec dojde taktéž k rozvolnění koryta toku a jako protipovodňová ochrana obce Hrušky bude sloužit protipovodňová hráz na pravém břehu (postupně se oddalující od vodního toku), která bude mít parametry hráze suché nádrže (pro případ, že by došlo k realizaci ETAPY II).

V rámci **ETAPY II** bude provedeno protažení a zavázání hráze suché nádrže Hrušky (sloužící v ETAPĚ I. jako protipovodňová hráz) přes koryto toku Litava jižním směrem do rostlého terénu. Součástí bude vybudování sdruženého objektu pro převádění běžných a povodňových průtoků. Také dojde k rozvolnění koryta toku Litavy od soutoku s Rakovcem po ř. km 21,108 (kilometrůž návrhového stavu). Součástí ETAPY II bude vyprofilování prostoru

zátopy budoucí suché nádrže Hrušky kolem toku Litavy a Rakovce, čímž dojde k plynulému navázání nového stavu na stávající stav a ke zvětšení zachytného prostoru suché nádrže.

Pro lepší přehlednost jsou od sebe ETAPA I a ETAPA II v přílohách barevně odlišeny. ETAPA I je značena červenou barvou a ETAPA II je značena fialovou barvou. Přehlednost etap viz. (Příloha A.2. Situace stavby).



Obr. 7.1 Etapizace projektu

7.3 ÚČEL NAVRŽENÉHO PPO A REVITALIZACE KORYTA

Stavba je situována na úseku toku Litavy a Rakovce protékající katastrálním územím Hrušky u Brna a Vážany nad Litavou. Stávající stav koryta obou toků je napřímený, což svědčí o tom, že byly v minulosti jak koryta, tak nivy zbaveny jejich členitosti. Cílem projektu je vedle protipovodňové ochrany obce Hrušky obnovit členitost vodního prostředí a jeho schopnost vodu v krajině udržet.

Účelem stavby je ochránit pozemky v katastrálním území Hrušky u Brna před povodňovými průtoky Q_{100} z toku Litavy ($56 \text{ m}^3/\text{s}$) a Q_{100} z toku Rakovce ($39 \text{ m}^3/\text{s}$) a tím minimalizovat škody způsobené při povodňových průtocích. Vzniklým protipovodňovým opatřením dojde k ochraně území o rozloze cca $0,24 \text{ km}^2$.

V rámci stavebních prací bude upraven příčný profil koryt toků, čímž dojde ke zvětšení omočeného obvodu a tím i biologicky aktivního povrchu koryt. Omočený povrch je zdrojem vodních organismů, které jsou základem biodiverzity vodního toku, což má za následek významný samočisticí proces vody.

Dalším účelem je navržení vhodných opatření k provedení revitalizace toků a k zajištění příznivějších podmínek pro život vodních živočichů a rostlin v závislosti na místních podmínkách. Cílem navržených opatření v rámci této dokumentace je obnovení a zlepšení

ekologicko-stabilizačních funkcí vodního toku. Úprava koryta bude tedy řešena přírodě blízkým způsobem.

Revitalizační opatření jsou mimo jiné spolu s protipovodňovým opatřením určena k ochraně majetku a přilehlého území.

Práce se zabývá obnovou přirozeného tvaru koryta a také členitějšího vedení trasy toku. V minulosti bylo koryto napříměno. Cílem je přiblížit se co nejvíce přírodě blízkému stavu, tudíž je navrženo rozvlnění trasy. Navrženo je tedy koryto složené z oblouků a tzv. mezi přímých úseků. V konkávách jsou navrženy sklony strmější, čímž je snaha docílit spíše eroze boční, která je příznivější než eroze hloubková. V konvexách jsou navrženy naopak sklony svahů mírnější. U nás v přírodě totiž koryta tvaru jednoduchého lichoběžníku nejsou obvyklá. Tok se bude nadále stále vyvíjet a tvořit. Obnova členitosti koryta přispěje k samočisticí kapacitě vodního toku. Zpevnění koryta toku je navrženo pouze v místech, kde je to nezbytné za účelem stabilizace navržených protipovodňových opatření. V místě, kde to prostorové podmínky dovolí, je snaha dát korytu co největší prostor pro jeho přirozený vývoj.

V místech návrhu nové trasy dojde k vykácení stávajících dřevin (tam, kde je to nezbytné) a následně k výsadbě nové zeleně. Zeleň bude navržena tak, aby dobře vyhovovala místním podmínkám a aby dobře prospívala. Návrh správného vegetačního doprovodu je jeden ze stavebních kamenů územních systémů ekologické stability (ÚSES). Výsadba bude provedena tak, aby se střídaly zastíněné úseky na toku s nezastíněnými. Mezi skupinami stromů jsou navrženy i solitéry. Zeleň bude vybírána tak, aby byla tzv. bezúdržbová – bude upřesněno v dalším stupni dokumentace.

V rámci krajinyoporných opatření jsou na toku navrženy také tůně. Tůně vytváří v krajině velice cenné biotopy. Jsou cenným prostředím pro rostliny a živočichy. Také dojde ke zvýšení množství vody v korytě a obohacení zásob povrchové vody v krajině. V krajině jsou tůně přirozené a doplňují škálu biotopů o zvláště bohaté prvky. Probíhají zde rozličné procesy.

Z krajinyoporného hlediska bude mít rekonstrukce pozitivní vliv na životní prostředí a bude ekologicky stabilním prvkem. Daným opatřením dojde ke zvýšení biodiverzity v zájmovém území a k rozvoji drobných vodních živočichů, obojživelníků, mokřadních společenstev a živočichů vázaných na vodu. [33]

7.4 POPIS NAVRŽENÉHO OPATŘENÍ A ZMĚN ROZSAHU POVODŇOVÉHO OHROŽENÍ

Vzhledem k rozvolnění koryta toku Litavy a Rakovce došlo k prodloužení předmětné části úseku na toku Litava o 180 m a na toku Rakovec o 84 m. Začátky úseku mají stejnou kilometráž, konec úseku na toku Litava je nově v ř. **km 21,108**, na toku Rakovec v ř. **km 0,722**. V rámci práce byly odsouhlaseny hydrotechnické výpočty Povodím Moravy, s.p. [37]. Vzhledem k tomu, že se liší výpočtové výšky hladin provedené zpracovatelem práce s výškami hladin uvedené ve studii z roku 2013 [31], Povodí Moravy, s.p. ve svém vyjádření doporučuje, aby bezpečnostní převýšení hrází splňovalo vyšší vypočtené hladiny (nejistoty vycházející z hydrologických dat a výpočtového softwaru). Členění objektů je uvedeno v tab. 7.2.

Tab. 7.2 Členění stavebních objektů

č. SO	Objekt
01	Protipovodňová zeď na LB Litavy
02	Protipovodňová hráz na PB Litavy
03	Úpravy dna koryta Litavy po soutok s Rakovcem
04	Profilace LB koryta Litavy
05	Zavázání LB hráze při levostranném přítoku Litavy
06	Meandrový pás na Rakovci
07	PB protipovodňová hráz Rakovce
08	Suchá nádrž
09	Revitalizace toku Litava a jeho nivy

Umístění stavebních objektů viz. (Příloha A.2. Situace stavby).

7.4.1 ETAPA I. - Litava ř. km 19,460 – 19,822

Předmětný úsek koryta toku Litava je situovaný od ř. km 19,460 (ČOV) po ř. km 19,822 (silniční most - komunikace II. třídy č. 416). V daném úseku se nachází stavební objekty SO01 a SO02 viz. (Příloha A.2. Situace stavby).

SO 01 Opatření na levém břehu – protipovodňová zeď

Vzhledem k omezeným prostorovým podmínkám a navýšení kapacity koryta toku bude protipovodňovou ochranu v předmětném úseku tvořit protipovodňová levobřežní zeď. Zeď bude mít výšku od 0,5 m do 1,0 m. Celková délka zdi bude 270 m a na jejím konci bude zavázána do rostlého terénu. Kóta koruny zdi včetně bezpečnostního převýšení 0,5 m nad hladinou při průtoku $Q_{100} = 56 \text{ m}^3/\text{s}$ se bude pohybovat v hodnotách od 199,26 m n. m. do 199,35 m n. m. Zeď bude zhotovena z železobetonu a předpokládá se založení na převrtávání pilotové stěně. Aby byl umožněn přístup k pozemkům a k údržbě koryta toku, bude vybudován přejezd přes zavázání zdi ve sklonu 1:10 o šířce 5,0 m. Pod zavázáním levobřežní zdi může dojít k rozlivu vody do přilehlého území na levém břehu, neboť to morfologie terénu dovolí a při zvýšených povodňových průtocích budou ohroženy pouze přilehlé zemědělské pozemky a žádná zástavba. Vlivem zavázání zdi do levobřežního terénu nad začátkem řešeného úseku je umožněn rozliv do okolních pozemků a voda není držena pouze v průtočném profilu koryta toku. Pod zavázáním zdi vznikne přirozený rozliv při Q_{100} , což ovlivní snížení hladiny v korytě toku a tím i zlepšení kapacity mostu na toku Litava v ř. km 19,822 (viz. Příloha A.7. Vzorový příčný řez korytem toku Litava km 19,460-20,822 (ČOV – silniční most).

Vzdutí vody nebude tak výrazně ovlivňovat kapacitu mostního profilu. Vzhledem k možné budoucí plánované výstavbě suché nádrže Zbýšov vycházející ze studie z roku 2013 [31], bude rozliv součástí zátopy suché nádrže Zbýšov. Mezi protipovodňovou zdí a levobřežní hranou koryta toku Litavy bude ponechán prostor pro údržbu koryta toku v šířce minimálně 3,0 m.

PARAMETRY:

- Protipovodňová ochrana: Protipovodňová betonová zeď
- Návrhový průtok: $Q_{100} = 56 \text{ m}^3/\text{s}$ + převýšení 0,5 m
- Délka zdi: 270 m
- Umístění: Levý břeh koryta toku Litava

- Výška zdi nad terénem: 0,5 – 1,0 m ($Q_{100} + 0,5$ m)
- Materiál: Železobeton
- Sklon levého břehu: 1:1,5, svah ohumusován a zatravněn

SO 02 Opatření na pravém břehu – protipovodňová hráz

Protipovodňová ochrana pravého břehu bude spočívat ve výstavbě protipovodňové zemní sypané hráze o celkové délce 350 m. Hráz bude vysoká 4,0 – 4,5 m od kóty dna navržené úpravy. Kóta koruny hráze bude převýšena min. 0,5 m nad vypočtenou hladinou pro $Q_{100} = 56 \text{ m}^3/\text{s}$ a bude se pohybovat v hodnotách od 199,20 m n. m. do 199,35 m n. m. Sklony svahů hráze budou 1:2 a koruna hráze bude široká 3,5 m, tak aby zde byl umožněn pohyb mechanizace pro údržbu břehů a případně možné vybudování cyklostezky (návrh cyklostezky není předmětem této práce). Svahy hráze budou ohumusovány a osety travní směsí. Pata návodního líce hráze bude pro její stabilizaci opevněna lomovým kamenem. Těleso hráze bude s podložím propojeno přes zavazovací zámek cca 0,5 m hluboký o šířce cca 3,0 m. Zavázání hráze bude provedeno do nepropustného podloží (viz. Příloha A.7. Vzorový příčný řez korytem toku Litava km 19,460-20,822 (ČOV - silniční most).

PARAMETRY:

- Protipovodňová ochrana: Zemní sypaná hráz
- Návrhový průtok: $Q_{100} = 56 \text{ m}^3/\text{s} + \text{převýšení } 0,5 \text{ m}$
- Délka hráze: 350 m
- Umístění: Pravý břeh koryta toku Litava
- Materiál: Zemní sypaná hráz
- Sklon hráze: 1:2, svahy ohumusovány a zatravněny
- Šířka koruny hráze: 3,5 m

SO 03 Dno koryta

V rámci úpravy koryta dojde k vyprofilování koryta toku, přičemž dno bude šířky 7,0 – 9,0 m. Paty svahů budou opevněny patkou z lomového kamene. Dojde k vytvoření stěhovavé kynety pomocí záhozové patky z lomového kamene (hmotnost nad 500 kg/ks), která bude střídavě u levé a pravé paty svahu cca 0,3 - 0,5 m nad niveletou dna v šířce cca 2,0 m. Tím dojde k vytvoření meandru při běžných průtocích a přiblížení se co nejvíce přírodě blízkému stavu. Rozestupy mezi jednotlivými vyčnívajícím záhozem bude 10,0 – 15,0 m. Touto úpravou je snaha přiblížit se co nejvíce přírodě blízkému stavu v omezených prostorových podmínkách (viz. Příloha A.7. Vzorový příčný řez korytem toku Litava km 19,460-20,822 (ČOV - silniční most).

Pomístně dojde k náhradní výsadbě dřevin. Stávající dřeviny bránící ve výstavbě budou odstraněny.

PARAMETRY:

- Šířka dna: 7,0 m – 9,0 m
- Opevnění paty svahů: Lomová kámen hm. nad 500 kg/ks

SO 02 Zavázání pravobřežní hráze

Na začátku úseku v ř. km 19,460 bude provedeno zavázání pravobřežní zemní sypanou hrází za objektem ČOV. Tímto se zamezí rozlívům do intravilánu obce Hrušky a areálu ČOV

v případě zvýšených průtoků a případnou realizací poldru Zbýšov (poldr Zbýšov plánován dle studie zmíněné v podkladech). Zavazovací hráz bude délky 210 m a bude mít jednotnou kótu koruny hráze 199,20 m n. m. o maximální výšce nad terénem 2,0 m. Sklony hráze budou 1:2. Hráz bude umístěna mimo ochranné pásmo kanalizace a na jejím konci zavázána do přilehlého terénu. Pro možnost údržby a přejezdu budou přibližně uprostřed umístěny 2 sjezdy ve sklonu 1:8.

PARAMETRY:

- Opatření: Zemní sypaná hráz
- Sklony hráze: 1:2
- Návrhový průtok: $Q_{100} = 56 \text{ m}^3/\text{s} + \text{převýšení } 0,5 \text{ m}$
- Délka hráze: 210 m
- Umístění: Zavázání hráze na pravém břehu – za ČOV
- Výška hráze nad terénem: Max 2,0 m ($Q_{100} + 0,5 \text{ m}$)
- Kóta koruny hráze: 199,20 m n. m.

Silniční most v ř. km 19,822

Stávající silniční most je nekapacitní, z tohoto důvodu dojde k rekonstrukci a výstavbě mostu nového. Navržená konstrukce mostu splňuje bezpečnostní převýšení kóty spodní mostovky (199,36 m n. m.) nad hladinou Q_{100} na kótě 198,86 m n. m. o 0,5 m.

7.4.2 ETAPA I. - Litava ř. km 19,822 – 20,460

Předmětný úsek koryta toku Litava je situovaný od ř. km 19,822 (silniční most) po ř. km 20,460 (soutok Litavy s Rakovcem). V daném úseku se nachází stavební objekty SO03, SO04 a SO05 viz. (Příloha A.2. Situace stavby).

SO 04 Opatření na levém břehu – profilace

Na začátku tohoto úseku dojde k zavázání ochranné zdi od silničního mostu v ř. km 19,822 vedené kolem stávajícího koryta levobřežního přítoku Litavy v délce 180 m. Zhlaví zdi bude na výškové kótě 199,40 m n. m.

Na levém břehu Litavy bude odstraněno stávající ohrázování a dojde k vyprofilování koryta toku a tím vytvoření bermy o minimální šířce 3,5 m (v získaném prostoru bude možnost vybudování cyklostezky, která však není předmětem práce). Bude vytvořeno rozvolnění kynety koryta Litavy. Konkávní levý břeh kynety bude opevněn lomovým kamenem (na levé bermě bude veden přístup pro údržbu toku). Svah nad bermou bude napojen na stávající terén ve sklonu 1:2, sklon levého břehu kynety bude proměnlivý (předpoklad 1:1-1:5). Sklon bermy bude veden směrem ke kynetě koryta toku (předpoklad min. 2%).

Díky těmto opatřením bude v předmětném úseku povodňový rozliv, při průtoku $Q_{100} = 56 \text{ m}^3/\text{s}$ situován do levobřežní inundace, kterou tvoří pozemky orné půdy.

SO 02 Opatření na pravém břehu – protipovodňová hráz

Opatření na pravém břehu je řešeno formou ochranné zemní sypané hráze délky 530 m se sklony svahů 1:2. Kóta koruny hráze bude 0,5 m nad úrovní hladiny Q_{100} a její šířka bude minimálně 3,0 m. Zavázání hráze bude provedeno do nepropustného podloží. Pata návodního

svahu bude pro zajištění stability hráze opevněna lomovým kamenem. U soutoku s Rakovcem bude pravobřežní hráz Litavy plynule napojena na pravobřežní hráz Rakovce. Koruna hráze je navržena šířky 3,0 m. Svahy hráze budou ohumusovány a osety travní směsí. Pata návodního líce hráze bude pro její stabilizaci opevněna lomovým kamenem. Těleso hráze bude s podložím propojeno přes zavazovací zámek cca 0,5 m hluboký o šířce cca 3,0 m. Zavázání hráze bude provedeno do nepropustného podloží.

PARAMETRY:

- Protipovodňová ochrana: Zemní sypaná hráz
- Návrhový průtok: $Q_{100} = 56 \text{ m}^3/\text{s} + \text{převýšení } 0,5 \text{ m}$
- Délka hráze: 530 m
- Umístění: Pravý břeh koryta toku Litava
- Materiál: Zemní sypaná hráz
- Sklony hráze: 1:2, svahy ohumusovány a zatravněny
- Šířka koruny hráze: 3,0 m
- Sjezdy: 2 ks, sklon min. 1:8
- Výška hráze: 4,0 m – 4,5 m nad dnem koryta toku
- Opevnění: Opevnění paty hráze lomovým kamenem
- Počet výustí: 1 ks, nová výust se zpětnou klapkou

SO 03 Dno koryta

Úprava má charakter přírodě blízkého opatření. Dojde k revitalizaci toku a nivy Litavy. Meandrující kyneta má navrženo dno šířky 7,0 m s přichylováním proudnice k nárazovým břehům, což bude mít za následek strmější nárazový břeh a mírnější jeseťový břeh. Sklony břehů budou proměnlivé tvarovány do sklonu od 1:1 po 1:5. U nárazových břehů je předpoklad vytvoření tůní a v místě přechodů mezi oblouky (v mezipřímých úsecích) budou vytvořeny kamenité brody. Dále bude uvažováno s volným vývojem toku. Kyneta hloubky 1,2 m je navržena na průtok $Q_1 = 9,3 \text{ m}^3/\text{s}$. Pomístně dojde k náhradní výsadbě bezúdržbových dřevin. Stávající dřeviny budou z důvodu stavebních prací odstraněny. Vzhledem k tomu, že primárním účelem je ponechání koryta jeho přirozenému vývoji, nebude koryto toku opevňováno. K opevnění břehů dojde pouze v místech přiblížení se kynety levobřežní bermě, kde je plánovaná trasa cyklostezky.

PARAMETRY:

- Návrhový průtok kynety: $Q_1 = 9,3 \text{ m}^3/\text{s}$
- Hloubka kynety: 1,2 m
- Prům. šířka dna kynety: 7,0 m
- Sklony svahů: Proměnlivé (1:1-1:5)
- Opevnění: Konkávní břeh u cyklostezky – lomový kámen

SO 05 Zavázání levobřežní hráze

Z důvodu zamezení rozlivu vody do intravilánu obce Hrušky je navržena na levém břehu protipovodňová zeď v délce 180 m. Zeď bude mít jednotnou kótu koruny 199,40 m n. m. a bude zhotovena z železobetonu. Zeď bude plynule napojena na konstrukci nového mostu (lávky) a bude vedena podél levého břehu levobřežního bezejmenného přítoku Litavy.

PARAMETRY:

- Umístění: Levý břeh koryta toku Litava, podél přítoku Litavy, mimo ochranné pásmo vodovodu
- Návrhový průtok: $Q_{100} = 56 \text{ m}^3/\text{s} + \text{převýšení } 0,5 \text{ m}$
- Kóta zhlaví zdi: 199,40 m n. m.
- Délka zdi: 180 m
- Materiál: Železobeton

7.4.3 ETAPA I. - Rakovec ř. km 0,000 – 0,722

Předmětný úsek koryta toku Rakovec je situovaný od ř. km 0,000 (soutok s Litavou) po ř. km 0,722 (hranice katastrálního území).

SO 06 Meandrový pás – revitalizace toku a nivy

Dojde k odstranění stávajících hrází na levém i pravém břehu. Revitalizace toku a jeho nivy bude provedena v délkách 271 m, tj. na ř. km 0,000 – 0,271 a 432 m, tj. na ř. km 0,290 – 0,722. V místě stávajícího jezu bude zhotoven migračně prostupný skluz a nad skluzem po konec silničního mostu bude koryto zachováno ve stávajících parametrech. Celková délka rozvolněného úseku bude 722 m. Úprava má charakter přírodě blízkého opatření. Meandrující kyneta má navrženo dno průměrné šířky 7,0 m s přichylováním proudnice k nárazovým břehům, což bude mít za následek strmější nárazový břeh a mírnější jeseťový břeh. Sklony břehů budou proměnlivé tvarovány do sklonu od 1:1 po 1:5. U nárazových břehů je předpoklad vytvoření tůní, které budou mít pozitivní vliv především v době sucha, kdy se v tůních bude soustředit zachycená voda. V místě přechodů mezi oblouky (v mezipřímých úsecích) budou vytvořeny kamenité brody. Dále bude uvažováno s volným vývojem toku. Kyneta hloubky 0,5 m je navržena na průtok $Q_1 = 4,8 \text{ m}^3/\text{s}$. Po trase je možné navrhnout také ostrůvky s ozeleněním. Stávající dřeviny budou z důvodu stavebních prací odstraněny. Vzhledem k tomu, že primárním účelem je ponechání koryta jeho přirozenému vývoji, nebude koryto toku opevňováno. Bude zde provedena výsadba údržbové zeleně s možností vytvoření parkové zeleně a poloměstského parku. Meandrový pás bude plynule navázán na stávající terén ve sklonu 1:3. Po obou březích (bermách) bude umožněn přístup pro údržbu.

Dojde k plynulému napojení koryta toku na nově vybudovaný skluz v ř. km 0,287, na silniční most v km 0,290 a na stávající koryto toku v ř. km 0,722.

Koryto toku Rakovec bude plynule napojeno na koryto toku Litava.

PARAMETRY:

- Délka úpravy úseku: 722 m
- Šířka dna kynety: 6,0 m - 7,0 m
- Průměrná hloubka kynety: 0,5 m
- Sklon svahu kynety: Proměnlivé (1:1-1:5)
- Kapacita kynety: Návrhový průtok $Q_1 = 4,8 \text{ m}^3/\text{s}$
- Opevnění: Bez opevnění – zatravnění, ponechání vlastního přirozenému vývoji

SO 07 Pravý břeh – protipovodňová hráz

Na pravém břehu bude vybudována protipovodňová homogenní zemní hráz o délkách 290 m a 270 m.

Hráz je dělena na dvě části silničním tělesem komunikace III. třídy č. 4194. V místě komunikace bude zhotovena konstrukce pro umístění mobilního hrazení.

Celková délka protipovodňové hráze je 560 m. V části od soutoku Rakovce s Litavou po silniční komunikaci (ř. km 0,000 – 0,290) bude pata hráze návodního líce opevněna lomovým kamenem v celé své délce, aby byla zajištěna stabilita hráze při zvýšených povodňových průtocích. V části od silniční komunikace po zavázání hráze do terénu (ř. km 0,290 – 0,722) bude pata návodního líce opevněna lomovým kamenem v délce 70 m. Kóta koruny hráze bude jednotná o hodnotě 201,00 m n. m. a bude mít šířku 4,0 m. Koruna bude zpevněna geobuňkami prosypanými štěrkokodrtí pro možný pohyb mechanizace. Převýšení kóty koruny hráze je navrženo 0,8 m nad hladinou při průtoku Q_{100} . Výška hráze se pohybuje v rozmezí 1,0 m – 5,0 m. Sklon svahu návodního líce bude 1:3,5 a vzdušného líce 1:3. Svahy budou ohumusovány a osety travním semenem. Hráz byla navržena v parametrech hráze suché nádrže pro případ, že by v budoucnu došlo k výstavbě suché nádrže Hrušky (ETAPA II). Ve vzdušné patě hráze je navržen patní drén. Hráz bude plynule navazovat na pravobřežní hráz toku Litavy. V násypu hráze budou zhotoveny sjezdy ve sklonu 1:8 pro přístup do nivy toku.

PARAMETRY:

- Materiál: Homogenní zemní hráz
- Návrhový průtok: $Q_{100} = 56 \text{ m}^3/\text{s} + \text{převýšení } 0,8 \text{ m nad hladinou } Q_{100}$
- Celková délka hráze: 560 m
- Šířka koruny hráze: 4,0 m
- Kóta koruny hráze: 201,00 m
- Výška hráze: 0,1 m – 5,0 m
- Sklon návodního svahu: 1:3,5
- Sklon vzdušného svahu: 1:3
- Opevnění: Patka návodního líce lomovým kamenem
- Zpevnění koruny hráze: Geobuňky prosypané štěrkokodrtí

Skluz v ř. km 0,287

V místě stávajícího jezu, který bude odstraněn a bude zhotoven nový skluz v ř. km upravené osy toku 0,287. Skluz bude migračně prostupný a bude mít charakter rybího přechodu. Ve dně skluzu jsou navrženy balvany o hmotnosti nad 500 kg/ks. Kameny budou výšky 1,2 m a do 2/3 výšky budou prolity betonem. Mezi kameny jsou navrženy štěrby pro migrační prostupnost živočichů na průtok $Q_{300d} = 57 \text{ l/s}$. Skluz bude překonávat výšku 0,8 m, délka skluzu je navržena 16 m a bude veden ve sklonu 1:20. Před i za skluzem bude opevněno dno lomovým kamenem v délce 3 m. Svahy skluzu budou opevněny lomovým kamenem a budou mít sklon 1:2. Šířka skluzu ve dně je navržena 4 m.

PARAMETRY:

- Délka skluzu: 16 m
- Sklon skluzu: 1:20
- Opevnění: Lomový kámen, kaskády

7.4.4 ETAPA II. – SO 08 Suchá nádrž

Hráz

Dojde k protažení hráze suché nádrže přes koryto toku Litava a její zavázání do stávajícího terénu na levém břehu koryta toku v délce 115 m. Tímto vznikne prostor pro plánovanou zátopu při povodňové události. Prodloužená hráz suché nádrže bude mít stejné parametry jako pravobřežní hráz na toku Rakovec. Kóta koruny hráze bude jednotná o hodnotě 201,00 m n. m. a bude mít šířku 4,0 m. Koruna bude zpevněna geobuňkami prosypané štěrkodrtí pro možný pohyb mechanizace. Převýšení kóty koruny hráze je navrženo 0,8 m nad hladinou při průtoku Q_{100} . Výška hráze se pohybuje v rozmezí 1,0 m až 5,0 m. Sklon svahu návodního líce bude 1:3,5 a vzdušného líce 1:3. Svahy budou ohumusovány a osety travním semenem. V násypu hráze budou zhotoveny sjezdy ve sklonu 1:8 pro přístup do nivy toku.

Kóta maximální hladiny suché nádrže bude 200,20 m n. m., převýšení koruny hráze bude 800 mm nad maximální hladinou. Zatopená plocha suché nádrže při maximální hladině bude 430 tis m² a její objem bude 640 tis m³. V blízkosti místa zavázání hráze do terénu je předpoklad umístění nouzového přelivu na kótě 200,20 m n. m. v délce 20 m v návaznosti na korunu hráze ve sklonu 1:8 (možnost pojezdu mechanizace při údržbě). Kapacita nouzového přelivu je cca 26 m³/s. Přeliv bude opevněn rovinaninou z lomového kamene. Vzdušná pata pod nouzovým přelivem bude opevněna směrem ke korytu toku lomovým kamenem. (viz. Příloha A.9. Vzorový příčný řez nivou Rakovce - hráz suché nádrže).

PARAMETRY:

- Materiál: Homogenní zemní hráz
- Návrhový průtok: $Q_{100} = 56 \text{ m}^3/\text{s} + \text{převýšení } 0,8 \text{ m nad hladinou } Q_{100}$
- Délka prodloužení hráze: 115 m
- Šířka koruny hráze: 4,0 m
- Kóta koruny hráze: 201,00 m
- Výška hráze: 0,1 m – 5,0 m
- Sklon návodního svahu: 1:3,5
- Sklon vzdušného svahu: 1:3
- Opevnění: Patka návodního líce lomovým kamenem
- Zpevnění koruny hráze: Geobuňky prosypané štěrkodrtí
- Hráz bude opatřena nouzovým přelivem

Nádrž

Samotná suchá nádrž Hrušky bude plnit funkci ochrannou. Celkový záchytný prostor suché nádrže je 640 tis. m³. Záchytný prostor nádrže bude tvarován od konce levé bermy koryta toku Rakovce a na pravém a levém břehu koryta toku Litavy. Transformační schopnost nádrže pokud funguje, jako samotný celek je zanedbatelná. Průtok při $Q_{100} = 56 \text{ m}^3/\text{s}$ a transformační průtok je 55,99 m³/s. Transformační účinek nádrže by měl smysl pouze v součinnosti s ostatními nádržemi, které jsou plánované ve studii Litava II (jedná se o suché nádrže Zbýšov a Vážany). [31]

Kóta maximální hladiny při Q_{100} je 200,20 m n. m. Zadržovaný objem nádrže při H_{max} je 640 tis. m³. Zatopená plocha při H_{max} je 430 tis. m².

PARAMETRY:

- Dlouhodobý průměrný průtok: $Q_{aRAKOVEC} = 265 \text{ l/s}$, $Q_{aLITAVA} = 781 \text{ l/s}$
- Povodňová vlna při Q_{100} : $5,3 \text{ mil. m}^3$
- Kóta dna nádrže: $195,6 \text{ m n. m.}$
- Kóta maximální hladiny: $H_{max} = 200,20 \text{ m n. m.}$
- Objem při H_{max} : 640 tis. m^3
- Zatopená plocha při H_{max} : 430 tis. m^2

Žlabový bezpečnostní přeliv**PARAMETRY:**

- Návrhový průtok: $Q_{100} = 56 \text{ m}^3/\text{s}$
- Kapacita BP: $Q = 56,3 \text{ m}^3/\text{s}$
- Délka přelivné hrany: $71 \text{ m} = 2 \times 35,5 \text{ m}$
- Kóta přelivné hrany: $199,70 \text{ m n. m.}$
- Přepadová výška: $0,5 \text{ m}$

Spadiště**PARAMETRY:**

- Délka: $35,5 \text{ m}$
- Šířka: $6,2 \text{ m}$
- Hloubka: $4,1 \text{ m}$
- Světlost diafragmy: $2,8 \text{ m}$

7.4.5 ETAPA II. – SO 09 Revitalizace toku Litava a jeho nivy

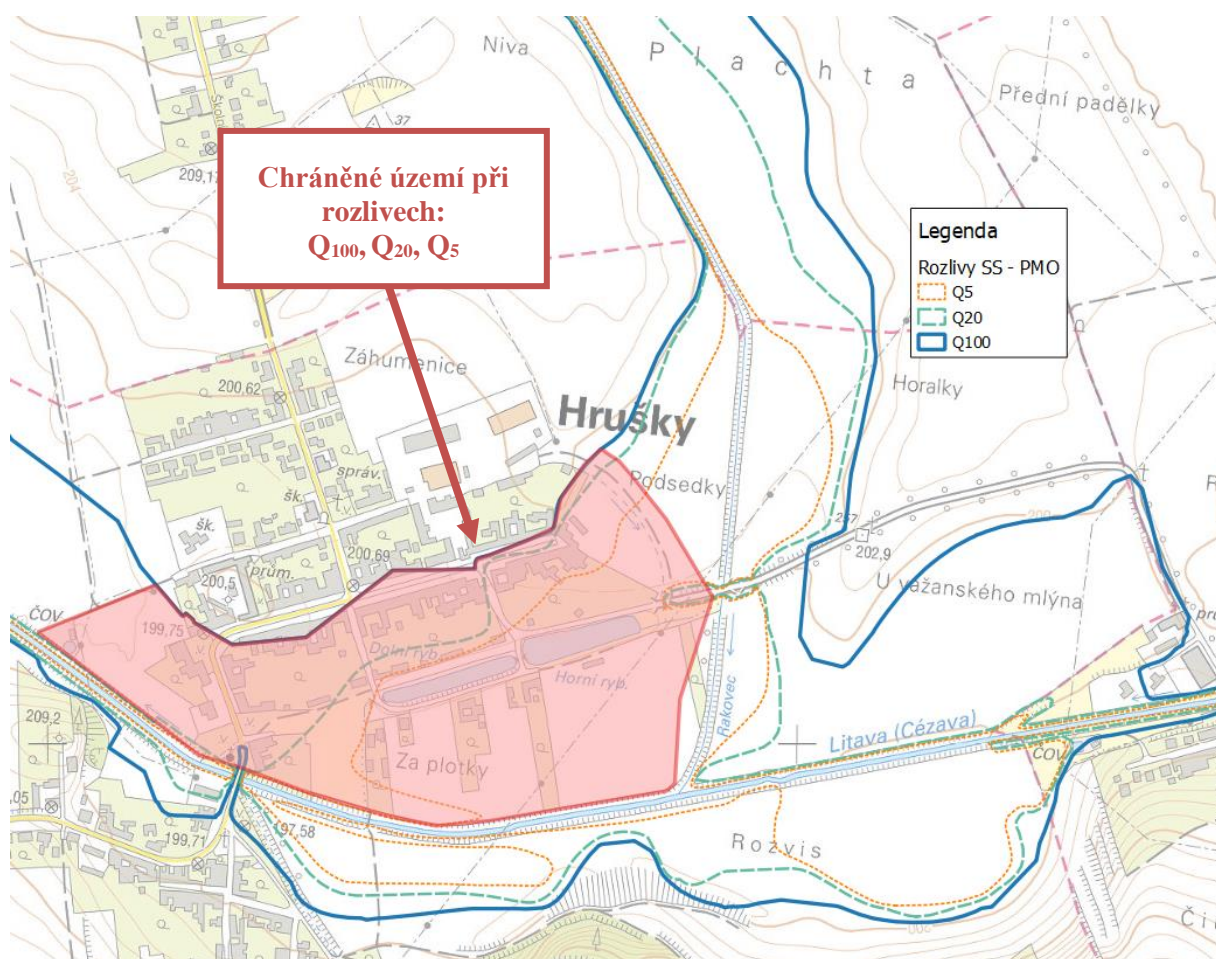
Dojde k odstranění stávajících hrází na levém i pravém břehu. Revitalizace toku a jeho nivy je navržena v délce 648 m, tj. na ř. km 20,460 – 21,108. Úprava má charakter přírodě blízkého opatření. Meandrující kyneta má navrženo dno průměrné šířky 5,0 m s přichylováním proudnice k nárazovým břehům, což bude mít za následek strmější nárazový břeh a mírnější jeseťový břeh. Sklony břehů budou proměnlivé tvarovány do sklonu od 1:1 po 1:5. U nárazových břehů je předpoklad vytvoření tůní, které budou mít pozitivní vliv především v době sucha, kdy se v tůních bude soustředit zachycená voda. V místě přechodů mezi oblouky (v mezipřímých úsecích) budou vytvořeny kamenité brody. Dále bude uvažováno s volným vývojem toku. Kyneta hloubky 1,2 m je navržena na průtok $Q_1 = 6,3 \text{ m}^3/\text{s}$. Po trase je možné navrhnout také ostrůvky s ozeleněním. Stávající dřeviny budou z důvodu stavebních prací odstraněny. Vzhledem k tomu, že primárním účelem je ponechání koryta jeho přirozenému vývoji, nebude koryto toku opevňováno. S opevněním je počítáno pouze u konkávních oblouků blízkých se k místu budoucí plánované trasy cyklostezky. Bude zde provedena výsadba bezúdržbové zeleně. Po obou březích (bermách) bude umožněn přístup pro údržbu.

V místě stávajícího napřímeného koryta je uvažováno s vytvořením tůní. Tůně budou nepravidelného tvaru s členitým litorálem o velikosti cca 50 až 100 m² a maximální hloubce 0,5 až 0,8 m. Sklony břehů budou navrženy mírné 1:3 až 1:8 s pozvolným litorálem 1:5 až 1:8. Dřeviny náhradní výsadby budou vysázeny prioritně na severní či východní straně tůní, větší část každé tůně zůstane osluněná. Tůně nebudou dalšími rostlinami osazovány (travo-bylinné).

Terén kolem koryta toku bude vyprofilován směrem ke korytu toku, čímž dojde ke zvětšení záchytného objektu suché nádrže Hrušky.

PARAMETRY:

- Návrhový průtok kynety: $Q_1 = 6,3 \text{ m}^3/\text{s}$
- Hloubka kynety: 1,2 m
- Prům. šířka dna kynety: 5,0 m
- Sklony svahů: Proměnlivé (1:1-1:5)
- Opevnění: Konkávní břeh u cyklostezky – lomový kámen
- Tůně: Vytvoření tůň v místě stávajícího koryta toku
- Cyklostezka: Není předmětem práce

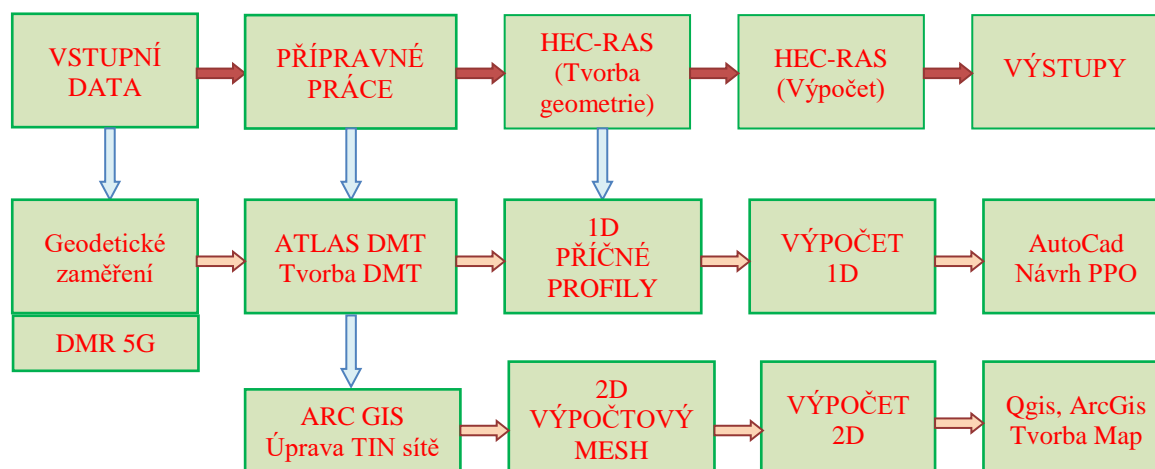


Obr. 7.2 Vyznačeno chráněného území při průtoku Q_{100} o rozloze cca $0,24 \text{ km}^2$

Vlivem výstavby navržených opatření bude ochráněno území o rozloze cca $0,24 \text{ km}^2$ (obr. č. 7.2).

Stavba je navržena v souladu s platnými požadavky a předpisy a je zde brán zřetel na minimalizaci negativních vlivů na okolí. Výstavbou protipovodňového opatření dojde k bourání konstrukcí, které brání ve výstavbě (např. stávající jezová konstrukce). Stavba svou konstrukcí pozitivně ovlivní odtokové poměry v dané lokalitě, zajistí bezpečné převedení zvýšených a povodňových průtoků.

8 POSTUP ŘEŠENÍ PRÁCE



Obr. 8.1 Schéma postupu práce

8.1 POUŽITÝ SOFTWARE

Pro zpracování řešené problematiky byly použity programy: AutoCad 2017, HEC-RAS 5.0.6, QGIS 2.18, ArcGis 10.5, Atlas DMT.

8.1.1 HEC-RAS 5.0.6

Jak vyplývá z názvu: Hydrologic Engineering Center - River Analysis System (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 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 program značně usnadní práci. Objekty je možno zadávat jako stavby liniové či napříč toku. Mezi objekty patří např.: jezy, stupně, prahy, mosty, propustky, aj.

Při tvorbě geometrie pro 2D model proudění lze s výhodou využít i mapové podložení digitálního modelu terénu, z kterého jsou později přebírány informace o terénu.

Tato práce byla zpracovaná ve verzi HEC-RAS 5.0.6. Informace k programu byly převzaty z hydraulického manuálu programu HEC-RAS 5.0. [28]

8.1.2 Atlas DMT

Jedná se o program vyvíjený českou společností Atlas, s.r.o [29]. Společnost byla založena roku 1990 a v současné době sídlí v Praze na Bohdalici.

Software pracuje s grafickým prostředím určeným pro inženýrské činnosti. Hlavní využití programu je pro práci s naměřenými výškovými daty např. ve formě textových souborů obsahujících souřadnice X, Y a Z. Program disponuje typovými výkresy určené např. pro vodní hospodářství a krajinné inženýrství. Tvorba digitálního modelu terénu je zde zastoupena širokou škálou různých funkcí a nástrojů. Po vytvoření modelu terénu lze exportovat příčné a podélné řezy a následně počítat kubatury zemních prací.

Software je distribuován v několika nástavbách: Toky, Cesty, DMT, Eroze.

Nástavba **eroze** je schopna spočítat plošný splach půdy za rok nebo určit odtokové poměry daného území pomocí kapkového režimu.

Nástavba **toky** je užitečná pro vytváření geometrických výstupů do programu HEC-RAS. Lze zde vyexportovat hotovou osu s příčnými profily a vzdálenostmi mezi nimi ve formátu geometrie pro HEC-RAS. Geometrii tedy stačí jen naimportovat. Také zde lze vytvářet vzorové příčné řezy koryta a jejich podrobné podélné profily.

Nástavba **DMT** zpracovává výškové údaje a vytváří interpolaci mezi trojúhelníky digitální model terénu ve formátu TIN. Model terénu lze upravovat například definováním povinných spojnic a hran.

Program umožňuje export výsledků např. do formátu: TIFF, TIN, TXT, DXF, DGN a další. Program je také opatřen FREE verzí, která slouží pouze k prohlížení vytvořených údajů.

Informace o tomto programu byly přejaty z vlastní pracovní zkušenosti a manuálu přiloženém k licenčnímu klíči.

8.2 POSTUP PŘI VYPRACOVÁVÁNÍ

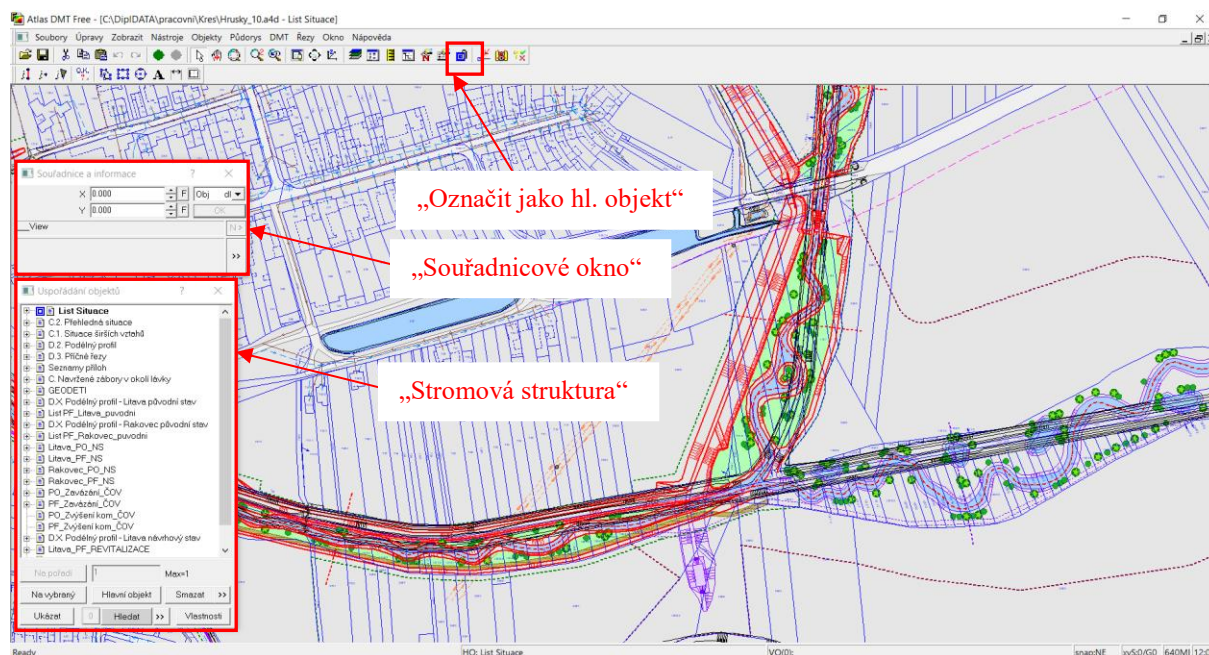
8.2.1 Práce v programu Atlas DMT

Cílem práce v tomto programu bylo získání digitálního modelu terénu a vytvoření 1D geometrie pro nadcházející výpočty. Jako další výstup z tohoto programu byly příčné a podélné profily tedy přílohy A.3. až A.6.

Pracovní prostředí programu

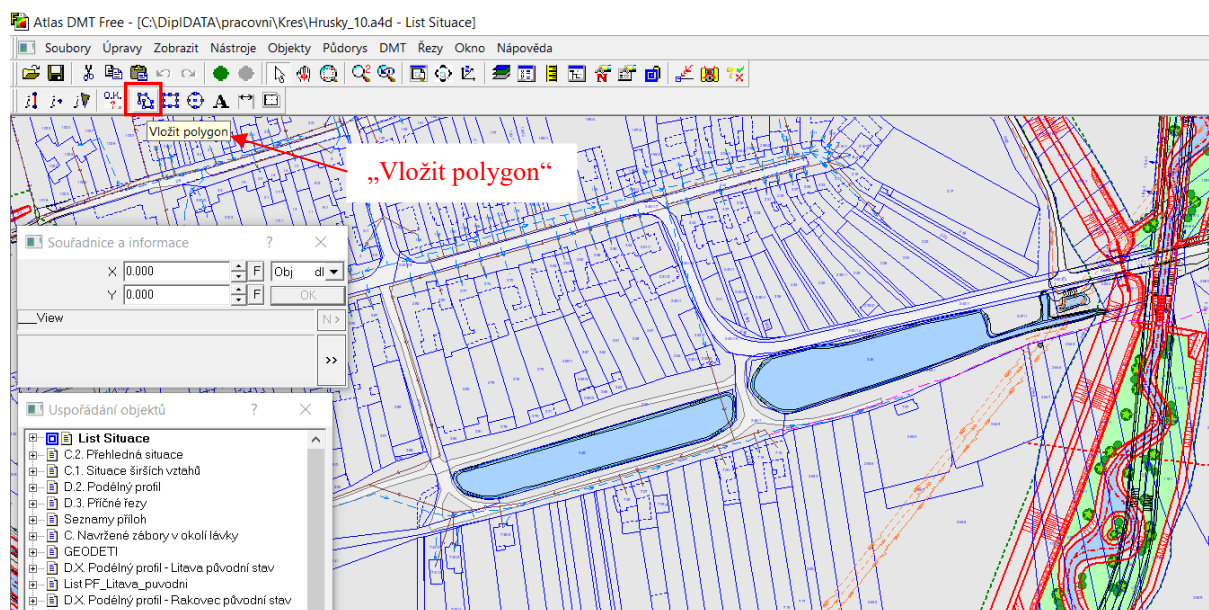
Program Atlas pracuje v podobném prostředí jako programy GIS. Bylo nutno brát na pamětnou, že program pracuje ve stromové struktuře veškerých prvků, které jsou v něm vytvořeny a do něj vkládány. Nejdůležitější ikonou je ikona „označit jako hlavní objekt“. Tato ikona určuje prioritu označeného objektu a pod něj lze vkládat ve stromové struktuře další objekty, které potom po označení objektu, který byl označen jako „hlavní“ lze ovládat společně. Za hlavní kreslicí prvek se považuje ikona „vložit polygon“. Ikona slouží pro vykreslení například osy toku. Na levém okraji pracovního prostředí se nachází 2 okna. Tato okna slouží pro orientaci ve stromové struktuře a ke zjištění informací o souřadnicovém systému, souřadnicích, staničení a délkách prvků (obr. 8.2).

Diplomová práce



Obr. 8.2 Pracovní prostředí programu Atlas DMT – pohled na list situace

Na obr. 8.2 lze vidět pracovní prostředí programu Atlas DMT. Lze zde vidět graficky znázorněný návrh výše zmíněného PPO.

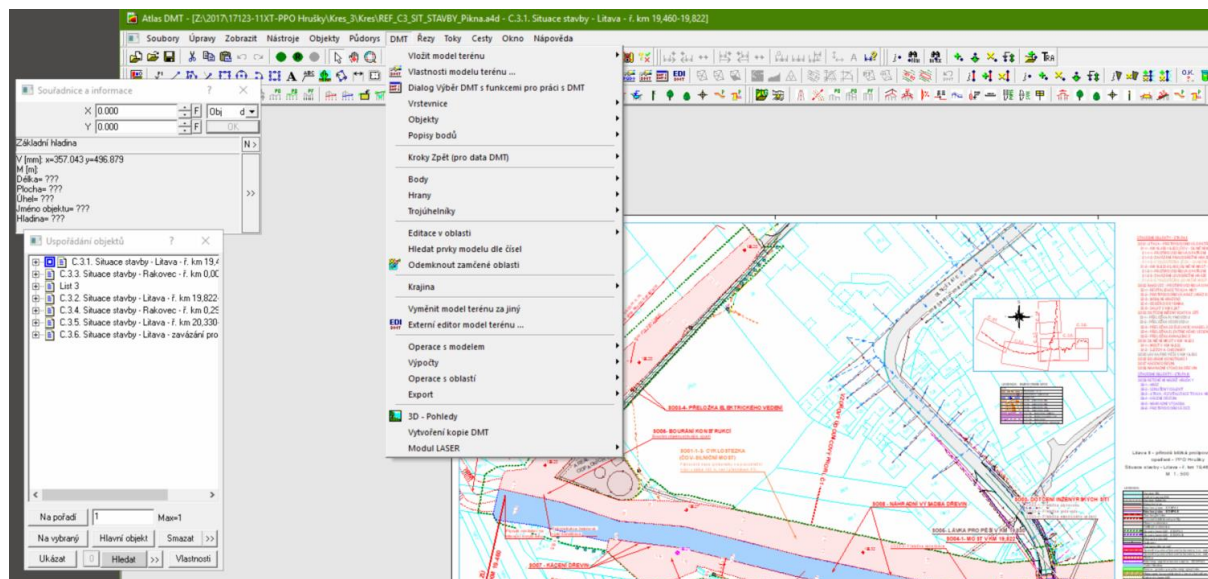


Obr. 8.3 Ikona pro vložení kreslicího prvku polygonu

Tvorba DMT

Nejprve bylo nutné zpracovat naměřená data geodety. Geodetická kancelář zaslala díky dlouhodobé spolupráci s projekční firmou Regioprojekt Brno, s.r.o. [38], model terénu ve formátu importovatelném do prostředí Atlasu. Dále byl model terénu upraven dle rekognoskace místních podmínek. Jednalo se především o upravení hran koryta toků a objektů nacházejících se v řešeném úseku toku viz. kap. 6.8.3.

Pro tvorbu DMT existuje v Atlasu několik nástrojů. Lze určit jakým způsobem budou zdrojové data pro tvorbu nahrávány (obr. 8.4). Pro práci byla zvolena možnost nahrání souboru ve formátu PBD. Tento soubor byl vytvořený geodetickou kanceláří. [32]



Obr. 8.4 Možnosti nahrání zdrojových dat pro tvorbu DMT

Po nahrání zdrojových dat, bylo přistoupeno k vytvoření trojúhelníkové sítě modelu. Tuto síť si program na základě vstupních dat a daných parametrů vytvořil sám. Jakmile byla síť vytvořena, byla nutná její kontrola a správné určení lomových hran, povinných a hladkých spojnic. Povinné spojnice a lomové hrany byly zadávány v místě hrany a paty koryta toků. Hladké spojnice např. v místech kanalizačních výústí do toků. Dále k modelu vytvořeném ze zaměření od geodetů byl přidán DMR 5G. [18]

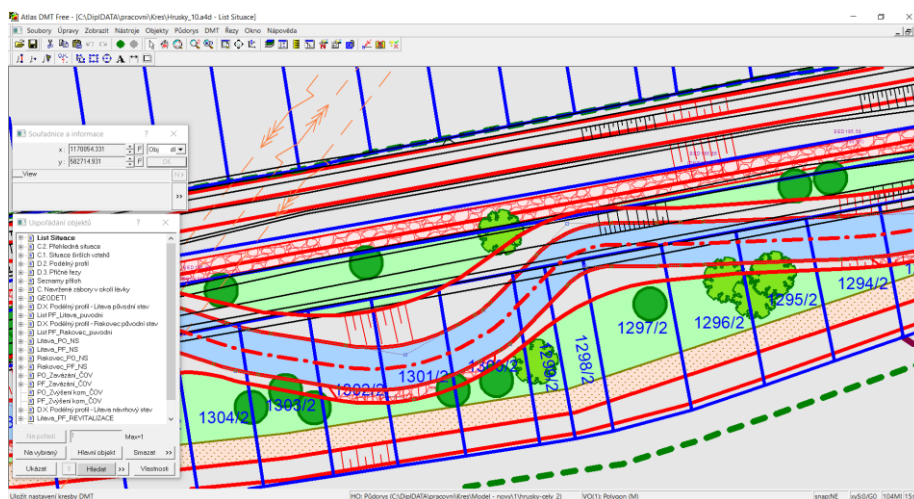
Takto vytvořený digitální model terénu, posloužil k tvorbě příčných a podélných řezů koryt toků.

Tvorba příčných a podélných profilů

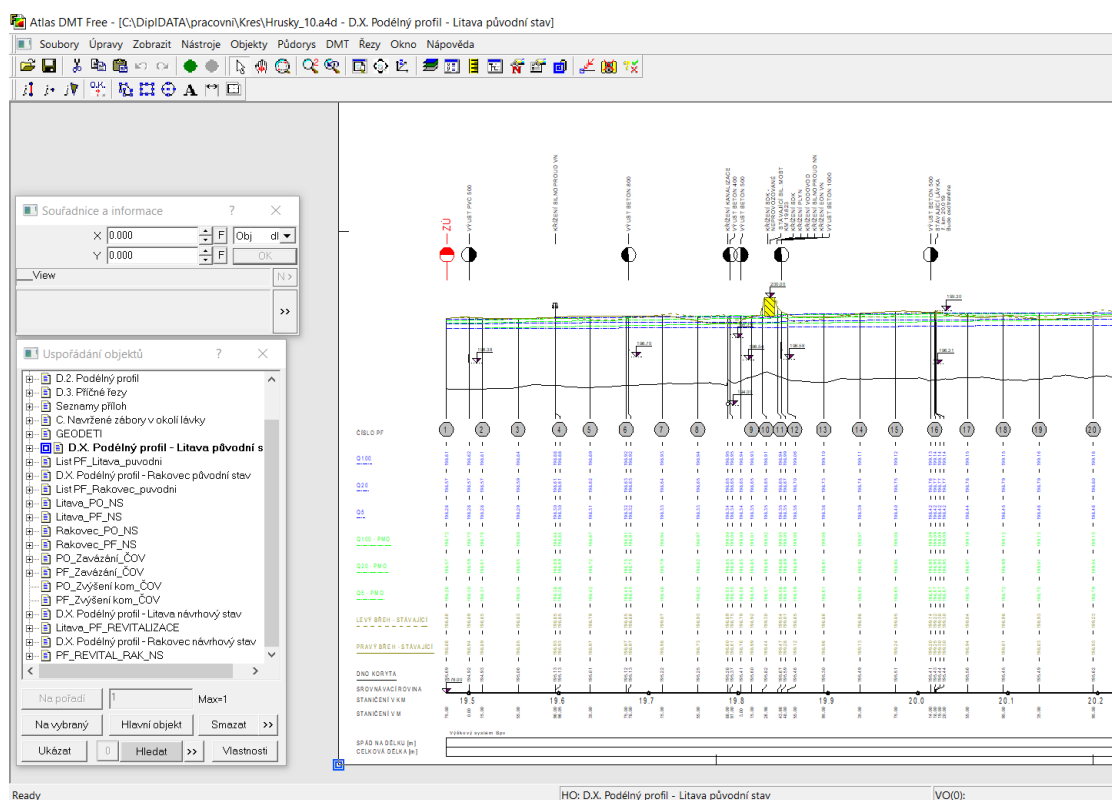
Příčné a podélné profily byly vytvořeny na základě osy polygonu toku. Atlas nabízí možnost „*tvorby stop příčných řezů*“ po libovolném staničení nebo po rozsahu staničení. Příčné profily pro 1D model v programu HEC-RAS byly vytvořeny v rozsahu cca 30 až 40 m (obr. 8.5 a 8.6). Příčné profily byly tvořeny pouze pro tvorbu geometrie výpočetního modelu.

Podélný profil koryta toku je závislý na ose polygonu toku. Jakmile se pohne s osou toku, mění se v závislosti na modelu terénu její niveleta. Do podélného profilu lze vkládat: profily, popisy výústí a křížení inženýrských sítí, měnit rozsah staničení a nebo vkládat hladiny při různých N-letostech.

Podélné profily jsou výstupem příloh A.3 až A.6



Obr. 8.5 Polygon osy koryta toku



Obr. 8.6 Ukázka podélného profilu koryta toku v programu Atlas

Takto vytvořené profily mohly být vyexportovány jako formát geometrie HEC-RAS a použity pro výpočet 1D modelu proudění. Tato skutečnost je značné usnadnění tvorby geometrie v programu HEC-RAS, kde editor geometrie není snad uživatelsky přívětivý.

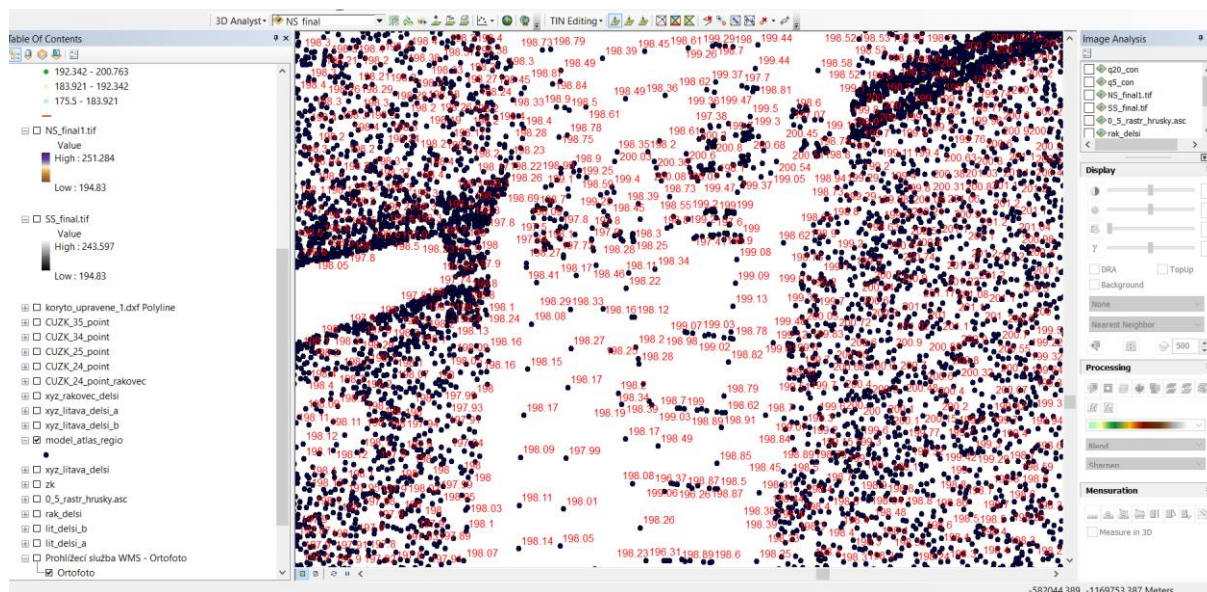
8.2.2 Práce v programu ArcGIS 10.5

Výstupem práce v tomto programu bylo vytvoření polygonů využití území, úpravě digitálního modelu terénu z Atlasu, vytvoření digitálního modelu terénu pro batygrafické čáry a tvorba hloubek a rozlivů.

Úprava DMT

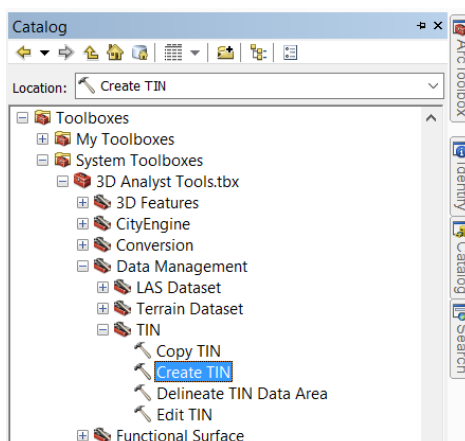
Digitální model terénu vytvořený programem Atlas DMT bylo nutné upravit. Program Atlas vytvořil model terénu pro současný stav a návrhový stav modelu terénu byl vytvářen pomocí interpolovaných příčných profilů, které byly vyexportovány v bodové podobě do programu ArcGis. Zde byl vytvořen model terénu pro návrhový stav, který byl doplněn o body z DMR 5G o oblast, která nebyla zaměřena geodety.

Body pro vytvoření terénu obsahovaly souřadnice X, Y a Z v souřadném systému S-JTSK (obr. 8.7). Body byly vyselektovány a protříděny selekčními nástroji programu ArcGis, tak aby bylo umožněno správné vytvoření modelu.



Obr. 8.7 Ukázka bodového pole modelu terénu

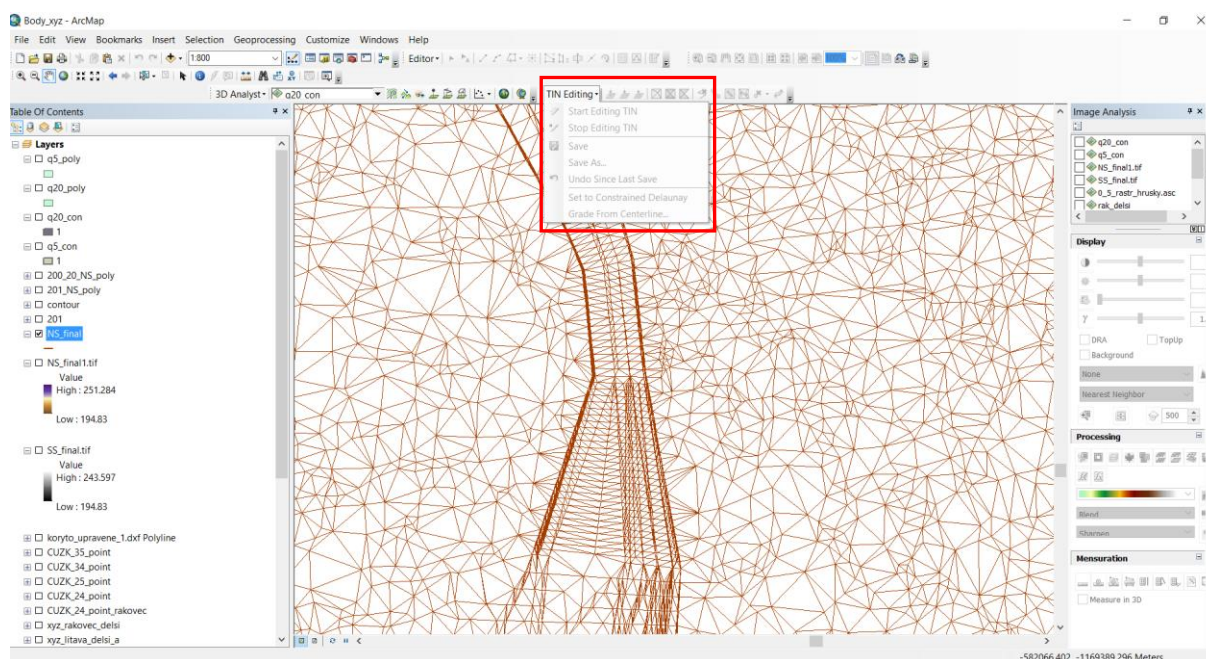
Po správné selekci a úpravě bodů mohl být pomocí funkce „Create TIN“ vytvořen model terénu ve formě trojúhelníkové sítě TIN (obr. 8.9)



Obr. 8.8 Nástroj vytvoření modelu terénu

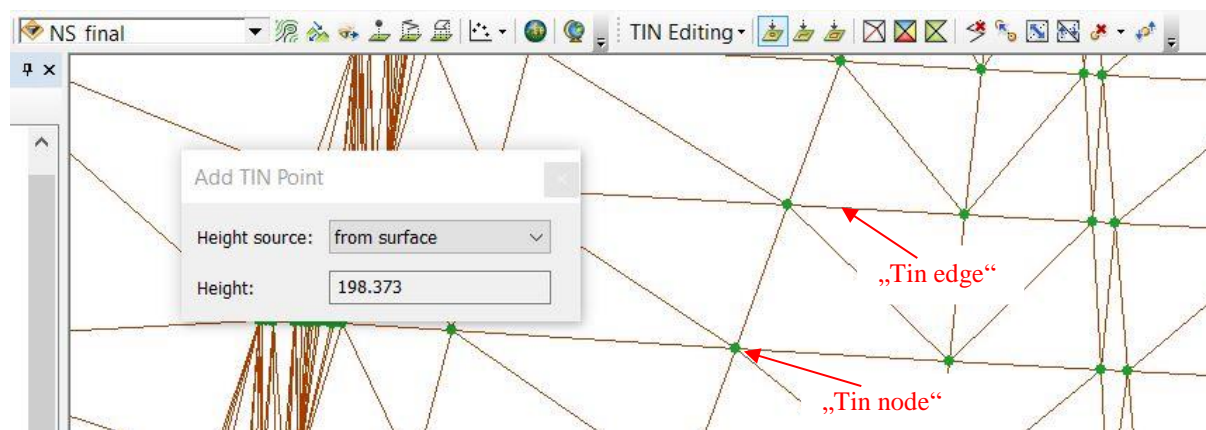
Po vytvoření terénu byla nutná jeho kontrola a případné odstranění a doplnění bodů do reálného stavu. Síť TIN je tvořena prvky: *tin edges* a *tin nodes*. Pomocí položky „TIN Editing“ byla zahájena jeho editace.

Tin edges jsou hrany trojúhelníků tvořící síť modelu. Jejich posunem, anebo odstraněním je možno měnit tvar modelu terény. Hrany jsou napojeny na jednotlivé **Tin nodes**, což jsou vlastně body modelu terény obsahující nadmořskou výšky. Body jsou pospojovány hranami (Tin edges) a jejich editací lze dosáhnout požadovaného tvaru (obr. 8.9).



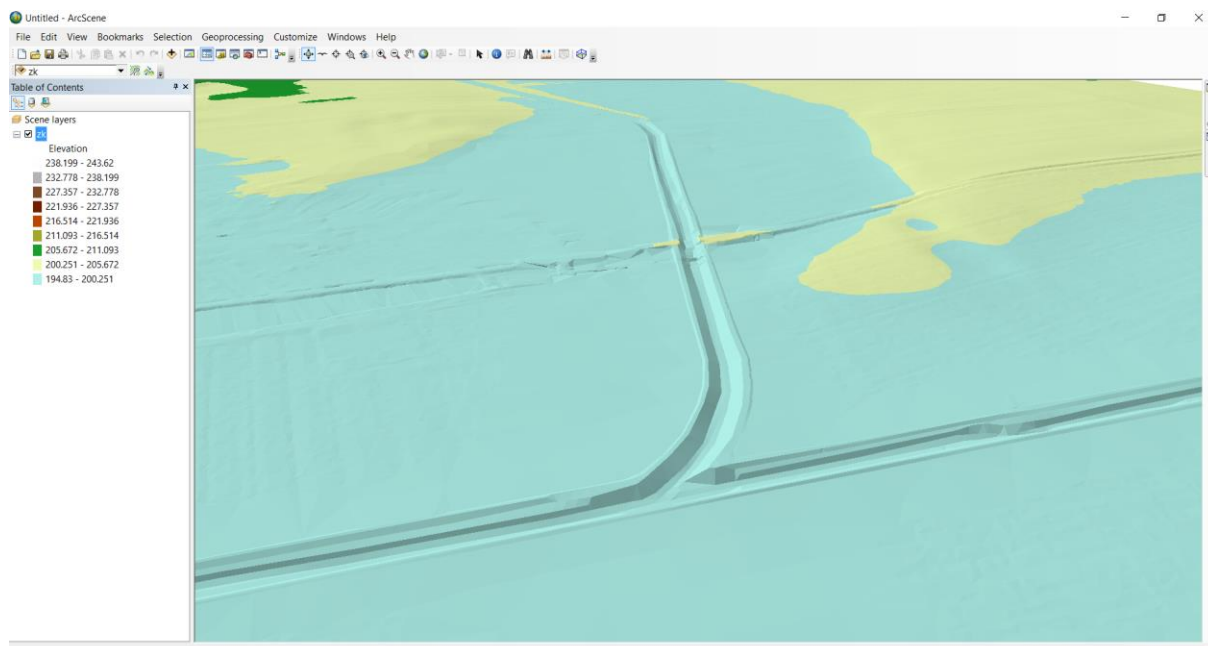
Obr. 8.9 Položka pro spuštění nástroje editace terény

Po aktivování položky se zobrazí možnost editace např.: přidat bod či hranu modelu, změnit nadmořskou výšku bodu (obr. 8.10).



Obr. 8.10 Možnosti editace modelu terény

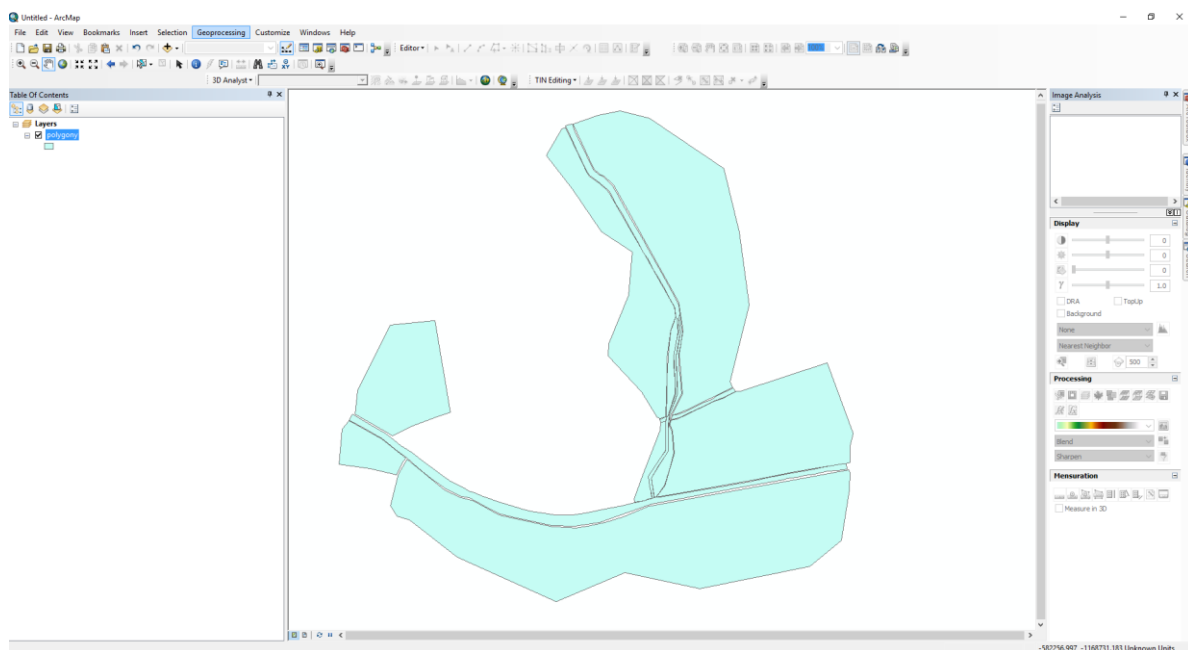
Tímto způsobem byl vytvořen finální model terény (obr. 8.11) jak pro současný, tak i pro návrhový stav. Model ve formátu TIN byl převeden na formát rastru. Rastrový formát modelu terény lze importovat do programu HEC-RAS [28]. Model terény pro batygrafické křivky byl vytvořen obdobným způsobem.



Obr. 8.11 Ukázka 3D modelu terénu v programu ArcScene – současný stav soutoku Litavy s Rakovcem

Polygony využití území

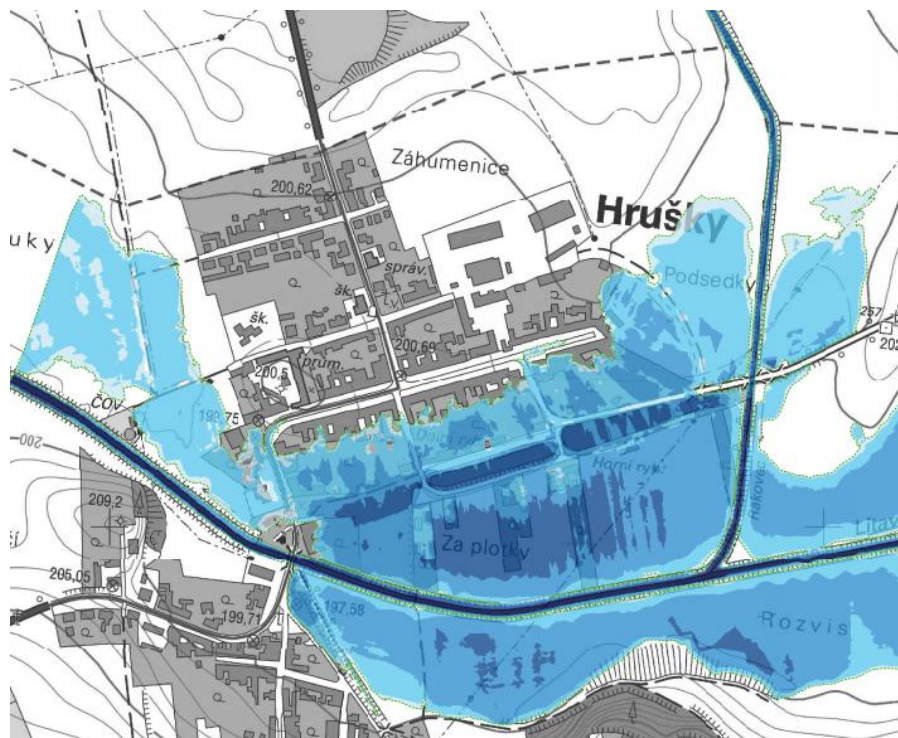
Polygony využití území (obr. 8.12) slouží pro určení plošné drsnosti pro výpočet proudění na 2D modelu v programu HEC-RAS. K vytvoření byla použita základní mapa ČR v měřítku 1:10 000 pro rozpoznání území a také ortofoto mapa. Důležitým faktorem při tomto určování drsností ve formě polygonů, byla nezbytná pochůzka a seznámení s územím.



Obr. 8.12 Polygony využití území

Tvorba Map hloubek a rozlivů

Pomocí editačních funkcí a funkcí ArcToolboxu byly editovány rastrové výstupy hloubek z programu HEC-RAS do formy Map hloubek a rozlivů (obr. 8.13). Mapové výstupy jsou pro současný stav obsaženy v přílohách B.1. až B.4. a pro návrhový stav v přílohách C.1. až C.4.



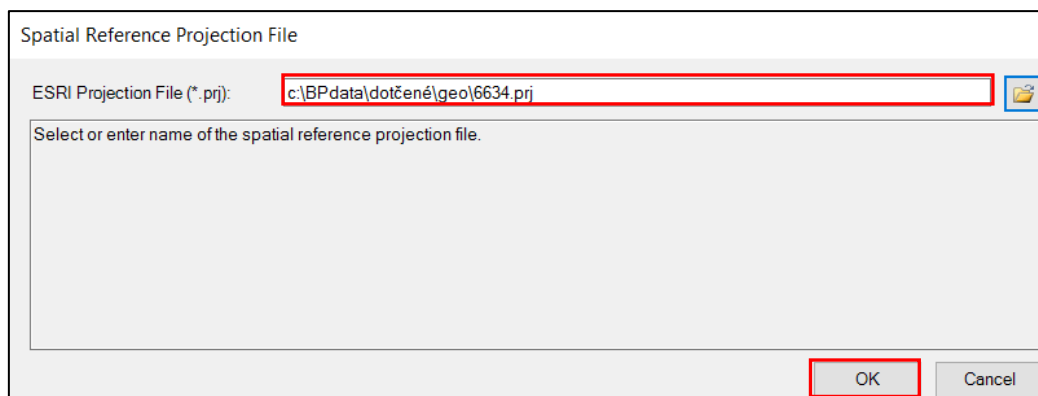
Obr. 8.13 Příklad Mapy hloubek

8.2.3 Práce v programu HEC-RAS 5.0.6

V programu HEC-RAS byl výpočet simulován pomocí 1D a 2D numerického modelu proudění. Tato kapitola stručně objasňuje, jak byl vytvářen 2D model. Pomocí okna „RAS Mapper“ v hlavním okně HEC-RAS, byly vytvářeny veškeré práce spojené se vstupními daty do modelu a exportem vypočtených výsledků.

Vytvoření modelu terénu

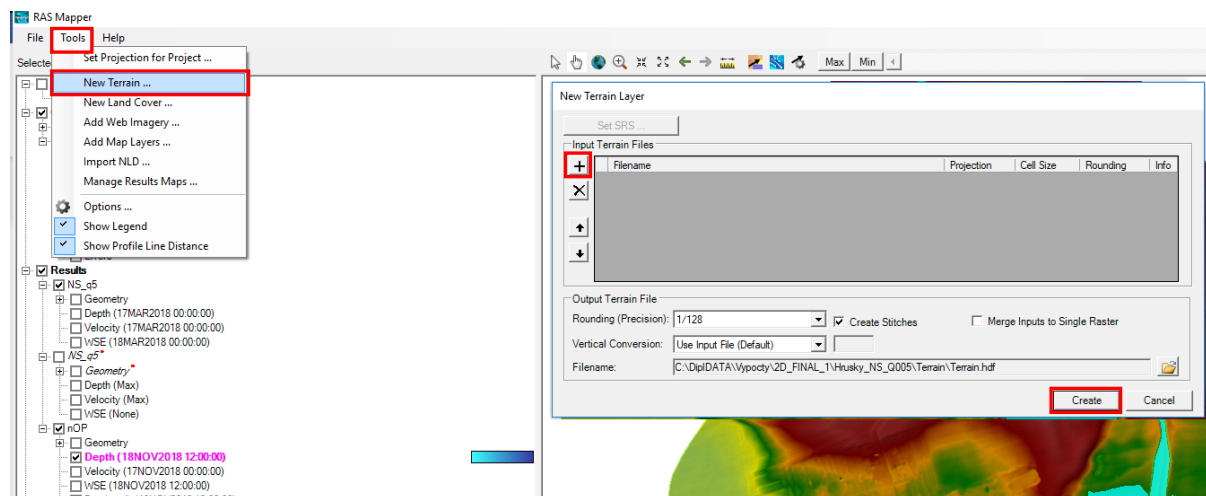
Jako první bylo potřeba nastavit správný koordinační systém. Koordinační systém se nastavuje v okně „RAS Mapper“ v záložce „Tools“. Zde se nachází záložka „Set Projection for Project“. V zobrazeném okně vybere soubor PRJ (Obr. 8.14). Je nutné vybrat takový soubor, který byl použit při vytvoření rastrového modelu terénu. V práci byl používán souřadnicový systém S-JTSK Krovak East North, EPSG 5514.



Obr. 8.14 Okno pro načtení souboru s koordinačním systémem

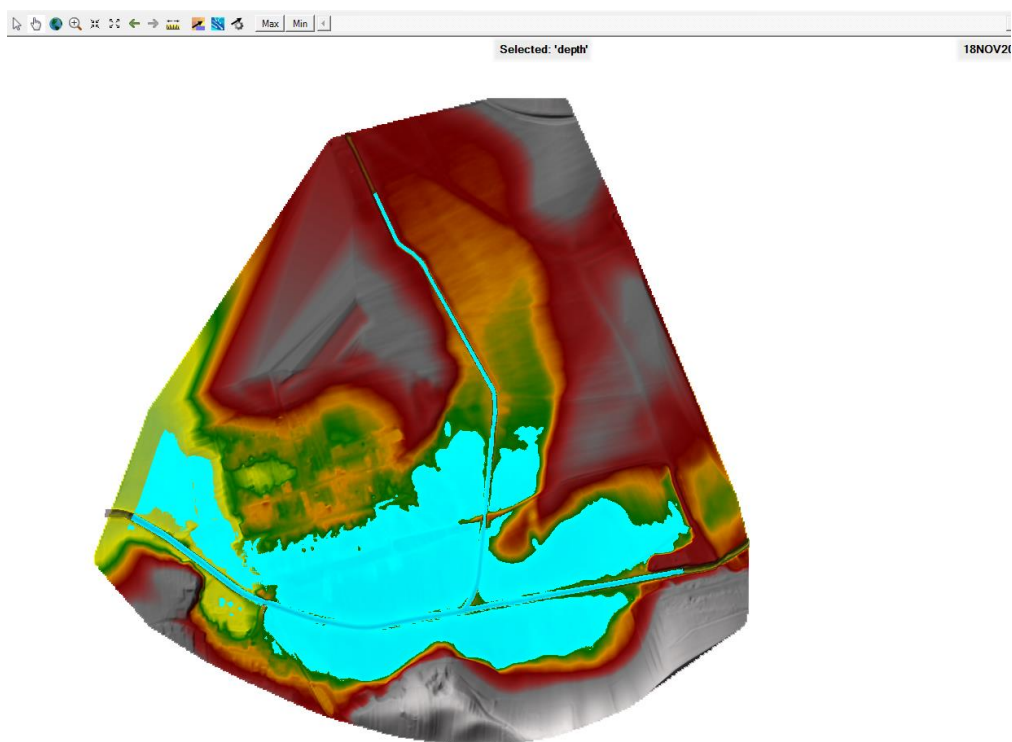
Příkaz pro vytvoření digitálního modelu terénu byl vyvolán v záložce „Tools“ (obr. 8.15). Model byl již vytvořen programem ArcGIS [30] a tvorba tohoto modelu je popsána v Kap. 8.2.2. Bylo tedy možné načíst takto vytvořený model do programu pomocí tlačítka „+“. Po kliknutí na tlačítko „Create“ si HEC-RAS vytvoří nový model terénu. Model vytvářený v programu HEC-RAS je pouze pro jeho prostředí. 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 „New Land Cover“. Dále se zde nastavil Manningův součinitel drsnosti n pro každý typ povrchu dle Tab. 9.1. HEC-RAS převádí polygony z formátu SHP na rastr. Velikost rastru načtených polygonů využití území byla zadána na velikost 1x1 m.

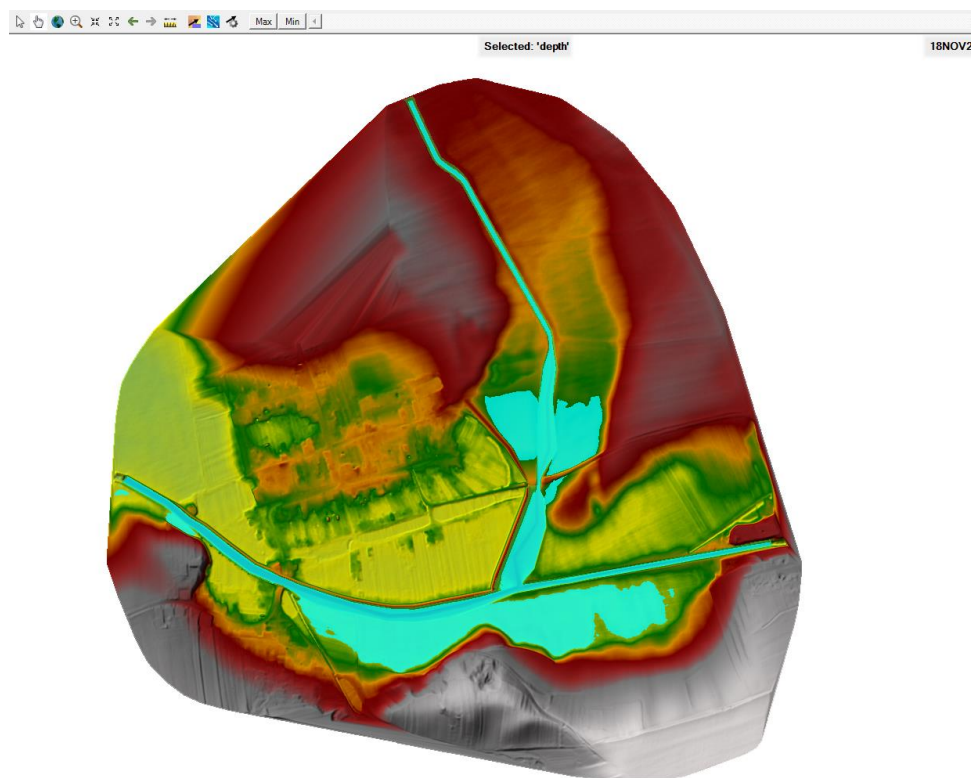


Obr. 8.15 Okno pro načtení terénních podkladů

Vytvořené digitální modely terénu v prostředí programu HEC-RAS lze vidět na (obr. 8.16 a obr. 8.17).



Obr. 8.16 Model terénu současného stavu s vypočtenou hloubkou hladiny při Q_5



Obr. 8.17 Model terénu návrhového stavu s vypočtenou hloubkou hladiny při Q_5

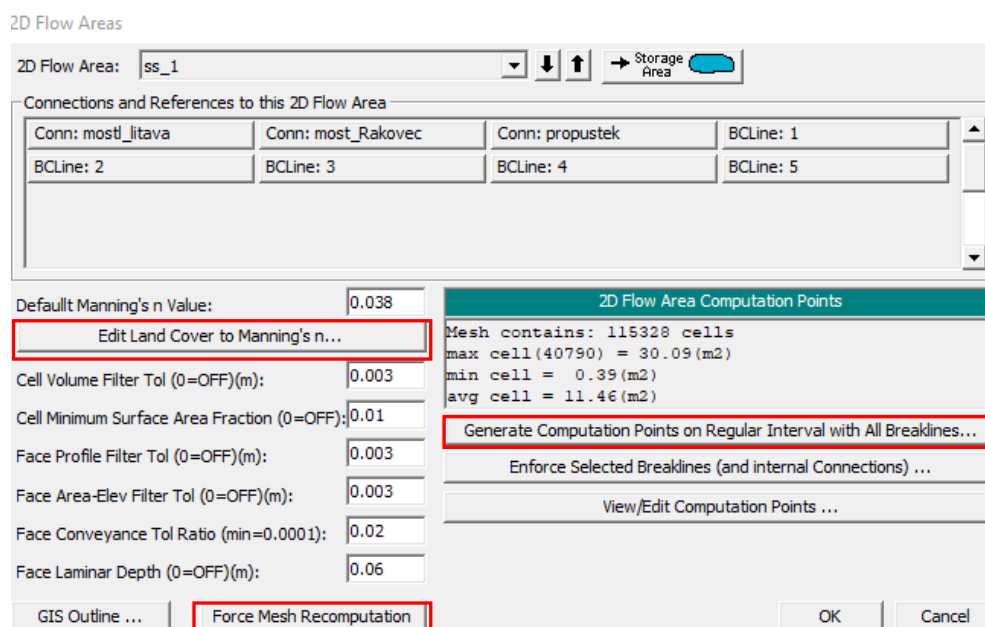
Tvorba výpočtové oblasti (Meshe)

Hranice výpočtové oblasti lze nakreslit editačními prvky geometrie. Po uzavření oblasti se vytvoří 2D výpočtový Mesh. Rozsah Meshe je bylo nutno promyslet na základě současných rozlivů. Pokud by byla oblast nakreslena větší, než je nutná, byl by výpočet náročnější na čas. Po vytvoření výpočtové oblasti byly vytvořeny stávající objekty popsané v tab. 7.2 a pomocí funkcí editoru geometrie byly vloženy jako „SA/2D Arena BC Lines“. Takto vložené linky lze definovat jako objekt. Možnosti definice objektu jsou: přeliv, propustek, obdélníkový otvor. Dále byly vytvořeny „Breaklines“ v místech lomů. Jednalo se o tyto lomy: hrana a pata svahu, dno koryta, násypy silničních tělese a koryta odvodňovacích vodotečí. Takto vytvořený a připravený Mesh bylo možno přepočítat na výpočetní síť o rozměrech buněk 4x4 m (obr. 8.18 a 8.19). Defaultní drsnost pro výpočetní oblast, kde nebyly nastaveny polygony využití, byla stanovena na hodnotu 0,038.

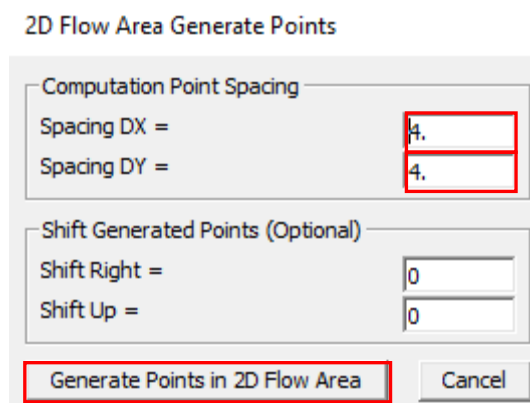
S jakýmkoliv vytvořeným objektem je zaznamenáván záznam o jeho souřadnicích v systému S-JTSK. V editoru geometrie ale i v okně „Ras Mapper“ existuje několik měřících funkcí. Základní měřicí funkcí je držení tlačítka CTRL a pomocí klikání lze docílit měřicí křivky. Takto vytvořená křivka nese informace a délce a souřadnicích. V okně „Ras Mapper“ lze vytvořit měřicí křivku pomocí „Profile lines“. Tyto křivky lze uložit a mohou obsahovat informace o řezu terén či nadmořské výšce vypočtených hladin.

PARAMETRY VÝPOČTOVÉ OBLASTI:

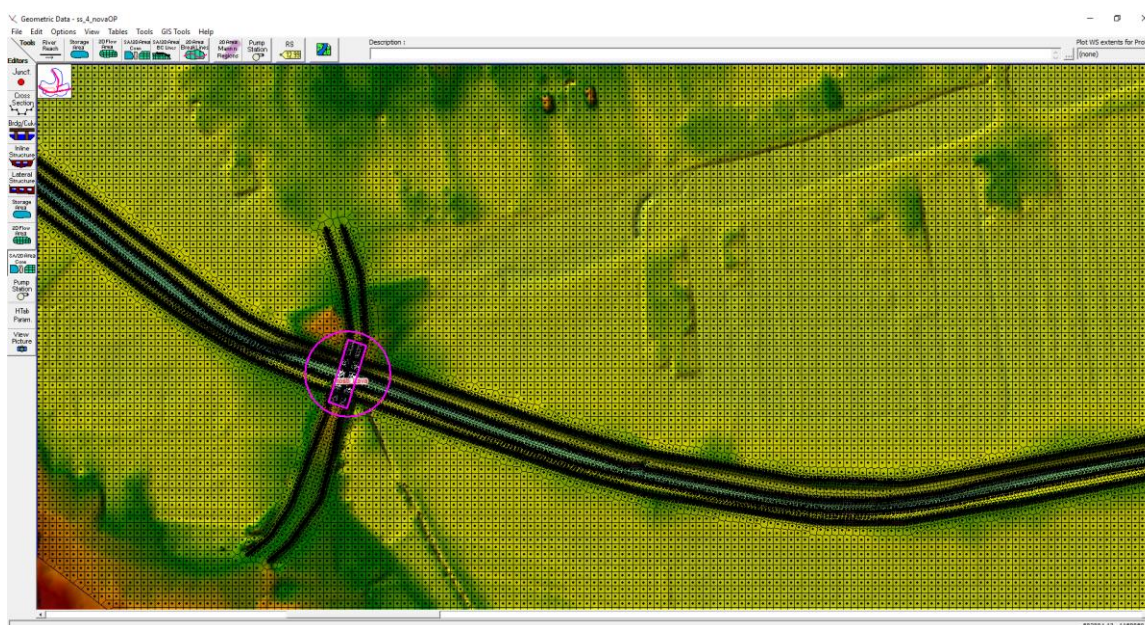
- Počet výpočtových buněk: 115 328
- Počet výpočtových oblastí: 1
- Defaultní drsnost: 0,038
- Počet/druhy objektů: 3/ silniční most, propustek



Obr. 8.18 Editor 2D oblastí



Obr. 8.19 Okno pro zadání rozměru buněk Meshe



Obr. 8.20 Výsledný 2D výpočtový Mesh

Okrajové podmínky

Okrajové podmínky byly voleny pro současný i návrhový stav totožné. Zadání okrajových podmínek proběhlo pomocí „SA/2D Arena BC Lines“ v celkovém počtu 5 (obr. 8.23).

Výpočet byl řešen 2D modelem jako neustálené nerovnoměrné proudění vody. Celkový simulační čas výpočtu byl 36 hodin.

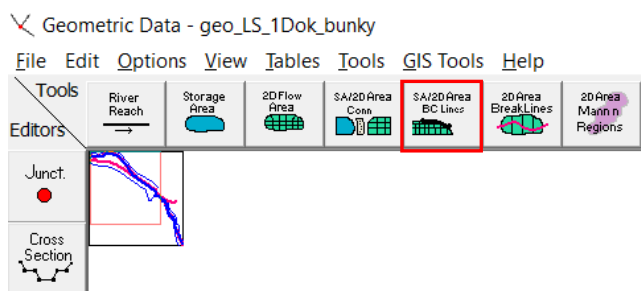
TYPY OKRAJOVÝCH PODMÍNEK POUŽITÝCH PŘI VÝPOČTU:

- **Stage hydrograph:** Známá hladina v čase
- **Flow hydrograph:** Známý průtok v čase
- **Normal Depth:** Sklon čáry energie

Podrobnější popis stanovených okrajových podmínek udává tab. 8.1.

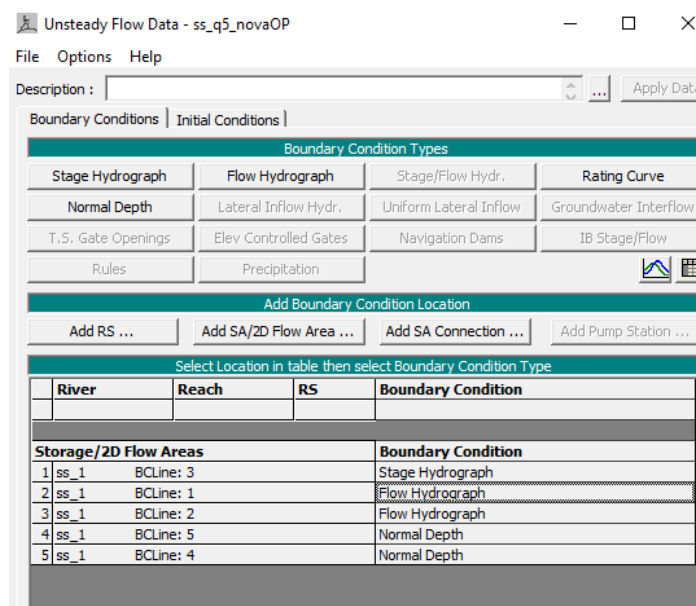
Tab. 8.1 Přehled okrajových podmínek použitých při výpočtu

BC Line	Typ OP	Data
1	Flow hydrograph	Průtok při dané N-letosti
2	Flow hydrograph	Průtok při dané N-letosti
3	Stage hydrograph	Známa hladina při daném průtoku
4	Normal Depth	0,20%
5	Normal Depth	0,90%

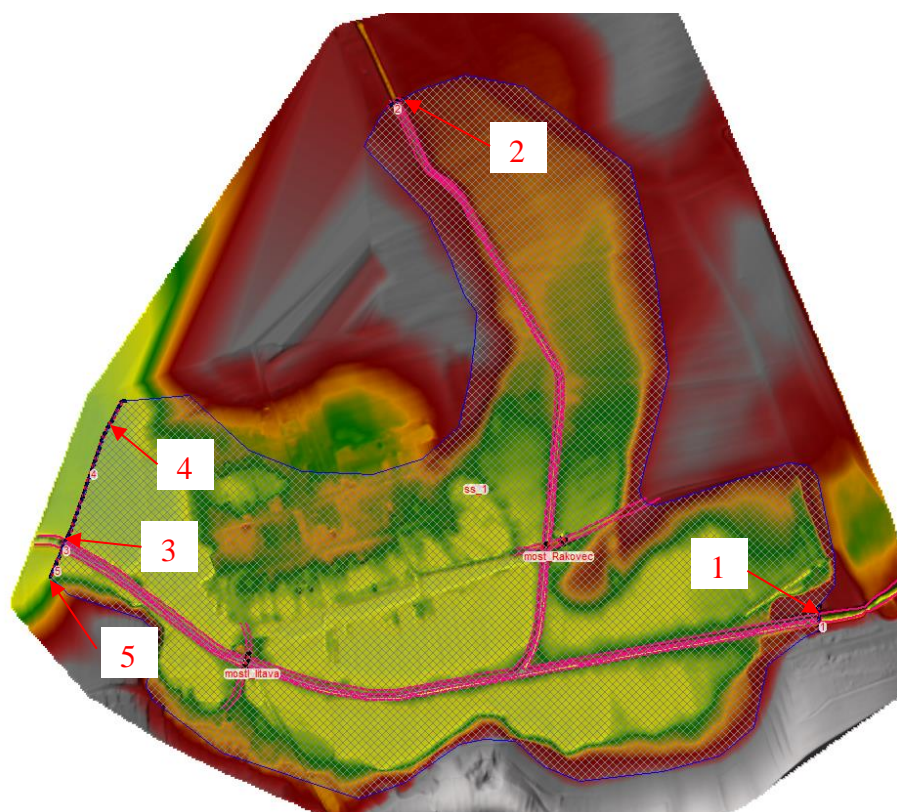


Obr. 8.21 Okno pro nástroj kreslení „BC Lines“

Počet a typ okrajových podmínek lze vidět na (obr. 8.24).



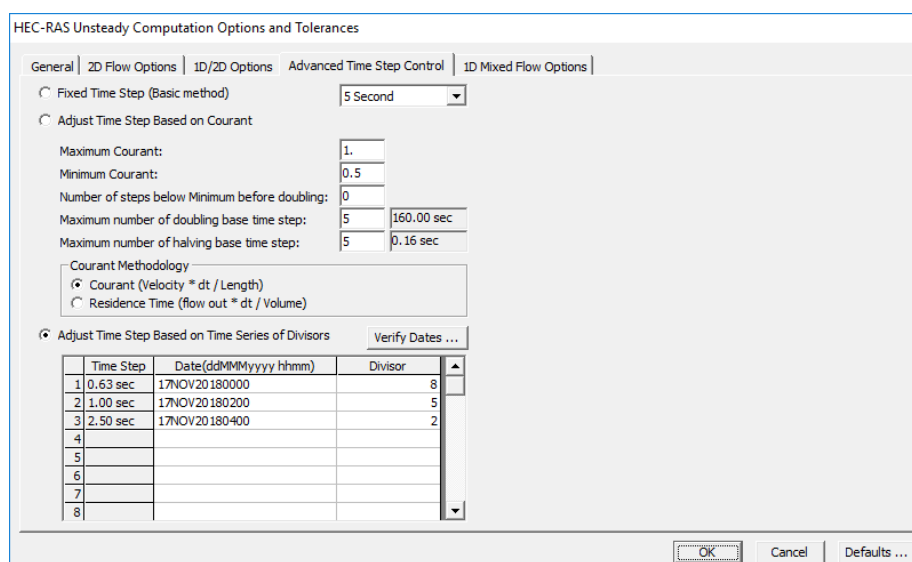
Obr. 8.22 Okrajové podmínky 2D oblasti a jejich typ



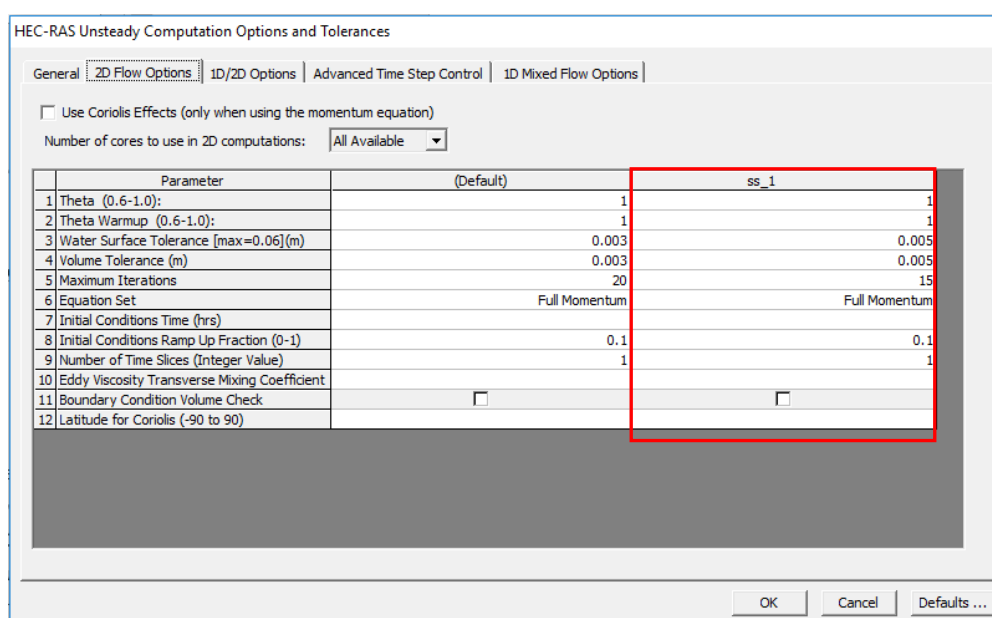
Obr. 8.23 Umístění okrajových podmínek (popis v tab. 8.1)

Kalibrace výpočtu při neustáleném proudění 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 krok výpočtu. Časový krok byl nastaven na hodnotu 5 sekund. Zápis výsledků byl nastaven po intervalu 10-ti minutách. V nastavení neustáleného proudění byla zadána možnost vytváření výstupního souboru po 2 hodinách výpočetního času z důvodu částečného zachování dat při pádu aplikace. Počet iterací při výpočtu byl nastaven na hodnotu 15 (obr. 8.25). Od verze programu HEC-RAS 5.0.6 [28] lze nastavit zjemňování časového intervalu dle Couranta (obr. 8.24). Tato možnost je výhodnější pro nestabilnější výpočty a při výpočtu byla tato možnost využita. Funkce funguje na principu zmenšení/zvětšení časového kroku v závislosti na zadané hodnotě Courantova kritéria.



Obr. 8.24 Kontrola časového kroku výpočtu dle Couranta



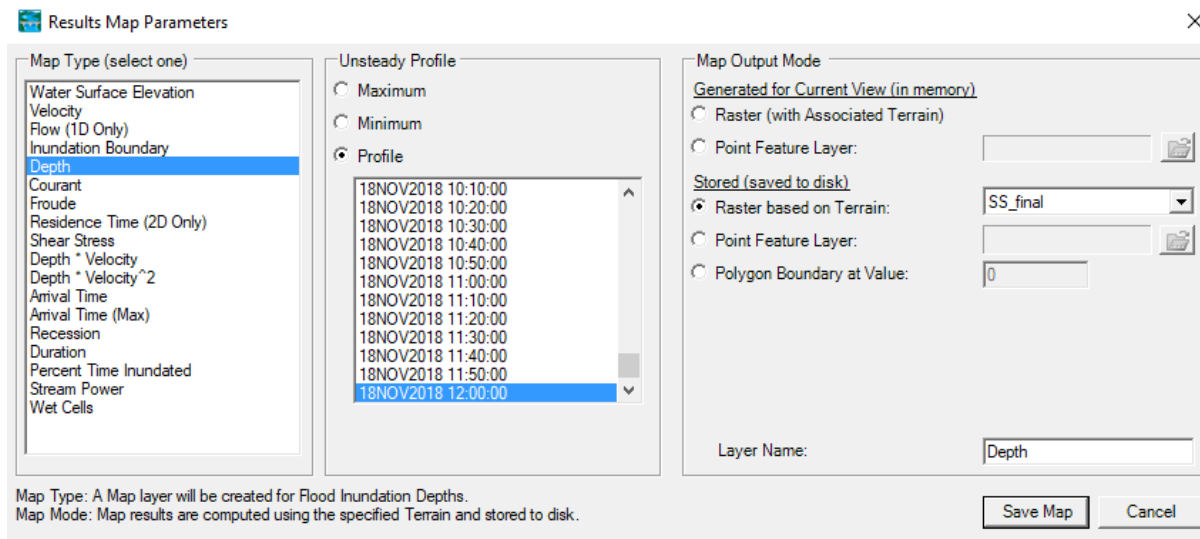
Obr. 8.25 Nastavení výpočtu pro 2D oblast

Export výsledků z programu HEC-RAS

Export výsledků po dokončení výpočtu 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 programů GIS.

V případě exportu výsledků vypočtených hloubek a rozlivů bylo nutno postupovat kliknutím na možnost „Edit map parameters“ (Obr. 8.26). 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 byl upraven editačními funkcemi programu ArcGIS [30] do podoby map rozlivů a map hloubek (Přílohy B a C).



Obr. 8.26 Export výsledků hladin a rozlivů z programu HEC-RAS

9 HYDROTECHNICKÉ VÝPOČTY

Výpočet probíhal za pomoci 1D a 2D numerického modelu prodění povrchové vody.

Stávající i návrhový stav předmětného území byl posouzen na kombinaci průtoků Q_5 , Q_{20} a Q_{100} na tocích Litava a Rakovec. Bylo uvažováno s ovlivněním hladiny Rakovce vzduťím hladiny z Litavy (nejhorší možný stav).

Návrhový stav je rozdělen na 2 etapy:

- **Etapa I** – Protipovodňové opatření na Litavě a Rakovci formou protipovodňových zdí a hrází včetně revitalizace nivy a koryta
- **Etapa II** – Retenční nádrž Hrušky včetně opatření realizovaného z Etapy I

Posuzované průtoky na Litavě: $Q_5 = 20,0 \text{ m}^3/\text{s}$, $Q_{20} = 34,0 \text{ m}^3/\text{s}$ a $Q_{100} = 56,0 \text{ m}^3/\text{s}$.

Posuzované průtoky na Rakovci: $Q_5 = 11,0 \text{ m}^3/\text{s}$, $Q_{20} = 21,0 \text{ m}^3/\text{s}$ a $Q_{100} = 39,0 \text{ m}^3/\text{s}$.

Podle požadavku Povodí Moravy, s.p. je protipovodňová ochrana navržena na **návrhový průtok $Q_{100} = 39$ a $56 \text{ m}^3/\text{s}$** s bezpečnostním převýšením 0,5 m nad hladinou. Při hydrotechnických výpočtech bylo uvažováno se vzduťím hladiny od Zbýšovského jezu. Podklady k vzduťím hladinám vlivem jezu byly poskytnuty Povodím Moravy, s.p. [36]

Výpočet pro návrh PPO byl kalibrován jako 1D model. 2D model proudění byl počítán po schválení návrhu PPO a 1D výpočtu Povodím Moravy, s.p. [37]

9.1 STANOVENÍ SOUČINITELE DRSNOSTI

Stanovení součinitele drsnosti probíhalo pro každý model (1D, 2D) zvlášť. Drsnosti byly voleny dle fotografických a tabulkových katalogů drsností. Fotografický katalog [23] pracuje na principu přiřazení vhodné fotografie typu koryta, které má charakterizovanou drsnost. Tabulkový katalog např. dle Výbory [4] 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 výpočtovou oblast byly drsnosti zadávány pomocí polygonů využití území v programu ArcGIS. Byl zde zadán pouze polygon pro koryto toku. Při úvaze údržby koryta správcem ve frekvenci maximálně 2x ročně, byla zvolena drsnost pro celé koryto stejná. Nebyly zde rozlišovány břehy a dno. Pro ostatní území, čímž je myšlena inundace, byla drsnost stanovena globálně. V řešeném úseku se nachází převážně zemědělské pozemky a zelené pásy.

Stanovené hodnoty součinitele drsnosti dle druhu povrchu uvádí Tab. 9.1.

Tab. 9.1 Přehled drsností použitých při výpočtu

Druh povrchu	1D			2D		
	min	voleno	max	min	voleno	max
Koryto	0.032	0.035	0.038	0.032	0.032	0.038
Koryto opevněno dlažbou z lomového kamene	0.018	0.020	0.022	-		
Inundace	0.045	0.055	0.060	0.035	0.038	0.045

9.2 KONKRÉTNÍ OKRAJOVÉ PODMÍNKY VÝPOČTOVÝCH MODELŮ

Okrajové podmínky byly voleny pro současný i návrhový stav totožné. Sklon dna toků je natolik nízký, tudíž by nebylo vhodné měnit sklonové poměry toků.

9.2.1 1D model proudění

Výpočet byl proveden jako ustálené nerovnoměrné proudění vody v neprizmatickém otevřeném korytě o volné hladině. Model byl řešen jako celek, tedy tok Litava s pravobřežním přítokem toku Rakovec. Výpočet probíhal v říčním režimu proudění. Okrajové podmínky byly zadány následovně:

1. **Dolní okrajová podmínka** na toku **Litava** v ř. km 19,460 byla zadána, jako známá výška hladiny, která byla obdržena od Povodí Moravy, s.p. [1] a uvažuje se vzduším hladiny od Zbýšovského jezu.
2. **Horní okrajovou podmínkou** na toku **Litava** v ř. km 20,460 byl sklon čáry energie, tedy sklon dna, který činí 0,86 %.
3. **Horní okrajovou podmínkou** na toku **Rakovec** byl zadán taktéž sklon čáry energie, který činí 0,4 %.

Okrajová podmínka na soutoku byla zadána programem HEC-RAS jako „*Junction*“. Hladina v Rakovci je ovlivněna vzduším hladiny z Litavy.

Konkrétní velikosti výšky hladin pro dolní okrajovou podmínku v Litavě (ř. km 19,460) obdržené od PMO uvádí Tab. 9.2.

Tab. 9.2 Průtoky a výšky hladin obdržené od PMO

Průtok		Hladina
Q _N	[m ³ /s]	[m n. m.]
1	9.3	197.60
5	20.0	198.28
10	26.0	198.44
20	34.0	198.57
50	45.0	198.68
100	56.0	198.72

9.2.2 2D model proudění

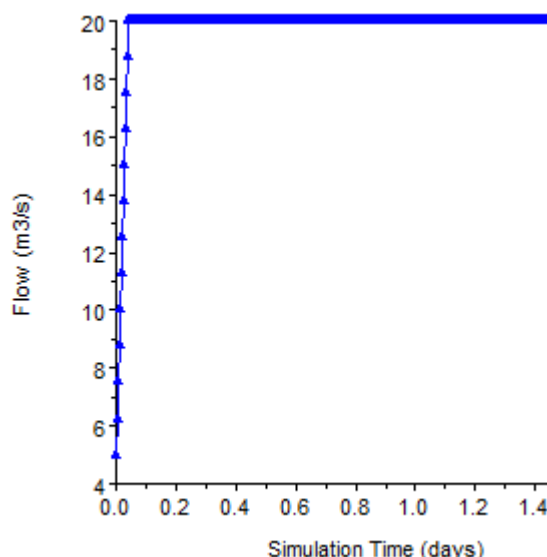
Výpočet byl řešen jako neustálené nerovnoměrné proudění vody. Celkový simulační čas výpočtu byl 36 hodin. Délka hydrogramu byla nastavena na 48 hodin. Okrajové podmínky 2D výpočtu byly zadávány na začátku a konci výpočetní oblasti. Náběh hydrogramu do kulminační hodnoty N-letého průtoku byl cca po 1 hodině simulace (obr. 9.1).

1. **Horní oblast Litavy ř. km 20,928** – Hydrogram průtoku dané N-letosti (obr. 8.23, 1).
2. **Horní oblast Rakovce** – Hydrogram průtoku dané N-letosti (obr. 8.23, 2).

Konec výpočetní oblasti, tedy **ř. km 19,460 na toku Litava** byl opatřen třemi okrajovými podmínkami.

1. V místě koryta byly zadány hladiny dle Tab. 9.2 (obr. 8.23, 3).
2. V levé inundaci byl zadán sklon čáry energie, který činí 0,9 % (obr. 8.23, 5).
3. V pravé inundaci byl zadán sklon čáry energie hodnotou 0,2 % (obr. 8.23, 4).

Znárodnění umístění okrajových podmínek v modelu viz. (obr. 8.23).



Obr. 9.1 Hydrogram průtoku v místě horní okrajové podmínky

9.3 POSOUZENÍ KAPACITY KORYT TOKŮ

9.3.1 Stávající stav

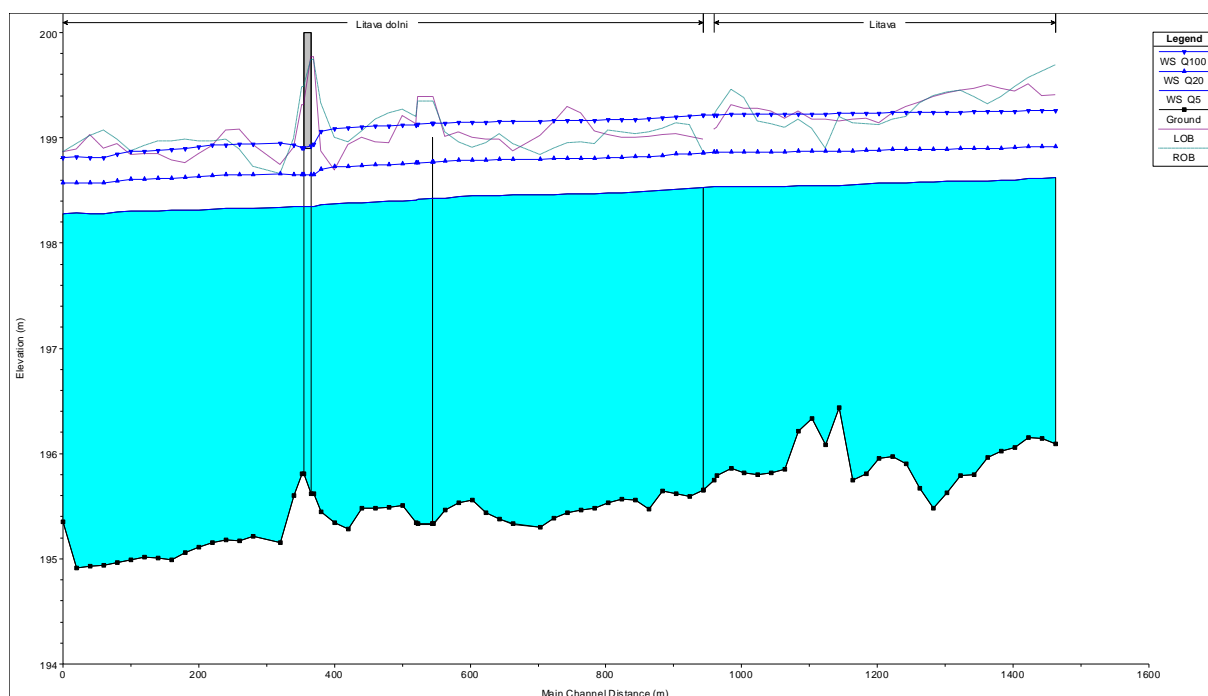
Na základě provedených výpočtů byla stanovena kapacita v jednotlivých úsecích koryta. Kapacitní posouzení proběhlo pomocí **1D modelu proudění**. Výsledné hodnoty byly dle výpočtu nižší, než je stanovená kapacita Povodím Moravy, s.p. [37]. Tato skutečnost může být způsobena použitím jiného výpočetního softwaru a jiných kalibračních hodnot, zejména součinitelů drsnosti. Rozdíl mezi hladinami vypočtenými 1D modelem v programu HEC-RAS a hodnotami vypočtenými PMO se pohybují v rozmezí 0,1 m. Povodí Moravy, s.p. na základě konzultace hydrotechnických výpočtů poskytlo hodnoty stávajících hladin a rozlivů. viz. (Příloha A.3. Podélný profil koryta toku Litava – stávající stav). Tyto poskytnuté hodnoty byly brány v úvahu v rámci dalšího návrhu.

Koryto toku Litava

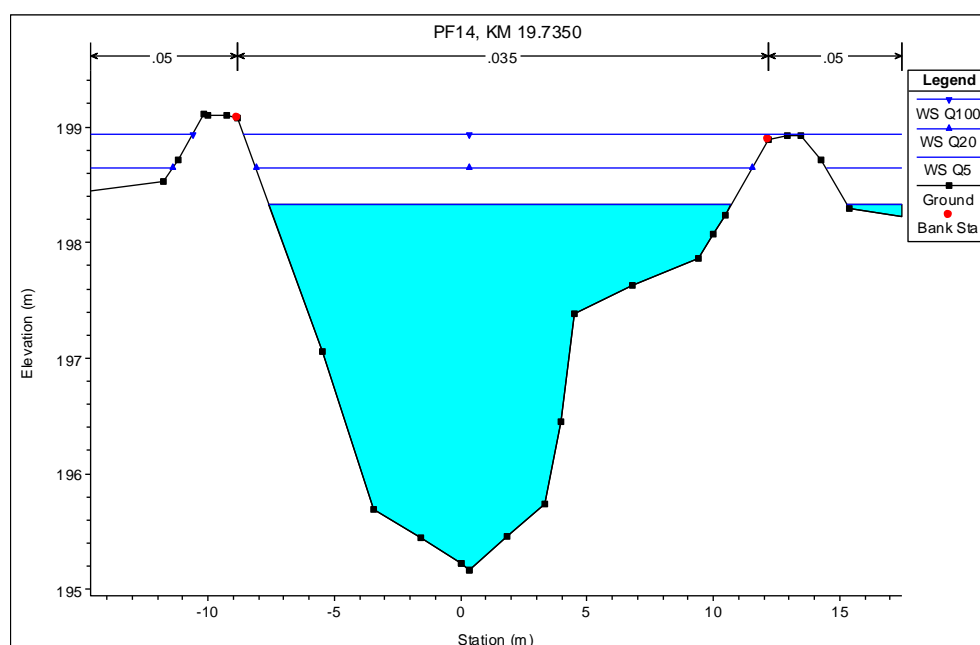
Z výsledků hydrotechnických výpočtů vyplývá, že koryto toku Litava je v řešeném úseku kapacitní na průtoky menší jak $Q_5 = 20 \text{ m}^3/\text{s}$. V případě průtoků vyšších, než Q_5 dochází k vybřežení vody mimo koryto toku. V některých místech je koryto kapacitní i na průtoky vyšší než Q_5 . Jsou zde ale místa při, kterých se voda vybřeží již při průtoku Q_5 a je dále rozlévána do inundace. Kapacita koryta byla tedy stanovena na průtoky menší jak Q_5 .

Dojde k částečnému zaplavení obytných ploch, rybníků, části infrastruktury města viz. (Příloha B.1. Mapa rozlivů pro Litavu a Rakovec při Q_{100} , Q_{20} , Q_5)

Průběhy a hodnoty nadmořských výšek hladin viz. (Příloha A.3. Podélný profil koryta toku Litava - stávající stav).



Obr. 9.2 HEC-RAS – podélný profil stávajícího stavu koryta toku Litava



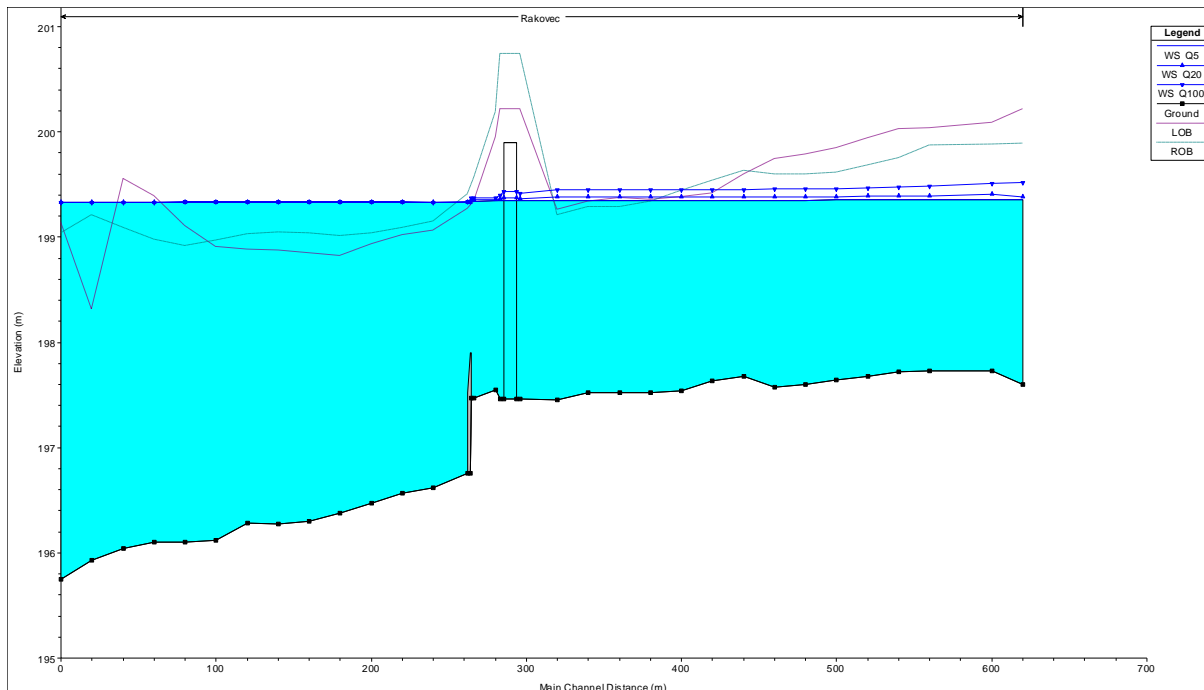
Obr. 9.3 HEC-RAS – příčný profil stávajícího stavu koryta toku Litava

Koryto toku Rakovec

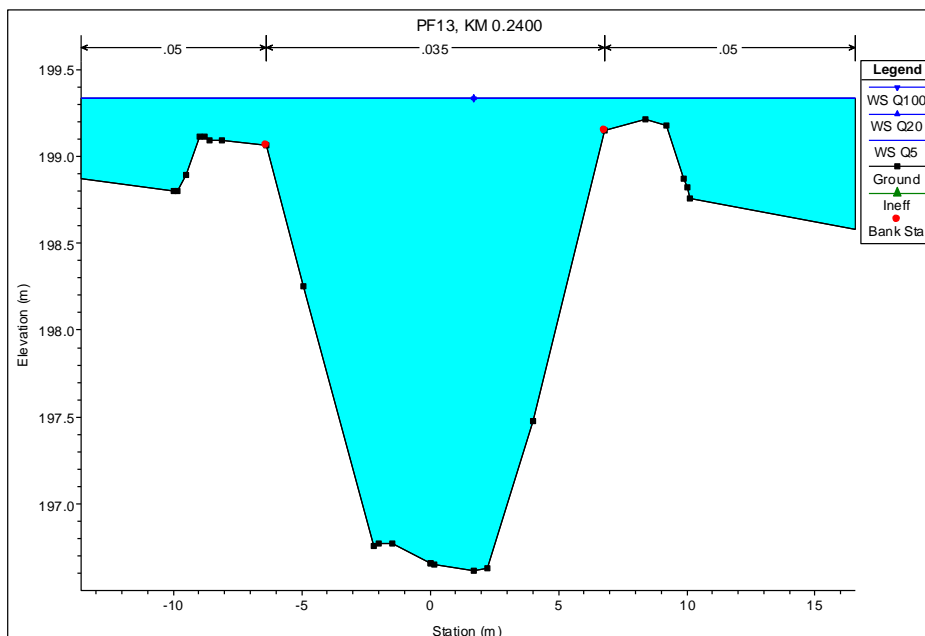
Z výsledků hydrotechnických výpočtů vyplývá, že koryto toku Rakovec je v řešeném úseku kapacitní na průtoky menší jak $Q_5 = 11 \text{ m}^3/\text{s}$. V případě průtoků vyšších, než Q_5 dochází k vybřežení vody mimo koryta toku. Z podélného profilu (obr. 9.4) je patrné, že vzduť z koryta Litavy při průtocích Q_{100} , Q_{20} a Q_5 je značné.

Dojde k částečnému zaplavení obytných ploch, rybníků, části infrastruktury města viz. (Příloha B.1. Mapa rozlivů pro Litavu a Rakovec při Q_{100} , Q_{20} , Q_5).

Průběhy a hodnoty nadmořských výšek hladin viz. (Příloha A.4. Podélný profil koryta toku Rakovec - stávající stav).



Obr. 9.4 HEC-RAS – podélný profil stávajícího stavu koryta toku Rakovec



Obr. 9.5 HEC-RAS – příčný profil stávajícího stavu koryta toku Rakovec

Posouzení kapacity objektů

K posouzení kapacity objektů byly uvažovány hodnoty hladin obdržené od PMO [37].

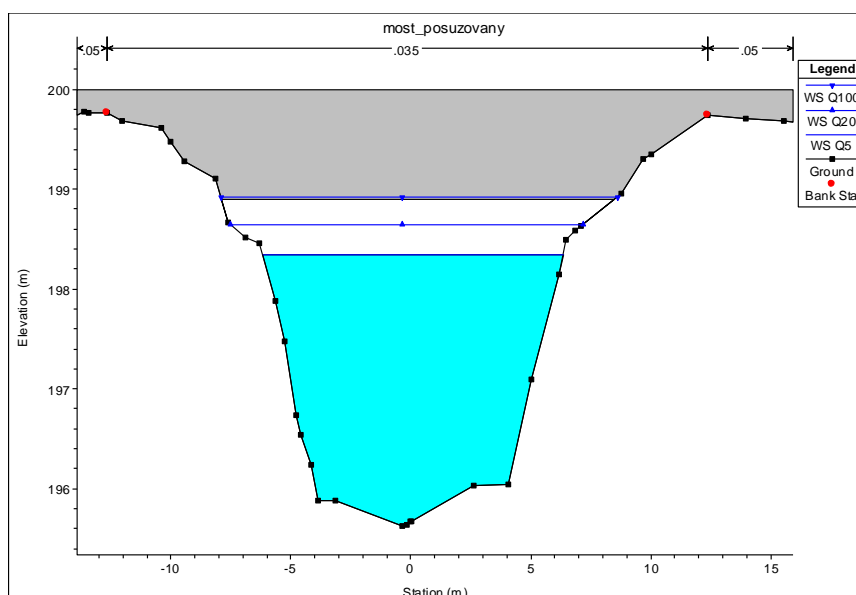
• Silniční most na Litavě v ř. km 19,821

Stávající kapacita mostu je schopna převést průtoky o volné hladině až do hodnoty průtoku $Q_{50} = 45 \text{ m}^3/\text{s}$. Nejedná se však o průtok, který splňuje bezpečnostní převýšení 0,5 m mezi kótou hladiny a kótou spodní mostovky.

- Kóta spodní mostovky: 199,00 m n. m.
- Kóta hladiny při Q_{100} : 199,05 m n. m.
- Kóta hladiny při Q_{50} : 198,92 m n. m.
- Kóta hladiny při Q_{20} : 198,89 m n. m.
- Kóta hladiny při Q_5 : 198,59 m n. m.

V případě průtoků větších, než Q_5 bude hladina stoupat, až dojde k zahlcení vtoku mostu a tím dojde ke změně režimu proudění mostním profilem z volné hladiny na proudění o zatopeném vtoku s výtokem do volna (obr. 9.6).

Průběh hladin Q_5 až Q_{100} viz. (Příloha A.3. Podélný profil koryta toku Litava - stávající stav.)



Obr. 9.6 Příčný profil koryta v místě silničního mostu na Litavě v ř. km 19,822

• SILNIČNÍ MOST NA RAKOVCI V Ř. KM 0,287

Stávající kapacita mostu převede povodňový průtok $Q_{100} = 39 \text{ m}^3/\text{s}$ o volné hladině. Převýšení nad hladinou Q_{100} je 38 cm.

- Kóta spodní mostovky: 199,90 m n. m.
- Kóta hladiny při Q_{100} : 199,52 m n. m.

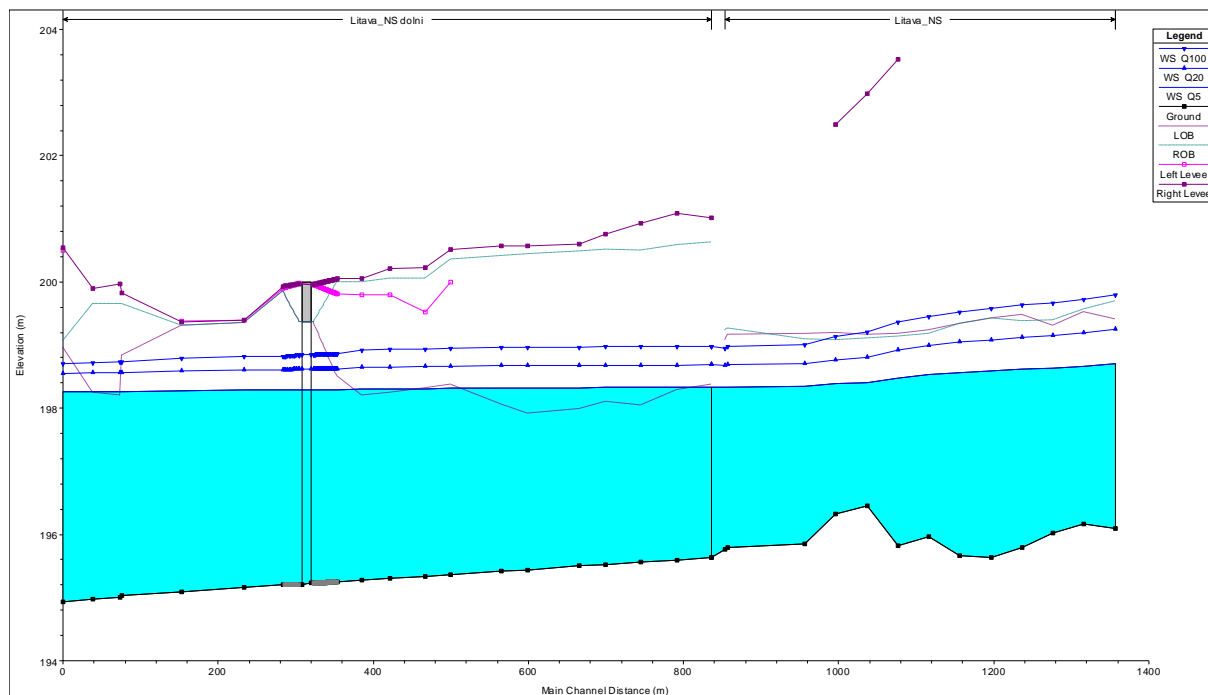
9.3.2 Návrhový stav

Opatření návrhového stavu detailně popisuje kap. 7.4. Návrhový stav koryt toků vyhoví na kombinaci průtoků $Q_{100} = 56$ a $39 \text{ m}^3/\text{s}$ (v Litavě a v Rakovci). Při výpočtu bylo uvažováno vzduť hladiny na Litavě, zdrží Zbýšovského jezu. Výstupy průběhu a hodnot nadmořských

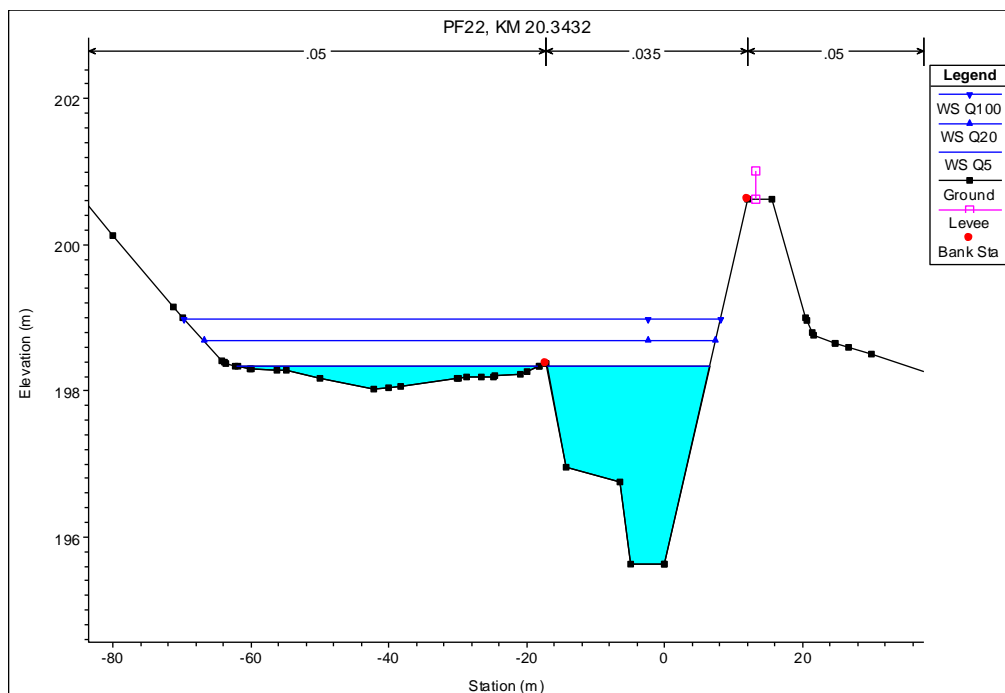
výšek hladin viz. (Přílohy A.5. Podélný profil koryta toku Litava - návrhový stav, A.6. Podélný profil koryta toku Rakovec - návrhový stav). Silniční most na Litavě byl zkapacitněn. Zkapacitnění mostu bylo řešeno mimo tuto práci na základě výsledků proudění z 1D modelu.

Koryto toku Litava

Navržené protipovodňové opatření na toku Litava je schopno převést průtok $Q_{100} = 56 \text{ m}^3/\text{s}$ včetně bezpečnostního převýšení 0,5 m nad korunou ochranných hrází (obr. 9.7 a 9.8).



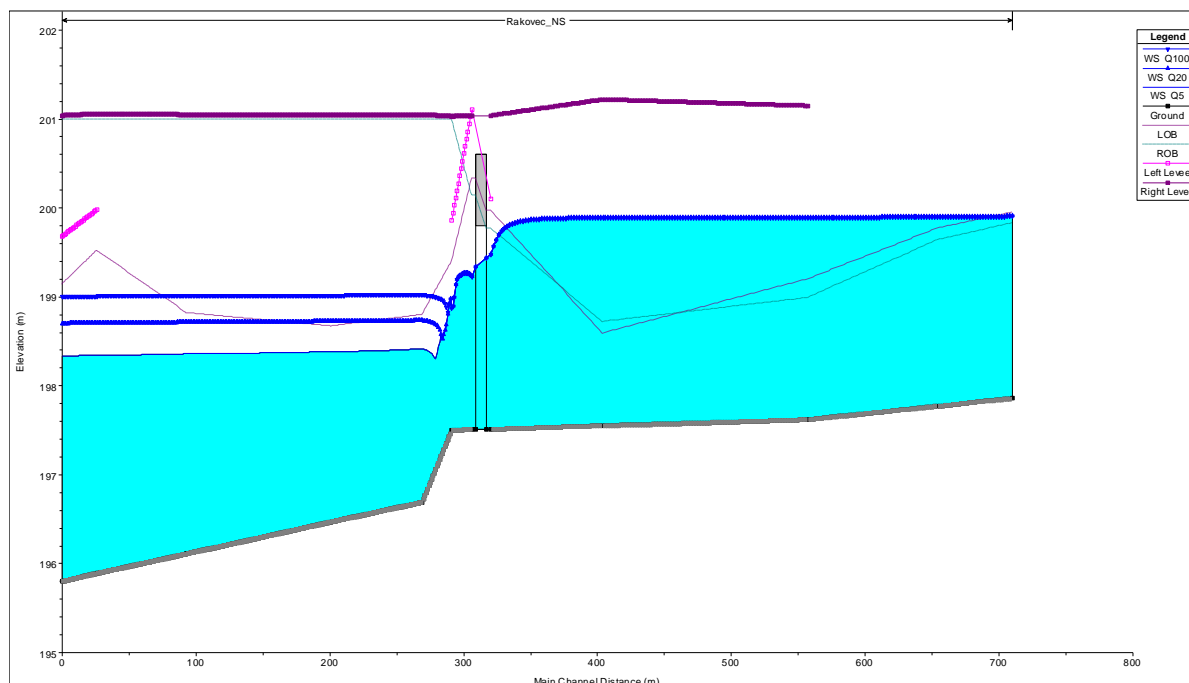
Obr. 9.7 HEC-RAS – podélný profil návrhového stavu koryta toku Litava



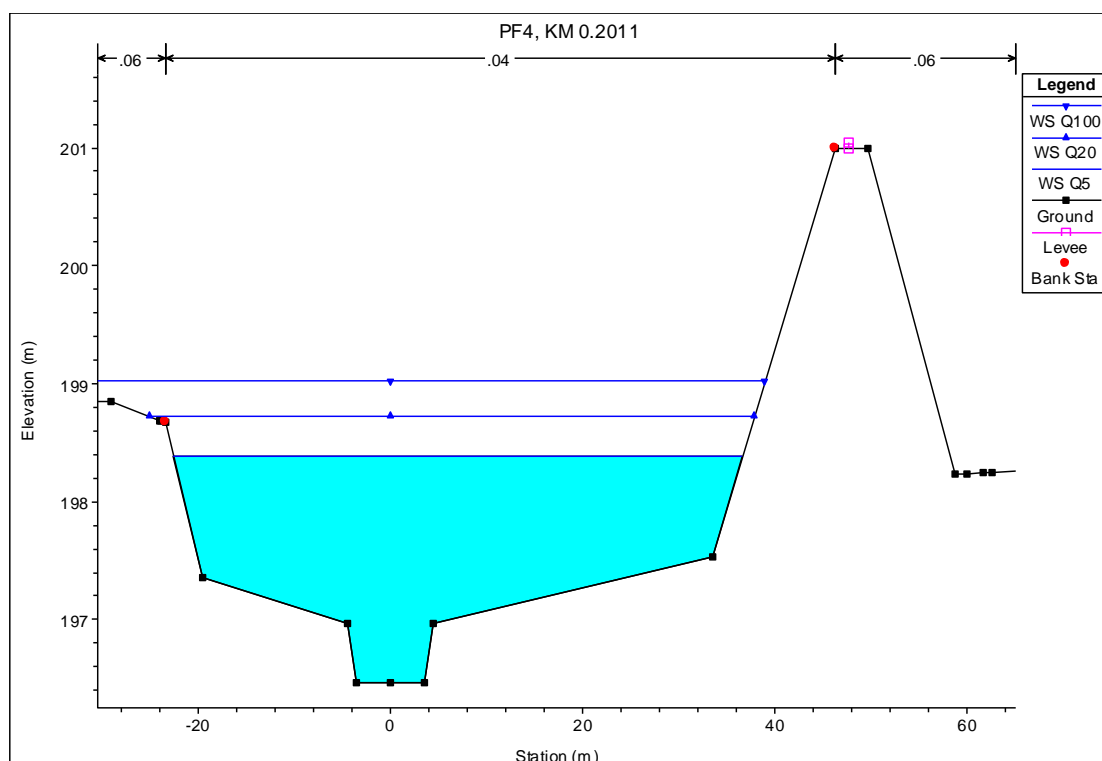
Obr. 9.8 HEC-RAS – příčný profil návrhového stavu koryta toku Litava

Koryto toku Rakovec

Navržené protipovodňové opatření na toku Rakovec je schopno převést průtok $Q_{100} = 39 \text{ m}^3/\text{s}$ včetně bezpečnostního převýšení 0,5 m nad korunou ochranné hráze. Hráz bude mít charakter hráze suché nádrže pro případ její výstavby (obr. 9.9 a 9.10).



Obr. 9.9 HEC-RAS – podélný profil návrhového stavu koryta toku Litava



Obr. 9.10 HEC-RAS – příčný profil návrhového stavu koryta toku Litava

9.4 SUCHÁ NÁDRŽ HRUŠKY

V této kapitole jsou uvedeny základní parametry nádrže, hráze a funkčních objektů nádrže. Dále je zde uvedena Batygrafie nádrže (obr. 9.11). Detailnější popis výpočtu viz. (Příloha D.1. Hydrotechnické výpočty – Vodohospodářské řešení Suché nádrže Hrušky). S realizací nádrže jako s funkčním celkem je počítáno v době výstavby Etapy II. Při výstavbě Etapy I. bude dbáno na zhotovení pravobřežní hráze Rakovce ve formě hráze suché nádrže.

9.4.1 Batygrafie nádrže

Batygrafii popisuje tab. 9.3 a (obr. 9.11). Batygrafie nebyla počítána. Byly odměřeny přesné hodnoty ploch a objemů dle zaměření. Plochy a objemy jsou uvažovány při profilaci zátopy dle návrhového stavu.

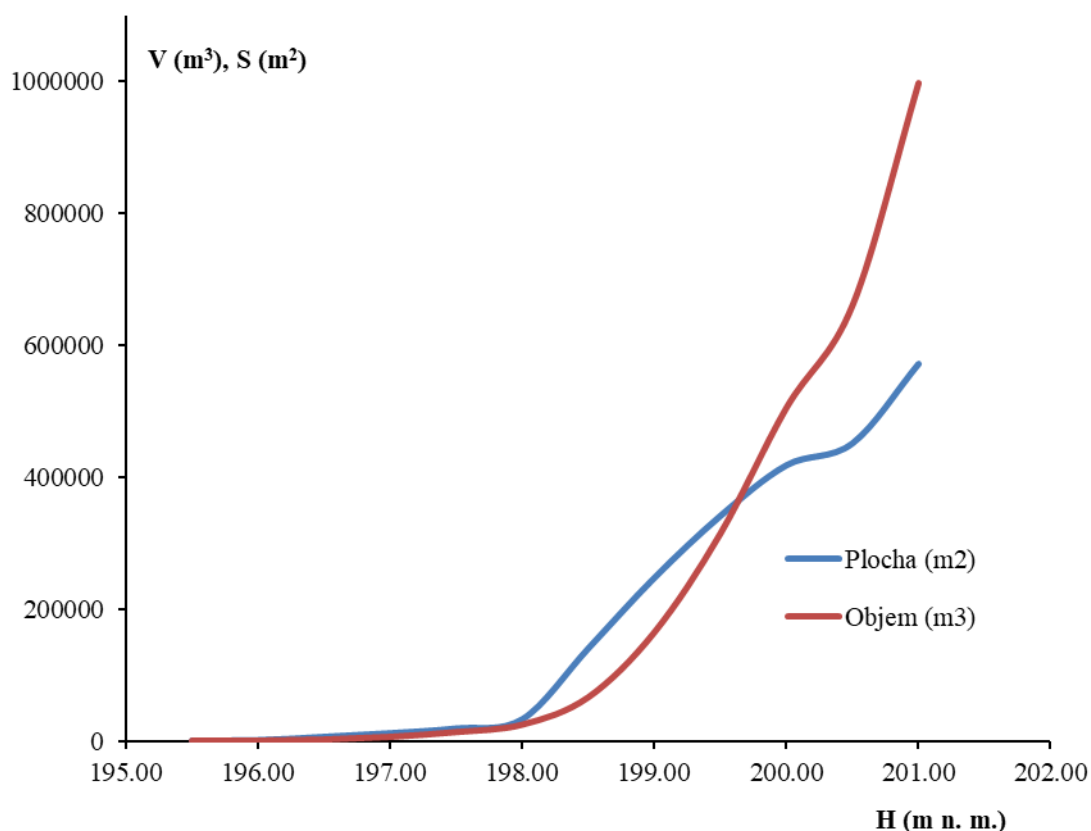
Tab. 9.3 Zatopené objemy a plochy

HLADINA	PLOCHA	OBJEM
[m n.m.]	[m ²]	[m ³]
195.50	0	0
196.00	744	104
196.50	5876	1763
197.00	11422	5851
197.50	18571	13152
198.00	32588	24442

Dno nádrže

198.50	140234	65963
199.00	247476	164552
199.50	341340	314147
200.00	418363	505043
200.50	451640	660325
201.00	572183	997134

Koruna hráze



Obr. 9.11 Batygrafie Suché nádrže Hrušky

9.4.2 Základní parametry Suché nádrže Hrušky

Hráz

PARAMETRY:

- Materiál: Homogenní zemní hráz
- Návrhový průtok: $Q_{100} = 56 \text{ m}^3/\text{s} + \text{převýšení } 0,8 \text{ m nad hladinou } Q_{100}$
- Délka prodloužení hráze: 115 m
- Šířka koruny hráze: 4,0 m
- Kóta koruny hráze: 201,00 m
- Výška hráze: 0,1 m – 5,0 m
- Sklon návodního svahu: 1:3,5
- Sklon vzdušného svahu: 1:3

- Opevnění: Patka návodního líce lomovým kamenem
- Zpevnění koruny hráze: Geobuňky prosypané štěrkokodrtí
- Hráz bude opatřena nouzovým přelivem

Nádrž

PARAMETRY:

- Dlouhodobý průměrný průtok: $Q_{aRAKOVEC} = 265$ l/s, $Q_{aLITAVA} = 781$ l/s
- Povodňová vlna při Q_{100} : 5,3 mil. m³
- Kóta dna nádrže: 195,6 m n. m.
- Kóta maximální hladiny: $H_{max} = 200,20$ m n. m.
- Objem při H_{max} : 640 tis. m³
- Zatopená plocha při H_{max} : 430 tis. m²

Sdružený objekt

Prázdnění nádrže bude umožněno pomocí výpusti DN650 a následně bezpečnostním přelivem. Potrubí DN650 bude umožňovat volně přepouštět průtoky Q_a v korytě toku Litava aniž by došlo k plnění nádrže. Kapacita tohoto potrubí při volné hladině je 1,02 m³/s a při tlakové 2,40 m³/s viz. (Příloha D.1. Hydrotechnické výpočty – Vodohospodářské řešení Suché nádrže Hrušky).

ŽLABOVÝ PŘELIV:

- Návrhový průtok: $Q_{100} = 56$ m³/s
- Kapacita BP: $Q = 56,3$ m³/s
- Délka přelivné hrany: 71 m = 2 x 35,5 m
- Kóta přelivné hrany: 199,70 m n. m.
- Přepadová výška: 0,5 m

SPADIŠTĚ:

- Délka: 35,5 m
- Šířka: 6,2 m
- Hloubka: 4,1 m
- Světlost diafragmy: 2,8 m

ODTOKOVÁ ŠTOLA + VÝVAR:

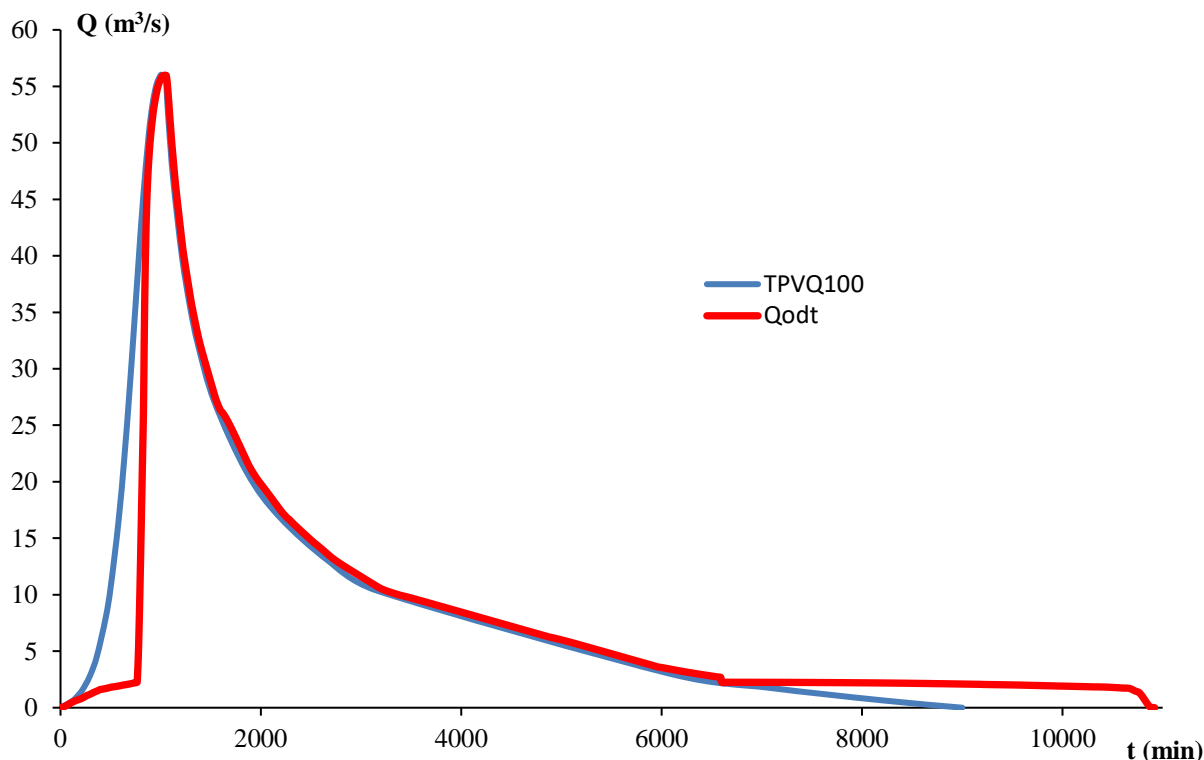
- Podrobný návrh bude proveden v dalším stupni dokumentace.

9.4.3 Transformace povodňové vlny při Q_{100} Suchou nádrží Hrušky

Transformace byla posuzována pro návrhovou povodeň Q_{100} o celkovém objemu 5,3 mil. m³.

Transformační schopnost nádrže, pokud funguje, jako samotný celek je zanedbatelná. Průtok při $Q_{100} = 56$ m³/s a transformační průtok je 55,97 m³/s. Transformační účinek nádrže má smysl pouze v součinnosti s ostatními nádržemi, které jsou plánované ve studii Litava II (jedná se o suché nádrže Zbýšov a Vážany). [31]

Kóta maximální hladiny při Q_{100} je 200,20 m n. m. Zadržovaný objem nádrže při H_{max} je 640 tis. m^3 . Zatopená plocha při H_{max} je 430 tis. m^2 . Průběh povodňové vlny v čase nádrží zobrazuje (obr. 9.12). Tabeleární výstup výpočtu viz. (Příloha D.1. Hydrotechnické výpočty – Vodohospodářské řešení Suché nádrže Hrušky).



Obr. 9.12 Transformace povodňové vlny Suchou nádrží Hrušky

Údaje týkající se transformace nádrže jsou následující:

- Celkový zadržovaný objem: 640 tis. m^3
- Kulminační přítok do nádrže: 56 m^3/s
- Transformovaný odtok z nádrže (max): 55,97 m^3/s
- Napuštění nádrže za: 17 hod
- Vypuštění nádrže za: 162 hod = cca 7 dnů

10 ZÁVĚR

Za přispění všech podkladů, prohlídky a seznámení se z oblastí byl vytvořen model proudění vody v 1D a také ve 2D pro stávající a návrhový stav. Pro kalibraci 1D a 2D modelu bylo použito podkladů z kap. 3. Na základě hydraulických výpočtů kapacity koryta současného stavu byla stanovena protipovodňová ochrana přírodě blízkého charakteru na tocích Litava a Rakovec. Součástí návrhového stavu bylo i rozvolnění kynet toků a jejich revitalizace, která umožní přirozený vývoj koryta toku a přispěje tak ke zvýšení biodiverzity na řešené lokalitě.

Navržené opatření bylo rozděleno na opatření Etapy I a opatření Etapy II. Opatření navržené v Etapě I jsou: protipovodňové hráze a zdi, včetně pravobřežní hráze Rakovce a revitalizace koryta Litavy a Rakovce. Etapa II se zabývá výhradně hrází suché nádrže, revitalizací Litavy od ř. km 20,460 a zavázáním hráze suché nádrže přes tok Litava.

V textové části diplomové práce je popsáno navržené opatření, stručné sestavení modelu pro výpočet v prostředí programů ArcGIS [30] a HEC-RAS [28].

Kapitola se dále věnuje:

- Zhodnocení výpočtů 1D a 2D proudění.
- Zhodnocení navržených opatření.
- Zhodnocení transformace.
- Zhodnocení vypočtených rozlivů.
- Zhodnocení vypočtených hloubek.

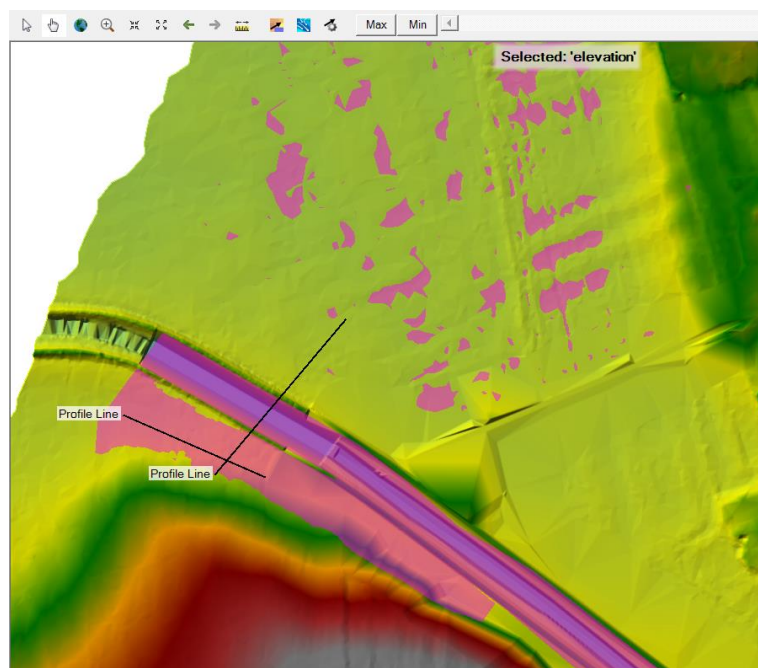
10.1 ZHODNOCENÍ VÝPOČTŮ 1D A 2D PROUDĚNÍ

10.1.1 Model 1D

Výpočty probíhaly v říčním režimu proudění. Tento režim byl kalibrován až do té doby, kdy byl výpočet stabilní a nevykazoval chybná hlášení. Důležitým faktorem, který bylo nutno sledovat při výpočtu, bylo správné zadání geometrie před mostními konstrukcemi a za nimi. Tento problém byl vyřešen citlivou kalibrací geometrie.

10.1.2 Model 2D

Výpočty probíhaly v nerovnoměrném neustáleném režimu proudění. Nejsložitějším úkolem 2D modelace, bylo správné vytvoření modelů terénu současného i návrhového stavu. Další potíže byly s kalibrací geometrie modelu a nastavení časového kroku. Tato skutečnost byla vyřešena snížením počtu iterací na počet 15 a nastavením řízení časového kroku pomocí Courantova kritéria. Potíže s geometrií byly vyřešeny ruční úpravou výpočtové sítě a přidáním objektů pomocí editačních nástrojů v programu HEC-RAS [28]. Výsledky výpočtu v podobě hladiny vody, průtoků a rychlostí byly v okně „*Ras Mapper*“ kontrolovány pomocí „*Profile lines*“ (obr. 10.1).



Obr. 10.1 Kontrola výsledků pomocí „profil lines“

10.1.3 Rozdíl mezi 1D a 2D výpočtem

Pomocí 1D modelu lze lépe stanovit kapacitu koryta. Výpočet v 1D prostředí nepopisuje složku vektoru rychlosti ve směru osy y . 2D model proudění tuto složku již popisuje a lze sním modelovat rozlivy v inundacích a proto je pro toto využití přívětivější. Problematické u 2D modelu je však správné namodelování břehových oblastí, kde dochází k nereálným rozlivům vody mimo koryto. Jako vhodnější se tedy jeví využívat spřažený 1D a 2D model, kde pomocí 1D je modelováno koryto a inundace jsou modelovány pomocí 2D oblastí. Takto by bylo rovnoměrné rozložení složek vektoru rychlosti v korytě a v inundaci. Jednou z možných variant řešení tohoto problému by bylo naskenování břehových hran koryta laserem pomocí dronu. Povrch koryta toku by mohl být naskenován například sonarem. Spojený model by vykazoval mnohem výstižnější tvar.

Rozdíly hladin pomocí různých modelů se liší průměrně v řádu 0,15 m . Ukázka rozdílu hladin při daném modelu viz. tab. 10.1.

Tab. 10.1 Rozdíly hladin při Q_{100} – Litava - návrhový stav

Staničení [ř. km]	Hladina 1D [m n. m.]	Hladina 2D [m n. m.]	Rozdíl [m]
19,460	198,70	198,70	0,00
19,660	198,79	198,88	-0,09
19,822	198,86	199,06	-0,20
19,822	198,86	199,04	-0,18
20,172	198,97	199,25	-0,28
20,584	199,20	199,35	-0,15
20,928	199,79	199,50	0,29

Most - PF nad

Most - PF pod

Jak je vidět z tab. 10.1, výška hladiny při 1D modelu vychází nižší než při 2D modelu. Rozdíl může být způsoben odlišným způsobem výpočtu modelů, zpětného zatápní při 2D rozlivu a nebo nastavení součinitele drsnosti.

10.2 ZHODNOCENÍ NAVRŽENÝCH OPATŘENÍ

Navržená opatření na Litavě i Rakovci jsou přírodě blízkého charakteru a jsou schopny bezpečně převést povodňový průtok Q_{100} s bezpečnostním převýšením 0,5 m nad korunami protipovodňových zdí a hrází. Rozlivy jsou situovány do oblastí, které jsou na tuto událost připraveny viz. (Přílohy C.1. Mapa rozlivů pro Litavu a Rakovec při Q_{100} , Q_{20} , Q_5).

10.3 ZHODNOCENÍ TRANSFORMACE

Celkový transformační účinek retenční nádrže Hrušky jako samostatné je zanedbatelný. Kluminační průtok $Q_{kulm} = 56 \text{ m}^3/\text{s}$.

Tento přítok je transformován na odtok:

- Transformovaný odtok: $55,97 \text{ m}^3/\text{s}$

Dle výše uvedených hodnot je zřejmé, že nádrž zachytí jen minimální část povodňové vlny. Objem povodňové vlny činí $6\,400\,000 \text{ m}^3$. Pokud by nádrž fungovala v součinnosti s nádržími navrženými ve studii uvedené v podkladech [1], její transformační účinek by byl mnohem příznivější.

10.4 ZHODNOCENÍ VYPOČTENÝCH ROZLIVŮ

10.4.1 Stávající stav

Stávající stav rozlivů při povodňových průtocích je znázorněn v (Příloze B.1. Mapa rozlivů pro Litavu a Rakovec při Q_{100} , Q_{20} , Q_5).

Zhodnocení pro Q_5

Při tomto průtoku se začne voda vybřežovat z koryta a zaplavovat přilehlé pozemky. Nad soutokem Litavy z Rakovcem jsou zaplaveny zemědělské pozemky. Pod soutokem s Rakovcem voda zaplavuje dopravní a technickou infrastrukturu obce, obytnou zástavbu a občanské vybavení obce. Při průtoku Q_{100} sahá záplavové území až po silnici II. třídy č. 416 a zaplavuje silnici III. třídy č. 4194. Totéž platí i pro průtoky Q_{20} a Q_{100} .

Zhodnocení pro Q_{20}

Rozliv není o poznání rozsáhlejší jak při Q_5 . Voda začne více zasahovat do intravilánu obce Hrušky.

Zhodnocení pro Q_{100}

Rozliv při Q_{100} dosáhne největšího rozsahu na pravobřežní inundaci obou zmíněných toků. Je zaplavena část obce Hrušky. Tato část rozlivu byla eliminována navržených protipovodňovým opatřením a objem vody byl situován do rozlivů za čistírnu odpadních vod. Čistírna odpadních vod je při průtocích Q_{100} zaplavena hloubkami v rozmezí 0,5 až 1,0 m.

10.4.2 Navrhový stav

Rozsah rozlivů povodňových průtoků při návrhovém stavu je znázorněn v (Příloze C.1. Mapa rozlivů pro Litavu a Rakovec při Q_{100} , Q_{20} , Q_5).

Zhodnocení pro Q_5

Rozliv při tomto průtoku do obce Hrušky je limitován navrženým opatřením. Rozliv je situován do přílehlých inundací pomocí navrženého opatření. Jsou zaplaveny pouze zemědělské pozemky a nivy toků. Totéž platí i pro průtoky Q_{20} a Q_{100} .

Zhodnocení pro Q_{20}

Rozliv není o poznání rozsáhlejší jak při Q_5 . Rozliv je nepatrně vyššího rozsahu.

Zhodnocení pro Q_{100}

Rozliv při Q_{100} je situován navrženým opatřením do přílehlých inundací. Nejedná se však o rozliv Suché nádrže Hrušky. Částečně je přelévána komunikace III. třídy č. 416.

10.5 ZHODNOCENÍ VYPOČTENÝCH HLOUBEK

10.5.1 Stávající stav

Vypočtené hloubky rozlivů se pohybují v rozmezí od 0,0 m do 4,1 m. Místem s největší hodnotou hloubky zůstávají koryta toků Litava a Rakovec. V pravé inundaci řešeného území dojde k situování vyšších hloubek v části mezi intravilánem a korytem toku Litava. Jedná se o hloubky 1 m a větší. Největší množství převažujících hloubek v intravilánu obce a přílehlých pozemcích je obsáhlé hodnotou 0,5 m. viz. (Přílohy B.2. – B.4.)

10.5.2 Návrhový stav

Při návrhovém stavu jsou místa s výskytem největších možných hloubek, situovány podél pravobřežní hráze toku Rakovec a v rozvolněném korytě toku Litava. Hloubky se taktéž pohybují od 0,0 do 4,1 m. viz. (Příloha C.2. – C.3.)

11 POUŽITÉ ZDROJE A PODKLADY

Odborné publikace

- [1] JANDORA, Jan a Jan ŠULC. *Hydraulika: modul 01*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2007. Studijní opory pro studijní programy s kombinovanou formou studia. ISBN 9788072045129.
- [2] JANDORA, Jan, Vlastimil STARA a Miloš STARÝ. *Hydraulika a hydrologie*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2011. ISBN 978-807204-739-0.
- [3] CHOW, Ven Te. *Open-Channel Hydraulics*. New York: McGraw-Hill Book Company, 1960, 680 s.
- [4] RAPLÍK, Milan, Pavel VÝBORA a Karel MAREŠ. *Úprava tokov*. Bratislava: Alfa, 1989. ISBN 80-05-00128-2.
- [5] Drbal, K., aj. *Metodika tvorby map povodňového nebezpečí a povodňových rizik*, VÚV T. G. M. Brno, 2009.
- [6] DEMEK, J. a kol. *Zeměpisný lexikon ČSR. Hory a nížiny*. Praha: Československá akademie věd, 1987
- [7] KRÁSNÝ, J. et al. *Podzemní vody České republiky: regionální hydrogeologie prostých a minerálních vod*. Praha: Česká geologická služba, 2012.
- [8] JUST, Tomáš. *Vodohospodářské revitalizace a jejich uplatnění v ochraně před povodněmi*. Praha: Český svaz ochránců přírody, 2005. ISBN 80-239-6351-1.
- [9] DRÁB, A., ŘÍHA, J. *Protipovodňová ochrana. MODUL M 01*. Studijní opory pro studijní programy s kombinovanou formou studia, FAST VUT v Brně, Brno 2010
- [10] JANDORA, Jan. *Matematické modelování ve vodním hospodářství: Modul 01*. Brno, 2008.

Právní předpisy

- [11] Plán hlavních povodí České republiky: schválený usnesením vlády ČR ze dne 23. května 2007 č. 562. Praha: Ministerstvo zemědělství, 2007. ISBN 9788070846322.
- [12] *Zákon č. 254/2001 Sb.: Zákon o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon)*. In: . Sbíрка zákonů: Česká Republika, 2001, ročník 2001, číslo 113.
- [13] *Vyhláška č. 79/2018 Sb.: Vyhláška o způsobu a rozsahu zpracovávání návrhu a stanovování záplavových území a jejich dokumentace*. In: . Sbíрка zákonů: Česká Republika, ročník 2018.
- [14] *Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2007/60/ES ze dne 23. října 2007 o vyhodnocování a zvládnutí povodňových rizik (Text s významem pro EHP)*. In: . Úřední věstník, 2007.
- [15] *TNV 75 2103: Úpravy řek*. 2014. Ministerstvo Zemědělství ČR, 2014.
- [16] VACULÍK, VRŠKA, BILÍK, TRUPL a BŘENDA. *Navrhování sdružených objektů a zemních hrází do výšky 15 m: Typizační směrnice stavebního objektu*. Praha, Tábořská 31: Hydroprojekt Praha, 1981.

Online zdroje

- [17] 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. 2018-12-21]. Dostupné z: <http://www.dibavod.cz/>
- [18] Český ústav zeměměřičský a katastrální (ČÚZK) [online]. Praha 2017 [cit. 2018-12-21]. Dostupné z: <http://www.cuzk.cz/>
- [19] Geoportál ČÚZK. *Geoprohlížeč ČÚZK* [online]. [citováno 2018-12-21]. Dostupné z: <http://geoportal.cuzk.cz/geoprohlizec/39>
- [20] Geologická mapa: http://mapy.geology.cz/geocr_50/
- [21] Česká geologická služba. *GeoDATA. Mapový server* [online]. [citováno 2018-12-21]. Dostupné z: <http://mapy.geology.cz/website/geoinfo/viewer2.htm>
- [22] Národní geoportál Inspire verze 1.0. [online]. [citováno 2018-12-21]. Dostupné z: <http://geoportal.gov.cz/web/guest/home>
- [23] UHMANOVÁ, Hana a Lukáš SMELÍK. *Fotografický katalog drsností* [online]. [cit. 2018-12-21]. Dostupné z: <https://sites.google.com/site/katalogdrsnosti/>
- [24] KÜHBACHER, Christian. *Shallow Water: Derivation and Applications* [online]. In: . s. 1-102 [cit. 2018-12-21]. Dostupné z: <http://www.mathematik.tu-dortmund.de/lsiii/cms/papers/Kuehbacher2009.pdf>
- [25] Český hydrometeorologický ústav [online]. [cit. 2019-01-03]. Dostupné z: <http://portal.chmi.cz/>
- [26] *EAGRI: Centrální evidence vodních toků* [online]. [cit. 2019-01-03]. Dostupné z: <http://eagri.cz/public/web/mze/voda/aplikace/cevt.html>
- [27] Historická data: Brno - Tuřany. *Český hydrometeorologický ústav* [online]. Brno, 2019, 4.1.2019 [cit. 2019-01-04]. Dostupné z: <http://portal.chmi.cz/historicka-data/pocasi/denni-data#>

Software

- [28] GARY W. a BRUNNER. *HEC-RAS River Analysis system: Hydraulic Reference Manual* [online]. Version 5.0 Davis California, 2017 [cit. 2018-12-21]. Dostupné z: <http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/documentation/HEC-RAS%205.0%202D%20Modeling%20Users%20Manual.pdf>
- [29] Produkty Atlas DMT: Profesionálně zaměřené aplikace. In: *atlasltd.cz* [online]. Praha: ATLAS spol. s.r.o., 2019 [cit. 2019-01-03]. Dostupné z: <http://www.atlasltd.cz/produkty-atlas-dmt.html>
- [30] ArcMap. *ArcGIS Desktop* [online]. 2019 [cit. 2019-01-03]. Dostupné z: <http://desktop.arcgis.com/en/arcmap/>

Zdroje dokumentační

- [31] Studie proveditelnosti stavby – Litava II. – přírodě blízká protipovodňová opatření a obnova přirozené hydromorfologie a retenční kapacity toku a nivy v úseku ř. km 16,0 (Újezd u Brna) až ř. km 24,0 (Slavkov u Brna) z roku 2013, Šindlar s.r.o., Na Brně 372/2a, Hradec Králové 500 06, AgPOL s.r.o. Jungmanova 153/12, Olomouc 773 00

- [32] Geodetické zaměření stávajícího stavu z listopadu 2017, ZK-Brno s.r.o.
- [33] KINCL, Martin. *Litava II – přírodě blízká protipovodňová opatření – PPO Hrušky: Biologický průzkum*. 1. Brno: Ekopontis, 2018.
- [34] Údaje o průtocích z února 2018, obdržené od ČHMÚ, Brno.
- [35] Historický záznam o průběhu povodně včetně fotodokumentace z roku 2010 – Jan Kauf, starosta obce Hrušky
- [36] Povodí Moravy,s.p., Dřevařská 11, 602 00 Brno – zapůjčení hydrologických dat pro toky Litava a Rakovec v celé jejich délce.

Organizace

- [37] Povodí Moravy,s.p., Dřevařská 11, 602 00 Brno
- [38] Regioprojekt Brno,s.r.o., U Svitavy 1077/2, 618 00 Brno

SEZNAM TABULEK

Tab.3.1 m – denní průtoky pro Litavu ř. km 20,450	8
Tab.3.2 N – leté průtoky pro Litavu ř. km 20,450	8
Tab.3.3 m – denní průtoky pro Rakovec ř. km 0,000	8
Tab.3.4 N - leté průtoky pro Rakovec ř. km 0,000	8
Tab.3.5 N - leté průtoky pro Litavu ř. km 20,460 – nad soutokem.....	8
Tab.3.6 Průběh teoretické povodňové vlny [32]	9
Tab. 6.1 Staničení a objekty na řešeném úseku Litavy	32
Tab. 6.2 Přehled objektů na řešeném úseku toku Rakovec	32
Tab. 7.1 Normové požadavky pro stanovení návrhového průtoku podle druhu přilehlých pozemků	33
Tab. 7.2 Členění stavebních objektů	Chyba! Záložka není definována.
Tab. 8.1 Přehled drsností použitých při výpočtu.....	58
Tab. 9.1 Přehled drsností použitých při výpočtu.....	62
Tab. 9.2 Průtoky a výšky hladin obdržené od PMO	63
Tab. 9.3 Průtoky a výšky hladin obdržené od PMO	70
Tab. 10.1 Rozdíly hladin při Q_{100} – Litava - návrhový stav	75

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 3.1 Zaměřené výškové body	6
Obr. 3.2 DMT řešeného úseku v programu HEC-RAS.....	7
Obr. 3.3 Hydrogram teoretické povodně [32]	9
Obr. 3.4 Webová mapová služba ze serveru cuzk.cz spuštěná v prostředí programu ArcGis 10.5 [28]	10
Obr. 4.1 Schéma ustáleného rovnoměrného proudění [1].....	11
Obr. 4.2 Křivky vzduší a snížení [1].....	13
Obr. 4.3 Směr výpočtu nerovnoměrného proudění metodou po úsecích [1]	13
Obr. 4.4 Schéma výpočtu nerovnoměrného proudění metodou po úsecích.....	14
Obr. 6.1 Trasy toků v zájmové lokalitě	18
Obr. 6.2 Soutok Litavy z Rakovcem – povodňová události v obci Hrušky z 2. června roku 2010 [34]	19
Obr. 6.3 Geologická mapa řešeného území M 1:50 000 [20]	21
Obr. 6.4 Záplavové území Litavy a Rakovce v KÚ Hrušky u Brna o rozloze cca 0,82 km ² [36]	23
Obr. 6.5 Tok Litava ř. km 19,460 – 19,824 – ČOV – pohled po toku	25
Obr. 6.6 Tok Litava – pohled proti toku na silniční most v ř. km 19,821	25
Obr. 6.7 Tok Litava – výust ČOV do recipientu – pohled proti toku	26
Obr. 6.8 Tok Litava – koryto toku v ř. km 19,460 – 19,821 (ČOV – silniční most) – pohled po toku.....	26
Obr. 6.9 Tok Litava – levostranný bezejmenný přítok Litavy v ř. km 19,821.....	27
Obr. 6.10 Tok Litava – úsek koryta toku v ř. km 19,821 – 20,432 – pohled proti toku	27
Obr. 6.11 Tok Litava – stávající lávka v ř. km 20,005 – pohled po toku.....	28
Obr. 6.12 Tok Litava ř. km 20,432 – soutok Litavy s Rakovcem.....	28
Obr. 6.13 Tok Litava – úsek koryta toku v ř. km 20,432 – 20,928 – pohled proti toku	29
Obr. 6.14 Tok Rakovec – silniční most v ř. km 0,287 – pohled proti toku.....	30
Obr. 6.15 Tok Rakovec – stávající jez v ř. km 0,264 – pohled proti toku	30
Obr. 6.16 Tok Rakovec – úsek koryta toku v ř. km 0,000 – 0,638 – pohled po toku	31
Obr. 6.17 Tok Rakovec – pohled proti toku ze silnice III. třídy č. 4194	31
Obr. 7.1 Etapizace projektu.....	34
Obr. 7.2 Vyznačeno chráněného území při průtoku Q ₁₀₀ o rozloze cca 0,24 km ²	44
Obr. 8.1 Schéma postupu práce.....	45
Obr. 8.2 Pracovní prostředí programu Atlas DMT – pohled na list situace.....	47
Obr. 8.3 Ikona pro vložení kreslicího prvku polygonu	47
Obr. 8.4 Možnosti nahrání zdrojových dat pro tvorbu DMT	48

Obr. 8.5 Polygon osy koryta toku	49
Obr. 8.6 Ukázka podélného profilu koryta toku v programu Atlas.....	49
Obr. 8.7 Ukázka bodového pole modelu terénu	50
Obr. 8.8 Nástroj vytvoření modelu terénu.....	50
Obr. 8.9 Položka pro spuštění nástroje editace terénu	51
Obr. 8.10 Možnosti editace modelu terénu	51
Obr. 8.11 Ukázka 3D modelu terénu v programu ArcScene – současný stav soutoku Litavy s Rakovcem.....	52
Obr. 8.12 Polygony využití území	52
Obr. 8.13 Příklad Mapy hloubek.....	53
Obr. 8.14 Okno pro načtení souboru s koordinačním systémem	54
Obr. 8.15 Okno pro načtení terénních podkladů	54
Obr. 8.16 Model terénu současného stavu s vypočtenou hloubkou hladiny při Q_5	55
Obr. 8.17 Model terénu návrhového stavu s vypočtenou hloubkou hladiny při Q_5	55
Obr. 8.18 Editor 2D oblastí	56
Obr. 8.19 Okno pro zadání rozměru buněk Meshe	57
Obr. 8.20 Výsledný 2D výpočtový Mesh.....	57
Obr. 8.21 Okno pro nástroj kreslení „BC Lines“	58
Obr. 8.22 Celkový počet okrajových podmínek	58
Obr. 8.23 Umístění okrajových podmínek (popis v tab. 8.1).....	59
Obr. 8.24 Kontrola časového kroku výpočtu dle Couranta.....	60
Obr. 8.25 Nastavení výpočtu pro 2D oblast	60
Obr. 8.26 Export výsledků hladin a rozlivů z programu HEC-RAS.....	61
Obr. 9.1 Hydrogram průtoku v místě horní okrajové podmínky	64
Obr. 9.2 HEC-RAS – podélný profil stávajícího stavu koryta toku Litava	65
Obr. 9.3 HEC-RAS – příčný profil stávajícího stavu koryta toku Litava	65
Obr. 9.4 HEC-RAS – podélný profil stávajícího stavu koryta toku Rakovec.....	66
Obr. 9.5 HEC-RAS – příčný profil stávajícího stavu koryta toku Rakovec	66
Obr. 9.6 Příčný profil koryta v místě silničního mostu na Litavě v ř. km 19,822	67
Obr. 9.7 HEC-RAS – podélný profil návrhového stavu koryta toku Litava	68
Obr. 9.8 HEC-RAS – příčný profil návrhového stavu koryta toku Litava.....	69
Obr. 9.9 HEC-RAS – podélný profil návrhového stavu koryta toku Litava.....	69
Obr. 9.10 HEC-RAS – příčný profil návrhového stavu koryta toku Litava.....	70
Obr. 9.11 Batygrafie Suché nádrže Hrušky.....	71
Obr. 9.12 Transformace povodňové vlny Suchou nádrží Hrušky	73

Obr. 10.1 Kontrola výsledků pomocí „profil lines“ 75

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 ...	Coriollisovo číslo	$[-]$
H ...	Nadmořská výška hladiny	$[m \text{ n. m.}]$
x,y ...	Vzdálenost v daném směru	$[m]$
t ...	Čas	$[s]$
τ ...	Smykové napětí	$[Pa]$
T ...	Turbulentní smykové napětí	$[Pa]$
n ...	Manningův drsnostní součinitel	$[-]$
ζ ...	Součinitel místní ztráty	$[-]$
PMO	Povodí Moravy,s.p.	
ČOV	Čistírna odpadních vod	

SEZNAM PŘÍLOH

VÝKRESOVÁ ČÁST A:

- A.1.1. Situace širších vztahů
- A.1.2. Přehledná situace
- A.2. Situace stavby
- A.3. Podélný profil koryta toku Litava – stávající stav
- A.4. Podélný profil koryta toku Rakovec – stávající stav
- A.5. Podélný profil koryta toku Litava – návrhový stav
- A.6. Podélný profil koryta toku Rakovec – návrhový stav
- A.7. Vzorový příčný řez korytem toku Litava km 19,460-20,822 (ČOV - silniční most)
- A.8. Vzorový příčný řez korytem toku Litava km 19,822-20,450 (silniční most - přítok Rakovce)
- A.9. Vzorový příčný řez nivou Rakovce - hráz suché nádrže
- A.10. Vzorový příčný řez meandrovým pásem Rakovce
- A.11. Vzorový výkres nouzového přelivu
- A.12. Výkres sdruženého objektu

MAPOVÁ ČÁST B – Současný stav:

- B.1. Mapa rozlivů pro Litavu a Rakovec při Q_{100} , Q_{20} , Q_5
- B.2. Mapa hloubek pro Litavu a Rakovec při Q_{100}
- B.3. Mapa hloubek pro Litavu a Rakovec při Q_{20}
- B.4. Mapa hloubek pro Litavu a Rakovec při Q_5

MAPOVÁ ČÁST C: - Návrhový stav

- C.1. Mapa rozlivů pro Litavu a Rakovec při Q_{100} , Q_{20} , Q_5
- C.2. Mapa hloubek pro Litavu a Rakovec při Q_{100}
- C.3. Mapa hloubek pro Litavu a Rakovec při Q_{20}
- C.4. Mapa hloubek pro Litavu a Rakovec při Q_5

VÝPOČETNÍ ČÁST D:

- D.1. Hydrotechnické výpočty - Vodohospodářské řešení Suché nádrže Hrušky