



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

**Fakulta stavební
Katedra hydrauliky a hydrologie**

**STUDIE ZÁPLAVOVÉHO ÚZEMÍ MĚSTA ČESKÝ TĚŠÍN NA ŘECE
OLŠI**

The study of flood plain of the city Český Těšín on the river Olše

Diplomová práce

Studijní program: Stavební inženýrství

Studijní obor: Vodní hospodářství a vodní stavby

Vedoucí práce: doc. Ing. Aleš Havlík, CSc.

Bc. Alena Šarmanová

Praha 2018



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební

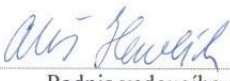
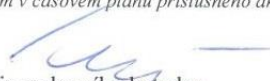
Thákurova 7, 166 29 Praha 6

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Šarmanová	Jméno: Alena	Osobní číslo: 412680
Zadávající katedra: 11141 - Katedra hydrauliky a hydrologie		
Studijní program: Stavební inženýrství		
Studijní obor: Vodní hospodářství a vodní stavby		

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce: Studie záplavového území města Český Těšín na řece Olši	
Název diplomové práce anglicky: The study of flood plain of the city Český Těšín on the river Olše	
Pokyny pro vypracování: Výpočet průběhu hladin povodňových průtoků v záplavovém území řeky Olše v Českém Těšíně s využitím 2D matematického modelu. Výpočet bude proveden variantně pro přístup čistě 2D a kombinaci 1D/2D, kdy vlastní koryto bude řešeno 1D přístuepem a proudění v inundačním území 2D přístuepem. Oba přístupy budou na závěr zhodnoceny s uvedením kladů i záporů.	
Seznam doporučené literatury: HEC-RAS, River Analysis system: 2D Modeling User Manual. February 2016, Davis, USA.	
Jméno vedoucího diplomové práce: Doc. Ing. Aleš Havlík, CSc.	
Datum zadání diplomové práce: 4. 10. 2017	Termín odevzdání diplomové práce: 7. 1. 2018 <i>Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku</i>
 Podpis vedoucího práce	 Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v diplomové práci a při citování postupovat v souladu s metodickou příručkou ČVUT „Jak psát vysokoškolské závěrečné práce“ a metodickým pokynem ČVUT „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.

<u>4. 10. 2017</u> Datum převzetí zadání	<u>Alena Šarmanová</u> Podpis studenta(ky)
---	---

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracovala samostatně pod vedením doc. Ing. Aleše Havlíka, CSc., a že jsem uvedla veškeré použité informační zdroje, a to v souladu s metodickou příručkou ČVUT "O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací" a v souladu s metodickou příručkou ČVUT „Jak psát vysokoškolské závěrečné práce“.

V Praze dne 7. 1. 2018

.....
podpis autora
Bc. Alena Šarmanová

Poděkování:

Děkuji mému vedoucímu diplomové práce doc. Ing. Aleši Havlíkovi, CSc. za odborné vedení, věcné rady a připomínky a za pomoc a čas, který mi věnoval při zpracování diplomové práce.

Ráda bych také poděkovala státnímu podniku Povodí Odry za poskytnutá data a především bych chtěla poděkovat Ing. Břetislavovi Turečkovi za jeho čas a vstřícný přístup ke konzultacím této práce.

Abstrakt

Diplomová práce se zabývá stanovením rozsahu záplavového území pro povodňové průtoky s dobou opakování pět, dvacet a sto let. Vyhodnocení proběhlo pomocí programu HEC-RAS s využitím 2D numerického modelování a následně pomocí kombinace 1D/2D modelování. Výsledky obou přístupů jsou v práci srovnány a na základě nich stanoveny klady a zápory jednotlivých přístupů. Součástí srovnání jsou i výsledky získané z 1D modelování pro zadanou oblast.

Klíčová slova

1D a 2D matematické modelování proudění vody, HEC-RAS, záplavové území, záplavové čáry

Abstract

The thesis is focused on an assessment of an extent of a flood plain for flood flows. The computation was done by a software HEC-RAS by using two-dimensional numerical modelling and by using a combination of one and two-dimensional modelling. Results of both approaches are compared and based on this comparison the advantages and disadvantages of the two approaches of water flow modelling are determined. Results of one-dimensional modelling of the modelled area are also part of the comparison.

Key words

1D and 2D mathematical modelling of water flow, HEC-RAS, flood plain, flood plain line

Obsah

1	Úvod.....	8
2	Popis vodního toku Olše.....	9
2.1	Základní údaje.....	9
2.2	Povodí toku.....	10
2.3	Trasa toku.....	10
2.4	Historické povodně.....	11
2.4.1	Povodně v roce 1940.....	11
2.4.2	Povodně v roce 1970.....	11
2.4.3	Povodně v roce 1985.....	12
2.4.4	Povodně v roce 1997.....	12
2.4.5	Povodně v roce 2010.....	12
3	Podrobný popis zájmové oblasti.....	14
3.1	Mostní objekty.....	19
3.2	Spádové objekty.....	22
4	Přehled použitých podkladů.....	24
4.1	Topografická data.....	24
4.1.1	Mapové podklady.....	24
4.1.2	Geodetické podklady.....	24
4.2	Hydrologická data.....	25
4.3	Ostatní podklady.....	25
4.3.1	Zprávy, studie, dokumenty.....	25
4.3.2	Normy, zákony, vyhlášky.....	25
4.4	Místní šetření.....	26
5	Matematické modelování proudění vody v otevřených korytech.....	27
5.1	Modelování jednorozměrného (1D) proudění.....	27
5.1.1	1D ustálené nerovnoměrné proudění.....	27
5.1.2	1D neustálené proudění.....	28
5.2	Modelování dvourozměrného (2D) proudění.....	28
5.2.1	Řídící rovnice.....	29
5.2.2	Možnosti numerického řešení.....	30

5.2.2.1	Metoda konečných diferencí.....	30
5.2.2.2	Metoda konečných prvků.....	30
5.2.2.3	Metoda konečných objemů.....	31
5.3	Kombinovaný přístup 1D a 2D modelování.....	31
5.4	Modelování trojrozměrného (3D) proudění.....	31
6	Matematický model.....	32
6.1	Program HEC-RAS.....	32
6.2	Vytvoření digitálního modelu terénu (DMT).....	32
6.3	Tvorba 2D modelu.....	32
6.3.1	Modelování objektů.....	34
6.3.1.1	Mostní objekty.....	35
6.3.1.2	Spádové objekty.....	36
6.4	Tvorba 1D/2D modelu.....	36
6.5	Charakterizace povrchu.....	38
6.5.1	Kalibrace modelu.....	38
6.6	Okrajové podmínky.....	39
7	Výsledky výpočtů.....	40
7.1	Průběh výpočtu z časového hlediska.....	40
7.2	Hloubky vody.....	40
7.3	Rychlosti proudění vody.....	42
7.4	Hranice rozlivů.....	44
7.4.1	Srovnání rozsahu záplavového území pro Q_{100}	45
7.5	Proudění pod mostními objekty.....	50
8	Závěr.....	52
9	Použitá literatura.....	55
	Seznam obrázků.....	56
	Seznam tabulek.....	58
	Seznam příloh.....	59
	Seznam použitých zkratk a symbolů.....	60
	Příloha č. 1 – Fotodokumentace.....	62
	Příloha č. 5 – Psaný podélný profil.....	72

1 Úvod

Záplavovým územím se rozumí takové území, které může být při výskytu přirozené povodně zaplaveno vodou. Jeho rozsah je stanoven vodoprávním úřadem na základě návrhu správce vodního toku. Návrh záplavového území se stanoví z výsledků hydraulických výpočtů nerovnoměrného proudění pro průtoky s dobou opakování 5, 20 a 100 let a musí být v souladu s návrhem záplavového území recipientu daného vodního toku.

Pro výpočet průběhů hladin povodňových průtoků a k následnému stanovení rozsahu záplavového území se využívá matematického modelování, které v současnosti tvoří nepostradatelnou část řešení fyzikálních a technických úloh. Matematické modelování lze rozdělit hned na několik přístupů, které se liší především prostorovým pojetím proudění. Kromě matematického modelování lze hydrodynamické problémy řešit za pomoci zkoumání jevů na fyzikálních modelech, které jsou založeny na teorii podobnosti, a s využitím experimentální analýzy proudění vody na prototypch, které se vyskytují volně v přírodě.

Předmětem diplomové práce je stanovení rozsahu záplavového území v centru Českého Těšína na řece Olši s využitím dvourozměrného matematického modelování v programu HEC-RAS. Výpočet průběhů povodňových průtoků bude proveden ve dvou variantách. Nejprve bude proudění vody ve zkoumaném úseku toku simulováno pomocí dvourozměrného modelu a poté bude využita kombinace jednorozměrného a dvourozměrného modelování, při které bude samotné koryto toku řešeno jednorozměrným přístupem a proudění vody v inundačním území toku dvourozměrným přístupem. Obě varianty budou na závěr práce srovnány a na základě výsledků budou stanoveny klady a zápory jednorozměrného a dvourozměrného matematického modelování. Součástí srovnání budou i výsledky získané ze zpracování bakalářské práce studentky na téma stanovení rozsahu záplavového území pro zadaný úsek na řece Olši za využití jednorozměrného matematického modelu.

2 Popis vodního toku Olše

2.1 Základní údaje

Název toku: Olše

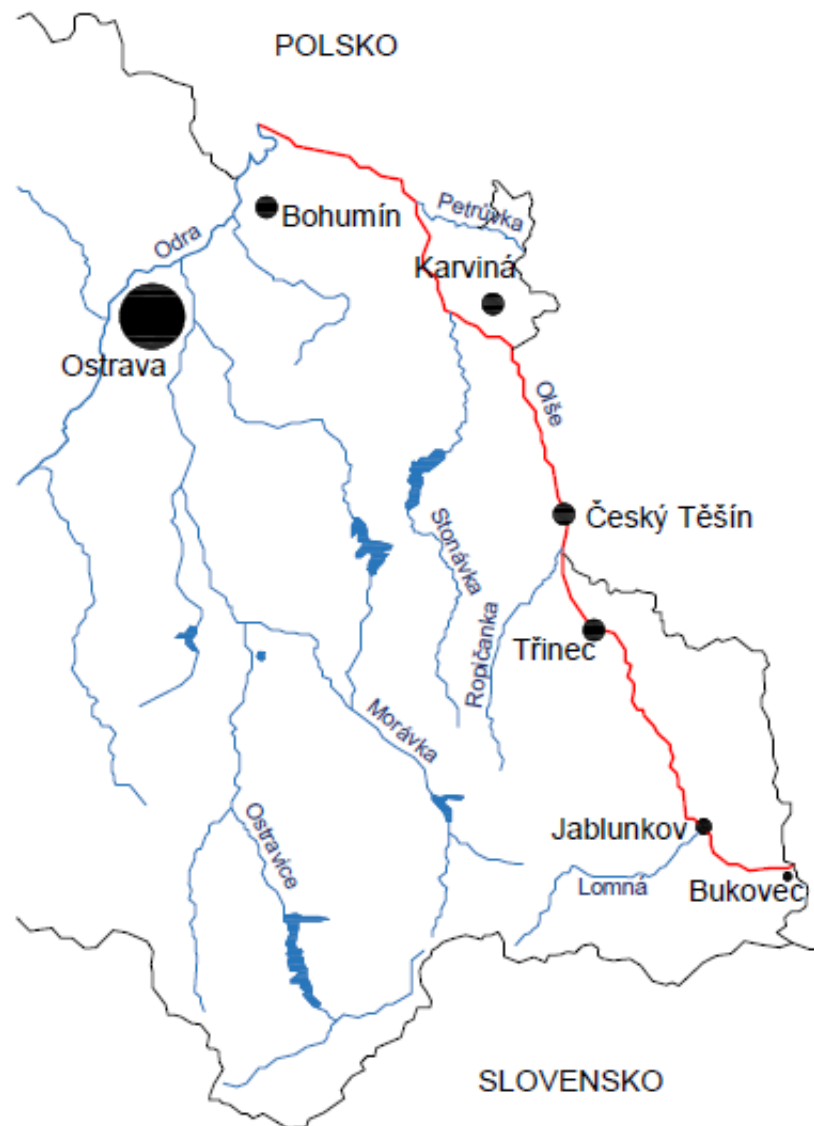
IDVT (CEVT): 10100039 [2]

Číslo hydrologického pořadí toku: 2-03-03-0430, 2-03-03-0450 [2]

Recipient: Odra

ID recipient (CEVT): 10100012 [2]

Správce VT: Povodí Odry, státní podnik



Obrázek 1 Řeka Olše na českém území

2.2 Povodí toku

Řeka Olše se svou hydrologií řadí mezi pět nejvýznamnějších vodních toků v povodí spolu s řekou Opavou, Moravicí, Odrou a Ostravicí. Pramen řeky Olše se nachází na území Polské republiky. Odtud teče jihozápadním směrem a po přibližně 16 km se dostává na české území nedaleko obce Bukovec. Státní hranici České a Polské republiky kříží řeka Olše na říčním kilometru 72,8 v místě zaústění jejího levostranného přítoku Olešky. [1]

Na území České republiky zaujímá Olše celkovou délku 72,8 km, z čehož přibližně 25,3 km tvoří státní hranici mezi výše uvedenými státy. Recipientem je řeka Odra, do níž se Olše vlévá u města Bohumín. Geograficky Olše spadá do beskydské části povodí, která je charakteristická rozkolísanějšími průtoky a méně stabilními poměry během povodní. Těmito vlastnostmi lze Olši charakterizovat jak v horním úseku trati, tak v části pod městem Český Těšín až po soutok s řekou Odrou. [1] Celková délka řeky Olše na území České republiky je znázorněna červenou barvou na obrázku z předchozí strany (obrázek 1).

2.3 Trasa toku

Od obce Bukovec po zaústění levostranného přítoku Lomná se podélný sklon dna řeky Olše pohybuje okolo hodnoty 10 ‰. V úseku přes centra měst Českého a Polského Těšína po zaústění levostranného přítoku Stonávka se sklon dna sníží na hodnotu 3 ‰ a níže po toku postupně až na hodnotu 1,5 ‰ při ústí do řeky Odry. [1]

Směrem od obce Bukovec řeka Olše postupně protéká městy Jablunkov, Třinec a Český Těšín. Níže po proudu se v těsné blízkosti toku nachází města Karviná a Bohumín. Ve městě Třinec Olše protéká na přibližné délce 4,2 km průmyslovým areálem Třineckých železáren. Úsek je ohraničen dvěma jezovými objekty, sloužící k odběrům průmyslové vody pro areál. Třinecké železářny tak patří k největším odběratelům vody z Olše a zároveň k významnému bodovému zdroji znečištění. Růst přilehlých měst za posledních 100 let značně ovlivnil regulační zásahy do koryta řeky Olše. Koryto bylo na úsecích protékajících městy stabilizováno, v některých oblastech byla vybudována protipovodňová opatření v podobě hrází. V úseku pod městem Karviná dochází v důsledku poddolování k přeměně území. Území v této oblasti klesá a vytváří bezodtokovou pánev. V horním úseku mezi obcí Bukovec a městem Jablunkov proběhla stabilizace toku v podobě hrazení bystrin. [1]

V dnešní době lze na Olši nalézt 9 funkčních jezů, sloužící jak k zásobování vodou již zmíněného průmyslového areálu Třineckých železáren, tak k zásobování báňského sektoru v okolí Sovince (km 20,4), případně k odběrům vody pro Elektrárnu Dětmarovice (km 15,8). Přímou na řece Olši nenalezneme žádnou údolní nádrž. Na levostranném přítoku Stonávce se nachází nádrž Těrlicko, která však má svou polohou a velikostí ovládaného povodí na řece Stonávce pouze malý vliv na odtokové poměry a vodní bilanci na Olši. [1]

Mezi čtyři nejvýznamnější přítoky řeky Olše lze zařadit tři levostranné přítoky jimiž jsou bystřiny Lomná a Ropičanka spolu s řekou Stonávkou, a jeden pravostranný přítok řeku Petrůvku. Bystřina Lomná pramení ve východní části Moravskoslezských Beskyd a vyznačuje se značným transportem splavenin. Ropičanka, která taktéž pramení v Moravskoslezských Beskydech a ústí do Olše v horní části města Český Těšín, protéká hustě osídlenou oblastí a část jejího průtoků je převáděna do sousedního Černého potoka, který se dále vlévá do Stonávky. Převod vody byl zřízen za účelem nadlepšování průtoků pro odběry pro Elektrárnu Dětmarovice. Řeka Stonávka je po řece Petrůvce druhým největším přítokem řeky Olše, rovněž pramenící v Moravskoslezských Beskydech. Jak bylo uvedeno výše, významným prvkem nacházejícím se na Stonávce, je údolní nádrž Těrlicko. Čtvrtý z nejvýznamnějších přítoků Olše řeka Petrůvka pramení v Polsku a její charakter odpovídá nížinnému toku. [1]

Kvalita vody v Olši je proměnlivá. Postupně od shora toku je vodní tok zatěžován vypouštěnými odpadními vodami, přičemž nejvíce je znečištěn úsek pod městem Karviná, kde do Olše ústí Karvinský potok obsahující slané důlní vody. [1]

2.4 Historické povodně

Největšími naměřenými povodněmi na řece Olši jsou povodně z roku 2010, 1997, 1985, 1970 a 1940.

2.4.1 Povodně v roce 1940

Během povodní v květnu roku 1940 koryto řeky Olše nestačilo svou kapacitou a došlo k zaplavení velké části města Český Těšín. Povodně byly způsobeny intenzivními dešťovými srážkami a povrchový odtok byl posílen táním sněhu, který se před příchodem dešťů nacházel na hřebenech Moravskoslezských Beskyd. [9]

2.4.2 Povodně v roce 1970

Povodně v červenci roku 1970 byly způsobené dlouhodobými intenzivními srážkami, které nejvíce zasáhly povodí řeky Olše. Ve Věřňovicích, město ležící těsně nad soutokem Olše a Odry, byl naměřen kulminační průtok dosahující hodnoty stoletého průtoků. Výše na toku pod městem Jablunkov tehdy průtok přesáhl hodnotu dvacetiletého průtoků. [A6] V tabulce (tabulka 1) je uveden vývoj povodně směrem po toku dolů.

Profil	Plocha povodí [km ²]	Vodní stav [cm]	Průtok [m ³ .s ⁻¹]	Doba opak. [N-letost]	Obj. povodňové vlny [mil. m ³]
Bukovec	55,81	223	82	20 - 50	7,7
Jablunkov	92,49	375	132	50	15,2
Ropice	383,60	520	410	20	44,0
Dětmarovice	704,66	396	512	20	71,9
Věřňovice	1068,00	524	730	50 - 100	93,8

Tabulka 1 Průběh povodně na řece Olši, červenec 1970 [A3]

2.4.3 Povodně v roce 1985

Povodňová událost, která zasáhla povodí Olše v první polovině srpna roku 1985, patří k nejzávažnějším povodním v povodí řeky Olše. Tehdy se na Olši nad soutokem s řekou Stonávkou nacházela poddolovaná obec Lipiny, která čekala na asanaci. Z bezpečnostních důvodů se musela v průběhu povodni začít vypouštět vodní nádrž Těrlicko, ležící na přítoku Stonávce, a tak došlo k zaplavení poddolovaných Lipin a následně celého města Karviná. Ve Věřňovicích byl naměřen kulminační průtok 830 m³.s⁻¹. [9]

2.4.4 Povodně v roce 1997

Povodně v červenci roku 1997 nebyly pro řeku Olši až tak významnou povodňovou událostí ve srovnání s jinými povodími. Povodně byly způsobeny dlouhotrvajícími intenzivními srážkami, které přišly ve dvou vlnách po sobě. Kulminační průtok na dolním úseku řeky Olše odpovídal přibližně dvacetiletému průtoku. [9]

Profil	Plocha povodí [km ²]	Vodní stav [cm]	Průtok [m ³ .s ⁻¹]	Doba opak. [N-letost]
Jablunkov	92,49	320	117	10
Ropice	383,60	472	389	< 20
Dětmarovice	704,66	412	548	< 20
Věřňovice	1068,00	596	673	> 20

Tabulka 2 Hodnoty kulminačního průtoku na Olši, povodeň červenec 1997 [A3]

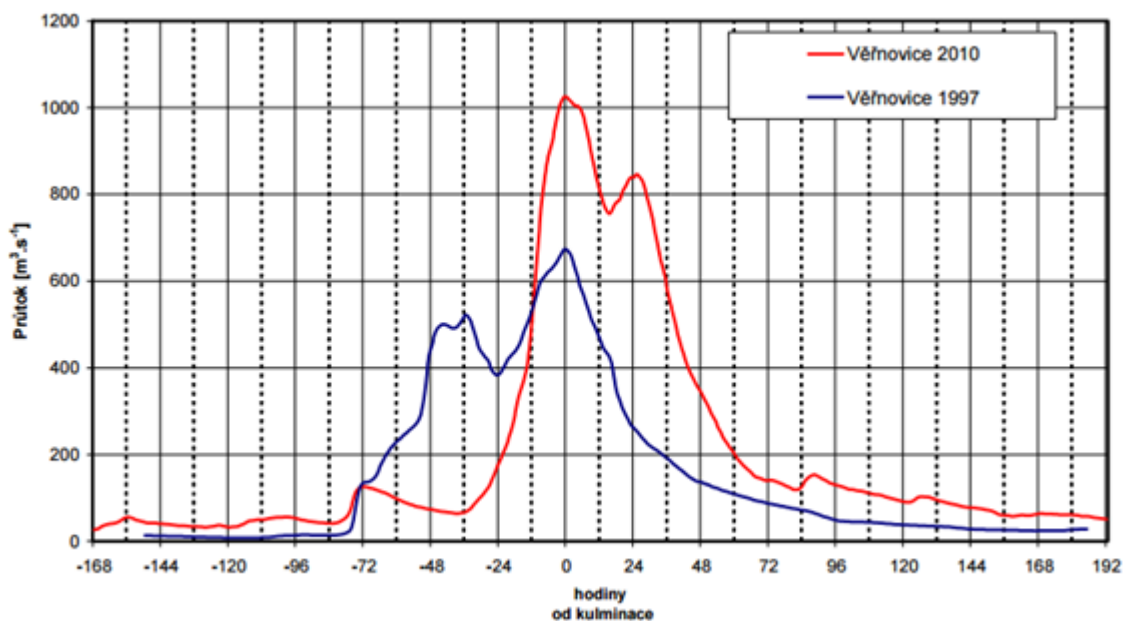
2.4.5 Povodně v roce 2010

Průběh povodni v roce 2010 byl srovnatelný s povodňovou událostí z roku 1997. Příval srážek se dal taktéž rozdělit do dvou fází, které na sebe navazovaly. V první fázi bylo zasaženo především pohoří Beskyd, ve druhé fázi pak bylo nejvíce zasaženo hraniční

území s Polskem a Slovenskem. Výskyt dvou srážkových epizod vedl následně ke dvěma povodňovým vlnám. Nejvíce zasažené povodí při průchodu první povodňové vlny bylo povodí řeky Olše, kde byla zaznamenána hodnota kulminačního průtoku v dolní trati toku přesahující stoletý průtok. [A5]

Povodňová vlna se v průběhu vyvíjela směrem po toku následovně: Podle naměřených dat v Jablunkově povodňová vlna kulminovala při přibližně pětiletém průtoku. Níže po toku nad Českým Těšínem překročil kulminační průtok hodnotu padesátiletého průtoku. V úseku nad soutokem s řekou Odrou byl naměřen kulminační průtok přesahující průtok s dobou opakování 100 let. Situaci na polském území, za soutokem řeky Odry a Olše, značně zkomplikovalo střetnutí povodňových vln obou toků. [A5]

Kulminační průtoky povodně v roce 2010 zaznamenané na vodních tocích v zasažených oblastech dosahovaly přibližně 70 - 90 % hodnot kulminačních průtoků naměřených během povodně v roce 1997. Výjimkou byla řeka Olše, na které kulminační průtoky při povodni v roce 2010 byly výrazně vyšší než v roce 1997. [A5] Pro srovnání je zobrazen (obrázek 2) průběh povodní na Olši v profilu Věřňovice v roce 1997 a 2010.

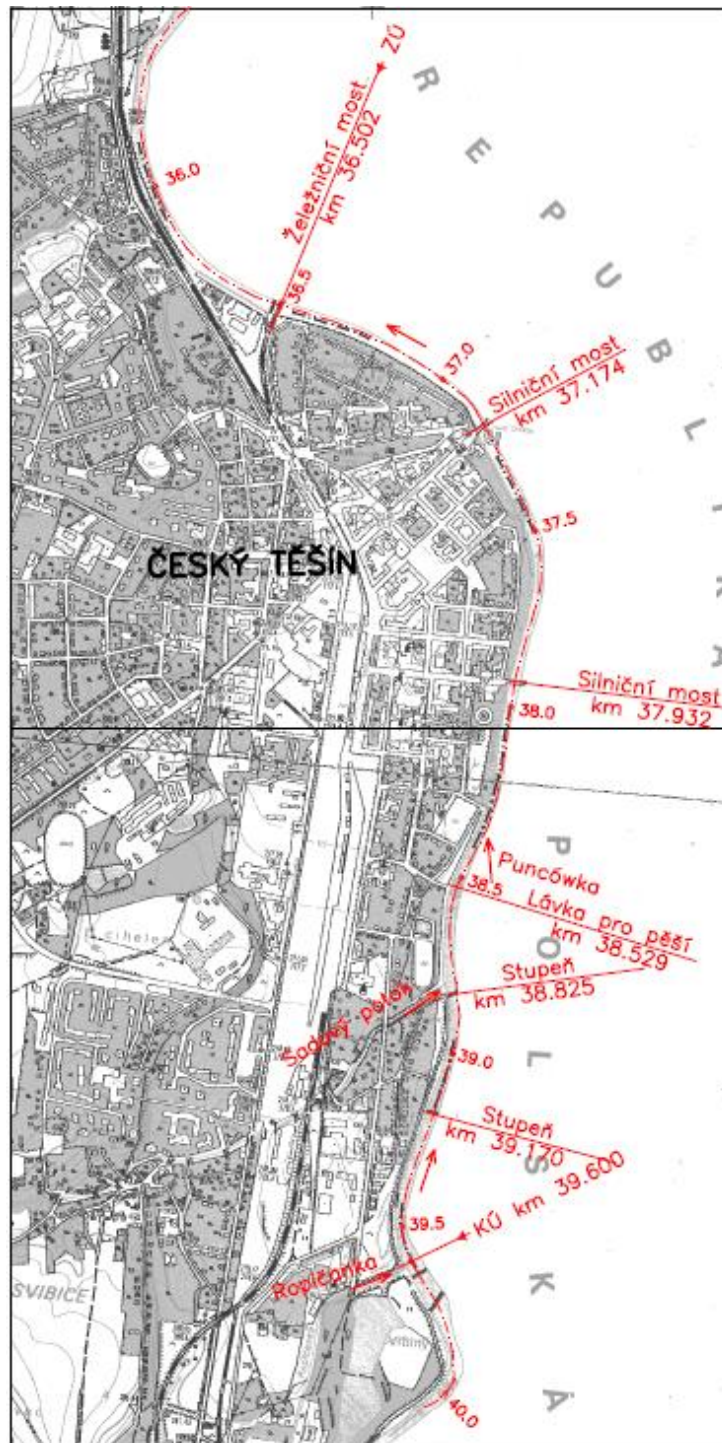


Obrázek 2 Srovnání povodní na řece Olši, rok 1997 a 2010 [A3]

Hodnoty naměřené během povodně v roce 2010 byly v této práci použity pro kalibraci matematického modelu. Hodnota kulminačního průtoku a úroveň hladiny vody byly získány z měření na limnigrafické stanici situované na pravém břehu řeky Olše v centru Českého Těšína (km 37,5). Z naměřených hodnot a následného zohlednění přítoků Ropičnaky, Sadového potoka a Puncówky byl stanoven kulminační průtok o hodnotě $610 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ a hladina vody na úrovni 271,00 m n. m..

3 Podrobný popis zájmové oblasti

Posuzovanou částí vodního toku Olše je úsek protékající městy Český Těšín a Těšín, ohraničený na dolním úseku železničním mostem (km 36.502) a na horním úseku přítokem řeky Ropičanky (km 39.6). Posuzovaná část řeky Olše je vyznačena na níže přiloženém mapovém podkladu (obrázek 3). Zájmový úsek je po celé své délce hraničním tokem, a tudíž jsou jeho odtokové poměry sledovány oběma státy.



Obrázek 3 Vyznačení řešeného úseku vodního toku Olše

V řešeném úseku se nachází celkem tři přítoky řeky Olše, jimiž jsou dva levostranné přítoky řeka Ropičanka a Sadový potok, a pravostranný polský přítok řeka Puncówka. Zaústění řeky Ropičanky (obrázek 4) určuje hranici zkoumaného úseku na horní části toku, koryta obou vodních toků jsou v místě jejich soutoku opevněna kamennou dlažbou do tvaru lichoběžníku.



Obrázek 4 Přítok řeka Ropičanka km 39,6

Koryto řeky Olše od zaústění Ropičanky až po přítok Sadového potoka má tvar lichoběžníku (obrázek 5). Na levém břehu je vybudovaná ochranná hráz, která se táhne po celé délce od Ropičanky až po Sadový potok. Pravý polský břeh je výrazně nižší, porostlý vegetací. V úseku až po přítok Sadového potoka se nachází dva spádové stupně (km 38,825 a 39,170).



Obrázek 5 Olše pod zaústěním Ropičanky, km 36,5

Sadový potok (km 38,817) ústí do Olše v místě pod spádovým stupněm a zaústění je opevněno kamennou dlažbou.



Obrázek 6 Sadový potok, levostranný přítok Olše km 38,817

Úsek pod zaústěním Sadového potoka (km 38,817) až po lávku pro pěší (km 38,529) má levý břeh opevněný betonovou zdí lichoběžníkového tvaru (obrázek 7). Pravý, polský břeh je neupravený, porostlý vegetací. Kóta pravého břehu se nachází výrazně níže než kóta levého břehu, lze tedy očekávat, že dojde v těchto místech nejprve k zatopení území na polské straně.



Obrázek 7 Koryto řeky Olše pod zaústěním Sadového potoka

V tomto úseku se na obou březích nachází park, přičemž strana pravého břehu má charakter lesa, oproti tomu území na levém břehu je udržováno do podoby městského parku.

V úseku pod lávkou pro pěší (km 38,529) dojde ke snížení úrovní obou břehů. Levý břeh zůstává dále z části opevněný, pravý břeh postupně přechází do travního porostu.

Na fotografii (obrázek 8) si lze povšimnout právě probíhající rekonstrukce opevnění paty levého břehu koryta řeky Olše.



Obrázek 8 Km 38,529 pohled z lávky po proudu

Druhým přítokem řeky Olše v části řešeného úseku je již zmíněný pravostranný přítok řeka Puncówka (km 38,350).



Obrázek 9 Zaústění Puncówky km 38,350, pohled po proudu

Zbývající část řešeného úseku má upravené koryto lichoběžníkového tvaru. Levý břeh je udržovaný, ve větší části osetý trávou. Pravý břeh lze charakterizovat travním porostem vyššího vzrůstu s místy se vyskytujícími křovinami.

V úseku pod zaústěním řeky Puncówky (km 38,350) až po silniční most (km 37,932) je řeka Olše po obou stranách obklopena sportovišti, u kterých dochází k zaplavení při výskytu větších průtoků.



Obrázek 10 Olše pod zaústěním Puncówky

Od silničního mostu (km 37,932) až po železniční most (km 36,502), který ohraničuje řešenou oblast na dolním úseku, protéká Olše městskou zástavbou. Na polském území na pravém břehu řeky je umístěna limnigrafická stanice (obrázek 11), na níž byly naměřené hodnoty průtoků během povodně v roce 2010, které byly využity pro kalibraci matematického modelu.



Obrázek 11 Limnigrafická stanice km 37,500, pravý břeh

Níže po toku pod limnigrafickou stanicí byla na pravém břehu na polské straně vybudována opěrná zídka (obrázek 12) sloužící jako součást protipovodňové ochrany. Objekt se nachází podél ulice Aleja Jana Lyska v úseku km 37,227 až ř. km 37,460. Ovlivnění této stavby na odtokové poměry v centru Českého Těšína bylo posouzeno jednorozměrným matematickým modelem v bakalářské práci studentky [A3] pro průtoky s dobou opakování 5, 20 a 100 let, a závěrem výpočtů bylo, že nebyly zjištěny žádné patrné změny v rozsahu záplavových území pro jednotlivé průtoky.



Obrázek 12 Opěrná zeď podél ulice Aleja Jana Lyska

V řešeném úseku se nachází jeden železniční most, dva silniční mosty, jedna lávka pro pěší a dva spádové stupně. Všem jmenovaným objektům jsou podrobněji věnovány následující kapitoly (3. 1 Mostní objekty a 3. 2 Spádové objekty).

Profil koryta mezi železničním mostem (km 36,502) a silničním mostem (km 37,174) je v důsledku dlouhodobých nízkých průtoků zanesený štěrkem a zarostlý trávou (obrázek 13). Průtočný profil koryta je v těchto místech snížený a voda je při nízkých průtocích směřována do pravé části koryta.



Obrázek 13 Pohled na zanesené koryto řeky Olše, km 36,9

3.1 Mostní objekty

Seznam mostů, které se nachází v řešené části řeky Olše, je uveden v následující tabulce (tabulka 3). U každého z objektů je vždy dána jeho poloha vzhledem k vodnímu toku a kóty dolních a horních hran mostovek.

Objekt	Staničení [km]	Dolní hrana mostovky [m n. m.]	Horní hrana mostovky [m n. m.]
Železniční most	35,502	268,80	269,67
Silniční most	37,174	271,09	272,96
Silniční most	37,932	272,69	273,65
Lávka pro pěší	38,529	275,66	276,56

Tabulka 3 Seznam mostních objektů v řešené části řeky Olše

Železniční most (obrázek 14) ohraničuje řešenou oblast na dolním úseku. Most se dvěma pilíři je založen na mohutných základových patkách, které výrazně zasahují do koryta toku. Šířka objektu je 5,9 m, tloušťka pilířů činí 1,96 m.



Obrázek 14 Železniční most km 36,502

Výše na toku se nachází silniční most s jedním pilířem umístěným v ose toku. Šířka objektu je 17,10 m, šířka středového pilíře pak 1,82 m. Mimo středový pilíř se v profilu dnes již zrekonstruovaného mostního objektu nachází zbytky původní konstrukce. V obou průtočných polích jsou stále zbytky pilířů, které svou výškou dosahují přibližně úroveň hladiny třicetidenní vody a nepatrně tak ovlivňují proudění. Na pravém břehu, v patě svahu je pozůstatek celého původního pilíře, který dosahuje až na úroveň spodní hrany mostu. Toho si lze všimnout na fotografii zachycující silniční most (obrázek 15).



Obrázek 15 Silniční most km 37,174

Z fotografie (obrázek 15) je vidět zúžení koryta v profilu silničního mostu. Levý břeh je v těchto místech zpevněný kamennou zdí, která se za mostem pozvolna rozšiřuje až do šíře původního lichoběžníkového koryta. Pravý břeh je opevněn nad a pod objektem v šíři koryta a neomezuje tak jeho kapacitu.

Při pohledu ze silničního mostu po proudu řeky Olše (obrázek 16) je vidět důsledek obtékání středového pilíře vodou při nízkých průtocích. Střed koryta je v úseku pod silničním mostem zarostlý vysokou trávou a křovinami a může tak způsobit nepatrné snížení kapacity koryta v těchto místech.



Obrázek 16 Km 37,174 pohled po proudu na zarostlou středovou část koryta

Třetím mostem na řece Olši v úseku měst Českého a Polského Těšína je silniční most se dvěma pilíři. Celková šířka mostu je 15,4 m a šířka pilířů 0,65 m. Z fotografie (obrázek 17) je patrná dostatečná světlost všech mostních otvorů, lze tedy říci, že v profilu mostu nedochází k výraznému ovlivnění proudění vody korytem.



Obrázek 17 Silniční most km 37,932

Čtvrtým mostním objektem je lávka pro pěší o šířce 4,35m a přibližné šířce pilířů 0,87 m. Všechny tři pilíře jsou založeny mimo koryto řeky Olše a neovlivňují tak proudění vody v korytě.



Obrázek 18 Lávka pro pěší km 38,529

3.2 Spádové objekty

V řešeném úseku se nachází dva spádové stupně. Základní parametry obou objektů jsou uvedeny v následující tabulce (tabulka 4).

Objekt	Staničení [km]	Délka přelivné hrany [m]	Kóta přelivné hrany [m]	Kóta dna v nadjezí [m]	Kóta dna v podjezí [m]
Spádový stupeň	38,825	36,20	270,56	270,56	268,27
Spádový stupeň	39,170	36,60	272,25	272,25	269,96

Tabulka 4 Seznam spádových objektů v řešené části řeky Olše

První spádový stupeň se nachází v profilu nad zaústěním Sadového potoka. Koryto je v místě objektu opevněno kamennou dlažbou, spádová výška objektu činí 2,3 m.



Obrázek 19 Spádový stupeň km 38,825

Druhý objekt se nachází v úseku mezi levostrannými přítoky Olše řekou Ropičankou a Sadovým potokem. Spádová výška objektu činí 2,3 m. Na pravém břehu na polské straně se v místě spádového stupně nachází malá vodní elektrárna řízená polským správcem.



Obrázek 20 Spádový stupeň km 39,170

4 Přehled použitých podkladů

Použité podklady k vypracování diplomové práce byly převzaty ze starších studií, které se rovněž zabývaly odtokovými poměry na řece Olši, a z bakalářské práce autorky této diplomové práce.

4.1 Topografická data

Pomocí topografických dat byla popsána zájmová oblast a byl sestaven digitální model terénu, na základě něhož byl následně vytvořen podklad pro výpočetní model. Mezi topografická data se řadí mapové a geodetické podklady.

4.1.1 Mapové podklady

- Rastrové základní mapy ZABAGED 1:10 000 (RZM 10)
- Letecké ortofoto snímky

4.1.2 Geodetické podklady

Řešená oblast byla zmapována stereofotogrammetrickou metodou a doplněna podrobným geodetickým zaměřením. Stereofotogrammetrickou metodou byl zaměřen polohopis a výškopis následujících prvků, které sloužily jako podklad pro tvorbu digitálního modelu terénu:

- Pravidelná síť výškopisných bodů o velikosti kroku 20 - 30 m, podle členitosti terénu
- Terénní hrany, u kterých převýšení nad sousední hranou převyšovalo 25 cm
- Zídky podél vodního toku ovlivňující proudění vody

Geometrie vodního toku pro vytvoření 1D modelu koryta řeky Olše byla převzata z podkladů geodetického zaměření řeky Olše v úseku Třinec - Český Těšín firmou Pöyry Environment, a. s., Brno, 2012, a byly stanoveny následující prvky:

- Polohopisné zaměření osy koryta řeky Olše
- Polohopisné a výškopisné zaměření příčných profilů
- Polohopisné a výškopisné zaměření objektů nacházejících se na řece Olši (mosty, lávky, ochranné zídky, spádové stupně)

Zaměřená data byla pořízena v polohopisném systému S-JTSK a výškopisném systému Balt po vyrovnání.

4.2 Hydrologická data

Použitá hydrologická data pro stanovení rozsahu záplavových území jsou uvedena v následující tabulce (tabulka 5).

Hydrologický profil	Datum pořízení	Říční kilometr	Q ₅	Q ₂₀	Q ₁₀₀	Třída přesnosti
Olše pod Ropičankou	11. 11. 2011	39,500	271	432	652	II.
Olše nad Puncówkou	11. 11. 2011	38,500	271	433	655	II.
Olše nad Bobrówkou	11. 11. 2011	35,400	280	449	682	II.

Tabulka 5 N-leté průtoky (Q_N) v $m^3 \cdot s^{-1}$

4.3 Ostatní podklady

4.3.1 Zprávy, studie, dokumenty

- [A1] Studie vyhodnocení a zvládnání povodňových rizik na řece Olši (úsek Věřňovice - Karviná a úsek Chotěbuz - Třinec). Revital, Praha, 2013.
- [A2] Ministerstvo životního prostředí, Metodika tvorby map povodňového nebezpečí a povodňových rizik. Praha, 2012.
- [A3] Šarmanová, A., Studie záplavového území města Český Těšín na řece Olši, bakalářská práce. Praha, červen 2016.
- [A4] Metodika stanovení aktivní zóny záplavového území, duben 2005.
- [A5] Vyhodnocení povodní v květnu a červnu 2010, Souhrnná zpráva VÚV TGM. Praha, 2011.
- [A6] Povodeň na Olši 18. a 19. 7. 1970, průvodní zpráva. Povodí Odry, s. p., Ostrava, 1976.
- [A7] Fotografie povodně na řece Olši z roku 2010. Dostupné z: [http://www.rybarict.cz/dokumenty\[1254\]-\[cz\]-povoden-v-tesine-kveten-2010](http://www.rybarict.cz/dokumenty[1254]-[cz]-povoden-v-tesine-kveten-2010)
- [A8] VÚV TGM, Oddělení GIS, Prohlížečka záplavových území. Dostupné z: <http://www.dibavod.cz/70/prohlizecka-zaplavovych-uzemi.html>

4.3.2 Normy, zákony, vyhlášky

- [B1] Vyhláška Ministerstva životního prostředí č. 236/2002 Sb., o způsobu a rozsahu zpracování návrhu a stanovování záplavových území.
- [B2] Zákon č. 254/2001 Sb., o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon).

4.4 Místní šetření

Autorka práce se seznámila s územím, kudy protéká řeka Olše, již během zpracování bakalářské práce. Podrobná prohlídka zájmové oblasti sloužila k tvorbě výpočetního modelu, především k identifikaci objektů na vodním toce, určení druhu povrchů a vegetace k následnému určení hodnoty Manningova součinitele drsnosti, a k seznámení se se současným stavem řešeného úseku řeky Olše. Během místního šetření byla pořízena fotodokumentace, která je součástí diplomové práce (příloha č. 1).

5 Matematické modelování proudění vody v otevřených korytech

Obecně lze řešení hydrodynamických problémů rozdělit na zkoumání jevů pomocí fyzikálních modelů, založených na teorii podobnosti, dále pomocí matematického modelování a na experimentální analýzy proudění vody na prototypch vyskytujících se v přírodě. [8]

Matematické modelování je v současnosti nepostradatelným způsobem řešení fyzikálních a technických úloh, založený na abstraktním vyjádření zkoumaného jevu. [8] Diplomová práce je zaměřena především na srovnání jednorozměrného a dvourozměrného matematického modelování prostřednictvím výpočtu rozsahu záplavového území na řece Olši ve městě Český Těšín v programu HEC-RAS. Spolu s těmito dvěma přístupy lze v hydraulice otevřených koryt také využít trojrozměrného modelování. Následující kapitoly stručně popíší jednotlivé přístupy, které se liší především prostorovým pojetím proudění.

5.1 Modelování jednorozměrného (1D) proudění

Jednorozměrné matematické modelování lze nejlépe uplatnit pro samostatná koryta bez inundačního území. Předpokládá se, že příčné a svislé složky rychlosti proudění jsou v porovnání s podélnou složkou zanedbatelné. Podélné složky rychlostí se nahrazují průřezovou rychlostí a hladiny jsou v příčných profilech konstantní. [3] Jednorozměrný model je ze tří výše jmenovaných přístupů nejméně náročný na vstupní data, sestavení hydrodynamického modelu a samotný výpočet průběhů hladin.

Proudění vody v otevřených korytech lze obecně řešit jako proudění ustálené (stacionární) a neustálené (nestacionární). Ustálené proudění lze chápat jako proudění vody o konstantním průtoku v čase a neustálené jako proudění s proměnným průtokem v čase.

5.1.1 1D ustálené nerovnoměrné proudění

Řídícími rovnicemi jsou Bernoulliho rovnice, vyjadřující zákon zachování energie, a rovnice spojitosti, vyjadřující zákon zachování hmoty. [3] Výpočet se provádí tzv. metodou po úsecích.

Bernoulliho rovnice:

$$i_0 \cdot L + y_1 + \frac{\alpha \cdot v_1^2}{2 \cdot g} = y_2 + \frac{\alpha \cdot v_2^2}{2 \cdot g} + \frac{Q^2}{C_p^2 \cdot S_p^2 \cdot R_p} + \xi \left| \frac{v_1^2 - v_2^2}{2 \cdot g} \right| \quad (5.1)$$

kde i_0 – sklon dna [-],

L – vzdálenost mezi profily [m],

y_1 – hloubka proudění v horním profilu [m],

v_1 – průřezová rychlost v horním profilu [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$],
 α – Coriolisovo číslo [-],
 g – gravitační zrychlení [$\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$],
 y_2 – hloubka proudění v dolním profilu [m],
 v_2 – průřezová rychlost v dolním profilu [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$],
 Q – průtok vody [$\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$],
 C_p – průměrná hodnota Chézyho součinitele v řešeném úseku [$\text{m}^{0.5}\cdot\text{s}^{-1}$],
 S_p – průměrná průtočná plocha v řešeném úseku [m^2],
 R_p – průměrný hydraulický poloměr v řešeném úseku [m].

Rovnice spojitosti:

$$Q = S \cdot v \quad (5.2)$$

kde S – průtočná plocha [m^2],
 v – rychlost proudění [m].

Modelování za pomoci ustáleného nerovnoměrného proudění lze využít například při výpočtu průběhů hladin v podélném profilu toku nebo při stanovení rozsahu záplavového území. [3]

5.1.2 1D neustálené proudění

Řídící rovnice pro neustálené proudění lze matematicky vyjádřit pomocí parciálních diferenciálních rovnic a řeší se metodou konečných diferencí. Zákon zachování energie je v případě 1D neustáleného proudění vyjádřen Saint-Venantovými rovnicemi. [3]

$$\frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{Q}{S} \right) + \frac{Q}{S} \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{Q}{S} \right) + g \frac{\partial y}{\partial x} = g \cdot (i_0 - i_E) \quad (5.3)$$

kde t – čas [s],
 x – vzdálenost ve směru osy x [m],
 y – hloubka vody v profilu [m],
 i_E – sklon čáry energie [-].

Rovnice spojitosti má následující tvar.

$$\frac{\partial S}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0 \quad (5.4)$$

Modelování neustáleného proudění lze aplikovat například při výpočtu transformace povodňové vlny v podélném profilu toku. [3]

5.2 Modelování dvourozměrného (2D) proudění

Dvourozměrné matematické modelování je výhodné uplatnit především pro proudění vody v inundačním území, kde lze očekávat rozdílné rychlosti proudění a hloubky vody, oproti korytu vodního toku. Výchozími předpoklady pro modelování 2D proudění jsou zanedbání

svislé složky rychlosti proudění v porovnání s podélnými a příčnými složkami rychlosti, dále proudění vody při poměrně malých hloubkách a využití průměrné svislíkové rychlosti. [3] Ve srovnání s 1D modelem jsou požadavky na vstupní data náročnější, sestavení modelu a výpočet proudění vody je časově náročnější. Povrch modelované oblasti je charakterizován sítí bodů se známými prostorovými souřadnicemi, oproti 1D modelu kdy byl vodní tok a inundační území zachycen řadou příčných nebo údolnicových profilů.

5.2.1 Řídící rovnice

Rovnice vyjadřující zákon zachování hybnosti a hmoty mají v případě 2D modelování následující tvar.

Rovnice kontinuity lze zapsat následovně

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial q_x}{\partial x} + \frac{\partial q_y}{\partial y} = 0 \quad (5.5)$$

kde h – hloubka vody [m],
 q_x, q_y – měrné průtoky ve směru os x, y [m^2/s].

Pohybové rovnice, vyjadřující zákon zachování hybnosti, ve směru osy x lze zapsat

$$\frac{\partial q_x}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\beta \frac{q_x^2}{h} + \frac{1}{2} g \cdot h^2 \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\beta \frac{q_x q_y}{h} \right) + g \cdot h \cdot \frac{\partial z}{\partial x} + \frac{h}{\rho} \frac{\partial p_a}{\partial x} - \alpha \cdot q_y + \frac{1}{\rho} \left[\tau_{0,x} - \tau_{p,x} - \frac{\partial(h \cdot \tau_{x,x})}{\partial x} - \frac{\partial(h \cdot \tau_{x,y})}{\partial y} \right] = 0 \quad (5.6)$$

a ve směru osy y

$$\frac{\partial q_y}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial y} \left(\beta \frac{q_y^2}{h} + \frac{1}{2} g \cdot h^2 \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left(\beta \frac{q_x q_y}{h} \right) + g \cdot h \cdot \frac{\partial z}{\partial y} + \frac{h}{\rho} \frac{\partial p_a}{\partial y} - \alpha \cdot q_x + \frac{1}{\rho} \left[\tau_{0,y} - \tau_{p,y} - \frac{\partial(h \cdot \tau_{y,x})}{\partial x} - \frac{\partial(h \cdot \tau_{y,y})}{\partial y} \right] = 0 \quad (5.7)$$

kde β – Boussinesqovo číslo [-],
 z – kóta dna [m],
 ρ – hustota [$kg \cdot m^{-3}$],
 p_a – atmosférický tlak na vodní hladině [Pa],
 $\tau_{0,x}, \tau_{0,y}$ – smykové napětí na dně ve směru os x, y [Pa],
 $\tau_{p,x}, \tau_{p,y}$ – smykové napětí na hladině ve směru os x, y [Pa],
 $\tau_{x,x}, \tau_{x,y}, \tau_{y,x}, \tau_{y,y}$ – smykové napětí vlivem turbulence [Pa].

Smyková napětí způsobená turbulencí [8]:

$$\tau_{x,x} = \mu_t \left(2 \frac{\partial v_x}{\partial x} \right), \tau_{x,y} = \tau_{y,x} = \mu_t \left(\frac{\partial v_x}{\partial y} + \frac{\partial v_y}{\partial x} \right), \tau_{y,y} = \mu_t \left(2 \frac{\partial v_y}{\partial y} \right) \quad (5.8)$$

kde μ_t – turbulentní viskozita [-],
 v_x, v_y – složky vektoru rychlosti ve směru os x a y [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$],
 x, y – vzdálenost ve směru os x a y [m].

Rovnice Smagorinského turbulentního modelu [8]:

$$\mu_t = \alpha \cdot \Delta x \cdot \Delta y \sqrt{\left(\frac{\partial v_x}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial v_y}{\partial y}\right)^2 + \frac{1}{2}\left(\frac{\partial v_x}{\partial y} + \frac{\partial v_y}{\partial x}\right)^2} \quad (5.9)$$

kde α – bezrozměrný koeficient ($0,01 \leq \alpha \leq 0,5$),
 $\Delta x, \Delta y$ – rozměry buňky výpočtové sítě [m].

5.2.2 Možnosti numerického řešení

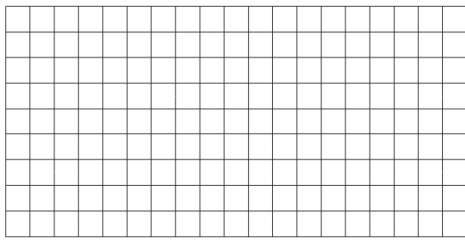
Pro numerické řešení rovnice spjitosti a pohybových rovnic se využívají tři přístupy, jimiž jsou metoda konečných diferencí, metoda konečných objemů a metoda konečných prvků. [3]

5.2.2.1 Metoda konečných diferencí

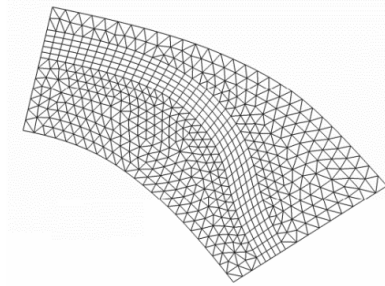
Metoda konečných diferencí využívá pro výpočet proudění v dané oblasti ortogonální síť. Povrch terénu je tak nahrazen polygony se stejnou délkou stran ve směru osy x a y (obrázek 21). Sestavení takové sítě se pak stane poměrně jednoduché, síť směřuje k relativně stabilnímu výpočtu s krátkou dobou trvání. Nevýhody metody spočívají ve špatné charakterizaci koryta výpočetní sítě především v zakřivených tratích a v obtížném přizpůsobení sítě objektům nacházejícím se na vodním toce a v jeho blízkém okolí. Metodu je vhodné použít například při stanovení rozsahu záplavových území v rozsáhlé oblasti. [3]

5.2.2.2 Metoda konečných prvků

V případě této metody je výpočetní síť tvořena kombinací trojúhelníkových a čtyřúhelníkových polygonů (obrázek 22), což umožňuje modelování proudění vody v proměnlivém terénu a lze detailně vymodelovat proudění vody objekty. Z toho však plyne delší doba výpočtu, ve srovnání s předchozí metodou. Metodu konečných prvků lze hodnotit jako nejméně stabilní ze všech třech metod numerického řešení. [3]



Obrázek 21 Ukázka ortogonální sítě [3]



Obrázek 22 Výpočetní síť metody konečných prvků [3]

5.2.2.3 Metoda konečných objemů

Metoda konečných objemů představuje kombinaci předchozích dvou metod. Její výpočetní síť je vytvořena ze čtyřúhelníkových elementů jejichž rozměry a úhly jsou variabilní. [3] Tuto metodu využívá výpočetní program HEC-RAS, který byl využit pro modelování povodňových průtoků v diplomové práci. Výpočetní síť je v tomto případě tvořena převážně čtvercovou sítí, pouze v místech napojení na objekty, případně u vnějších hranic modelované oblasti, dochází k přizpůsobení tvaru buněk výpočetní sítě a hrany a úhly jednotlivých elementů se tak stávají nepravidelné. Výpočetní síť metody konečných objemů je ukázána v navazujících kapitolách (6.3 Tvorba 2D modelu, obrázek 24 a kapitola 6.3.1 Modelování objektů, obrázek 25).

5.3 Kombinovaný přístup 1D a 2D modelování

Jednou z možností numerického modelování je využití kombinace 1D a 2D modelu. V tomto případě je koryto vodního toku řešeno pomocí 1D přístupu za využití Bernoulliho rovnice a rovnice spojitosti (rovnice 5. 1 a 5. 2) a navazující inundační území vodního toku je řešeno pomocí dvourozměrného modelování (viz. kapitola 5.2.1 Řídící rovnice). Napojení koryta toku a jeho inundace je řešeno, v případě modelování v programu HEC-RAS, pomocí funkce Lateral Structure (více v kapitole 6.4 Tvorba 1D/2D modelu). Přechodné místo mezi korytem vodního toku a jeho inundačním územím, tedy přechod mezi 1D a 2D modelem, je voleno v místech břehových hran nebo v případě výskytu ochranných hrází pak v úrovni těchto objektů. Oblast přechodu může být však zvolena i v rovinném území podél vodního toku, kde dochází k výrazné změně členitosti terénu nebo k výskytu objektů městské zástavby, a je tedy výhodnější použít dvourozměrný model pro přesnější výsledky modelování proudění vody těmito oblastmi. Proudění vody v přechodných úsecích mezi 1D a 2D modelem může být řešeno buď pomocí řídicí rovnice vyjadřující zákon zachování hybnosti, a nebo jako přepad vody přes přelivnou hranu.

5.4 Modelování trojrozměrného (3D) proudění

Trojrozměrné modelování v hydraulice umožňuje modelovat proudění vody v prostorovém měřítku a do výpočtu zahrnuje všechny tři složky rychlosti proudění, tj. složku podélnou, příčnou i svislou. Kvůli složitosti výpočtu se 3D modelování doposud uplatní pouze při detailním řešení objektů na vodním toce. [3]

6 Matematický model

Průběh hladin povodňových průtoků s dobou opakování 5, 20 a 100 let byl modelován ve výpočetním programu HEC-RAS verze 5.0.3. Výpočet byl proveden ve dvou variantách, které budou na závěr této práce srovnány. Nejprve byl výpočet proveden čistě pro 2D model a poté pro kombinaci 1D a 2D, kdy bylo samostatné koryto řeky Olše řešeno pomocí jednorozměrného modelování a přilehlé inundační území toku pak pomocí dvourozměrného modelování.

6.1 Program HEC-RAS

HEC-RAS (Hydrologic Engineering Center River Analysis System) je software, který poskytuje možnost jednorozměrného, dvourozměrného a kombinaci 1D/2D modelování nerovnoměrného proudění otevřenými koryty a inundačním územím. Program dále umožňuje simulaci 1D transportu sedimentů, analýzu kvality vody, simulaci protržení hráze, narušení stability ochranných hrází a jejich přelití, a také poskytuje možnost exportovat data pro další úpravu v programech jako jsou GIS nebo CAD. [6] Dvourozměrné modelování je řešeno metodou konečných objemů, která prokazuje větší stabilitu výpočtu ve srovnání s metodami konečných diferencí a prvků. [4] Navazující kapitoly postupně popíší postup modelování a využití funkce programu HEC-RAS při zpracování diplomové práce.

6.2 Vytvoření digitálního modelu terénu (DMT)

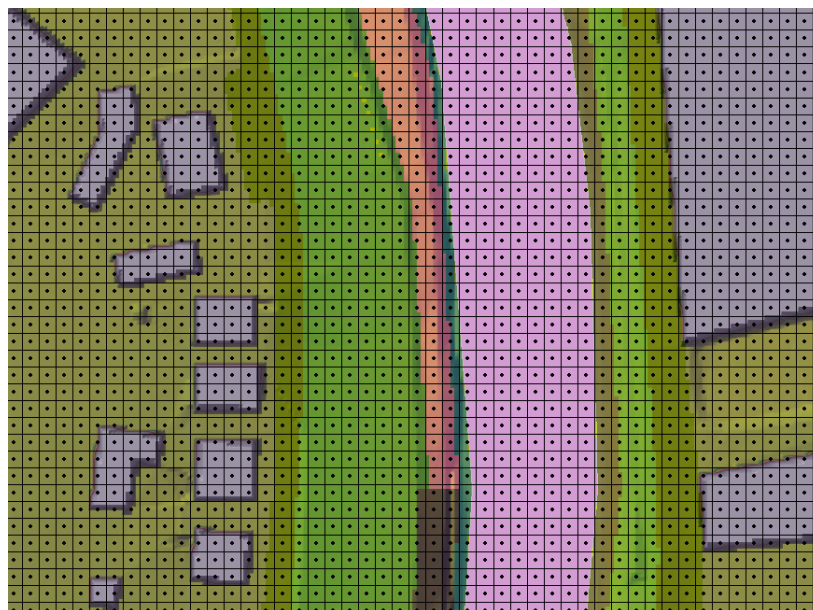
Digitální model terénu byl sestaven na základě podrobného bodového zaměření oblasti. Sít' bodů byla upravena programem AutoCAD 2016 a podle potřeb byly doplněny chybějící objekty. Především se jednalo o zakreslení budov nacházejících se v centru města Český Těšín na základě podkladu ortofotomap. Sít' bodů byla posléze spojena pomocí programu GIS ArcView a byl vytvořen DMT ve formátu *.flt, použitelném pro program HEC-RAS.

6.3 Tvorba 2D modelu

Výpočetní oblast byla vytvořena pomocí sítě polygonů o rozměrech 4x4 m. Velikost polygonů byla zvolena s ohledem na požadovanou přesnost výsledků a podle rozsahu modelované oblasti. Oblast o velikosti 1,558 km² byla zvolena podle předpokládaných rozlivů největšího z modelovaných průtoků, tj. stoletý průtok. Obecně lze říci, že se zmenšující se velikostí výpočetní buňky se zpřesňuje výsledek, ale zároveň se značně prodlužuje doba výpočtu. Každá z buněk má definovaný střed, ve kterém je počítána hladina proudící vody v daném okamžiku. Na následujících obrázcích (obrázek 23 a 24) je ukázka DMT zájmové oblasti a schéma výpočetní sítě 2D modelu.



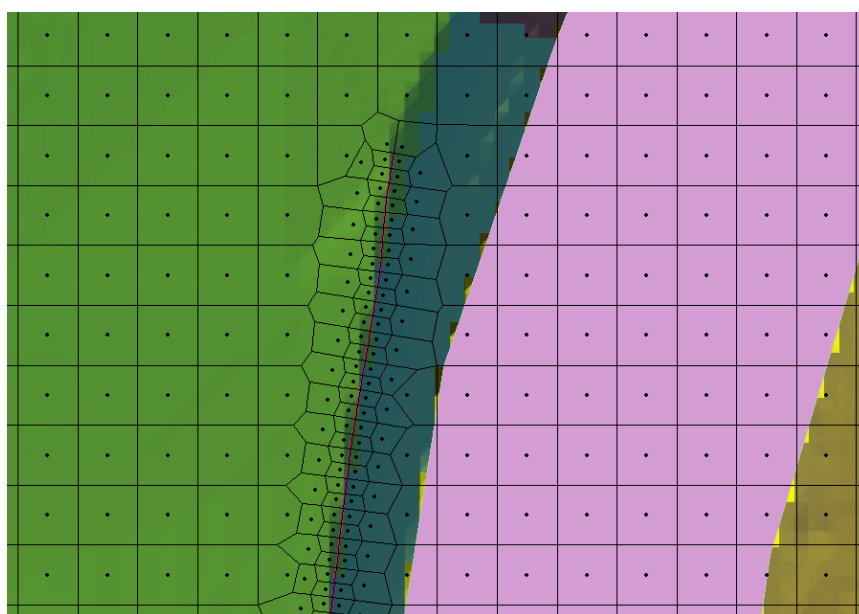
Obrázek 23 Ukázka modelu terénu města Český Těšín v programu HEC-RAS



Obrázek 24 Schéma výpočetní sítě o velikosti buňky 4x4 m

6.3.1 Modelování objektů

Podél koryta vodního toku se v některých úsecích vyskytují opěrné zídky a ochranné hráze, které bylo potřeba také zahrnout do výpočtu. Jelikož při vytvoření výpočetní sítě o velikosti buňky 4x4 m mohlo dojít k překrytí objektu buňkou v celé její šířce, čímž by se podhodnotil efekt obtékání překážek, byly jednotlivé zídky zahrnuty do výpočetní sítě pomocí funkce Break Lines. Jedná se o linie, které je možné včlenit do již vytvořené sítě tak, aby jednotlivé buňky přilnuly k hraně objektů a tím lépe vystihly jejich obtékání vodou. Zvlášť je pak možné nastavit velikost buněk obklopující Break Lines a tím zpřesnit výpočet proudění vody podél těchto objektů. [4] Na obrázku (obrázek 25) je ukázka použití Break Lines s velikostí okolních buněk 1x1 m.



Obrázek 25 Část betonové zdi oddělující koryto řeky Olše a park A. Sikory

6.3.1.1 Mostní objekty

Z uvedených mostů a lávek (tabulka 3), které jsou součástí modelovaného úseku, byly při tvorbě modelu vybrány pouze tři mosty, a to most železniční a dva mosty silniční. Lávka pro pěší byla svým umístěním vzhledem k toku vyhodnocena jako objekt, který neovlivňuje odtokové poměry. Pilíře lávky nezasahují do koryta řeky Olše a průtočný profil řeky v místě lávky není nijak zúžen.

Mosty se do 2D modelu mohou vložit jako 1D objekty. Při této variantě je nutné nejprve vložit zaměřené příčné profily koryta vodního toku v úseku mostního objektu a vytvořit tak úsek, který je řešen 1D přístupem, a tento úsek je dále nutné napojit na zbývající koryto toku, které je řešeno 2D přístupem. Při volbě této varianty vkládání mostních objektů do 2D modelu však může dojít k narušení stability výpočtu proudění vody v místech přechodu mezi 1D a 2D modelem. Z těchto důvodů byla při tvorbě mostů zvolena varianta, při které byly jednotlivé mostní objekty definovány pomocí funkce Break Line. Break Line byla vytvořena v profilu stávajících mostních objektů a dále byla definována jako jezové těleso o příčné šířce a výšce přelivné hrany. Proudění vody v profilu mostu bylo tedy řešeno jako přepad přes jezové těleso podle následující rovnice přepadu. [5]

$$Q = C_d \cdot L \cdot H^{3/2} \quad (6.1)$$

kde Q – celkové množství přepadající vody [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$],
 C_d – součinitel přepadu [-],
 L – šířka přelivné hrany [m],
 H – přepadová výška [m].

Na základě výsledků průběhů hladin 1D modelu v bakalářské práci [A3] bylo zjištěno, že u žádného z mostů nedochází ani při nejvyšším modelovaném povodňovém průtoku k tlakovému proudění, proto byla varianta využití funkce Break Lines přípustná. Aby se co nejlépe vystihlo ovlivnění proudění mostními objekty, které byly vloženy do modelu jako jezové objekty, bylo potřeba najít takovou hodnotu součinitele přepadu C_d , která by způsobila příčné vzduť v profilu mostu. Hodnoty C_d byly kalibrovány na průběhy hladin jednotlivých povodňových průtoků vypočtené 1D modelem v programu HEC-RAS [A3]. Velikosti míry vzduť získané z 1D a 2D modelu jsou pro srovnání uvedené v tabulce (tabulka 6). U každého z objektů je pro jednotlivé povodňové průtoky uveden vždy rozdíl hladiny Δh [m] mezi profily nad a pod mostním objektem zvlášť pro 1D a 2D model.

Objekt	Staničení [km]	$Q_5\Delta h$ [m]		$Q_{20}\Delta h$ [m]		$Q_{100}\Delta h$ [m]	
		1D	2D	1D	2D	1D	2D
Železniční most	36,502	0,56	0,63	0,80	0,70	0,68	0,71
Silniční most	37,174	0,22	0,18	0,23	0,21	0,29	0,31
Silniční most	37,932	0,09	0,12	0,08	0,16	0,09	0,13

Tabulka 6 Výsledky kalibrace součinitele přepadu

6.3.1.2 Spádové objekty

Na základě výsledků výpočtů starších studií [A1] bylo zjištěno pouze nepatrné ovlivnění průběhů hladin povodňových průtoků spádovými stupni (tabulka 4), a proto nebyly zahrnuty do 2D modelu jako samostatné objekty. Spádové objekty, nacházející se v řešeném úseku řeky Olše, byly však součástí zaměření terénu, na základě něhož byl vytvořen DMT, a tak bylo jejich ovlivnění částečně zahrnuto do výpočtů.

6.4 Tvorba 1D/2D modelu

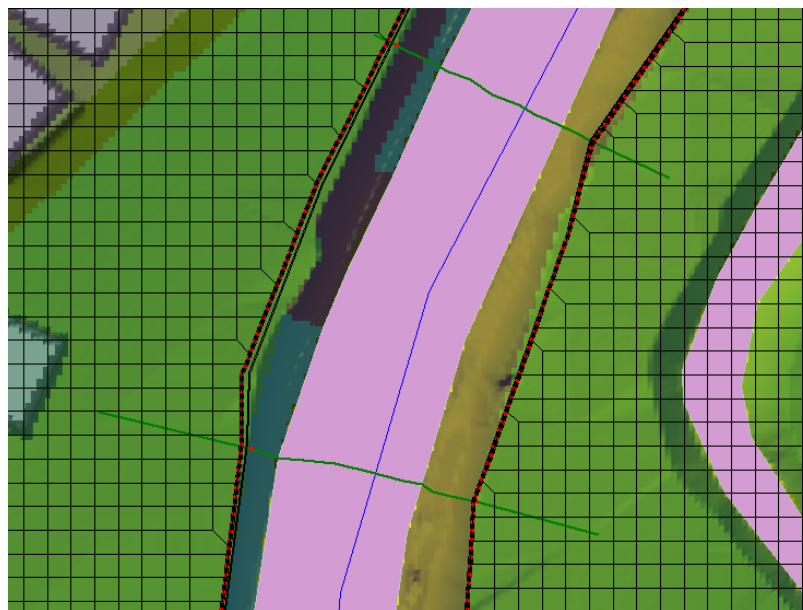
Tvorba 1D modelu byla zaměřena pouze na samotné koryto vodního toku. Model byl vytvořen pomocí zaměřených příčných profilů, které byly vloženy do programu HEC-RAS pouze v šíři koryta ohraničeného břehovými hranami. Všechny mosty byly vytvořeny pomocí 1D objektů a byly doplněny příslušující hodnotou odporového součinitele zohledňující tvar pilířů.

Proudění vody v inundačním území bylo řešeno 2D přístupem. Území nalevo a napravo od koryta toku bylo nahrazeno výpočetní sítí (viz. kapitola 6.3 Tvorba 2D modelu). Napojení koryta vodního toku (1D) a inundačního území (2D) bylo vyřešeno za pomoci funkce Lateral Structure, která představuje objekt podél koryta vodního toku, u nějž je možné definovat výškovou úroveň, šířku a délku přelivné hrany. Lateral structure byla definována v převážné části modelované oblasti v úrovni břehových hran a proudění vody v těchto místech, tedy v místech napojení 1D a 2D modelu, bylo počítáno pomocí pohybové rovnice. V úseku, kde se vyskytuje ochranná hráz, tj. levý břeh Olše mezi zaústěním řeky Ropičanky a Sadového potoka (km 39,5 - 38,82), byla lateral structure definována jako boční hráz a proudění vody bylo počítáno jako přepad přes přelivnou hranu. Rozdělení zkoumané oblasti na 1D a 2D model a jejich vzájemné napojení je znázorněno na následujícím obrázku (obrázek 26). Koryto řeky Olše (1D model) je definováno pomocí zaměřených příčných profilů a inundační území nalevo, respektive napravo od řeky Olše (2D model) je schematizováno výpočetní sítí v rozsahu předpokládaného rozsahu rozlivů stoletého průtoků. Pro představu je na dalším obrázku

(obrázek 27) ukázáno napojení 1D koryta toku a 2D inundačního území toku pomocí lateral structure.



Obrázek 26 Rozdělení zkoumané oblasti, 1D koryto Olše a 2D inundační území



Obrázek 27 Napojení 1D modelu koryta VT a 2D modelu inundačního území VT

6.5 Charakterizace povrchu

Vliv jednotlivých druhů povrchů terénu na proudící vodu byl vyjádřen pomocí hodnoty drsnostního součinitele uvedené v tabulce (tabulka 7).

Název	Stručný popis území	Součinitel drsnosti
Dno koryta Olše	Dno koryta Olše v centru Českého Těšína	0,04
Tráva	Nízká tráva, udržovaný povrch	0,035
Křoviny	Křoviny střední až velké hustoty	0,07
Opevnění	Kamenná dlažba	0,025
Les	Hustší les, hladina vody nedosahuje větví	0,1
Břehový porost	Břeh porostlý vysokou trávou s místy se vyskytujícími křovím	0,05
Park	Městský park s lavičkami	0,06
Cesty	Asfaltové cesty, chodníky, asfaltové plochy	0,016
Zahrady	Oplocené zahrádkářské kolonie	0,1

Tabulka 7 Hodnoty součinitele drsnosti [7]

6.5.1 Kalibrace modelu

Hodnota drsnostního součinitele n pro dno koryta řeky Olše byla kalibrována na povodeň z roku 2010. Hodnota n byla stanovena o velikosti 0,04 zvláště pro průtoky s dobou opakování 5 a 20 let pro obě dvě varianty, tj. 2D modelování a kombinace 1D/2D modelování, a pro průtok s dobou opakování 100 let pro kombinovaný přístup. Pro stoletý

průtok v případě 2D modelování proudění vody byla hodnota n pro dno koryta vodního toku navýšena až na hodnotu 0,06, jelikož vycházely hladiny vody v modelu podstatně níže než skutečně naměřená úroveň hladiny vody.

Rozdíly mezi naměřenou a modelovanou úrovní hladiny mohou být při kalibraci modelu způsobeny unášenými předměty a částicemi dna během povodně, se kterými se v modelu neuvažuje, a které vedou ke vzduť hladiny. Dále možnou změnou morfologie zaměřených příčných profilů a DMT, které byly pořízeny dva roky po simulované povodni, případně nepřesností sestaveného modelu.

6.6 Okrajové podmínky

Definováním okrajových podmínek určujeme místo, kudy voda do modelu vtéká a zase vytéká. V případě horní okrajové podmínky definujeme velikost modelovaného průtoku, u dolní okrajové podmínky většinou stanovíme úroveň hladiny vody, kterou daný průtok dosáhne v místě, kde voda z modelu vytéká. [3]

Jako horní okrajová podmínka byly zvoleny průtoky převzaté ze starší studie [A1], která se zabývala odtokovými poměry na řece Olši (viz. tabulka 5). Průtoky byly zadány zvlášť pro řeku Olši a pro dva přítoky Sadový potok a řeku Puncówka. Velikosti průtoků obou přítoků byly stanoveny jako rozdíl hodnot naměřených průtoků pro Olši.

U kombinace 1D/2D modelování byla využita i možnost postupného navyšování průtoků v příčných profilech, s ohledem na boční přítoky. Program HEC-RAS umožňuje navolit velikost bočního přítoku v kterémkoliv příčném profilu. Tato možnost zadání okrajových podmínek byla u varianty 1D/2D modelování srovnána s možností popsanou v předchozím odstavci.

Dolní okrajová podmínka byla definována pro jednotlivé povodňové průtoky pomocí známe hladiny v profilu na konci modelovaného úseku. Hodnoty byly rovněž převzaty ze starší studie [A1] a jsou uvedeny v tabulce (tabulka 8).

Staničení [km]	Hladina Q_5 [m n.m.]	Hladina Q_{20} [m n.m.]	Hladina Q_{100} [m n.m.]
36.418	265.44	265.87	266.96

Tabulka 8 Hodnoty dolních okrajových podmínek

7 Výsledky výpočtů

Cílem diplomové práce bylo stanovit rozsah záplavového území na řece Olši v centru Českého Těšína s využitím 2D matematického modelu. Výpočet byl proveden zvlášť pro 2D model a následně pro kombinaci 1D/2D, kdy 1D přístupem bylo simulováno proudění vody korytem řeky Olše a 2D přístupem proudění vody v jejím inundačním území. Na základě postupů uvedených v předchozích kapitolách byl stanoven rozsah záplavy pro průtoky s dobou opakování pět, dvacet a sto let a následně byly výsledky obou variant porovnány. Součástí srovnání obou přístupů bylo také srovnání s výsledky bakalářské práce [A3], ve které byl výpočet pro zadanou oblast proveden 1D přístupem a to jak pro koryto řeky Olše, tak pro její inundační území.

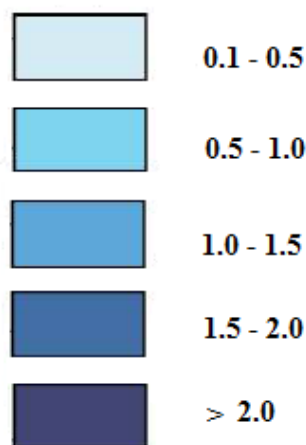
Program HEC-RAS umožňuje vizualizaci rozsahu záplavy pro simulovaný průtok v podobě jednotlivých vrstev. Pro každou buňku z výpočetní sítě (viz. kapitola 6.3 Tvorba 2D modelu) byly zvlášť spočteny hloubky vody, rychlosti proudění a úrovně hladin pro průtoky Q_5 , Q_{20} a Q_{100} ve všech časových intervalech. Tyto výsledky byly exportovány z programu HEC-RAS do rastrového formátu *.tif, který byl dále upraven v programech QGIS a AutoCAD do konečné podoby.

7.1 Průběh výpočtu z časového hlediska

Výsledky proudění povodňových průtoků ve zkoumaném úseku jsou prezentovány pro ustálený stav, model však počítal proudění neustálené. Velikost modelovaného průtoku byla v místě horní okrajové podmínky postupně navyšována až na velikost daného N-letého průtoku a poté byl průtok ponechán na konstantní hodnotě po zbývající dobu modelování. K ustálení hladiny vody průtoku Q_5 došlo v obou případech modelování, tj. 2D modelování a kombinace 1D/2D modelování, přibližně po třech hodinách. V případě průtoku Q_{20} došlo k ustálení hladiny vody v korytě řeky u 2D modelu po 5 hodinách a u kombinovaného modelování 1D/2D po 5,5 hodinách. U obou simulovaných průtoků (Q_5 a Q_{20}) zůstala voda v korytě řeky, nedošlo k rozlivům do okolního inundačního území toku a došlo tak k dřívějšímu ustálení hladin vody v korytě. V případě stoletého průtoku došlo k ustálení hladin vody ve 2D modelu po 9 hodinách a v kombinovaném modelu 1D/2D po přibližně 9,5 hodinách.

7.2 Hloubky vody

Pro jednotlivé průtoky Q_5 , Q_{20} a Q_{100} byly hloubky klasifikovány podle rozsahu a barevného rozlišení dle metodiky [A2]. Mapy hloubek vody jsou součástí příloh č. 6.1, 6.2, 6.3, 6.4, 6.5 a 6.6 a byly vyhotoveny zvlášť pro 2D přístup a zvlášť pro 1D/2D přístup.



Obrázek 28 Klasifikace barev a intervalů hloubek [m] [A2]

Při modelování průtoku s dobou opakování pět let nebyly v obou přístupech nalezeny při vyhodnocení hloubek vody žádné patřičné rozdíly. Voda při takhle nízkých průtocích zůstala v korytě, převýšení břehových hran nad hladinou vody bylo dostatečné a nedošlo tak k rozlívání vody do okolí.

Podobně tomu bylo i v případě modelování dvacetileté vody. Hloubky vody v korytě byly srovnatelné pro oba přístupy. Ani v tomto případě nedošlo k vybřežení vody z koryta, došlo pouze k nepatrným rozlíváním v některých částech zkoumaného úseku, a to mimo městskou zástavbu. Hladina vody dosahovala v některých částech úseku břehových hran, především ve střední a dolní části úseku.

Lze tedy říct, že koryto řeky vytvořené pomocí DMT poměrně přesně odpovídá geodetickému zaměření příčných profilů, využitých při tvorbě 1D modelu koryta řeky. Vzniklé rozdíly v úrovních hladin jednotlivých povodňových průtoků pro oba přístupy jsou graficky znázorněny v podélném profilu (příloha č. 4.1, 4.2 a 4.3) a hodnoty úrovní hladin jsou uvedeny v tabulce psaného podélného profilu (příloha č. 5).

Při modelování průtoku s dobou opakování sto let již byly rozdíly ve vypočtených hloubkách jednotlivých přístupů značnější. Při výpočtu průběhů hladin ve 2D přístupu nedosahovaly hladiny vody předpokládaných úrovní [A8]. V některých částech úseku nedošlo k předpokládaným rozlíváním a vypočtené hloubky vody v úseku mezi silničními mosty (km 37,147 – km 37,932) vycházely průměrně o 0,5 m níž. Pro navýšení úrovně hladin byl nejprve změněn součinitel přepadu přes přelivnou hranu v místě silničního mostu (km 37,174, viz. kapitola 6.3.1.1 Mostní objekty), aby bylo navýšeno vzduší hladiny vlivem mostního objektu, a také byla navýšena hodnota součinitele drsnosti pro dno koryta řeky až na hodnotu 0,06. Navýšením drsnostního součinitele byly do výpočtu zahrnuty vlivy unášených předmětů a vznik dnových útvarů během povodní, se kterými model jinak neuvažuje.

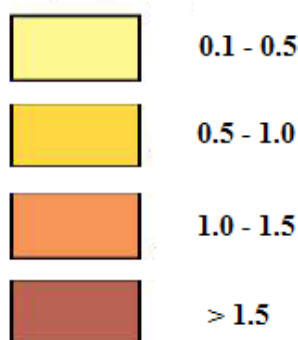
Jinak tomu bylo v případě kombinovaného přístupu 1D/2D. Model byl zpočátku výpočtů nestabilní, hladiny byly rozkolísané po celou dobu simulace a výškové úrovně hladin

vycházely také níž než se předpokládalo. Model vykazoval špatnou stabilitu především v místech napojení 1D koryta a 2D inundace. Výpočet proudění vody v místech napojení (viz. kapitola 6.4. Tvorba 1D/2D modelu) byl nejprve počítán pomocí pohybové rovnice a poté byl výpočet přepnut a počítán pomocí rovnice přepadu. Teprve v druhém případě se vypočtené hladiny vody ustálily a výsledky se daly považovat za věrohodné.

Hloubky vody získané jednorozměrným modelováním celé zkoumané oblasti, tj. koryto vodního toku včetně inundace, jsou závislé především na přesnosti zaměřených údolnicových profilů a na hustotě zaměřených profilů. Hloubky vody v interpolovaných oblastech mezi jednotlivými zaměřenými profily jsou poněkud zkreslené a nemusí vždy odpovídat skutečnému terénu, a tedy i průběhu hladin. Hladiny vody jsou v jednotlivých profilech konstantní po celé šířce, což také přesně nevystihuje proudění vody v inundačním území.

7.3 Rychlosti proudění vody

Pro simulované povodňové průtoky byly rychlosti proudění vody rovněž klasifikovány podle rozsahu a barevného rozlišení dle metodiky [A2]. Mapy rychlostí jsou součástí příloh č. 7.1, 7.2, 7.3, 7.4, 7.5 a 7.6 a byly vytvořeny zvlášť pro oba přístupy (2D a 1D/2D modelování).



Obrázek 29 Klasifikace barev a intervalů rychlostí [m/s] [A2]

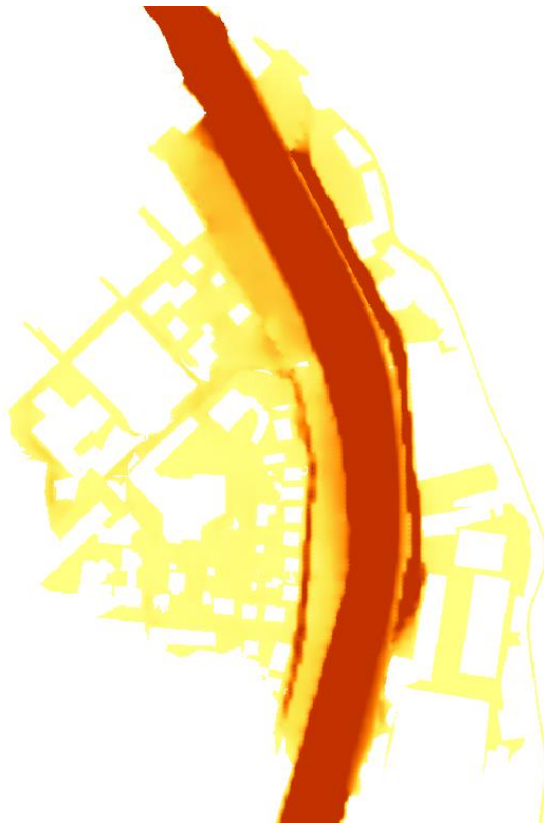
Rozdíly velikostí rychlostí proudění vody byly především v místech břehových hran. U průtoku Q_5 , kde břehové hrany dostatečně převyšovaly hladinu proudící vody a voda tedy proudila pouze samotným korytem, byly velikosti rychlostí v místech podél břehů získané 1D výpočtem téměř trojnásobné ve srovnání s 2D výpočtem. V tomhle případě lze říci, že hodnoty vypočtené 2D přístupem byly v místech obou břehů přesnější. Zatímco 1D model počítal pouze s podélnou složkou rychlosti a výpočet tím poměrně zjednodušil, 2D model zahrnul do výpočtu i příčnou složku proudění. V místech břehů v případě dvourozměrného proudění byly tedy hodnoty rychlostí nižší, což lépe vystihovalo skutečné proudění vody korytem, kdy hodnoty rychlostí klesají ve směru od osy toku k břehům v důsledku tření na stěnách, které působí proti směru proudící vody.

S narůstajícím průtokem, a tak i s rostoucí úrovní vodní hladiny, se rozdíly v rychlostech napříč korytem vodního toku snižují. [10] Toho si lze všimnout na výsledcích výpočtů proudění pro průtok Q_{20} . Rozdíly rychlostí mezi 1D a 2D výpočty se v místech, kde voda proudí pouze korytem, vytrácejí.

Největších rozdílů v rychlostech proudění při srovnání 2D a 1D/2D modelování si lze všimnout u největšího z modelovaných průtoků, tj. Q_{100} (viz. obrázek 30 a 31). Když došlo k dosažení hladiny vody úrovní břehových hran a k následnému vybřežení vody mimo koryto vodního toku, došlo v případě 1D modelování v těchto místech ke zkreslení velikostí rychlostí proudění. Zatímco 1D model stále počítal rychlosti proudění pouze v podélném směru a jejich hodnoty se tak značně snížily, 2D model byl schopný zahrnutím příčné složky rychlosti do výpočtu tuto situaci lépe vystihnout. 2D model při vybřežení vody z koryta rozpozná jiný směr proudění a výsledné rychlosti dosahují vyšších hodnot, které tak lépe odpovídají skutečným rychlostem. Rychlosti proudění v inundačním území byly pak v obou případech srovnatelné, jelikož byly oba případy řešeny pomocí dvourozměrného modelování.



Obrázek 30 1D/2D přístup - ukázka rychlostí proudění v oblasti břehových hran, km 37,174 – 37,833



Obrázek 31 2D přístup - ukázka rychlostí proudění v oblasti břehových hran, km 37,174 – 37,833

V případě varianty, kde byla celá posuzovaná oblast modelována pomocí jednorozměrného matematického modelu, byly rychlosti v jednotlivých příčných profilech nahrazeny průřezovou rychlostí a nebylo tak možné vyhodnotit jejich rozdělení. Rychlosti proudění v inundačním území neodpovídaly skutečným rychlostem proudění, jelikož nebyl 1D model schopný zachytit obtékání objektů. Během výpočtu byly rychlosti proudění zjednodušené, především v oblastech proudění mimo koryto vodního toku. Objekty nacházející se podél vodního toku byly do 1D modelu zahrnuty pomocí zvýšené hodnoty Manningova drsnostního součinitele. V oblastech městské zástavby, kde se předpokládalo, že jsou rychlosti proudění vody snižované a dají se případně zanedbat, se využila funkce programu HEC-RAS tzv. neefektivní plochy. V tomto případě voda ve vybraných oblastech nadále zůstávala součástí výpočtu, ale nebyla zahrnuta do aktivní průtočné plochy. [A3]

7.4 Hranice rozlivů

Pro zadané průtoky byly průsečnice hranic rozlivů s terénem, tzv. záplavové čáry, definovány podle barev a intervalů dle platné metodiky [A2]. Mapy záplavových čar jsou součástí příloh č. 8.1, 8.2 a 8.3 a byly vytvořeny zvlášť pro 1D přístup, 2D přístup a jejich kombinaci 1D/2D.

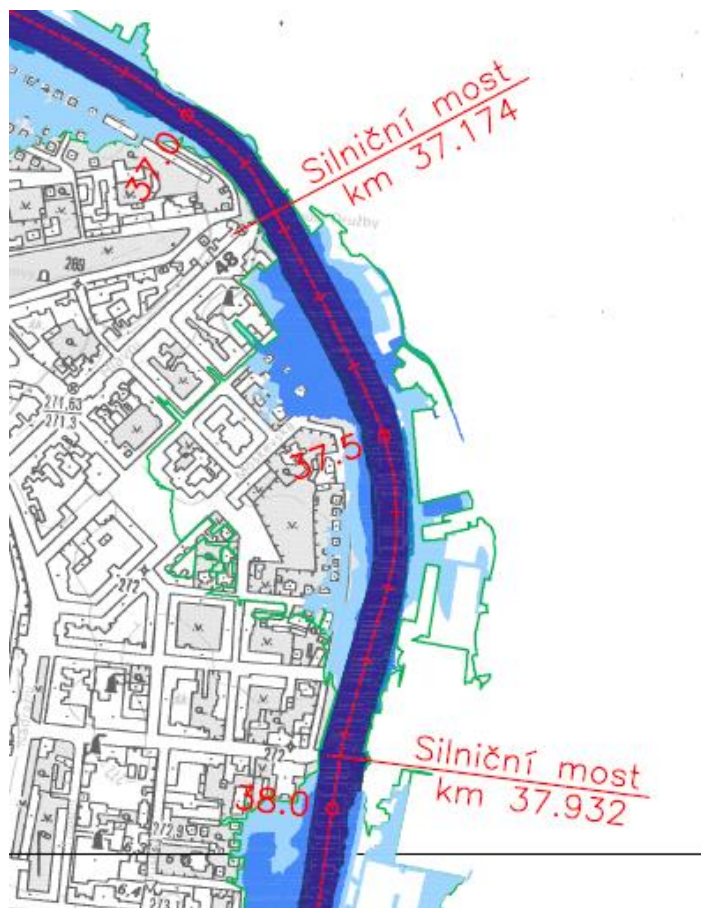


Obrázek 32 Definice hranic rozlivů pro jednotlivé průtoky [A2]

Hranice rozlivů pro průtok Q_5 se ve všech třech variantách překrývaly. Proudící voda zůstala v korytě řeky a rozdíly 1D a 2D modelování byly tedy zřejmé pouze z grafické a psané formy průběhů hladin (příloha č. 4.1, 4.2, 4.3 a 5). Taktéž tomu bylo v případě průtoků Q_{20} . Hranice rozlivů byly shodné, v některých místech došlo k rozlivům mimo koryto, ale pouze v nezastavěné části, jak bylo popsáno v dřívější kapitole (7.2 Hloubky vody). Rozdíly byly znát až u průtoků Q_{100} , kdy došlo k vyběžení vody mimo vlastní koryto řeky. V následující kapitole jsou popsány vzniklé rozdíly v rozsahu záplavového území pro jednotlivé přístupy.

7.4.1 Srovnání rozsahu záplavového území pro Q_{100}

Při modelování stoletého průtoků pomocí dvourozměrného modelu byly dosažené výsledky zprvu neuspokojivé. Úroveň hladiny vody v některých místech, po srovnání s výsledky starších studií [A1], zabývající se podobnou problematikou, nedosahovala požadované kóty. Model koryta musel být upraven, jak již bylo zmíněno v předchozí kapitole popisující výsledky hloubek vody. Po navýšení součinitele přepadu silničního mostu (km 37,174) se vzduť navýšilo přibližně o 0,2 m. Hranice rozlivů však ani v tomto případě neměly předpokládaný rozsah, a tak byla postupně navyšována i hodnota součinitele drsnosti pro dno koryta řeky Olše. Z původní hodnoty drsnostního součinitele 0,04 (viz. tabulka 7) byla hodnota navýšena až na 0,06, kdy byly splněny předpoklady výškových úrovní hladiny vody při Q_{100} . Průběh modelování je zachycen na následujícím obrázku (obrázek 33). Pro ukázkou jsou zde zobrazeny hranice rozlivů stoletého průtoků ve 2D modelu pro počáteční hodnotu součinitele drsnosti dna koryta toku 0,04 (modré polygony) a konečnou hodnotu 0,06 (zelená linie). Také je nutné zmínit, že míra vzduť v profilu silničního mostu (km 37,174), která byla kalibrována na výsledky získané 1D modelem [A3], může být ovlivněna vyskytujícími se zbytky pilířů staré mostní konstrukce. Ty byly do 1D výpočtu zahrnuty, ale 1D model už nemusel přesně vystihnout jejich obtékání, a tak mohlo dojít k nepřesným výsledkům proudění v profilu silničního mostu.



Obrázek 33 Hranice rozlivů Q_{100} , varianta 2D model

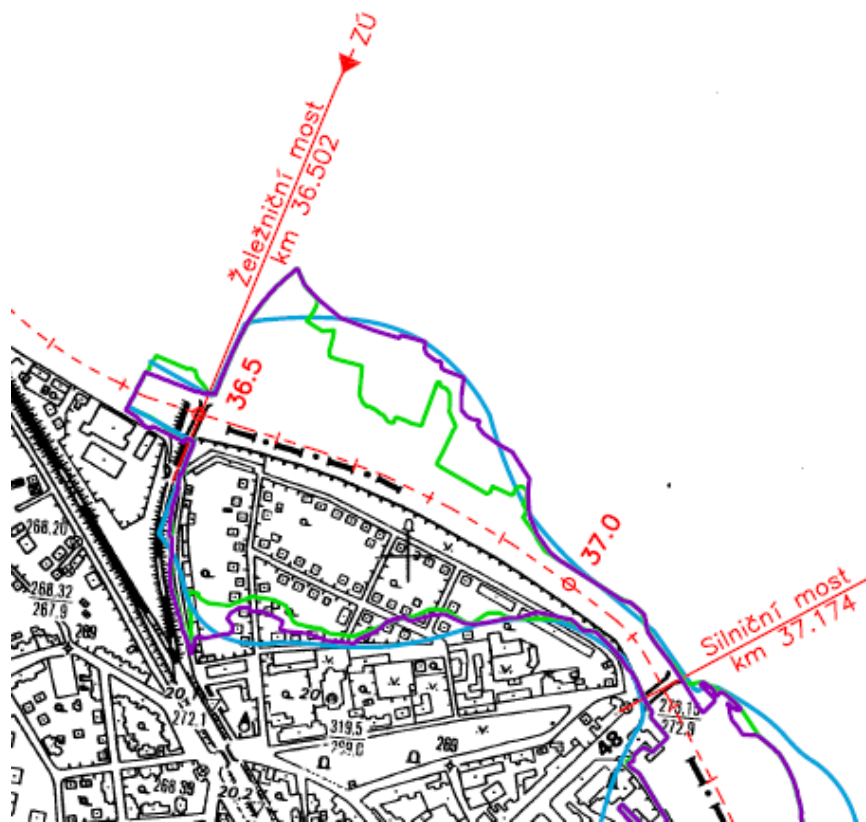
I když se může zdát hodnota součinitele drsnosti 0,06 pro dno koryta upraveného toku poněkud vysoká, hodnota vystihuje charakter vodního toku při povodni. Řeka Olše spadá do beskydské části povodí a za zvýšených vodních stavů se vyznačuje zvýšeným splaveninovým režimem. Během povodní mohou na dně vodního toku vznikat dnové útvary, které způsobí vzduť hladiny. Vodní proud také obsahuje množství splavenin a plavenin, které se můžou ve zúžených úsecích, například v profilech mostních objektů, zachytit a dočasně tak snížit kapacitu průtočného profilu a následně vzdout hladinu vody.

Rozsahy rozlivů získané kombinací 1D/2D modelu a variantou 1D modelování, byly stanoveny pro součinitele drsnosti dna koryta vodního toku 0,04. V navazujících odstavcích jsou pro srovnání vykresleny hranice rozlivů stoletého průtoku pro všechny tři varianty, tj. 2D modelování, 1D modelování a kombinace 1D/2D.

V úseku mezi železničním mostem (km 36,502) a silničním mostem (km 37,174) se hranice rozlivů stoletého průtoku ve všech třech variantách téměř překrývaly (obrázek 34). Malé rozdíly vznikají pouze u 2D přístupu na pravém břehu. Rozdíly v rozsahu záplavy ve srovnání s variantou 1D/2D modelu mohou být způsobeny odlišným popisem proudění vody v profilu mostního objektu (železniční most, km 36,502). Zatímco v 2D variantě bylo proudění simulováno pomocí přepadající vody přes jezové těleso, v 1D/2D přístupu byl železniční most modelován pomocí 1D objektu a obtékání mostních pilířů bylo charakterizováno pomocí koeficientů. Rozdíly také mohou být zapříčiněny odlišným

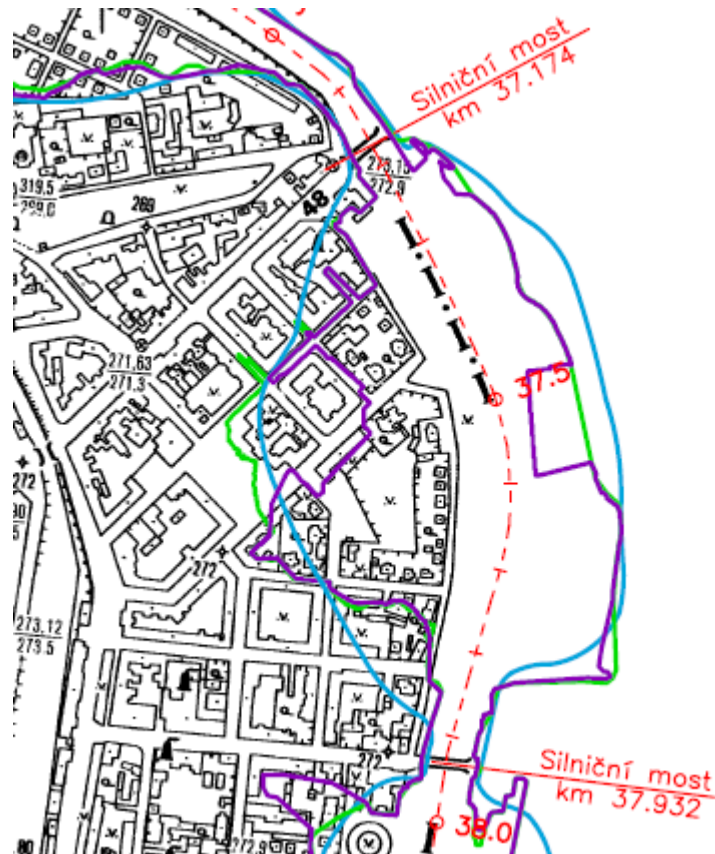
přístupem klasifikace povrchu terénu. Zatímco v 1D modelu koryta byl povrch koryta v celé jeho šíři mezi břehovými hranami nahrazen jedinou hodnotou drsnostního součinitele, ve 2D modelu byl povrch koryta rozčleněn do polygonů odpovídajících jednotlivým druhům povrchu, například opevnění břehu nebo porostlý břeh vegetací.

V případě varianty 1D modelu byly získány úrovně hladin vody v jednotlivých příčných profilech a následně ručně spojeny a poupraveny do odpovídajícího tvaru záplavových čar. Jak již bylo nastíněno v předchozích kapitolách, proudění vody v inundačním území bylo 1D modelem značně zjednodušeno. Proudění intravilánem bylo nahrazeno zvýšenou hodnotou součinitele drsnosti, případně byla zvolena varianta, kdy voda daným územím neproudí vůbec, proto mohou být výsledky proudění v těchto oblastech zavádějící.



Obrázek 34 Hranice rozlivů Q_{100} , varianta 1D (modře), 2D (zeleně), 1D/2D (fialově), km 36,502 – 37,174

V úseku mezi silničními mosty (km 37.174 – 37.932) vznikly pouze nepatrné rozdíly v hranicích rozlivů na levém břehu, a to u kombinovaného přístupu 1D/2D (obrázek 35). Výsledky mohly být rovněž ovlivněny odlišným přístupem klasifikace povrchu koryta řeky Olše a prouděním v profilu silničního mostu (km 39,174). Také mohou být rozsahy rozlivů na levém břehu ovlivněny rychlostmi proudění v místech břehových hran (viz. kapitola 7.3 Rychlosti proudění vody).

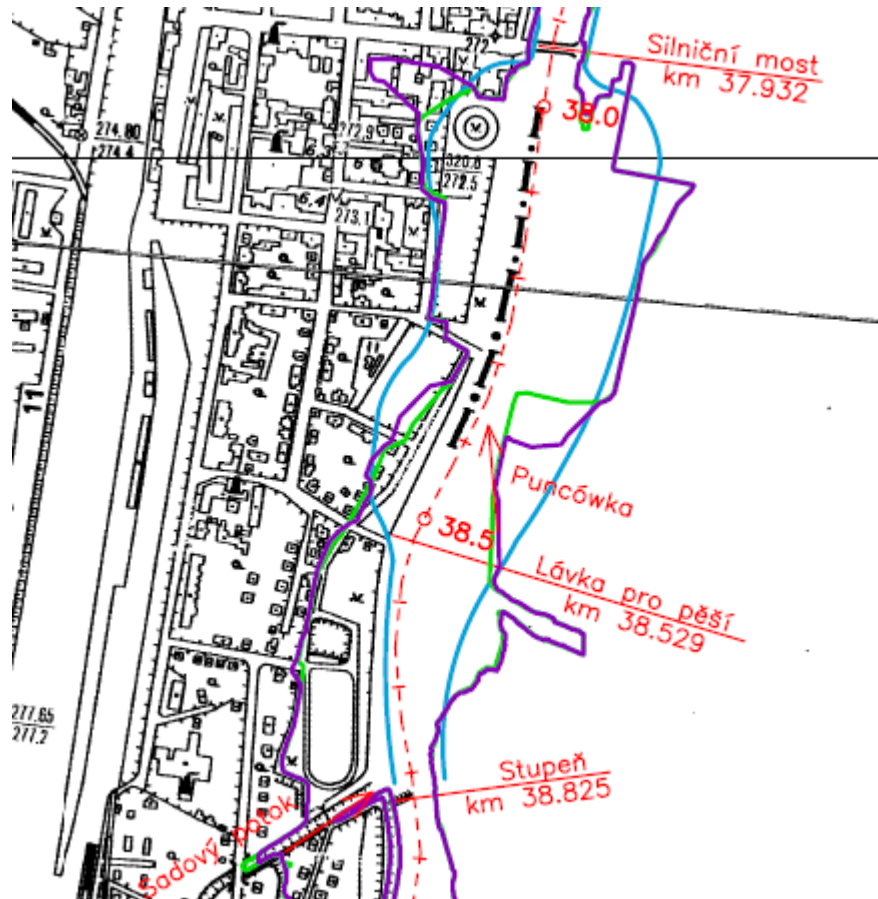


Obrázek 35 Hranice rozlivů Q_{100} , varianta 1D (modře), 2D (zeleně), 1D/2D (fialově), km 37,174 – 37,932

V úseku mezi silničním mostem (km 37,932) a zaústěním Sadového potoka (km 38,817) byly hranice rozlivů rozdílné na levém břehu v místě parku A. Sikory (km 38,529 – 38,817) u 1D modelu (obrázek 36). To bylo ovlivněno rozdílnou délkou modelovaného úseku. Zatímco u 2D modelu a jeho kombinace s 1D modelem koryta byl konec úseku vymezen zaústěním řeky Ropičanky (39,6), u 1D modelu byl zkoumaný úsek vymezený shora přítokem Sadového potoka, nacházejícím se níže po toku. V úseku mezi přítokem Sadového potoka a lávkou pro pěší je levý břeh zpevněný betonovou zdí, která převyšuje úroveň hladiny stoletého průtoku a chrání tak park A. Sikory před vlivy proudící vody v korytě. Výsledky proudění vody v 1D modelu byly v tomto úseku ovlivněny vymezením horní okrajové podmínky v místě až pod zaústěním Sadového potoka. U varianty 2D modelu a kombinace 1D/2D došlo k zaplavení parku A. Sikory v důsledku zpětného vzduť vody v místě zaústění Sadového potoka, se kterým 1D model neuvažuje. Také se hranice rozlivů mírně lišily v místě zaústění pravostranného přítoku řeky Puncówky a lávky pro pěší. U 1D modelu byl přítok zohledněn navýšením průtoku v profilu pod zaústěním a model nepočítal se zpětným vzduť vody v Olši, kdežto u 2D modelu a kombinace 1D/2D byla definována okrajová podmínka v podobě bočního přítoku a k vybřežení vody mimo koryto v těchto místech došlo právě v důsledku zpětného vzduť.

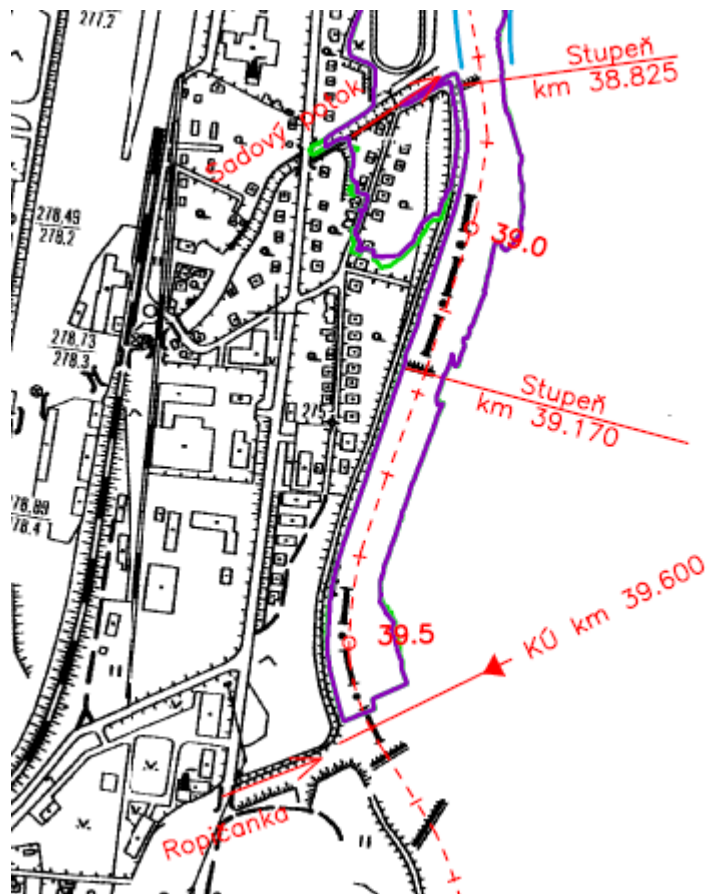
U kombinovaného přístupu 1D/2D modelu byly zkoušeny i různé varianty zohlednění bočních přítoku Sadového potoka a řeky Puncówky. Pro srovnání byl přítok nejprve zohledněn navýšením průtoku v příčném profilu koryta Olše pod zaústěním přítoku, stejně

jak tomu bylo v případě 1D modelování, a následně byl přítok v modelu definován zavedením okrajové podmínky v podobě velikosti průtoků v korytech obou přítoků. Rozdíly v zaplavení okolního území byly pouze z časového hlediska. Při stanovení průtoků v přítocích skrze okrajovou podmínku došlo k dřívějšímu vybřežení vody z koryta vlivem zpětného vzduť, avšak rozdíly byly minimální.



Obrázek 36 Hranice rozlivů Q_{100} , varianta 1D (modře), 2D (zeleně), 1D/2D (fialově), km 37,932 – 38,825

V úseku mezi zaústěním Sadového potoka a Ropičanky byly stanoveny rozsahy záplavových území pouze pro variantu 2D modelování a kombinace 1D/2D modelování (obrázek 37). Hranice rozlivů těchto dvou přístupů si v daném úseku odpovídaly. Na levém břehu se po celé délce úseku táhne ochranná hráz, která chrání přilehlé území. Při průchodu stoletého průtoků však došlo k částečnému zaplavení tohoto území v důsledku zpětného vzduť vody z koryta řeky Olše v místě zaústění Sadového potoka.



Obrázek 37 Hranice rozlivů Q_{100} , varianta 2D (zeleně), 1D/2D (fialově), km 38,825 – 39,600

7.5 Proudění pod mostními objekty

Výsledky proudění vody pod mostními objekty jsou uvedeny v následující tabulce (tabulka 9). U každého z objektů je uvedena kóta dolní hrany mostovky a úroveň hladin N-letých průtoků v profilu mostního objektu.

Objekt		Železniční most	Silniční most	Silniční most
Staničení [km]		36,502	37,174	37,932
Úroveň dolní hrany mostu [m n. m.]		268,80	271,09	272,69
Úroveň hladiny pro Q_5 [m n. m.]	1D	265,89	268,19	270,17
	2D	265,86	268,07	270,04
	1D/2D	265,90	268,08	270,15
Úroveň hladiny pro Q_{20} [m n. m.]	1D	266,63	269,19	271,12
	2D	266,41	268,94	270,94
	1D/2D	266,66	269,03	271,11
Úroveň hladiny pro Q_{100} [m n. m.]	1D	267,53	270,30	272,14
	2D	267,47	270,50	271,98
	1D/2D	267,52	269,98	271,99

Tabulka 9 Výsledky proudění vody pod mostními objekty

Z tabulky je zřejmé, že se ve všech třech případech jednalo o proudění s volnou hladinou a nedošlo u žádného z objektů k zatopení vtoku. Požadavek na minimální převýšení dolní hrany mostu 0,5 m nad hladinou Q_{100} byl splněn. Nejvyšších hladin v profilech mostů bylo dosaženo při 1D modelování. Při proudění vody pod mostními objekty je 1D model schopen poměrně přesně spočítat celkovou průtočnou plochu v závislosti na zadaných geometrických datech objektů, ale neumožní zohlednit usměrnění proudu překážkou ve vodním toce. V tomhle ohledu je tedy výhodnější využít 2D modelování. U silničního mostu (km 37,174) při proudění Q_{100} dosáhla hladina vody nejvyšší úrovně v případě 2D modelování. To je způsobené navýšením hodnoty přepadového součinitele v profilu mostu za cílem vyššího vzduť hladiny.

8 Závěr

Cílem diplomové práce bylo stanovit klady a zápory jednorozměrného a dvourozměrného modelování, na základě výpočtů rozsahů záplavového území na řece Olši v centru Českého Těšína. Výsledky obou přístupů, tj. 2D a 1D/2D modelování, byly v práci navzájem srovnány a do hodnocení byly zahrnuty i výsledky jednorozměrného matematického modelování zadané oblasti na řece Olši, které byly získané ze zpracování bakalářské práce [A3].

Pro přibližně 3 km dlouhý úsek na řece Olši (km 36,502 – 39,600) v centru Českého Těšína byl vypočten průběh hladin pro povodňové průtoky s dobou opakování 5, 20 a 100 let. Výpočet byl proveden zvlášť pro dvourozměrný matematický model a kombinaci dvourozměrného a jednorozměrného matematického modelu, kdy pomocí 1D modelu bylo popsáno proudění vody v korytě vodního toku a využitím 2D modelu bylo vypočteno proudění vody v inundačním území řeky Olše. Na základě získaných výsledků byly vykresleny záplavové čáry (hranice vymezující záplavová území) na mapovém podkladu ZABAGED v měřítku 1:10 000. Součástí výstupů matematického modelování byly také mapy hloubek a rychlostí pro jednotlivé přístupy, tj. 2D a 1D/2D modelování. Stanovením rozsahu záplavového území na řece Olši pro jednotlivé průtoky bylo zjištěno, že dojde k částečnému zaplavení centra města Českého Těšína při výskytu stoletého průtoku. Při průchodu dvacetileté vody dojde pouze k nepatrným rozlivům v některých částech zkoumaného úseku, a to mimo městskou zástavbu, a při výskytu pětileté vody nedojde k vybřežení vody z koryta vůbec. Do výpočtů byly zahrnuty tři mostní objekty, u kterých se předpokládalo, že ovlivní proudění vody v korytě. Výpočtem bylo zjištěno, že úroveň hladin proudící vody v profilech mostních objektů jsou ve všech třech případech natolik nízké, že u žádného z mostních objektů nedojde k zatopení vtoku a jedná se tedy o proudění s volnou hladinou s dostatečným převýšením dolní hrany mostu nad úroveň hladiny stoletého průtoku. Ovlivnění proudění vody mostními objekty bylo tedy pouze lokální, a to vždy v místě nad profilem objektu, kde došlo ke zpomalení proudění vody a vzduť její hladiny.

Při matematickém 1D modelování byla modelovaná oblast charakterizována pomocí zaměřených příčných nebo údolnicových profilů, zatímco u 2D modelování byl skutečný povrch terénu nahrazen sítí výpočetních buněk o zvolené velikosti. Z toho plynula i složitost přípravy modelů. Vzdálenosti zaměřených profilů se zvolily tak, aby byly zachyceny všechny podstatné geometrické změny koryta toku. 1D modely se vyznačují poměrně krátkou dobou výpočtu i pro delší úseky vodních toků, zatímco 2D modely jsou náročnější jak na vstupní data, tak na dobu trvání výpočtu proudění vody. U 2D modelů je mimo jiné rozhodující volba velikosti buněk výpočetní sítě. Se snižující se velikostí buněk se zpřesňuje výsledek proudění, ale výrazně se prodlužuje doba výpočtu. 2D model je schopný zaznamenat rozdílné úrovně hladin vody v korytě a inundaci, kdežto 1D model předpokládá konstantní hladinu v příčném profilu, což může vést k nepřesným výsledkům především při povodňových událostech, kdy jsou hladiny vody v příčném profilu

rozkolísané. Při použití 1D modelů se předpokládá, že příčné a svislé složky rychlostí proudění jsou v porovnání s podélnými složkami zanedbatelné, zatímco 2D model zanedbává pouze složku rychlosti ve směru svislém. To se projevilo ve výpočtu proudění vody v inundačním území, v případě této práce v proudění městskou zástavbou. 1D model nebyl schopný zachytit odlišný směr proudění vody v zastavěném území, oblast centra města Českého Těšína byla do výpočtu zahrnuta pomocí zvýšeného drsnostního součinitele a výpočet se tak značně zjednodušil. Kdežto při 2D modelování byly budovy součástí vytvořeného modelu terénu a program tak vymezil oblasti, kudy voda neproudí vůbec a lépe zachytil obtékání těchto objektů vodou. 2D model se také uplatnil při popisu situace, kdy voda v korytě toku dosáhla úrovně břehů a následně se rozlila do okolního území. Model byl schopný rozpoznat odlišný směr proudění vody a podat tak přesnější výsledky co se týče velikostí rychlostí v místě břehových hran. To se týkalo i proudění vody pod mostními objekty. 1D model poměrně přesně popsal průtočnou plochu v profilu mostního objektu, už ale nebyl schopen dobře vystihnout usměrnění vodního proudu překážkou. V tomhle směru se uplatní využití dvourozměrný model, který je schopný zachytit efekt obtékání objektů v případě proudění vody o volné hladině. Nastane-li však tlakové proudění objektem na vodním toce, 2D model už přesně nevystihne efekt podtékání, a tak je v tomto případě nejvýhodnější využít trojrozměrný model. Rozdíly při sestavování 1D a 2D modelu nastaly také při volbě hodnoty drsnostního součinitele povrchu terénu. Zatímco součinitel drsnosti pro 1D model vyjadřuje odpory povrchu terénu spolu s odpory proudění, které zahrnují i vliv turbulence a zanedbání příčných složek proudění, součinitel drsnosti pro 2D model charakterizuje většinou pouze odpory povrchu. Vliv turbulentního proudění je v případě 2D modelování do výpočtu zahrnut zvlášť. Při tvorbě 1D modelu byl drsnostní součinitel povrchu terénu definován v jednotlivých příčných profilech. Pro 2D model byly vytvořeny polygony odpovídající skutečnému rozdělení jednotlivých druhů vegetace, asfaltových ploch a dalších, což vedlo k přesnějšímu zachycení skutečného terénu.

Obecně lze o jednorozměrných modelech říct, že jsou vhodné pro simulaci proudění vody v podélném profilu upraveného vodního toku s málo zakřivenou trasou nebo pro stanovení záplavového území. Další nevýhodou použití 1D modelů je nepřesné stanovení hladiny vody v oblastech mezi zaměřenými profilem, které vzniknou interpolací sousedních profilů a nemusí tak vždy přesně odpovídat skutečnému terénu. Dvourozměrné modely se uplatní při požadavku na plošné rozdělení hloubek vody a rychlostí proudění vody v zájmovém území, které nejsou součástí výstupů 1D modelů. Problém použití 2D modelování může nastat v případě proudění vody v rozsáhlých oblastech s meandrujícím tokem, kde celková hloubka vody v inundaci značně převyšuje hloubku vody v samotném korytě toku. 2D model není v tomto případě schopný zachytit rozdílné směry proudění vody v jednotlivých vrstvách. Od toho se odvíjí jeden z předpokladů použití 2D modelů, a to proudění poměrně mělké vody.

Při použití kombinovaného přístupu, kde bylo koryto řeky Olše modelováno 1D přístupem pomocí zaměřených příčných profilů a její inundační území 2D přístupem pomocí DMT, se částečně předešlo nevýhodám jednorozměrného modelování. Proudění vody v oblasti

městské zástavby bylo poměrně přesně popsáno dvourozměrným prouděním a zároveň se zachovala jednoduchost 1D výpočtu proudění vody v korytě toku. Celková doba výpočtu 1D/2D modelování průtoku s dobou opakování 100 let činila přibližně 1 hodinu, zatímco u 2D modelování trvala simulace zhruba 3,5 hodiny, i tak lze průběh modelování považovat za velmi rychlý. Nevýhody využití varianty 1D/2D modelování v této práci spočívaly především v počáteční nestabilitě modelu a následně v nepřesných výsledcích rychlostí proudění vody v místech břehových hran v úseku mezi silničními mosty (km 37,174 - 37,932, viz. kapitola 7.3 Rychlosti proudění vody, obrázek 30 a 31). Rozdíly v rozsahu záplavových území mezi 2D přístupem a kombinovaným 1D/2D přístupem jsou viditelné v dolní části modelované oblasti mezi železničním a silničním mostem (km 36,502 - 37,174, kapitola 7.4.1 Srovnání rozsahu záplavového území pro Q_{100} , obrázek 34). Hranice rozlivů stoletého průtoku u 2D modelu nemají na pravém břehu Olše stejný rozsah jako hranice rozlivů Q_{100} u kombinovaného 1D/2D modelování. Naopak v úseku mezi silničními mosty (km 37,174 - 37,932) došlo k rozdílu na levém břehu řeky Olše, kde při kombinovaném 1D/2D modelování nedosáhla hladina vody v centru města rozsahu jako při 2D modelování (viz. kapitola 7.4.1 Srovnání rozsahu záplavového území pro Q_{100} , obrázek 35). V popsaném úseku (km 37,174 - 37,932) mohly rozdíly vzniknout kvůli odlišnému popisu proudění vody v profilu mostního objektu. Ve zbylé části modelovaného úseku si hranice záplavových území získané 2D a kombinovaným 1D/2D modelováním odpovídají a vzniklé rozdíly v úrovních hladin Q_{100} jsou zřejmě pouze z grafické a psané podoby podélného profilu (příloha č. 4.1, 4.2, 4.3 a 5).

Na závěr je důležité zmínit otázku samotného matematického modelování. Při sestavení jakéhokoliv modelu bude vždy docházet k částečnému zjednodušení jak samotného zkoumaného jevu, tak i prostředí, ve kterém se daný jev vyskytuje. Přesnost matematického modelování se bude vždy odvíjet jak od přesnosti geometrických dat, tak od přesnosti dat hydrologických. Určitý vliv na modelování má i simulace přítoků z mezipodí. Matematické modelování nezahrnuje do výpočtů běžně se vyskytující následující povodňové jevy: hladiny vody jsou v profilu toku během povodně rozkolísané, v obloucích dochází k příčnému převýšení hladiny a možnému vzniku vln na vodním toce. Do modelu také není zahrnuta možnost ucpání zúžených částí profilu toku plovoucími předměty, především v profilech mostních objektů. Charakter vodního toku, a tedy i proudění vody vodním tokem, se také odvíjí od aktuálního stavu vegetace, na který mají vliv roční období. Výpočet rozsahu záplavového území na řece Olši byl proveden pro ideální stav koryta, který zahrnul výše popsané jevy pouze částečně.

9 Použitá literatura

- [1] PODNIK POVODÍ ODRY, s. p., *Atlas hlavních vodních toků povodí Odry* [online]. 2016 [cit. 2017-10-25] Dostupné z WWW: <http://www.pod.cz/atlas_toku/olse.html#bilance>
- [2] ČESKÝ HYDROMETEOROLOGICKÝ ÚSTAV, Úsek hydrologie, oddělení povrchových vod [online]. [cit. 2017-10-25] Dostupné z WWW: <<http://hydro.chmi.cz/hydro/>>
- [3] HAVLÍK, A., *Matematické modelování proudění vody s volnou hladinou* [přednáška]. Praha: ČVUT, 2014. [cit. 2017-11-02] Dostupné z WWW: <http://www.bakalarsi.cz/data/KA2/vystupy/prednasky/Matematicke_modelovani_Havlik.pdf>
- [4] HEC-RAS, River Analysis system: 2D Modeling User`s Manual. February 2016, Davis, USA.
- [5] HEC-RAS, River Analysis system: Hydraulic Reference Manual. February 2016, Davis, USA.
- [6] US ARMY CORPS OF ENGINEERS, *Hydrologic Engineering Center* [online]. [cit. 2017-11-03] Dostupné z WWW: <<http://www.hec.usace.army.mil/software/hecras/features.aspx>>
- [7] MAREŠ, K., *Úpravy toků, Navrhování koryt*. Praha: ČVUT, 1997, 210 s. ISBN 80-01-00903-3.
- [8] JANDORA, J., *Matematické modelování ve vodním hospodářství*. Brno: VUT, 2008.
- [9] BROSCH, Otto, *Povodí Odry*. Ostrava: Nakladatelství ANAGRAM s. r. o., 2005, 323 s. ISBN 80-7342-048-1.
- [10] MATTAS, D., *Výpočet průtoků v otevřených korytech*. Praha: VÚV TGM, 2014.

Seznam obrázků

Obrázek 1 Řeka Olše na českém území.....	9
Obrázek 2 Srovnání povodní na řece Olši, rok 1997 a 2010 [A3].....	13
Obrázek 3 Vyznačení řešeného úseku vodního toku Olše.....	14
Obrázek 4 Přítok řeka Ropičanka km 39,6	15
Obrázek 5 Olše pod zaústěním Ropičanky, km 36,5	15
Obrázek 6 Sadový potok, levostranný přítok Olše km 38,817	16
Obrázek 7 Koryto řeky Olše pod zaústěním Sadového potoka	16
Obrázek 8 Km 38,529 pohled z lávky po proudu	17
Obrázek 9 Zaústění Puncówky km 38,350, pohled po proudu	17
Obrázek 10 Olše pod zaústěním Puncówky	18
Obrázek 11 Limnigrafická stanice km 37,500, pravý břeh.....	18
Obrázek 12 Opěrná zeď podél ulice Aleja Jana Lyska.....	19
Obrázek 13 Pohled na zanesené koryto řeky Olše, km 36,9.....	19
Obrázek 14 Železniční most km 36,502	20
Obrázek 15 Silniční most km 37,174.....	21
Obrázek 16 Km 37,174 pohled po proudu na zarostlou středovou část koryta	21
Obrázek 17 Silniční most km 37,932.....	22
Obrázek 18 Lávka pro pěší km 38,529	22
Obrázek 19 Spádový stupeň km 38,825	23
Obrázek 20 Spádový stupeň km 39,170	23
Obrázek 21 Ukázka ortogonální sítě [3]	31
Obrázek 22 Výpočetní síť metody konečných prvků [3].....	31
Obrázek 23 Ukázka modelu terénu města Český Těšín v programu HEC-RAS.....	33
Obrázek 24 Schéma výpočetní sítě o velikosti buňky 4x4 m	34
Obrázek 25 Část betonové zdi oddělující koryto řeky Olše a park A. Sikory	34
Obrázek 26 Rozdělení zkoumané oblasti, 1D koryto Olše a 2D inundační území.....	37
Obrázek 27 Napojení 1D modelu koryta VT a 2D modelu inundačního území VT	38
Obrázek 28 Klasifikace barev a intervalů hloubek [m] [A2].....	41
Obrázek 29 Klasifikace barev a intervalů rychlostí [m/s] [A2].....	42

Obrázek 30 1D/2D přístup - ukázka rychlostí proudění v oblasti břehových hran, km 37,174 – 37,833	43
Obrázek 31 2D přístup - ukázka rychlostí proudění v oblasti břehových hran, km 37,174 – 37,833	44
Obrázek 32 Definice hranic rozlivů pro jednotlivé průtoky [A2]	45
Obrázek 33 Hranice rozlivů Q_{100} , varianta 2D model	46
Obrázek 34 Hranice rozlivů Q_{100} , varianta 1D (modře), 2D (zeleně), 1D/2D (fialově), km 36,502 – 37,174	47
Obrázek 35 Hranice rozlivů Q_{100} , varianta 1D (modře), 2D (zeleně), 1D/2D (fialově), km 37,174 – 37,932	48
Obrázek 36 Hranice rozlivů Q_{100} , varianta 1D (modře), 2D (zeleně), 1D/2D (fialově), km 37,932 – 38,825	49
Obrázek 37 Hranice rozlivů Q_{100} , varianta 2D (zeleně), 1D/2D (fialově), km 38,825 – 39,600	50

Seznam tabulek

Tabulka 1 Průběh povodně na řece Olši, červenec 1970 [A3]	12
Tabulka 2 Hodnoty kulminačního průtoku na Olši, povodeň červenec 1997 [A3].....	12
Tabulka 3 Seznam mostních objektů v řešené části řeky Olše	20
Tabulka 4 Seznam spádových objektův řešené části řeky Olše.....	22
Tabulka 5 N-leté průtoky (Q_N) v $m^3 \cdot s^{-1}$	25
Tabulka 6 Výsledky kalibrace součinitele přepadu	36
Tabulka 7 Hodnoty součinitele drsnosti [7].....	38
Tabulka 8 Hodnoty dolních okrajových podmínek	39
Tabulka 9 Výsledky proudění vody pod mostními objekty.....	51

Seznam příloh

Příloha č. 1 – Fotodokumentace	
Příloha č. 2 – Situace širších vztahů	
Příloha č. 3 – Celková situace zájmového území	M 1:10 000
Příloha č. 4 – Podélný profil	
4.1 – Podélný profil, varianta 1D	M 1:10 000/100
4.2 – Podélný profil, varianta 2D	M 1:10 000/100
4.3 – Podélný profil, varianta 1D/2D	M 1:10 000/100
Příloha č. 5 – Psaný podélný profil	
Příloha č. 6 – Mapa hloubek vody	
6.1 – Mapa hloubek vody pro Q_5 , varianta 2D	M 1:10 000
6.2 – Mapa hloubek vody pro Q_5 , varianta 1D/2D	M 1:10 000
6.3 – Mapa hloubek vody pro Q_{20} , varianta 2D	M 1:10 000
6.4 – Mapa hloubek vody pro Q_{20} , varianta 1D/2D	M 1:10 000
6.5 – Mapa hloubek vody pro Q_{100} , varianta 2D	M 1:10 000
6.6 – Mapa hloubek vody pro Q_{100} , varianta 1D/2D	M 1:10 000
Příloha č. 7 – Mapa rychlostí proudění vody	
7.1 – Mapa rychlostí proudění vody pro Q_5 , varianta 2D	M 1:10 000
7.2 – Mapa rychlostí proudění vody pro Q_5 , varianta 1D/2D	M 1:10 000
7.3 – Mapa rychlostí proudění vody pro Q_{20} , varianta 2D	M 1:10 000
7.4 – Mapa rychlostí proudění vody pro Q_{20} , varianta 1D/2D	M 1:10 000
7.5 – Mapa rychlostí proudění vody pro Q_{100} , varianta 2D	M 1:10 000
7.6 – Mapa rychlostí proudění vody pro Q_{100} , varianta 1D/2D	M 1:10 000
Příloha č. 8 – Záplavová území v centru Českého Těšína	
8.1 – Záplavová území v centru Českého Těšína, varianta 1D	M 1:10 000
8.2 – Záplavová území v centru Českého Těšína, varianta 2D	M 1:10 000
8.3 – Záplavová území v centru Českého Těšína, varianta 1D/2D	M 1:10 000

Seznam použitých zkratk a symbolů

Zkratky a symboly	Definice	Jednotka
1D	jednorozměrný	
2D	dvourozměrný	
3D	trojrozměrný	
DMT	digitální model terénu	
IDVT CEVT	identifikátor vodního toku podle Centrální evidence vodních toků	
VT	vodní tok	
HEC-RAS	Hydrologic Engineering Center River Analysis System	
GIS	geografický informační systém	
CAD	computer-aided design	
ZÚ	začátek úseku	
KÚ	konec úseku	
S-JTSK	souřadnicový systém jednotné trigonometrické sítě katastrální	
Bpv	Balt po vyrovnání	
C_d	součinitel přepadu	[-]
C_p	průměrná hodnota Chézyho rychlostního součinitele	$[m^{0.5}.s^{-1}]$
g	gravitační zrychlení	$[m.s^{-2}]$
h	hloubka vody	[m]
Δh	rozdíl hladin	[m]
H	přepadová výška	[m]
i_E	sklon čáry energie	[-]
i_0	sklon dna	[-]
L	vzdálenost příčných profilů	[m]
n	Manningův součinitel drsnost	[-]
p_a	atmosférický tlak na vodní hladině	[Pa]
q_x, q_y	měrný průtok ve směru osy x a y	$[m^2.s^{-1}]$
Q	průtok	$[m^3.s^{-1}]$

Zkratky a symboly	Definice	Jednotka
Q_N	N-letý průtok	$[m^3 \cdot s^{-1}]$
R_p	průměrný hydraulický poloměr	[m]
S	průtočná plocha	$[m^2]$
S_p	průměrná průtočná plocha	$[m^2]$
t	čas	[s]
v	průměrná rychlost v příčném profilu	$[m \cdot s^{-1}]$
v_x, v_y	složky vektoru rychlosti ve směru osy x a y	$[m \cdot s^{-1}]$
y	hloubka proudění v příčném profilu	[m]
x, y	vzdálenost ve směru osy x a y	[m]
$\Delta x, \Delta y$	rozměry buňky výpočetní sítě	[m]
z	kóta dna	[m]
α	Coriolisovo číslo	[-]
β	Boussinesqovo číslo	[-]
ρ	hustota	$[kg \cdot m^{-3}]$
$\tau_{0,x}, \tau_{0,y}$	smykové napětí na dně ve směru osy x a y	[Pa]
$\tau_{p,x}, \tau_{p,y}$	smykové napětí na hladině ve směru osy x a y	[Pa]
$\tau_{x,x}, \tau_{x,y}, \tau_{y,x}, \tau_{y,y}$	smykové napětí vlivem turbulence	[Pa]
μ_t	turbulentní viskozita	$[m^2 \cdot s^{-1}]$

Příloha č. 1 – Fotodokumentace

Fotografie 1 Železniční most, km 36,502, začátek řešeného úseku	63
Fotografie 2 km 36,8, zanesené koryto řeky Olše	63
Fotografie 3 Km 37,0.....	63
Fotografie 4 Úsek pod silničním mostem (km 37,174), zarostlá středová část koryta, pohled proti vodě	64
Fotografie 5 Pozůstatky pilířů původního silničního mostu (km 37,174), pohled proti vodě	64
Fotografie 6 Silniční most km 37,174	64
Fotografie 7 Opěrná zídka podél ulice Aleja Jana Lyska, pohled z levého břehu.....	65
Fotografie 8 Km 37,5.....	65
Fotografie 9 Limnigrafické stanice, pravý břeh. km 37,5	65
Fotografie 10 Km 37,6, právě probíhající rekonstrukce břehové patky	66
Fotografie 11 Pohled po vodě ze silničního mostu, km 37,932.....	66
Fotografie 12 Pohled proti vodě ze silničního mostu, km 37,932	66
Fotografie 13 Silniční most km 37,932	67
Fotografie 14 Km 38,2 Olše pod zaústěním Puncówky	67
Fotografie 15 Zaústění řeky Puncówky, km 38,35	67
Fotografie 16 Km 38,529 pohled z lávky po vodě	68
Fotografie 17 Lávky pro pěší km 38,529.....	68
Fotografie 18 Km 38,529 pohled proti vodě z lávky pro pěší	68
Fotografie 19 Úsek pod zaústěním sadového potoka, km 38,8	69
Fotografie 20 Km 38,8, pohled proti vodě na spádový stupeň (km 38,825)	69
Fotografie 21 Zaústění Sadového potoka (km 38,817), pohled z pravého břehu.....	69
Fotografie 22 Olše nad spádovým stupněm, km 38,9.....	70
Fotografie 23 Spádový stupeň km 39,170	70
Fotografie 24 Úsek pod zaústěním řeky Ropičanky, km 39,5, levobřežní hráz (úsek mezi zaústěním řeky Ropičanky a Sadového potoka)	70
Fotografie 25 Zaústění řeky Ropičanky, pohled z levého břehu Ropičanky, km 39,6, začátek zkoumaného úseku.....	71



Fotografie 1 Železniční most, km 36,502, začátek řešeného úseku



Fotografie 2 km 36,8, zanesené koryto řeky Olše



Fotografie 3 Km 37,0



Fotografie 4 Úsek pod silničním mostem (km 37,174), zarostlá středová část koryta, pohled proti vodě



Fotografie 5 Pozůstatky pilířů původního silničního mostu (km 37,174), pohled proti vodě



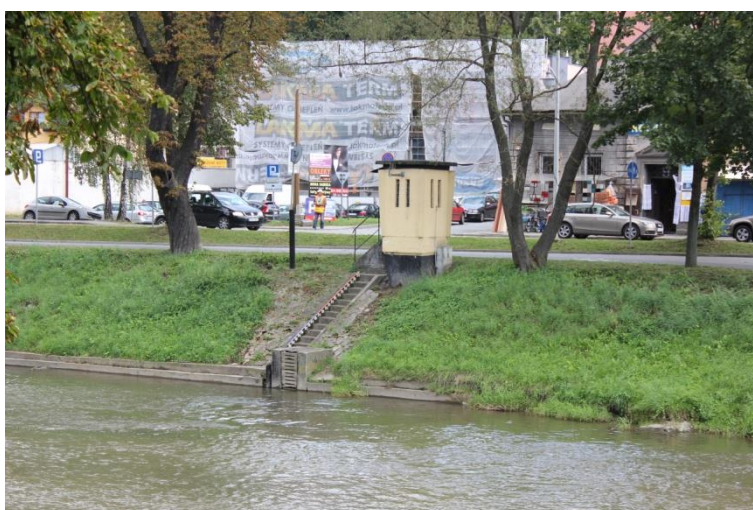
Fotografie 6 Silniční most km 37,174



Fotografie 7 Opěrná zídka podél ulice Aleja Jana Lyska, pohled z levého břehu



Fotografie 8 Km 37,5



Fotografie 9 Limnigrafické stanice, pravý břeh. km 37,5



Fotografie 10 Km 37,6, právě probíhající rekonstrukce břehové patky



Fotografie 11 Pohled po vodě ze silničního mostu, km 37,932



Fotografie 12 Pohled proti vodě ze silničního mostu, km 37,932



Fotografie 13 Silniční most km 37,932



Fotografie 14 Km 38,2 Olše pod zaústěním Puncówky



Fotografie 15 Zaústění řeky Puncówky, km 38,35



Fotografie 16 Km 38,529 pohled z lávky po vodě



Fotografie 17 Lávky pro pěší km 38,529



Fotografie 18 Km 38,529 pohled proti vodě z lávky pro pěší



Fotografie 19 Úsek pod zaústěním sadového potoka, km 38,8



Fotografie 20 Km 38,8, pohled proti vodě na spádový stupeň (km 38,825)



Fotografie 21 Zaústění Sadového potoka (km 38,817), pohled z pravého břehu



Fotografie 22 Olše nad spádovým stupněm, km 38,9



Fotografie 23 Spádový stupeň km 39,170



Fotografie 24 Úsek pod zaústěním řeky Ropičanky, km 39,5, levobřežní hráz (úsek mezi zaústěním řeky Ropičanky a Sadového potoka)



Fotografie 25 Zaústění řeky Ropičanky, pohled z levého břehu Ropičanky, km 39,6, začátek zkoumaného úseku

Příloha č. 5 – Psaný podélný profil

Staničení [ř. km]	Poznámka	Kóta dna [m n. m.]	Úroveň hladiny [m n. m.] při Q ₅		
			1D	2D	1D/2D
36,418		261,09	265,44	265,44	265,44
36,498		263,22	265,65	265,57	265,46
36,502	Železniční most š = 5,9 m				
36,506		263,22	266,21	266,20	266,19
36,516		263,22	266,25	266,23	266,23
36,618		263,97	266,51	266,50	266,47
36,718		263,66	266,86	266,75	266,83
36,820		264,34	267,13	266,99	267,10
36,907		264,31	267,34	267,19	267,30
37,009		264,37	267,60	267,49	267,53
37,109		264,89	267,87	267,76	267,81
37,164		264,45	268,07	267,90	267,98
37,174	Silniční most š = 17,1 m				
37,184		264,45	268,29	268,08	268,25
37,202		264,45	268,31	268,13	268,29
37,312		265,72	268,55	268,41	268,53
37,412		265,68	268,79	268,67	268,78
37,519		265,99	269,09	268,98	269,07
37,623		265,81	269,40	269,24	269,38
37,727		266,24	269,67	269,49	269,65
37,833		266,44	269,93	269,73	269,90
37,923		266,86	270,12	269,94	270,09
37,932	Silniční most š = 15,4 m				
37,941		266,86	270,21	270,06	270,21
37,947		266,86	270,23	270,07	270,23
38,048		266,77	270,44	270,27	270,42

Staničení [ř. km]	Poznámka	Kóta dna [m n. m.]	Úroveň hladiny [m n. m.] při Q ₅		
			1D	2D	1D/2D
38,153		266,49	270,61	270,46	270,59
38,245		267,02	270,81	270,66	270,76
38,357		267,09	271,10	270,89	271,09
38,490		267,21	271,30	271,16	271,32
38,557		267,76	271,51	271,33	271,43
38,739		268,28	271,92	271,75	271,93
38,842		269,55	–	272,16	272,05
38,941		269,64	–	272,56	272,68
39,062		269,51	–	272,92	272,98
39,190		271,05	–	273,95	273,33
39,292		271,46	–	274,27	274,07
39,409		271,05	–	274,66	274,52
39,529		271,45	–	274,96	274,93

Staničení [ř. km]	Poznámka	Kóta dna [m n. m.]	Úroveň hladiny [m n. m.] při Q ₂₀		
			1D	2D	1D/2D
36,418		261,09	265,87	265,87	265,87
36,498		263,22	266,22	266,06	265,83
36,502	Železniční most š = 5,9 m				
36,506		263,22	267,02	266,76	267,03
36,516		263,22	267,07	266,80	267,07
36,618		263,97	267,34	267,14	267,31
36,718		263,66	267,75	267,44	267,72
36,820		264,34	268,02	267,72	268,01
36,907		264,31	268,24	267,95	268,21
37,009		264,37	268,53	268,28	268,43
37,109		264,89	268,84	268,58	268,76
37,164		264,45	269,08	268,74	268,96
37,174	Silniční most š = 17,1 m				
37,184		264,45	269,31	268,95	269,22
37,202		264,45	269,32	269,00	269,27
37,312		265,72	269,55	269,27	269,51
37,412		265,68	269,76	269,52	269,73
37,519		265,99	270,02	269,81	269,99
37,623		265,81	270,33	270,08	270,30
37,727		266,24	270,61	270,34	270,59
37,833		266,44	270,89	270,58	270,87
37,923		266,86	271,08	270,81	271,06
37,932	Silniční most š = 15,4 m				
37,941		266,86	271,16	270,97	271,17
37,947		266,86	271,18	270,98	271,19
38,048		266,77	271,38	271,17	271,35
38,153		266,49	271,60	271,38	271,50
38,245		267,02	271,81	271,58	271,72

Staničení [ř. km]	Poznámka	Kóta dna [m n. m.]	Úroveň hladiny [m n. m.] při Q ₂₀		
			1D	2D	1D/2D
38,357		267,09	272,14	271,82	272,07
38,490		267,21	272,42	272,08	272,34
38,557		267,76	272,55	272,25	272,44
38,739		268,28	273,00	272,70	272,88
38,842		269,55	–	273,02	273,00
38,941		269,64	–	273,39	273,52
39,062		269,51	–	273,76	273,91
39,190		271,05	–	274,65	274,15
39,292		271,46	–	275,02	274,89
39,409		271,05	–	275,47	275,31
39,529		271,45	–	275,80	275,80

Staničení [ř. km]	Poznámka	Kóta dna [m n. m.]	Úroveň hladiny [m n. m.] při Q ₁₀₀		
			1D	2D	1D/2D
36,418		261,09	266,96	266,96	266,96
36,498		263,22	267,28	267,11	266,80
36,502	Železniční most š = 5,9 m				
36,506		263,22	267,96	267,82	268,02
36,516		263,22	268,01	267,85	268,07
36,618		263,97	268,24	268,14	268,24
36,718		263,66	268,72	268,42	268,63
36,820		264,34	269,01	268,67	268,88
36,907		264,31	269,22	268,89	269,07
37,009		264,37	269,51	269,22	269,21
37,109		264,89	269,89	269,52	269,66
37,164		264,45	270,20	269,68	269,93
37,174	Silniční most š = 17,1 m				
37,184		264,45	270,49	270,50	270,24
37,202		264,45	270,48	270,53	270,31
37,312		265,72	270,75	270,69	270,64
37,412		265,68	270,85	270,83	270,74
37,519		265,99	271,18	271,03	270,90
37,623		265,81	271,32	271,24	271,19
37,727		266,24	271,58	271,46	271,37
37,833		266,44	271,90	271,69	271,71
37,923		266,86	272,09	271,88	271,94
37,932	Silniční most š = 15,4 m				
37,941		266,86	272,18	271,98	272,07
37,947		266,86	272,20	271,98	272,09
38,048		266,77	272,42	272,17	272,38
38,153		266,49	272,61	272,36	272,48
38,245		267,02	272,81	272,54	272,54

Staničení [ř. km]	Poznámka	Kóta dna [m n. m.]	Úroveň hladiny [m n. m.] při Q ₁₀₀		
			1D	2D	1D/2D
38,357		267,09	273,24	272,80	272,91
38,490		267,21	273,55	273,04	273,43
38,557		267,76	273,59	273,18	273,43
38,739		268,28	273,97	273,60	273,63
38,842		269,55	–	273,88	273,71
38,941		269,64	–	274,26	274,37
39,062		269,51	–	274,63	274,82
39,190		271,05	–	275,43	274,94
39,292		271,46	–	275,82	275,76
39,409		271,05	–	276,33	276,18
39,529		271,45	–	276,68	276,67