



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV VODNÍCH STAVEB

INSTITUTE OF WATER STRUCTURES

HYDRODYNAMICKÝ MODEL VODNÍHO TOKU ODRA V LOKALITĚ ODRY

HYDRODYNAMIC MODEL OF THE ODRA RIVER IN THE LOCALITY OF ODRY

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Jiří Skokan

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. ALEŠ DRÁB, Ph.D.

BRNO 2022



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

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

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student	Jiří Skokan
Název	Hydrodynamický model vodního toku Odry v lokalitě Odry
Vedoucí práce	doc. Ing. Aleš Dráb, Ph.D.
Datum zadání	30. 11. 2021
Datum odevzdání	27. 5. 2022

V Brně dne 30. 11. 2021

prof. Ing. Jan Šulc, CSc.
Vedoucí ústavu

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

PODKLADY A LITERATURA

- Odborná literatura z oboru matematického modelování proudění vody, numerických metod a geografických informačních systémů.
- Související předpisy a normy.
- Geodetické zaměření zájmových úseků vodních toků.
- Hydrologická data.
- Mapové podklady.

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

Cílem práce je realizace hydraulických výpočtů proudění vody v toku Odry a v souvisejících záplavových územích v lokalitě Odry. K výpočtům bude použit 2D nebo spřažený 1D + 2D numerický model. Výstupy práce budou zahrnovat:

- technickou zprávu,
- výsledky hydraulických výpočtů proudění vody pro zájmový úsek toku ve formě map povodňového nebezpečí,
- podélný profil a příčné profily toku se zakreslením vypočtených úrovní hladin,
- fotodokumentaci.

STRUKTURA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

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

doc. Ing. Aleš Dráb, Ph.D.
Vedoucí bakalářské práce

ABSTRAKT

Bakalářská práce se zabývá vytvořením 2D hydrodynamického modelu proudění vody na řece Odře na území města Odry (ř. km 85,779 - 93,645). S využitím numerického modelu HEC-RAS 6.2 byly provedeny hydraulické výpočty pro povodňové scénáře s kulminačními průtoky Q5, Q20, Q100 a Q500. Výstupy byly zpracovány ve formě map povodňového nebezpečí a map ohrožení, psaného podélného profilu a výkresové dokumentace.

KLÍČOVÁ SLOVA

Povodeň, povodňové nebezpečí, protipovodňová ochrana, 2D numerický model, hydrodynamický model, HEC-RAS, Odra, Odry.

ABSTRACT

The Bachelor's thesis deals with creating 2D hydrodynamic water flow model of Odra river in the locality of Odry (km 85,779 - 93,645). Using a numerical model HEC-RAS 6.2, hydraulic calculations of the peak flows of Q5, Q20, Q100 and Q500 were performed. The outputs were processed in the form of flood hazard maps, threat maps, written profile and drawing documentation.

KEYWORDS

Flood, flood hazard, flood protection, 2D numerical model, hydrodynamic model, HEC-RAS, Odra, Odry.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

Jiří Skokan *Hydrodynamický model vodního toku Odry v lokalitě Odry*. Brno, 2022. 42 s., 70 s. příl. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodních staveb. Vedoucí práce doc. Ing. Aleš Dráb, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané bakalářské práce s názvem *Hydrodynamický model vodního toku Odry v lokalitě Odry* je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 26. 5. 2022

Jiří Skokan
autor práce

PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem *Hydrodynamický model vodního toku Odry v lokalitě Odry* zpracoval(a) samostatně a že jsem uvedl(a) všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 26. 5. 2022

Jiří Skokan
autor práce

PODĚKOVÁNÍ

Tímto děkuji doc. Ing. Aleši Drábovi, Ph.D. za odborné rady, cenné připomínky, vstřícný přístup při zpracování diplomové práce a poskytnutí výpočetního výkonu potřebného pro včasné dokončení práce. Také děkuji Ing. Davidu Duchanovi, Ph.D. za jeho ochotu a věnovaný čas. V neposlední řadě děkuji své rodině za podporu při studiu.



Veveří 331/95, 602 00 Brno

www.fce.vutbr.cz

info@fce.vutbr.cz

+420 541 147 102

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV VODNÍCH STAVEB

INSTITUTE OF WATER STRUCTURES

HYDRODYNAMICKÝ MODEL VODNÍHO TOKU ODRA V LOKALITĚ ODRY

HYDRODYNAMIC MODEL OF THE ODRA RIVER IN THE LOCALITY OF ODRY

A. PRŮVODNÍ A TECHNICKÁ ZPRÁVA

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE:

Jiří Skokan

AUTHOR:

VEDOUCÍ PRÁCE:

doc. Ing. Aleš Dráb, Ph.D.

SUPERVISOR:

BRNO 2022

OBSAH

1.	ÚVOD	4
1.1.	Cíle práce.....	4
1.2.	Postup zpracování a metoda řešení.....	4
2.	PODKLADY	5
2.1.	Literatura.....	5
2.2.	Zákony, vyhlášky a normy.....	6
2.3.	Místní šetření.....	7
3.	CHARAKTERISTIKA ZÁJMOVÉHO ÚZEMÍ	8
3.1.	Základní charakteristika toku	8
3.2.	Charakteristika zájmové oblasti	9
3.2.1.	Odra (úsek Jakubčovice – Odry).....	9
3.2.2.	Objekty na toku.....	9
3.2.2.1.	Mostní objekty, lávky.....	9
3.2.2.2.	Jezy, spádové stupně a skluzy.....	10
3.2.3.	Protipovodňová opatření.....	11
3.2.4.	Stávající záplavová území Odry.....	11
3.3.	Hydrologické poměry	12
3.4.	Historické povodně.....	14
4.	HYDRODYNAMICKÝ MODEL	16
4.1.	Tvorba DMT	16
4.1.1.	Střední úsek.....	16
4.1.2.	Horní a dolní úsek.....	17
4.2.	Koncepční model.....	17
4.2.1.	1D model.....	18
4.2.1.1.	Schematizace řešené oblasti	18
4.2.1.2.	Vliv nestacionarity proudění	18
4.2.1.3.	Způsob zadávání okrajových podmínek a počátečních podmínek	18
4.2.2.	2D model.....	18
4.2.2.1.	Schematizace řešené oblasti	18
4.2.2.2.	Vliv nestacionarity proudění	19
4.2.2.3.	Způsob zadávání okrajových podmínek a počátečních podmínek	19
4.3.	Matematický model	19
4.3.1.	1D matematický model ustáleného nerovnoměrného proudění.....	19
4.3.2.	Analytické řešení mostních objektů a propustků	20

4.3.3.	2D matematický model neustáleného proudění	20
4.4.	1D numerický model ustáleného nerovnoměrného proudění vody	21
4.4.1.	Vstupní data modelu	22
4.4.1.1.	Geometrická data	22
4.4.1.2.	Manningův součinitel drsnosti n	22
4.4.1.3.	Okrajové podmínky	22
4.4.2.	Kalibrace modelu	22
4.5.	Analytické řešení mostů	23
4.6.	2D numerický model neustáleného proudění	23
4.6.1.	Vstupní data modelu	24
4.6.1.1.	Geometrická data	24
4.6.1.2.	Výpočetní síť (mesh)	24
4.6.1.3.	Manningův součinitel drsnosti n	25
4.6.1.4.	Okrajové podmínky	26
4.6.2.	Kalibrace modelu	27
4.7.	Nejistoty výpočetních metod	28
4.7.1.	Geometrická data	28
4.7.1.1.	Digitální model reliéfu 5. generace (DMR 5g)	28
4.7.1.2.	Geodetické zaměření	28
4.7.1.3.	Objekty na toku	29
4.7.2.	Součinitel drsnosti n	29
4.7.3.	Turbulentní model	29
4.7.4.	Velikost elementů výpočetní sítě	29
4.7.5.	Hydrologické údaje	29
5.	VÝSLEDKY VÝPOČTŮ	30
5.1.	Výsledky dalších hydrodynamických modelů	31
6.	ZÁVĚR	36
7.	SEZNAM ZKRATEK A SYMBOLŮ	37
8.	SEZNAM OBRÁZKŮ	38
9.	SEZNAM TABULEK	39
10.	SEZNAM PŘÍLOH	40

1. ÚVOD

1.1. Cíle práce

Cílem práce je realizace hydraulických výpočtů proudění vody v toku a záplavovém území Odry v úseku Jakubčovice – Odry (ř. km 85,779 – 93,645).

Výpočty průběhů hladin, stanovení rozlivů, hloubek a rychlostí v záplavovém území byly provedeny pomocí 2D numerického modelu. Pro výpočty byl zvolen software HEC-RAS 6.2. Byly simulovány povodňové scénáře s kulminačními průtoky Q_5 , Q_{20} , Q_{100} a Q_{500} .

Výsledky hydraulických výpočtů proudění vody pro zájmové úseky toku a záplavová území byly pro jednotlivé povodňové scénáře zpracovány ve formě map povodňového nebezpečí, ohrožení a výkresové dokumentace, zahrnující:

- hranice rozlivů,
- hloubky vod,
- rychlost proudění vody,
- povodňové ohrožení,
- podrobný podélný profil,
- příčné profily koryta.

Předmětem práce budou tyto činnosti:

- zajištění vstupních podkladů, a jejich vyhodnocení,
- charakteristika zájmového území,
- sestavení hydrodynamických modelů a provedení výpočtů,
- zpracování a vyhodnocení map povodňového nebezpečí, ohrožení a výkresové dokumentace.

1.2. Postup zpracování a metoda řešení

Zpracování bakalářské práce proběhlo v následujících krocích:

- získání vstupních podkladů – jedná se především o volně dostupná data z CDS, ČHMÚ, ČÚZK, POVIS, MŽP a DIBAVOD [1] [2] [3] [4],
- získání podkladů správce povodí – geodetické zaměření, měrná křivka, povodňové značky [5] [6] [7],
- komerčně dostupná data ČÚZK – ZABAGED (výškopis a polohopis) a DMR 5g [8] [9] [10],
- osobní prohlídka zájmového území, ověření výškopisných dat zaměřením metodou GPS, podrobná prohlídka objektů na toku a významných překážek v záplavovém území (kap. 2.3.),
- vytvoření DMT koryta a jeho napojení na DMR5g ČR nástroji Civil 3D 2021 a GIS (kap. 4.1.),
- sestavení 1D hydrodynamického modelu v programu HEC-RAS 6.2 pro úsek Loučky – Odry (ř. km 87,483 – 92,610) (kap. 4.4.),
- testovací výpočty na 1D modelu pro základní přehled o proudění v korytě a kapacitě objektů na toku,
- ověření kapacit mostních objektů na toku analytickým výpočtem (kap. 4.5.) [11] [12] [13],
- sestavení 2D hydrodynamického modelu v programu HEC-RAS 6.2 pro celý úsek (kap. 4.6.),
- testovací výpočty a hydraulické simulace pro průtoky Q_5 , Q_{20} , Q_{100} a Q_{500} ,
- prezentace výsledků výpočtů v podobě map povodňového nebezpečí a map ohrožení psaného podélného profilu (kap. 5.) a výkresové dokumentace.

2. PODKLADY

2.1. Literatura

- [1] Mapy povodňových nebezpečí. Centrální datový sklad (CDS) [Online]. Ministerstvo životního prostředí. [cit. 2022-05-24]. Dostupné z: cfs.mzp.cz.
- [2] Digitální báze vodohospodářských dat (DIBAVOD). VÚV TGM, v.v.i. [online] [cit. 2022-05-24]. Dostupné z: www.dibavod.cz
- [3] Základní mapy ČR (ZM). Geoportál ČÚZK [online]. Český úřad zeměměřičský a katastrální: Státní správa zeměměřičství a katastru, 2010. [cit. 2022-05-24]. Dostupné z: <https://geoportal.cuzk.cz>
- [4] Ortofoto mapy ČR. Geoportál ČÚZK [online]. Český úřad zeměměřičský a katastrální: Státní správa zeměměřičství a katastru, 2010. [cit. 2022-05-24]. Dostupné z: <https://geoportal.cuzk.cz>
- [5] Geodetické zaměření řeky Odry v úseku Loučky - Odry. MUSIALEK M. Ostrava. 2006.
- [6] Geodetické zaměření řeky Odry v úseku Jakubčovice - Dálnice D1. AQUATIS. Praha. 2000.
- [7] Měrná křivka průtoků stanice Odra - Odry tok. ČHMÚ. Praha. 2021.
- [8] Základní báze geografických dat (ZABAGED) - výškopis. Geoportál ČÚZK [online]. Český úřad zeměměřičský a katastrální: Státní správa zeměměřičství a katastru, 2010. [cit. 2022-05-24]. Dostupné z: <https://geoportal.cuzk.cz>
- [9] Základní báze geografických dat ZABAGED - polohopis. Geoportál ČÚZK [online]. Český úřad zeměměřičský a katastrální: Státní správa zeměměřičství a katastru, 2010. [cit. 2022-05-24]. Dostupné z: <https://geoportal.cuzk.cz>
- [10] Digitální model reliéfu České republiky 5. generace (DMR 5g). Geoportál ČÚZK [online]. Český úřad zeměměřičský a katastrální: Státní správa zeměměřičství a katastru, 2010. [cit. 2022-05-24]. Dostupné z: <https://geoportal.cuzk.cz>
- [11] BOOR, B., KUNŠTÁTSKÝ, J. a PATOČKA, C. *Hydraulika pro vodohospodářské stavby*. Praha : SNTL, 1968.
- [12] VÚV T. G. Masaryka, aj. Technické podmínky 204. *Hydrotechnické posouzení mostních objektů na vodních tocích*. Ministerstvo dopravy. Praha, 2009.
- [13] BALVÍN, P. a HAVLÍK, A. aj. *Hydraulické posouzení propustků*. Praha, 2016.
- [14.] Místní šetření Odry - Jakubčovice n. Odrou. 2022.
- [15] Charakteristiky toků. Povodí Odry [online]. Povodí Odry, s.p. 2021. [cit. 2022-05-24] [.www.pod.cz](http://www.pod.cz).
- [16] Správní a katastrální hranice ČR. Geoportál ČÚZK [online]. Český úřad zeměměřičský a katastrální: Státní správa zeměměřičství a katastru, 2010. [cit. 2022-05-24]. Dostupné z: <https://geoportal.cuzk.cz>
- [17] Studie Horní Odra a Luha. Praha : AQUATIS. Praha, 2000.
- [18] Studie vyhodnocení a zvládnání povodňových rizik na řece Odře (úsek Jakubčovice - Odry). REVITAL. Praha, 2013.
- [19] Zpracování aktualizace dílčího povodí Horní Odry a příprava podkladů pro plán pro zvládnání povodňových rizik v povodí Odry. AQUATIS. Praha, 2019.
- [20] Dokumentace k softwaru HEC-RAS 6.2. CEIWR-HEC [online], 2021. [cit. 2022-05-24]. Dostupné z: www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/.

- [21] Digiální povodňový plán ČR (DPPČR). [online]. [cit. 2022-5-24]. Dostupné z: www.dppcr.cz.
- [22] Povodňový informační systém (POVIS) [online]. [cit. 2019-10-28]. Dostupné z: www.povis.cz
- [23] Elektronický digitální povodňový portál (EDPP). [Online]. [cit. 2022-05-24]. Dostupné z: www.edpp.cz.
- [24] Evidenční list hlásného profilu č. 264 - Odry tok. ČHMÚ [Online] Český hydrometeorologický ústav, 2021, [cit. 2022-05-24]. Dostupné z: www.chmi.cz.
- [25] MATTAS, D. *Výpočet průtoku v otevřených korytech*. VÚV T.G. Masaryka. Praha, 2014. ISBN 978-80-87402-27-6.
- [26] Úrava Odry - Odry (ř. km 81.300 - 85.860). *Technická studie proveditelnosti*. LINEPLAN. Ostrava, 2006.
- [27] Metodika tvorby map povodňového nebezpečí a povodňových rizik, Výzkumný ústav vodohospodářský TGM, v.v.i. Brno, 2014.
- [28] DUCHAN, D., KOTAŠKA, S. a DRÁB, A. Citlivostní analýza vybraných vstupních parametrů numerického modelu HEC-RAS. *Vodohospodářské technicko-ekonomické informace*. 2021, č. 2, stránky 42-47.
- [29] JAIN, S. *Open-channel flow*. John Wiley & Sons, Inc. 2001. ISBN 0-471-35641-7.
- [30] ŠLEZINGR, M. *Břehová abraze*. Brno : Ing. Zdeněk Novotný CSc., Ondráčkova 105. Brno, 2003. ISBN 80-86510-75-1.
- [31] TE CHOW, V. *Open channel hydraulics*. Chicago : McGraw-Hill Book Company. 1959. ISBN 0-07-085906-X.
- [32] *Standardizační minimum pro zpracování map povodňového nebezpečí a povodňových rizik*. Praha : VRV, a.s., 2011.
- [33] Stavby a průtoky na vodních tocích - Odra, KS Odry. Povodí Odry [Online]. [cit. 2022-05-24]. Dostupné z: www.pod.cz
- [34] JANDORA, J. *Matematické modelování ve vodním hospodářství: Modul 1*. Brno, 2008.
- [35] Staničení dle technicko provozní evidence (TPE). Povodí Odry, s.p. Ostrava, 2022

2.2. Zákony, vyhlášky a normy

- [I.] Zákon č. 240/2000 Sb. O krizovém řízení a změně některých zákonů (krizový zákon)
- [II.] Zákon č. 114/1992 Sb. O ochraně přírody a krajiny
- [III.] Vyhláška MŽP 236/2002 Sb., o způsobu a rozsahu zpracovávání návrhu a stanovování záplavových území
- [IV.] Vyhláška č. 470/2001 Sb., kterou se stanoví seznam významných vodních toků a způsob provádění činností souvisejících se správou vodních toků
- [V.] ČSN 75 0110 Vodní hospodářství – Terminologie hydrologie a hydroekologie
- [VI.] ČSN 75 1400 Hydrologické údaje povrchových vod
- [VII.] TNV 75 2102 Úpravy potoků
- [VIII.] TNV 75 2103 Úpravy řek
- [IX.] TNV 75 2931 Povodňové plány
- [X.] TNV 75 2910 Manipulační řády vodních děl na vodních tocích

2.3. Místní šetření

Místní šetření [14] bylo autorem realizováno v lednu 2022. Zimní stav vegetace umožnil podrobnou prohlídku a fotodokumentaci stavu koryta, břehů, hrází a objektů na toku. Geometrie koryta, břehů a hrází byly dodány v [6] [5]. Při osobní prohlídce byly tyto podklady v rámci možností ověřeny metodou GPS a případné výškopisné a polohopisné nesrovnalosti dle zjištění upraveny. V podkladech [6] [5] nebyly zjištěny výrazné odchylky od skutečnosti, ovlivňující průtočné poměry.

Dále byla ověřena existence zaměřených objektů a odborným odhadem, popř. ručním měřením a GPS ověřeny rozměry objektů. I přes stáří podkladů [6] [5], nebyly zjištěny výrazné odchylky. Pouze lávka (v ř. km 92,837) není vedena v žádné dostupné dokumentaci (viz obr. 2.1.). Pomocí GPS, ručního měření (pásmem), ortofoto map [4] a fotodokumentace (příloha D.) byl proto vytvořen schematický náčrt objektu a vložen do výpočetního softwaru a dokumentace.



Obr. 2.1 – Zjištěná lávka (v ř. km 92,837)

3. CHARAKTERISTIKA ZÁJMOVÉHO ÚZEMÍ

3.1. Základní charakteristika toku

Řeka Odra pramení v Oderských Vrchích v nadmořské výšce 633 m n.m. Odtud odtéká jihovýchodním směrem a po asi 55 km se její trasa u obce Bernartice n/O vstupem do Moravské Brány pravouhle láme směrem k severovýchodu. Od toho lomu hlavní linie trasy teče směrem k Ostravské pánvi a ke státním hranicím s Polskou republikou. Zde řeka tvoří státní hranici přibližně na délce 8 km a území ČR opouští pod Bohumínem u Kopytova pod soutokem s Olší v nadmořské výšce 190 m n. m. [15]

Odra má na území České republiky délku 131,7 km, zbývající délka přes Polskou republiku až po ústí do Baltského moře činí 734 km. Odshora od soutoku s Budišovkou (v km 97,4) po ústí Olše je Odra ve správě Povodí Odry, s.p., horní trať až k prameni (km 97,4–127,8) spadá do Vojenského újezdu Libavá. Horní téměř polovina úseku nad soutokem s Luhou (km 72,2) protéká stabilnějším prostředím krystalinika České vysočiny. Od Luhy po vodě až po Olši, kde území ČR opouští, je její niva přirozeným rozhraním mezi orografickým celkem České vysočiny na severozápadě a územím oblasti Karpat na jihovýchodě. Pod ústím Luhy má Odra nížinný charakter s rozšiřující se údolní nivou, sklony dna řeky se zde pohybují mezi 0,8 – 2 ‰. Průměrný sklon dna koryta je v úseku Jakubčovice – Odry 4,5 ‰. [15]

Tab. 3.1 – Základní charakteristika toku [15]

Název toku	Odra
ID toku (CEVT)	200010000100
Číslo hydrologického pořadí toku	2-01-01-0440-0-00
Pramen	Oderské vrchy
Ústí	Baltské moře
Celková délka toku	Na území ČR 131,7 km



Obr. 3.1 – Odra na území České republiky (červeně zájmový úsek, staničení odvozeno z [2], podklad [16])

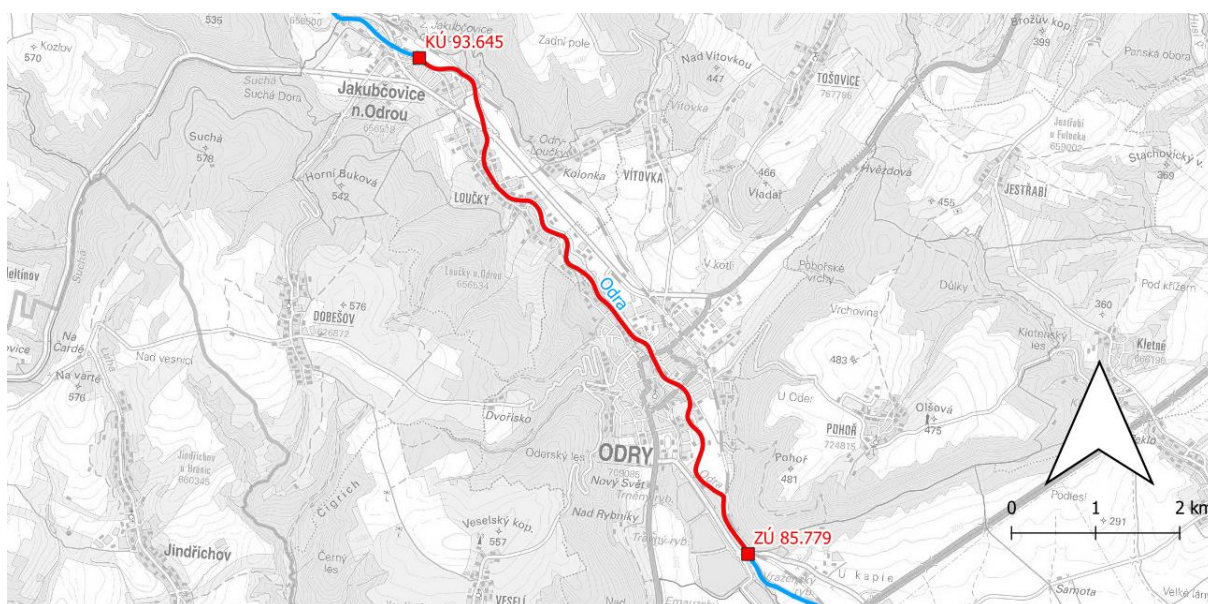
3.2. Charakteristika zájmové oblasti

3.2.1. Odra (úsek Jakubčovice – Odry)

Zájmové území zahrnuje úsek vodního toku Odra v ř. km 85,779-93,645 (viz obr. 3.2). Začátek úseku je v profilu mostu 441-017 v obci Odry, kde je průtočný profil omezen mostní konstrukcí. Konec úseku je umístěn v intravilánu obce Jakubčovice n. Odrou, umístění je voleno s ohledem na předpokládané rozlivy do levého i pravého inundačního území před obcí Loučky a je pro charakter proudění v navazujících úsecích zásadní.

V obci Odry je koryto upravené do tvaru jednoduchého nebo složeného lichoběžníku. Při místním šetření se jeví jako udržované. Dle studie [17] a výsledků (18) [19] je kapacita zájmového úseku menší než cca Q_{20} .

Staničení je odvozeno z vektorové vrstvy říční kilometráže dostupné z [2]. Objekty jsou doplněny staničením dle TPE poskytnuté správcem povodí. V celé práci je použit výškový systém Balt p.v. a souřadnicový systém S-JTSK.



Obr. 3.2 – Zájmový úsek řeky Odry v ř. km 85,779 – 93,645 (staničení odvozeno z [2], podklad [3])

Tab. 3.2 – Zájmový úsek

Dotčené obce s rozšířenou působností	Odry
Délka řešeného úseku	7,866 km
Souřadnice ZÚ	Y=503552 X=1119815
Souřadnice KÚ	Y=507460 X=1113931

3.2.2. Objekty na toku

3.2.2.1. Mostní objekty, lávky

Mostní objekty byly detailně zaměřeny v rámci [5] a byla jim věnována pozornost při osobní prohlídce (viz kap. 2.3.). Lávka (v ř. km 92,837) není uvedena v žádné dostupné dokumentaci, objekt není příliš zásadní z hlediska dopravní infrastruktury, byl tedy zaměřen (pásmem a GPS) a v dokumentaci umístěn dle ortofoto map a fotodokumentace.

Přehled mostních objektů a lávek na toku je uveden v tab. 3.3 a jsou součástí přílohy D. Fotodokumentace.

Tab. 3.3 – Seznam mostních objektů (Odra ř. km 85,779 – 93,645)

Objekt	ID	Říční km [2]	Staničení TPE [35]	Horní mostovka	Dolní mostovka
			[ř. km]	[m n.m.]	[m n.m.]
Lávka	-	92,837	-	309,65	309,40
Silniční most	441-013	92,343	85,858	308,79	306,47
Propustek	441-014	92,343	-	308,77	306,56
Silniční most	-	91,967	85,48	305,90	305,32
Lávka	-	91,668	85,17	306,62	304,00
Silniční most	-	91,184	84,702	301,43	300,88
Mostek	-	91,184	-	301,47	300,82
Silniční most	-	90,519	84,035	299,00	298,60
Potrubí	DN1000	89,028	-	292,10	292,10
Lávka	-	89,022	82,574	291,79	290,86
Silniční most	47 B-054	88,686	82,207	291,96	289,45
Lávka	-	88,462	81,98	287,75	287,47
Silniční most	47-051	88,156	81,67	287,49	286,52

3.2.2.2. Jezy, spádové stupně a skluzy

Na úseku se nachází celkem 8 objektů, dle [5] a [14]. Balvanitý skluz (ř. km 87,6970), dřevěný stupeň (ř. km 87,6970) a kamenné prahy se při povodňových průtocích na průběhu hladiny výrazně neprojeví. Jezům a vysokým spádovým stupňům je věnována vyšší pozornost, protože mohou způsobovat výraznější vzduť hladiny. Seznam objektů a stručný popis je uveden v tab. 3.4. (součinitel přepadu byl stanoven odborným odhadem dle [11] [20]) a jsou součástí fotodokumentace D. Rozměry jsou převzaty z [5]

Tab. 3.4 – Seznam jezů, stupňů a skluzů (Odra ř. km 85,779 – 93,645)

Objekt	Říční km [2]	Staničení TPE [35]	Šířka*	Výška**	Kóta koruny přelivu	Součinitel přepadu
		[ř. km]	[m]	[m]	[m n.m.]	m [-]
Balvanitý skluz	87,697	-	9,5	0,4	-	-
Dřevěný stupeň	88,465	-	15,9	0,2	-	-
Spádový stupeň	88,904	82,423	14,3	2,7	286,92	0,4
Spádový stupeň	89,105	82,626	14,5	2,8	288,53	0,4
Spádový stupeň	89,557	83,076	14,7	2,7	291,00	0,4
Pevný jez	90,016	83,535	29	3,6	293,74	0,4
Práh kamenný	92,815	86,33	-	-	-	-
Práh kamenný	93,174	86,75	-	-	-	-

*Délka přelivné hrany

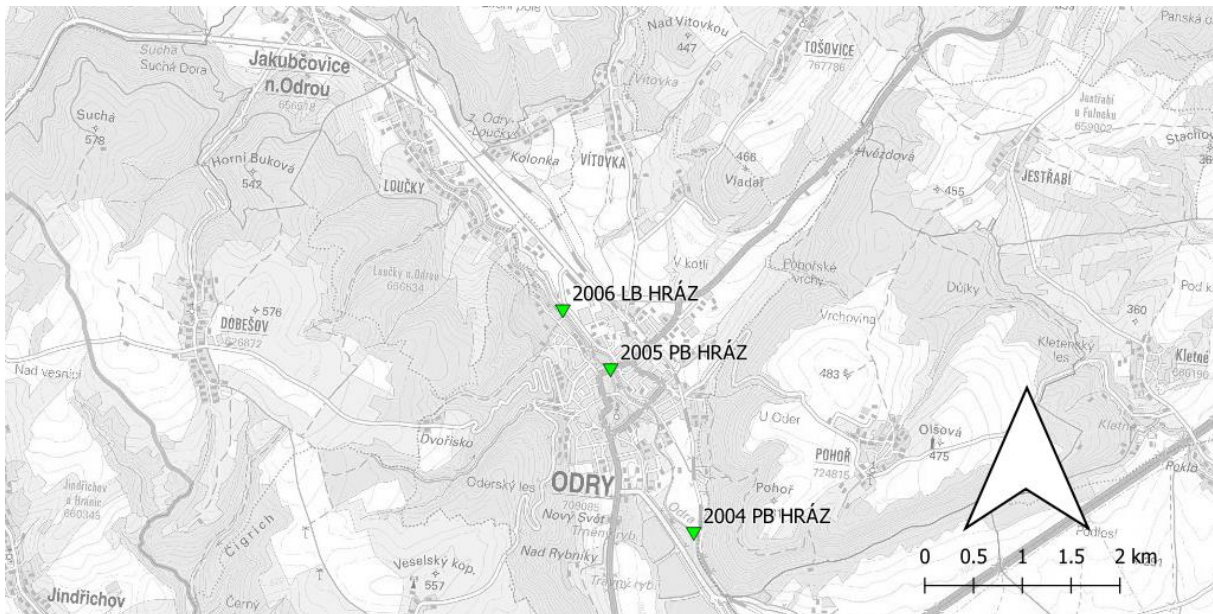
**Výška od dna vývaru

3.2.3. Protipovodňová opatření

Pro zájmový úsek jsou relevantní pouze opatření vyznačená na obr. 3.3. Stručný popis opatření je uveden v tab. 3.5. Obce Jakubčovice n. Odrou a Loučky nemají záznam o protipovodňové ochraně. Nezdokumentované ochranné prvky byly řešeny při osobní prohlídce, následně bylo rozhodnuto, že DMR 5g [10] pokrývá tyto objekty s dostatečnou přesností.

Tab. 3.5 – Souhrn opatření města Odry [21]

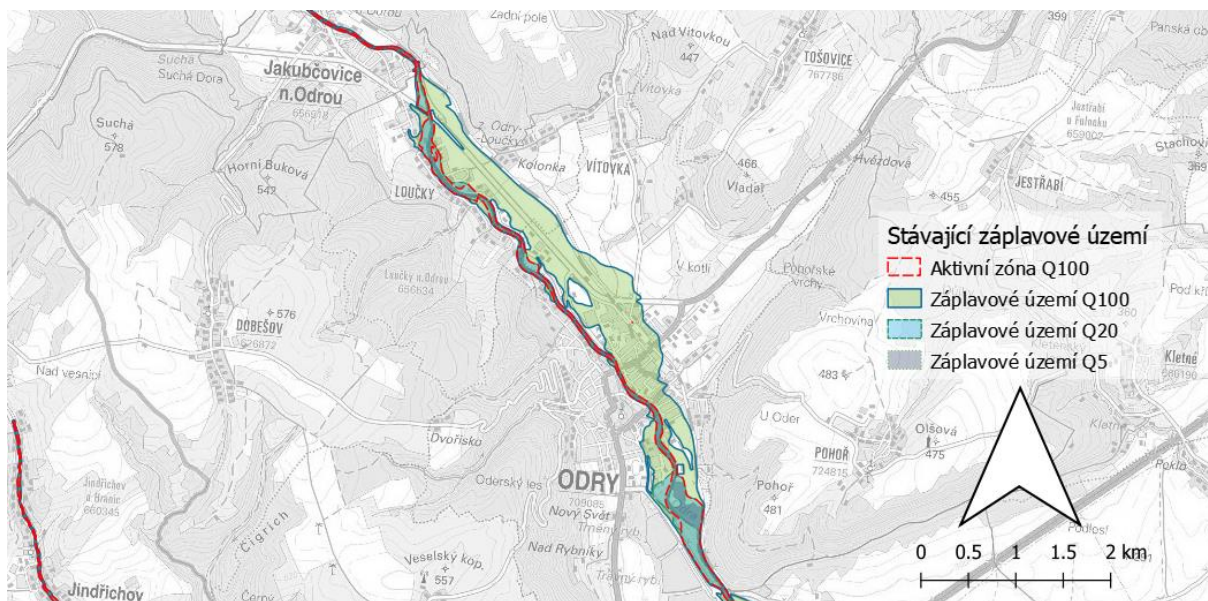
ID (rok dokončení)	Umístění	ZÚ	KÚ	Délka	Typ	Kapacita
		[ř. km]	[ř. km]	[km]		Q _N
2004	Pravobřežní	80,134	81,480	1,346	Zemní	Není uvedeno
2005	Pravobřežní	82,215	82,426	0,211	Zemní	
2006	Levobřežní	83,015	83,535	0,52	Zemní	



Obr. 3.3 – Protipovodňová opatření v zájmové oblasti [21] (podklad [3])

3.2.4. Stávající záplavová území Odry

Vodní tok Odry má v zájmové oblasti oficiálně stanovené záplavové území včetně aktivní zóny Q₁₀₀ (viz obr. 3.4), stanovené dne 21. 7. 2014 vodoprávním úřadem Moravskoslezského kraje (č.j. MSK 71308/2014).



Obr. 3.4 – Stávající záplavové území [21] (podklad [3])

3.3. Hydrologické poměry

V zájmovém území se nachází limnigrafická stanice hlásného profilu kategorie A, Odra – Odry tok (ř. km 88,466). Povodí Odry, s.p. dodalo k tomuto profilu měrnou křivku [7] znázorněnou na obr. 3.5. Pro vlastní výpočty byly využity aktuálnější (2019) N-leté průtoky z podkladů (18) [19] (viz tab. 3.8).

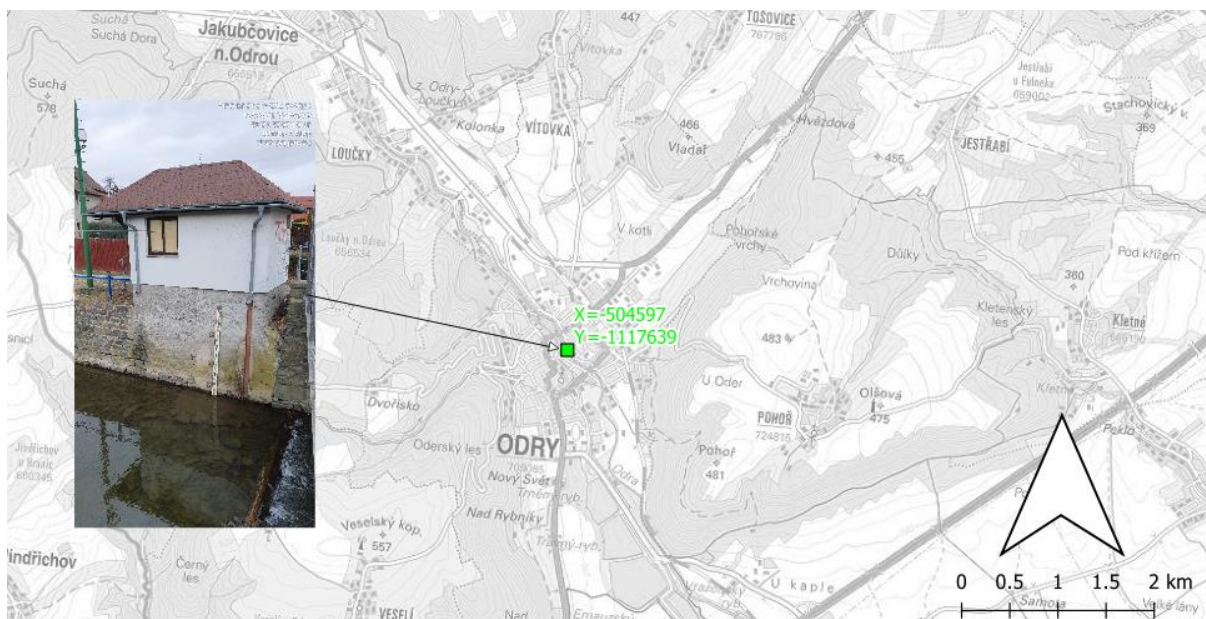
V obci Jakubčovice n. Odrou, se nachází dva hlásné profily kat. C. Neobsahují však údaje o průtocích, pouze záznam hladiny a určení SPA. [23]

Tab. 3.6 – Hlásný profil Odry tok (ř. km 88,466)

Hlásný profil kategorie A, Odry – Odry tok	
Provozovatel	ČHMÚ Ostrava
Říční km	81.98
Plocha povodí	411.336
Nula vodočtu	283.45
Číslo hydrologického pořadí	2-01-01-0440-0-00
Zeměpisné souřadnice	X= -504597 Y= -1117639
Průměrný roční stav	-
Průměrný roční průtok	-
Platnost SPA pro úsek toku	Heřmánky – soutok s Jičínkou

Q _N	Q ₁	Q ₅	Q ₂₀	Q ₅₀	Q ₁₀₀
[m ³ /s]	39.2	83.9	107	169	199

Stupně povodňové aktivity:	[cm]	[m ³ /s]
1. SPA (bdělost)	200	39.305
2. SPA (pohotovost)	230	58.428
3. SPA (ohrožení)	260	80.166

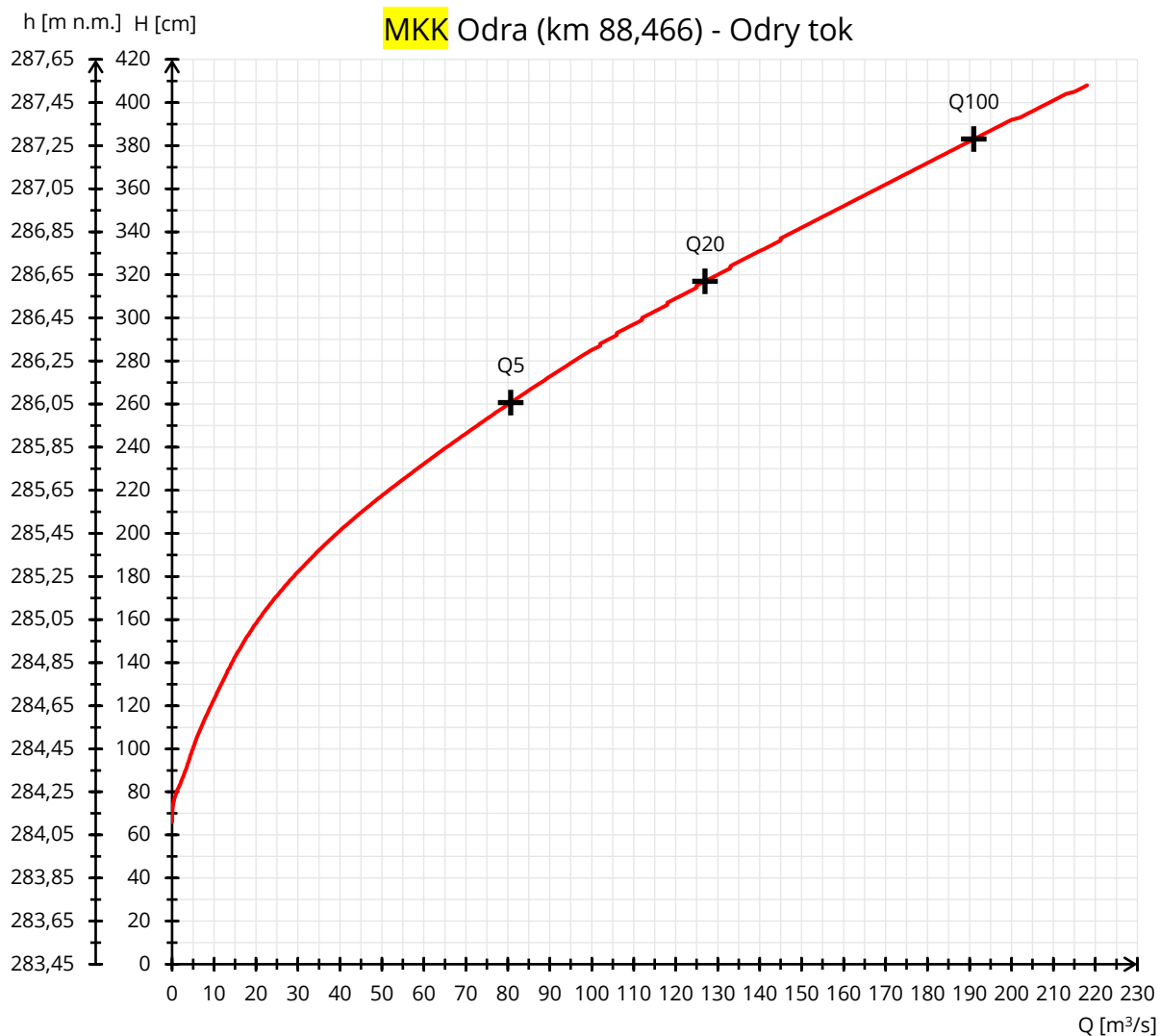


Obr. 3.5 – Lokace hlásného profilu kat. A (km 88,466), Odry – Odry tok (S-JTSK) [3] [24] (podklad [3], foto [14])

Tab. 3.7 – Hlásné profily kat. C [23]

Hlásný profil kategorie C, Jakubčovice nad Odrou		
Stupně povodňové aktivity:	[cm]	[m ³ /s]
1. SPA (bdělost)	173	-
2. SPA (pohotovost)	141	-
3. SPA (ohrožení)	68	-

Hlásný profil kategorie C, Jakubčovice – soutok (Odra)		
Stupně povodňové aktivity:	[cm]	[m ³ /s]
1. SPA (bdělost)	200	-
2. SPA (pohotovost)	230	-
3. SPA (ohrožení)	260	-



Obr. 3.6 – Měrná křivka koryta, Odra – Odry tok (km 88,466) [7]

Tab. 3.8 – N-leté neovlivněné průtoky na Odře (18) [19]

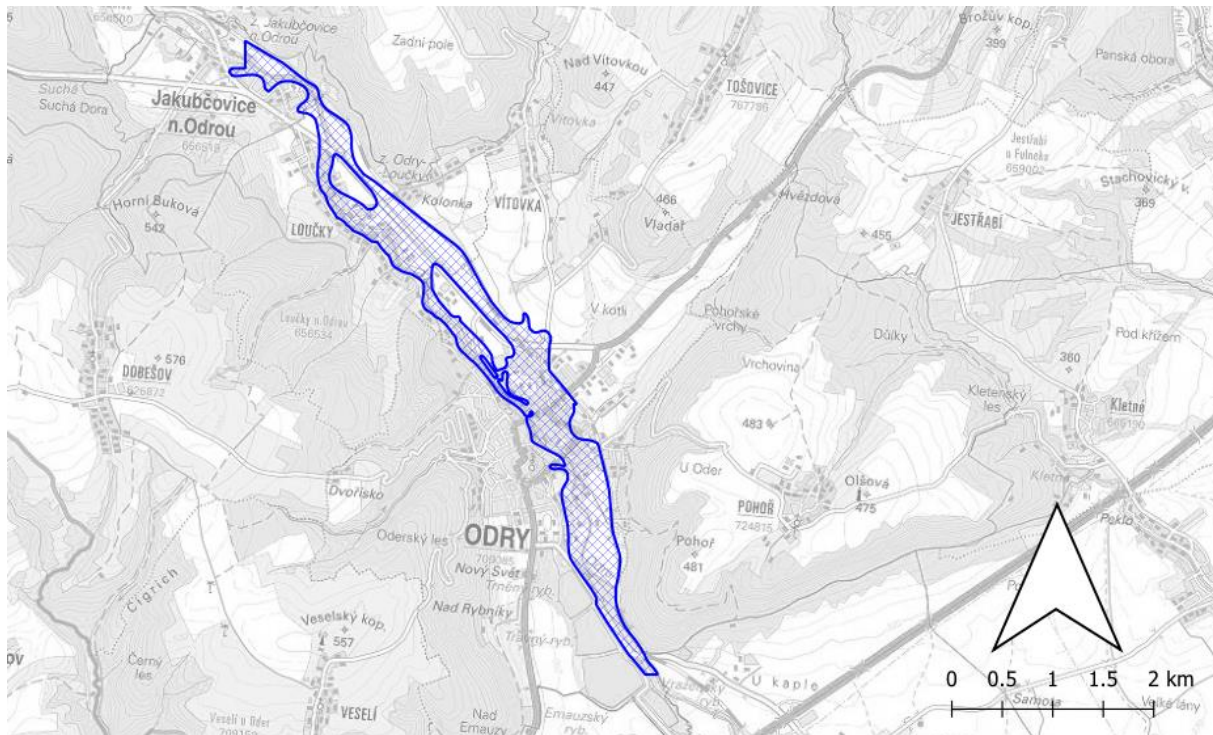
Hydrologický profil	Datum pořízení	Říční km	Plocha povodí [km ²]	Q ₅	Q ₂₀	Q ₁₀₀	Q ₅₀₀	Třída přesnosti
				[m ³ /s]				
Odra – Loučky, silniční most 441-013	Srpen 2019	90.03	395.52	80.7	127	191	-	II.
Odra – Makovice, dálniční most	Srpen 2019	82.05	426.40	85.8	135	201	283	II.

3.4. Historické povodně

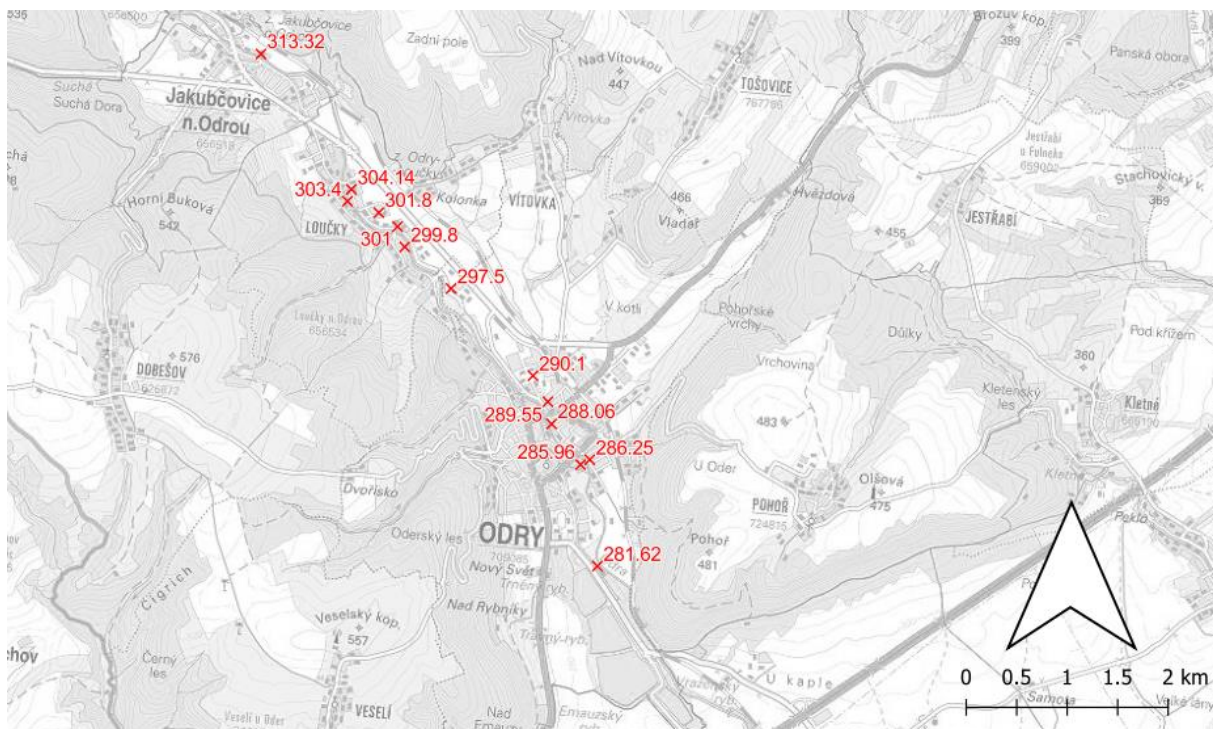
V průběhu července 1997, kdy severní Moravu zasáhly mimořádně katastrofální povodně, se maximální srážkové úhrny vyskytly na hlavních moravských pohořích – hrubém Jeseníku a Beskydech. Extrémní povodňová situace se proto na Odře vyskytla až v místech pod zaústěním přítoků odvodňující svahy těchto pohoří. V úseku Oder proto N-letost kulminačního průtoku ($Q_{1997}=159 \text{ m}^3/\text{s} \dots < Q_{50}$) [24] za povodně zdaleka nedosahovala extrémů, které se vyskytly zejména pod zaústěním Opavy.

Studie [17] udává, že nízko položené mostovky (objekty nejsou blíže specifikovány) byly ucpávány plávim, omezující průtočné poměry. Důsledkem tohoto snížení kapacity se kolem náspů mostní konstrukce vytvořil obtok, který ohrožoval přilehlou zástavbu v zájmovém úseku.

Z této povodně byly k dispozici údaje o průběhu kulminační hladiny ve formě geodeticky zaměřených povodňových značek. Povodí Odry, s.p. poskytlo data souborem *.dwg jako součást podkladů [6] [17] (viz obr. 3.8).



Obr. 3.7 – Simulovaný průběh povodně Q_{1997} [22] (podklad [3])



Obr. 3.8 – Povodňové značky kulminační hladiny Q_{1997} [6] [17] (podklad [3])

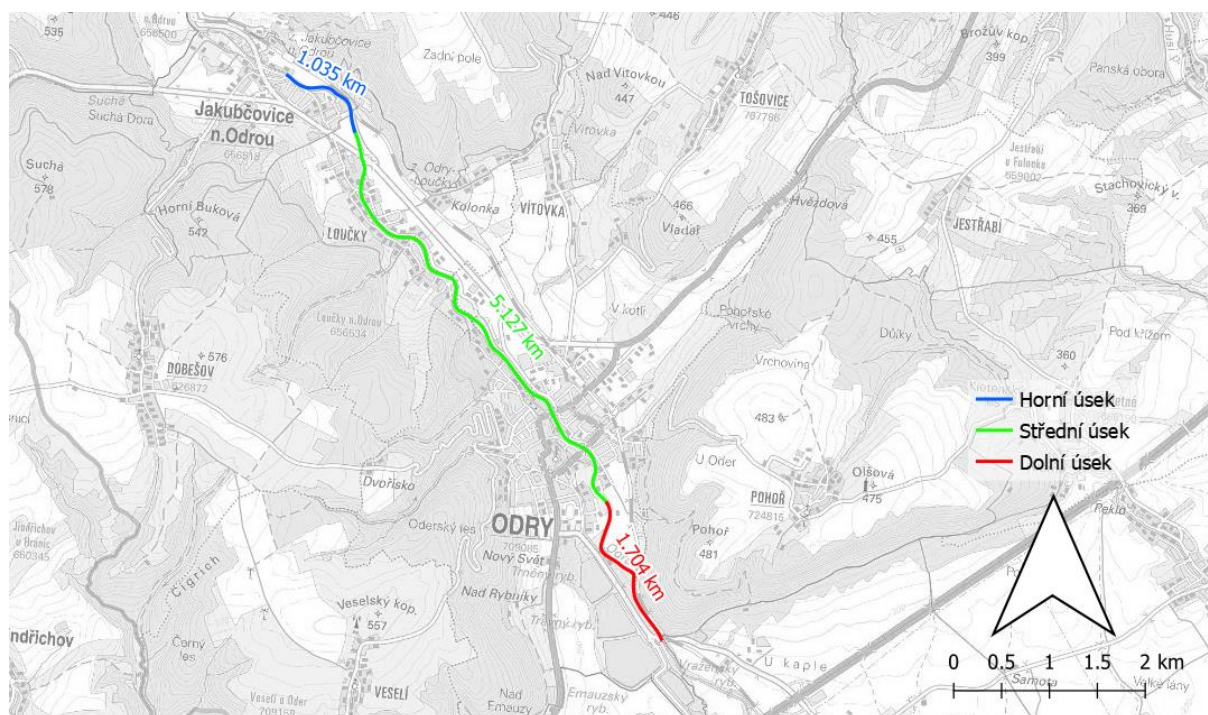
4. HYDRODYNAMICKÝ MODEL

Kapitola popisuje následující činnosti:

- **kap. 4.1. Tvorba DMT** – použité metody a postupy související s přípravou digitálního modelu terénu (DMT),
- **kap. 4.2. Konceptní model** – vymezení výpočetní oblasti, schematizace výpočetní oblasti, výběr výpočetního softwaru a řešení proudění (1D, 2D), diskuze k nestacionaritě proudění,
- **kap. 4.3. Matematický model** – popis základních principů matematické formulace řídicích rovnic,
- **kap. 4.4. 1D numerický model ustáleného nerovnoměrného proudění**– charakteristika použitého modelu, vstupní data (geometrie, drsnost, okrajové podmínky), vyhodnocení kalibrace
- **kap. 4.5. Analytické řešení mostů a propustků** – vstupní hodnoty pro analytické řešení mostních objektů a propustků
- **kap. 4.6. 2D numerický model neustáleného proudění** – charakteristika použitého modelu, vstupní data (geometrie, drsnost, okrajové podmínky), vyhodnocení kalibrace,
- **kap. 4.7. Nejistoty výpočetních metod** – diskuze k nejistotám, uvedení oblastí výskytu nejistot a jejich možný vliv na výsledky.

4.1. Tvorba DMT

Před zahájením práce byl úsek rozdělen do tří částí (viz obr. 4.1). Pro každou část koryta bylo poté, z důvodu rozdílných dat pro každý úsek, vytvořen samostatný DMT. V programu HEC-RAS 6.2. byl následně vytvořen jediný povrch v rastrovém formátu (*.tiff), který zahrnoval všechny úseky. Výsledné rozlišení rastru je 0,25 x 0,25 m.



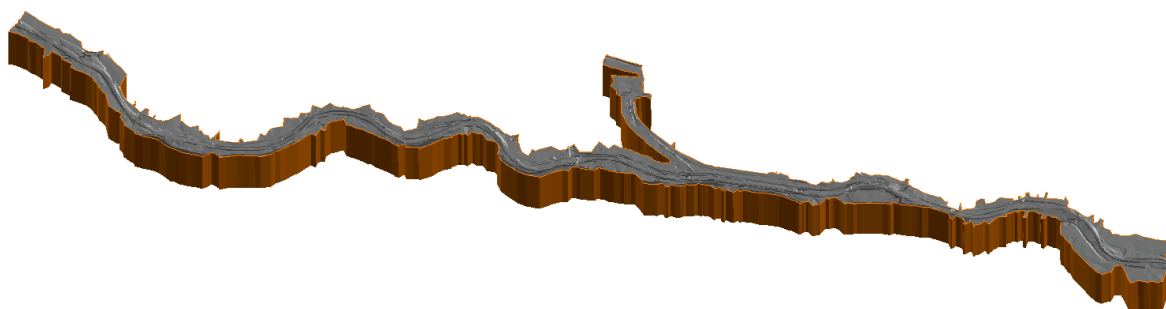
Obr. 4.1 – Úseky tvorby DMT (podklad [3])

4.1.1. Střední úsek

Úsek byl v plném rozsahu zpracován v programu Civil 3D 2021. Detailní zaměření umožnilo provést tvorbu DMT z trojúhelníkové sítě a nebyla nutná interpolace mezi profily (viz obr. 4.2). Při zpracování bylo dbáno na dodržení všech povinných hran a odfiltrování neodpovídajících bodů.

Kontrola povrchu byla provedena vizuální analýzou 3D modelu v prohlížeči softwaru Civil 3D 2021 a ověřením více než 500 příčných profilů. Výsledný povrch ve formátu *.dwg byl exportován jako soubor *.tiff s rozlišením rastru 0,25 x 0,25 m. Kontrola vygenerovaného povrchu byla provedena proložením rastru DMT středního úseku a DMR 5g, pozornost byla věnována především odchylce v napojení mezi povrchy. V případě nesrovnalostí se přistoupilo k ověření pomocí fotodokumentace a bylo rozhodnuto pro případné úpravy povrchu.

Spojení DMT Středního úseku a DMR 5g bylo provedeno nástroji QGIS 3.22 a SAGA GIS 2.3.2. Kolem hranice DMT byla vytvořena ekvidistanta ve vzdálenosti 1 m. Data DMR 5g v rámci této oblasti byla odstraněna a nahrazena daty DMT středního úseku. Chybějící část rastru mezi DMT a DMR 5g byla vytvořena interpolací. Následovala kontrola povrchu postupy zmíněnými v předchozím odstavci.



Obr. 4.2 – Výsledný povrch středního úseku v programu Civil 3D 2021

4.1.2. Horní a dolní úsek

Povrch byl vytvořen interpolací mezi příčnými profily v softwaru HEC-RAS 6.2. Pro tyto úseky bylo požádáno o nejaktuálnější a nejpodrobnější verzi zaměření [17]. Z důvodu vzdálenosti zaměřených příčných profilů v těchto úsecích, nebyla tvorba trojúhelníkové sítě vhodným řešením. Před vytvořením byly profily upraveny, aby se eliminovaly odchylky v místě napojení. Interpolovaný rastr má rozlišení 0,25 x 0,25 m. Napojení na DMT Středního úseku s již napojeným DMR 5g se provedlo jako přeplátování v programu HEC-RAS 6.2. Po vytvoření proběhla analýza povrchu příčnými profily a vizuálně v prohlížeči RAS Mapper.



Obr. 4.3 – Výsledný povrch dolního úseku

4.2. Koncepční model

Předmětem je vytvoření 2D modelu neustáleného proudění a simulace povodňových průtoků v zájmové oblasti. Součástí práce bylo také vytvoření 1D modelu ustáleného nerovnoměrného proudění pro získání základní představy o proudění ve středním úseku, zejména k předběžnému

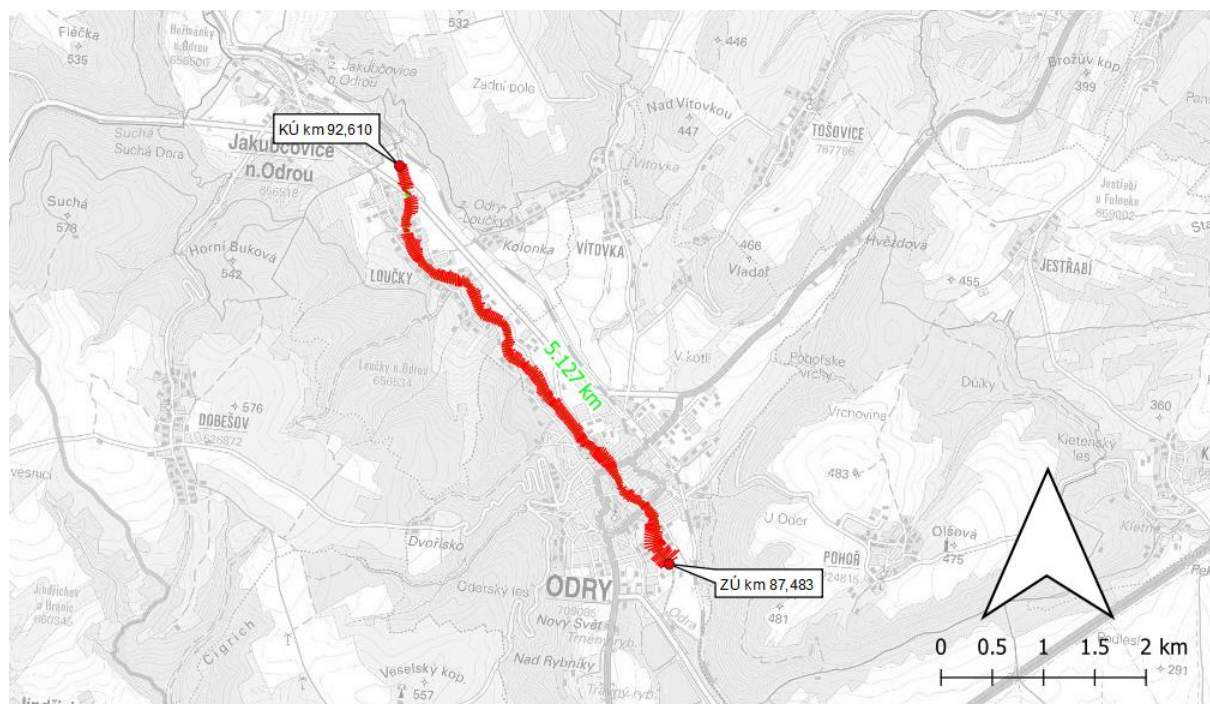
stanovení rizikových objektů, např. nekapacitní mosty a jezy. Výstupy z 2D modelu byly pro mostní objekty navíc ověřeny analytickým výpočtem (viz příloha B.)

Příprava příčných profilů, výpočetní sítě, další parametry modelu a prezentace výsledků byly řešeny s využitím programů HEC-RAS 6.2, QGIS 3.22 a Civil 3D 2021.

4.2.1. 1D model

4.2.1.1. Schematizace řešené oblasti

Začátek modelu je před mostním objektem 441-013 (ř. km 92,610), konec je za obcí Odry u objektu ČOV (ř. km 87,483) (viz obr. 4.4). Sestavený model má jeden hlavní úsek dlouhý 5,127 km. Zájmové území je schematizováno řadou příčných profilů vedených kolmo na směr proudění. V místech některých objektů jsou profily natočeny tak, aby byl objekt správně vymodelován. Model je připraven pouze pro proudění v rámci kapacity koryta ($\leq Q_{20}$). Při vyšší N-letosti povodně dochází k výraznému vyběžení, které tímto 1D modelem nelze vhodně vystihnout.



Obr. 4.4 – Schéma 1D modelu (podklad [3])

4.2.1.2. Vliv nestacionarity proudění

Ve výpočtech je uvažováno s ustáleným nerovnoměrným prouděním, nestacionarita se neprojeví.

4.2.1.3. Způsob zadávání okrajových podmínek a počátečních podmínek

Jako dolní okrajová podmínka (DOP) jsou zvoleny hladiny pro jednotlivé N-letosti povodní dostupné z dat CDS [1]. Ve výpočtu jsou uvažovány neměnné hodnoty průtoků převzaté z [19].

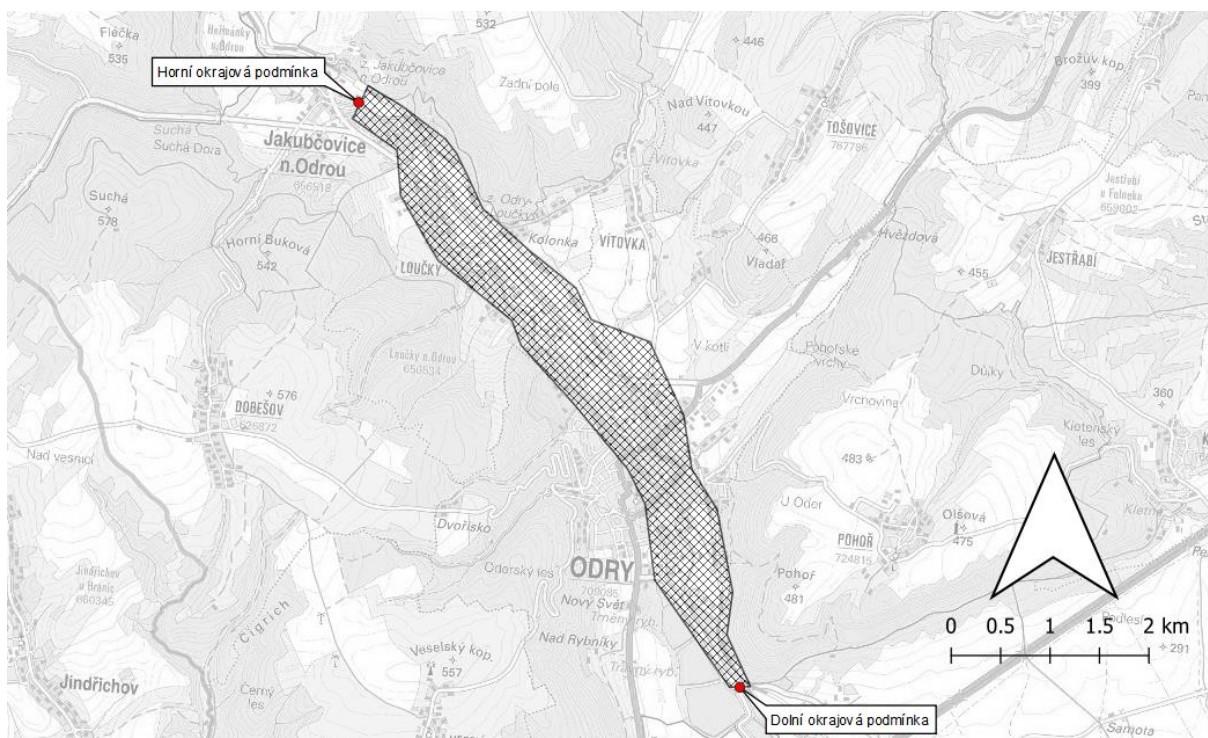
Počáteční podmínky se při ustáleném proudění nezadávají.

4.2.2. 2D model

4.2.2.1. Schematizace řešené oblasti

Oblast byla sestavena jako jeden model. Počátek modelu je v centru obce Jakubčovice n. Odrou (ř. km 93,645), umístění je voleno s ohledem na předpokládané rozlivy do levého

i pravého inundačního území před obcí Loučky. Konec modelu je umístěn za profilem mostu 441-017 (ř. km 85,779), kulminační průtok je zde dle předpokladu soustředěn do mostního profilu.



Obr. 4.5 – Schéma 2D výpočetní sítě modelu (podklad [3])

4.2.2.2. Vliv nestacionarity proudění

Výpočet je proveden metodou neustáleného proudění s použitím dostatečně dlouhého konstantního hydrogramu do ustáleného stavu hladin a rychlostí. Ve výpočtu jsou uvažovány neměnné hodnoty průtoků, převzaté z podkladů [19] (18).

4.2.2.3. Způsob zadávání okrajových podmínek a počátečních podmínek

Jako horní okrajové podmínky (HOP) je zvolena řada konstantních hydrogramů pro jednotlivé N-letosti povodní. Jako dolní okrajové podmínka (DOP) je zvolena měrná křivka vytvořená z úrovně hladin dostupných z dat CDS [1].

Pro účely této práce se s počátečními podmínkami nepracovalo (na počátku je koryto suché).

4.3. Matematický model

4.3.1. 1D matematický model ustáleného nerovnoměrného proudění

Úvaha vychází z předpokladu, že průtok, střední průřezová rychlost a průtočná plocha jsou pouze funkcí polohy, tedy nezávislé na čase. Při takovémto proudění řešíme ztráty:

- třením po délce,
- místní ztráty (kontrakce, expanze průtočného profilu).

Tuto úlohu lze řešit rozdělením koryta po délce na dílčí úseky a užitím Bernoulliho rovnice vztaženou ke srovnávací rovině [25] [20]:

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

kde

i_{0j} ... sklon dna v úseku

ΔL_j ... vzdálenost profilů ohraničující úsek

h_i, h_{i+1} ... výška hladiny v profilech

α ... Coriolisovo číslo

v_i, v_{i+1} ... střední průřezová rychlost v profilech

g ... gravitační zrychlení

h_{zj} ... celkové ztráty na úseku

Metody výpočtu mostních objektů, propustků a přepadu přes jezová tělesa za různých podmínek proudění jsou detailně popsány v dokumentaci dostupné z [20].

4.3.2. Analytické řešení mostních objektů a propustků

Proudění mostními profily je hydraulicky náročné. Existuje několik typů proudění, od něhož se odvíjí matematická formulace rovnic, popisující daný jev. Pro analytické řešení bylo využito poznatků z [11] [12] [13].

4.3.3. 2D matematický model neustáleného proudění

Model vychází z obecných Navier – Stokesových rovnic, popisujících pohyb newtonských kapalin v trojrozměrném prostředí. Za předpokladu malého gradientu rychlosti ve svislé ose proudnic, což odpovídá požadavkům této práce, je možné jednotlivé vektory rychlosti zprůměrovat po svislici a řešit tak proudění dvourozměrné. [20]

Za předpokladu nestlačitelné kapaliny lze uvažovat rovnici kontinuity ve tvaru (diferenciální forma) [20]:

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial(hu)}{\partial x} + \frac{\partial(hv)}{\partial y} = \pm q \quad (4.2.)$$

kde

t ... čas,

h ... hloubka vody,

u, v ... složky vektoru rychlosti ve směru x, y ,

q ... přítok/odtok.

A pohybové rovnice ve tvaru (diferenciální forma):

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} - f_c v = -g \frac{\partial z_s}{\partial x} + \frac{1}{h} \frac{\partial}{\partial x} \left(\vartheta_{t,xx} h \frac{\partial u}{\partial x} \right) + \frac{1}{h} \frac{\partial}{\partial y} \left(\vartheta_{t,yy} h \frac{\partial u}{\partial y} \right) - \frac{\tau_{b,x}}{\rho R} + \frac{\tau_{s,x}}{\rho h} \quad (4.3.)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} - f_c u = -g \frac{\partial z_s}{\partial y} + \frac{1}{h} \frac{\partial}{\partial x} \left(\vartheta_{t,xx} h \frac{\partial v}{\partial x} \right) + \frac{1}{h} \frac{\partial}{\partial y} \left(\vartheta_{t,yy} h \frac{\partial v}{\partial y} \right) - \frac{\tau_{b,y}}{\rho R} + \frac{\tau_{s,y}}{\rho h} \quad (4.4.)$$

kde

t ... čas

u, v ... složky vektoru rychlosti ve směry x, y ,

g ... gravitační zrychlení,

z_s ... nadmořská výška hladiny,

$\vartheta_{t,xx}, \vartheta_{t,yy}$... koeficienty turbulentní viskozity ve směru x, y,

$\tau_{b,x}, \tau_{b,y}$... smykové napětí ve dně ve směru x, y,

$\tau_{s,x}, \tau_{s,y}$... smykové napětí na hladině vlivem větru ve směru x, y,

R ... hydraulický poloměr,

h ... hloubka vody,

f_c ... Coriolisův parametr (rotační účinek Země).

Okrajové a počáteční podmínky jako známé, nebo zadané průběhy funkcí lze definovat podle [27].

Vzhledem k rozsahu zájmové oblasti a množství výpočetních buněk bylo využito aproximace pohybových rovnic difuzní vlnou. Tento přístup vykazuje dobré výsledky v oblastech, kde výrazně převládají účinky gravitace a smykového tření ve dně nad účinky turbulentní viskozity a rotace Země, které se v této aproximaci zanedbávají. Pohybové rovnice poté nabývají tvaru (maticová forma) [20]:

$$\frac{n^2}{R^3} |V|V = -\nabla z_s \quad (4.5.)$$

kde

V ... vektor rychlosti

R ... hydraulický poloměr

Δz_s ... nadmořská výška hladiny

n ... Manningův součinitel drsnosti

Přímým nahrazením plných pohybových rovnic aproximací difuzní vlnou v rovnici kontinuity dostáváme jedinou rovnici, a to rovnici difuzní vlny (DWE) ve tvaru [20]:

$$\frac{\partial h}{\partial t} = \nabla \cdot (\beta \nabla z_s) + q \quad (4.6.)$$

kde

$$\beta = \frac{R^{\frac{2}{3}} \cdot h}{n |\nabla z_s|^{\frac{1}{2}}} \quad (4.7.)$$

Metody výpočtu mostních objektů, propustků a přepadu přes jezová tělesa za různých podmínek proudění jsou detailně popsány v dokumentaci dostupné z [20].

4.4. 1D numerický model ustáleného nerovnoměrného proudění vody

Proudění je v zájmovém úseku řešeno softwarem HEC-RAS 6.2., který v případě 1D ustáleného nerovnoměrného proudění úlohu řeší metodou po úsecích. Vzhledem k šíři rozlivu a fakt, že bylo modelováno pouze samotné koryto, jsou validní pouze scénáře pro kulminační průtoky Q_5 a Q_{20} .

4.4.1. Vstupní data modelu

Data byla zpracována, analyzována a v souladu s [20] vložena do výpočetního programu.

4.4.1.1. Geometrická data

Pro 1D model byla jako geometrická data použity vytvořené příčné řezy v programu Civil 3D 2021 (viz obr. 4.6). Vzdálenost profilů je konstantní po 20 m s lokálními úpravami pro správné modelování průtoku mezi mostními opěrami, v propustcích a na jezích. Objekty jsou modelovány ve výpočetním softwaru HEC-RAS 6.2 dle dostupných podkladů [4] [5] [6] [17] [26], poznatků osobní prohlídky [14] a fotodokumentace. Mosty jsou zadány včetně pilířů, inefektivních ploch proudění, vtokových a výtokových součinitelů a součinitelů přepadu. Jezy a spádové stupně jsou modelovány jako přelivná hrana s určením součinitele přepadu. Příčné profily koryta jsou zadány tak, že umožňují modelování průtoků pouze do kapacity koryta (cca $\leq Q_{20}$). Vzhledem k tomu, že hlavním předmětem práce je 2D řešení, se 1D model celému záplavovému území nevěnuje.



Obr. 4.6 – Schéma použitých profilů v 1D modelu

4.4.1.2. Manningův součinitel drsnosti n

Pro střední úsek, reprezentovaný upraveným korytem je zvolena konstantní hodnota $n=0,035$. V příčném profilu je volena pouze jediná reprezentativní hodnota.

4.4.1.3. Okrajové podmínky

Jako dolní okrajová podmínka (DOP) byla zvolena nadmořská výška hladin pro jednotlivé scénáře kulminačního průtoku $Q_5 - Q_{100}$ dostupná z WMS služeb [1]. Hodnoty jsou uvedeny v tab. 4.1.

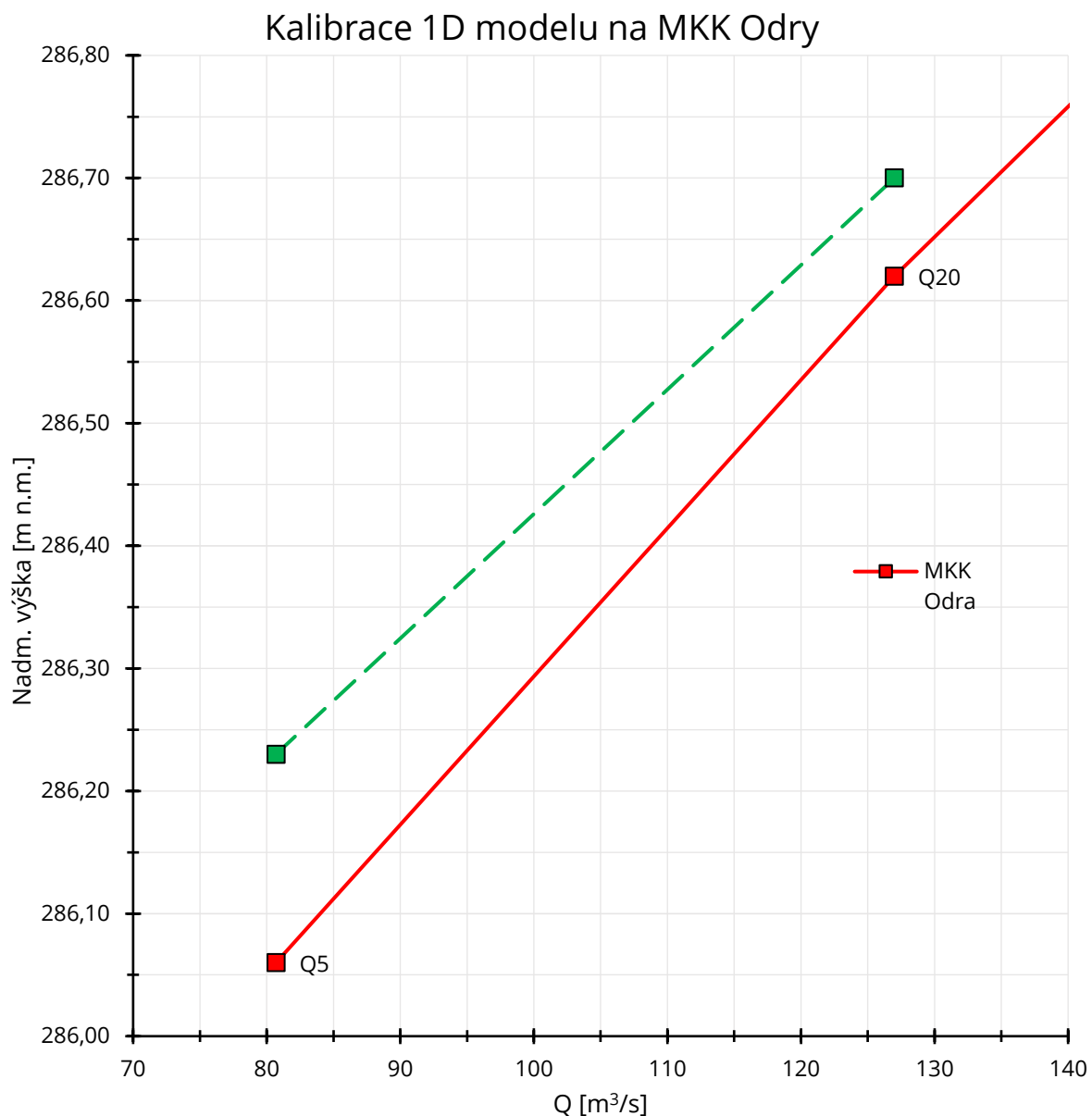
Pro horní okrajovou podmínku (HOP) byly zvoleny průtoky odpovídající danému scénáři N-letosti povodně převzaté z [19] (viz tab. 4.1)

Tab. 4.1 – Hodnoty DOP [1] [19]

Q_N	Q_5	Q_{20}	Q_{100}
$[m^3/s]$	80,7	127	191
$[m \text{ n.m.}]$	282,79	283,17	283,47

4.4.2. Kalibrace modelu

Kalibrace byla provedena na MKK Odry v místě hlásného profilu č. 264 (ř. km 88,466) dodanou správcem povodí [7]. Parametry modelu (především drsnost), byly optimalizovány na odchylku úrovně hladiny $+ (8-18)$ cm na stranu bezpečnou (viz obr. 4.7). Kalibrovány byly kulminační průtoky Q_5 a Q_{20} . Kalibrace Q_{100} a Q_{500} v řešeném rozsahu postrádá praktický význam.



Obr. 4.7 – Výsledky kalibrace 1D modelu v měrném profilu (ř. km 88,466)

4.5. Analytické řešení mostů

Řešení se zabývá stanovením vzduť hladiny vody v horním profilu mostovky. Výpočet byl proveden v tabulkovém procesoru MS Excel 2016. Výsledky jsou uvedeny v samostatné příloze B. Postup výpočtů je proveden dle [12].

Vstupními daty pro výpočet jsou:

- Při rozdělení průtoku do více polí se berou hodnoty průtoků stanovené softwarem HEC-RAS 6.2
- Výška hladiny v dolním profilu mostovky

Výstupy z analytického řešení jsou v příloze B. porovnány s výsledky 2D modelu.

4.6. 2D numerický model neustáleného proudění

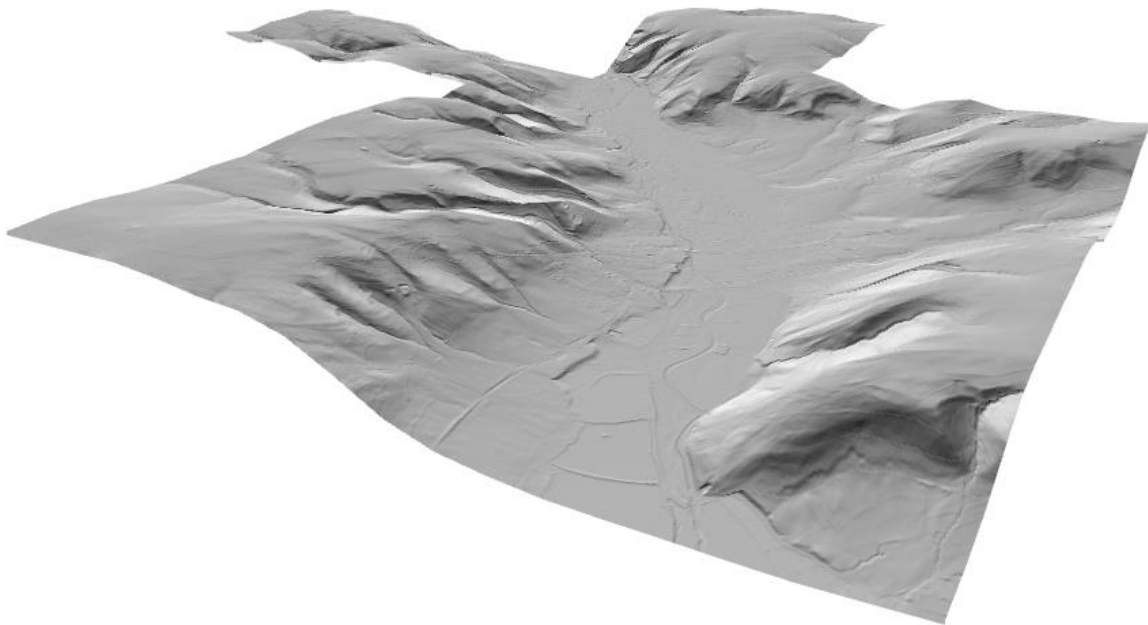
Proudění bylo v zájmovém úseku simulováno numerickým modelem HEC-RAS 6.2, který je založen v případě 2D řešení neustáleného proudění na metodě konečných objemů.

4.6.1. Vstupní data modelu

Podrobný popis vstupních dat je uveden v následujících kapitolách 4.6.1.1. – 4.6.1.4. Data byla zpracována, analyzována a v souladu s [20] vložena do výpočetního programu.

4.6.1.1. Geometrická data

Pro 2D model byla jako geometrická data použit vytvořený a analyzovaný DMT s rozlišením 0,25 x 0,25 m (viz obr. 4.8 a kap. 4.1). Objekty byly modelovány ve výpočetním softwaru HEC-RAS 6.2 dle dostupných podkladů [4] [5] [6] [17] [26] a poznatků osobní prohlídky a fotodokumentace. Mosty byly zadány včetně pilířů, inefektivních ploch proudění, vtokových a výtokových součinitelů a součinitelů přepadu. Jezy a spádové stupně byly modelovány jako přelivná hrana s určením součinitele přepadu.



Obr. 4.8 – Použitý DMT pro 2D model

4.6.1.2. Výpočetní síť (mesh)

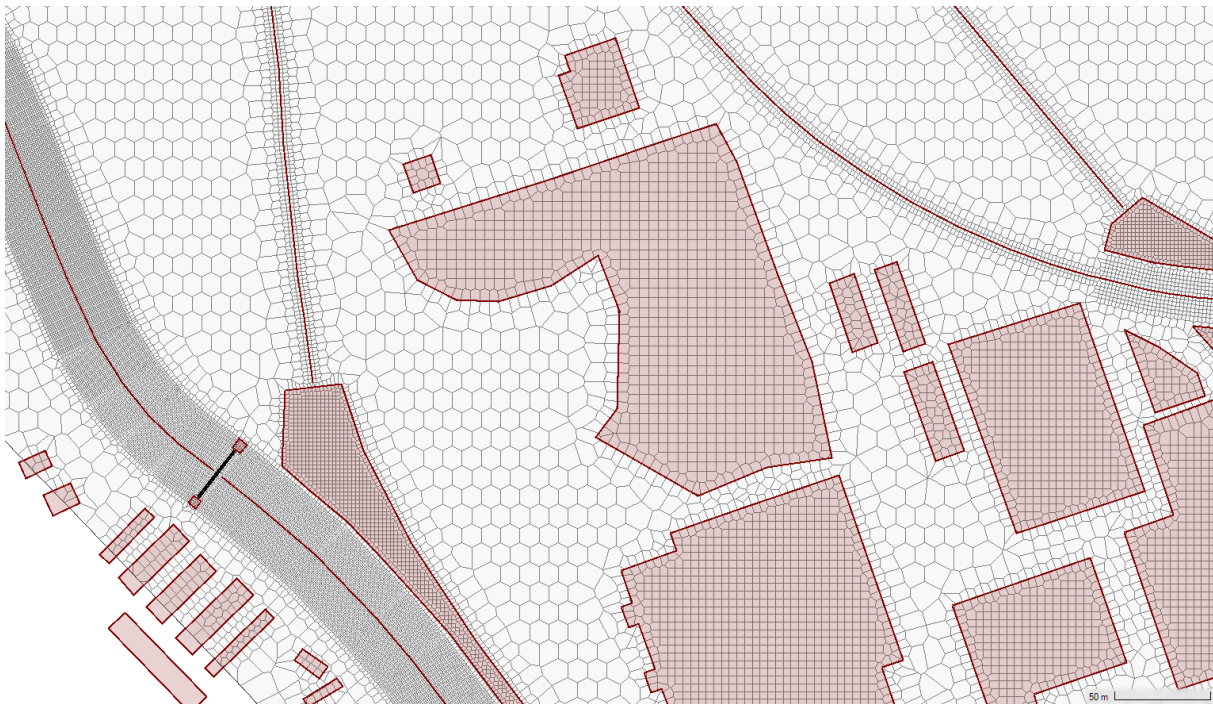
Velikost buněk výpočetní sítě má zásadní vliv na přesnost výpočtu. V případě použití elementů s menších rozměrů lze dosáhnout detailnějších výsledků, na druhou stranu hrubší výpočetní síť umožňuje provádět rychlejší a stabilnější výpočty.

Při tvorbě sítě bylo rozhodnuto o použití základního hexagonálního neorientovaného rastru 10 x 10 m. Následně byla síť patřičně zjemněna v místech, důležitých pro validitu výsledků. A to orientovanou čtyřúhelníkovou, nebo hexagonální sítí:

- v oblasti koryta 1 x 1 m,
- v místě ulic, areálů a neprůtočných ploch 2 x 2 až 5 x 5 m,
- v místě komunikací, drah a propustků 1 x 1-2 až 2 m.

Příklad výřezu výpočetní sítě je uveden na obr. 4.9.

Výpočetní síť je pro oblast dostatečně detailní, čela výpočetních buněk respektují hrany v terénu a obrysy neprůtočných ploch. Celkový počet buněk (cells) výpočetní sítě je 460 862.



Obr. 4.9 – Použitá výpočetní síť

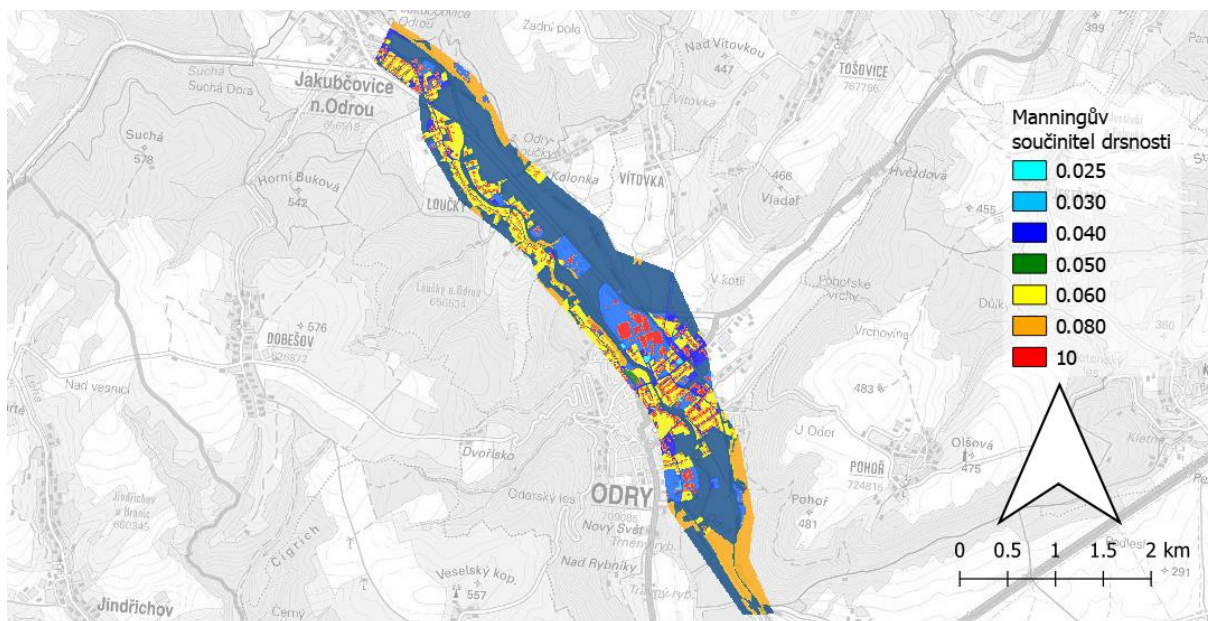
4.6.1.3. Manningův součinitel drsnosti n

Při tvorbě vrstvy drsnosti sloužily jako podklady ortofoto mapy [4], vrstvy ZABAGED [9], fotodokumentace [14] a hodnoty Manningova součinitele drsnosti použité v [18] [19]. Použité hodnoty jsou uvedeny v tab. 4.1. a na obr. 4.10.

Vzhledem k tomu, že dominantní část průtoku protéká korytem, bylo stanovení součinitele drsnosti v této oblasti zásadní. Příčný profil koryta má drsnost přizpůsobenu lokálním podmínkám a respektuje tak např. zarostlé břehy a bermy. Budovy, bloky budov a neprůtočné plochy mají drsnost $n=10$ z důvodu zajištění téměř nulových rychlostí v těchto místech.

Tab. 4.2 – Hodnoty součinitele drsnosti dle Manninga

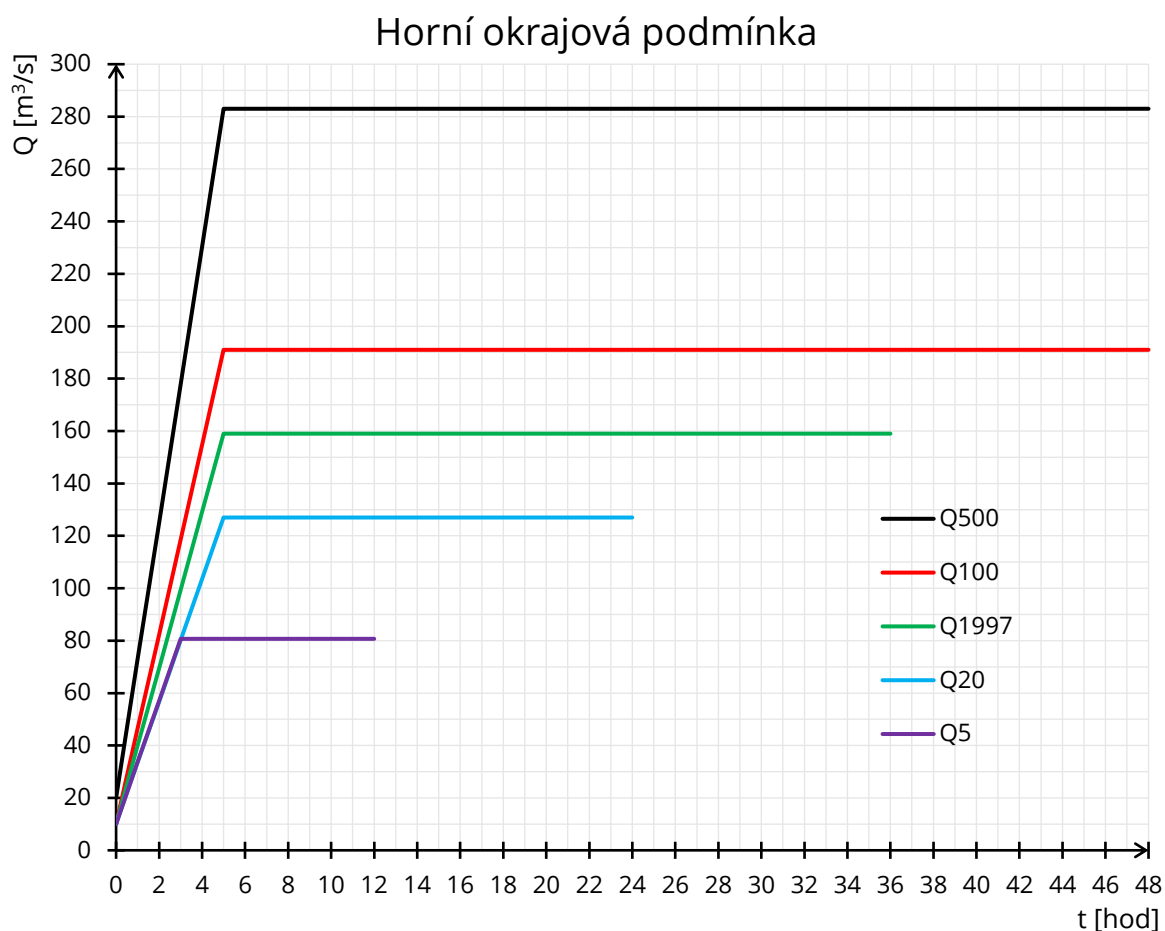
Název plochy	Součinitel drsnosti n
	[-]
Budova, blok budov, neprůtočná plocha	10
Lesní půda, křoviny	0,08
Lesní půda, stromy	0,08
Okrasné zahrady, parky	0,06
Orná půda	0,04 - 0,045
Plochy v sídlech (beton, asfalt, kámen)	0,025 - 0,04
Ovocné sady, zahrady	0,06
Parkoviště	0,025
Trvalý travní porost	0,04 - 0,045
Koryto	0,04 - 0,045
Průmyslové areály	0,035
Ostatní	0,04



Obr. 4.10 – Schéma Manningova součinitele drsnosti v zájmové oblasti (podklad [3])

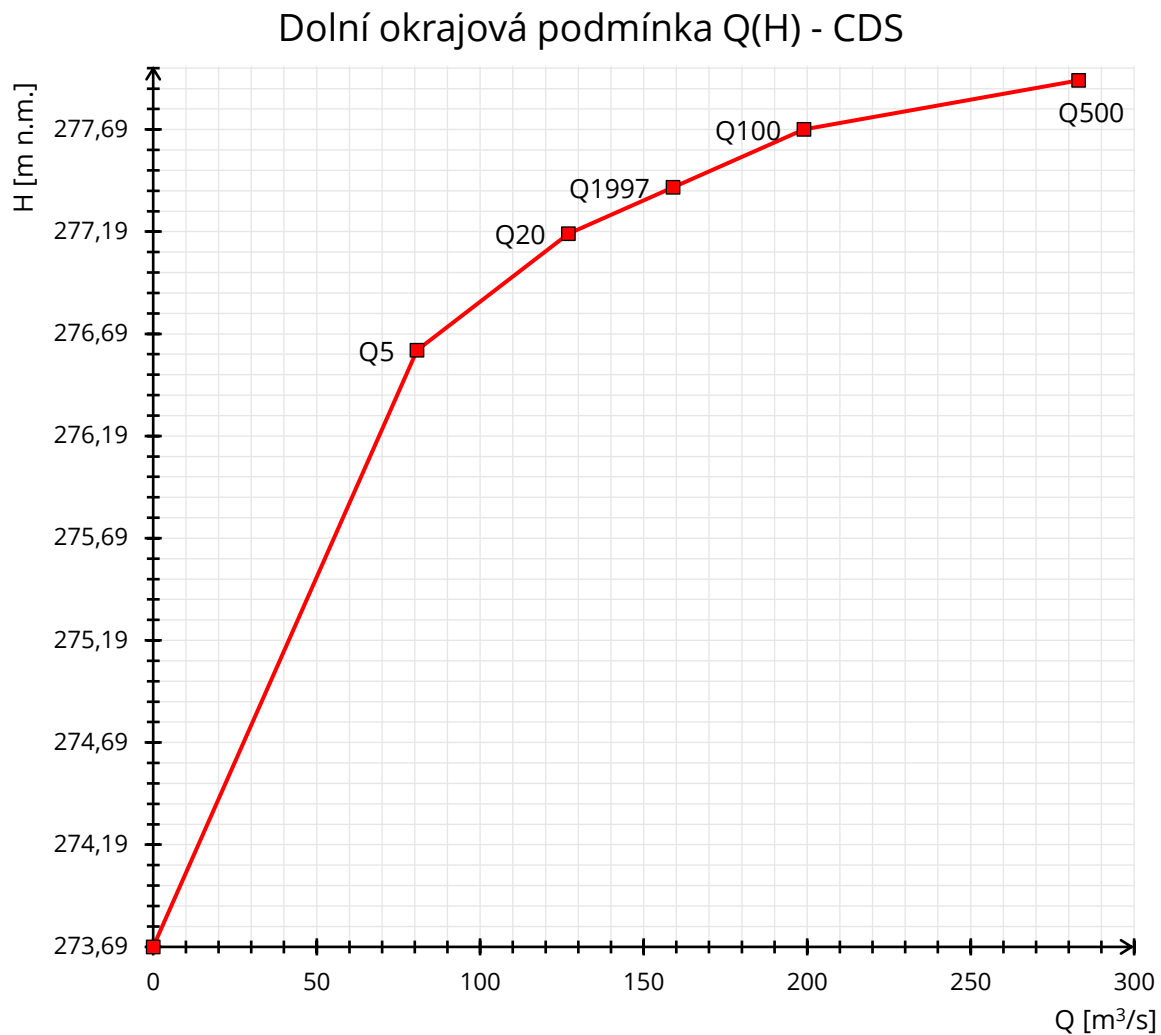
4.6.1.4. Okrajové podmínky

Vstupem pro HOP jsou řady konstantních hydrogramů pro jednotlivé N-letosti povodní. Vstupní hodnoty znázorňuje obr. 4.10.



Obr. 4.11 – Hodnoty HOP (ř. km 93,645)

Jako DOP byla zvolena měrná křivka získaná z WMS služeb CDS [1]. Hodnoty jsou znázorněny na obr. 4.11.



Obr. 4.12 – Hodnoty DOP (ř. km 85,779) [1]

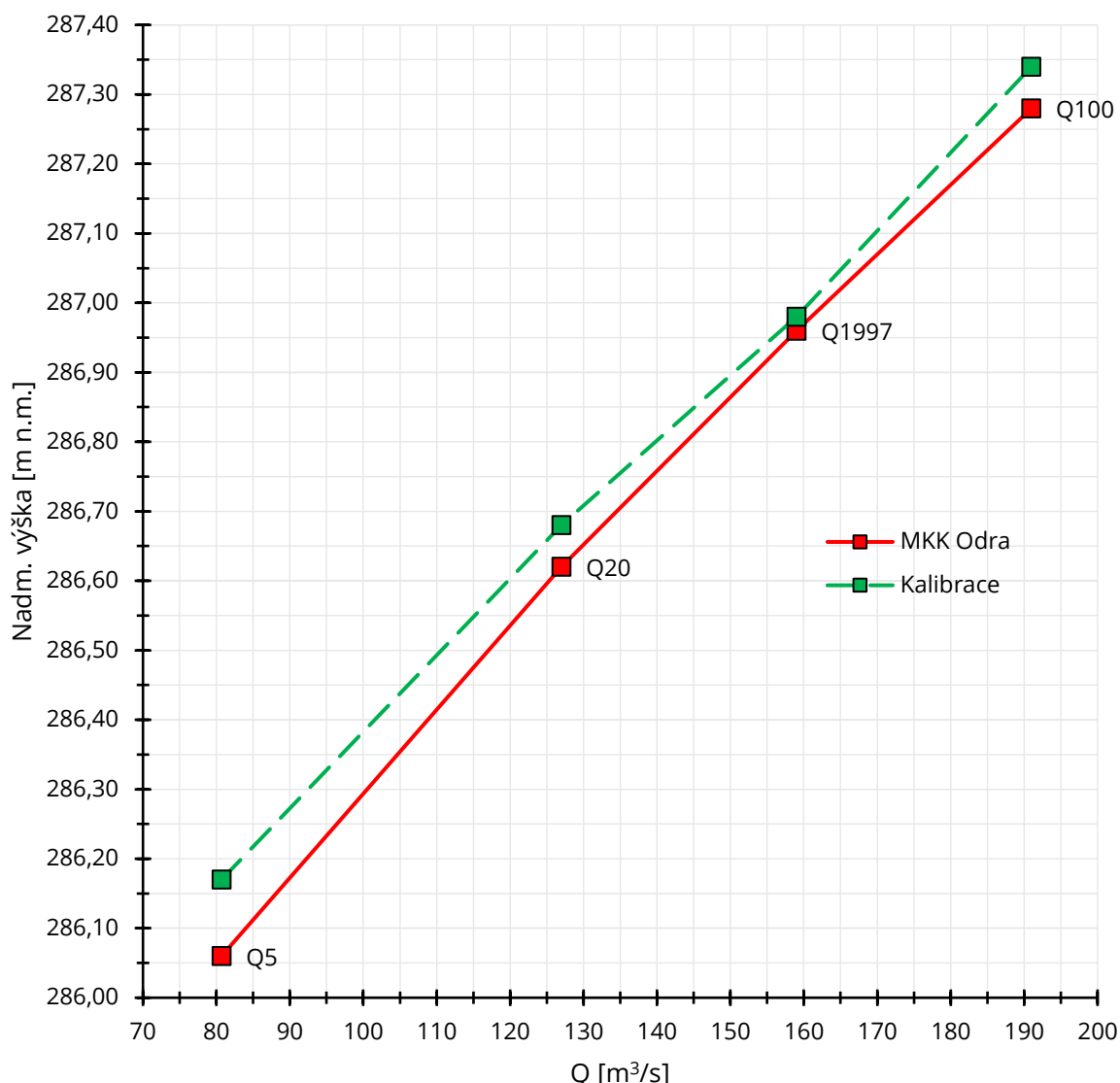
4.6.2. Kalibrace modelu

Kalibrace byla provedena s použitím MKK Odry v místě hlásného profilu č. 264 (ř. km 88,466) dodanou správcem povodí. [7] Parametry modelu (především drsnost), byly optimalizovány na odchylku úrovně hladiny $\pm(2-11)$ cm na stranu bezpečnou (viz obr. 4.13). Kalibrovány byly všechny kulminační průtoky, kromě Q_{500} , extrapolace v tomto případě není vhodným řešením, kvůli rozdělení průtoku mezi koryto a zaplavené území.

Další možností kalibrace bylo využití povodňových značek kulminační hladiny z povodně v r. 1997. [17] [6] Tento způsob nebylo možné použít s ohledem k vybudovaným protipovodňovým opatřením v letech 2004-2006.

Bylo provedeno rovněž orientační porovnání hladin v korytě ze starší studie [17], kde byl výpočet řešen jednorozměrně.

Kalibrace 2D modelu na MKK Odry



Obr. 4.13 – Výsledky kalibrace 2D modelu (v měrném profilu ř. km 88,466)

4.7. Nejistoty výpočetních metod

4.7.1. Geometrická data

4.7.1.1. Digitální model reliéfu 5. generace (DMR 5g)

DMR 5g má úplnou střední chybu 0,18 m v odkrytém terénu a 0,30 m v zalesněném terénu. [10] Chyba může být v samotném měření a zpracování dat. Dle dostupných informací proběhla v zájmovém území poslední aktualizace v r. 2013 a verifikace v r. 2018, v záplavovém území se mohou nacházet nezaznamenané stavby a terénní úpravy ovlivňující rozliv. Tyto chyby byly zredukovány osobní prohlídkou území a preferováním geodetického zaměření v oblastech s vegetací.

4.7.1.2. Geodetické zaměření

Vzhledem k tomu, že byla použita data z podkladů [5] [6], je zásadní stáří dat, které se pohybuje od 16 do 22 let a není zaručena aktuálnost geodeticky zaměřených bodů. Ve středním úseku

proběhla částečná kontrola dat metodou GPS. Není vyloučena nepřesnost způsobená lidským faktorem.

4.7.1.3. Objekty na toku

Při zadávání parametrů do numerického modelu nelze vystihnout všechny detaily konstrukce. Ty jsou nahrazeny vtokovými, výtokovými součiniteli a součinitelem přepadu, jež jsou určeny odborným odhadem. Hodnoty jsou zadávány na stranu bezpečnou. Při výpočtu je uvažováno s neovlivněním průtočného profilu plávim.

4.7.2. Součinitel drsnosti n

Hodnota součinitele je zadána odborným odhadem. Jeho velikost se liší s výškou hladiny a rychlostí vody a nelze jeho proměnlivost spolehlivě určit v tak rozsáhlém území, proto je uvažována jako konstantní. Zásadní je drsnost koryta, kterou bylo kalibrováno s použitím MKK (kap. 4.3.2.) a byla mu věnována patřičná pozornost.

4.7.3. Turbulentní model

Účinky viskozity, a tedy turbulentní model, nejsou v řešení uvažovány. Turbulence vyvolává při proudění další mechanické ztráty energie a deformaci rychlostního pole, zejména při obtékání objektů, které mohou ovlivnit výšku hladiny hlavně v místech mostních objektů, nebo při vysoké meandrovitosti koryta. [29] [27]

4.7.4. Velikost elementů výpočetní sítě

I přes poměrně značné množství výpočetních buněk není pokryta veškerá variabilita terénního reliéfu. Nejistota může být v lokální depresi terénu (břehové hrany) vytvořené pod výpočetními body sítě a výsledném rozlivu v této lokalitě, a naopak v lokálním zvýšení nadmořské výšky buňky.

4.7.5. Hydrologické údaje

Při II. třídě přesnosti je střední kvadratická chyba 20-30 %. Aktualizace hydrologických dat proběhla v r. 2019, tedy 3 roky od současného řešení, platnost je deklarována na 5 let. [VI.]

5. VÝSLEDKY VÝPOČTŮ

Výsledky byly zpracovány v softwarech Civil 3D 2021, QGIS 3.22 a MS Excel 2016, ve formě map povodňového nebezpečí, map ohrožení, podrobného podélného profilu, psaného podélného profilu a příčných řezů korytem včetně hladin.

Dle zpracovaných výstupů z hydrodynamického modelu odpovídá kapacita koryta na území obce Odry méně než cca Q_{20} .

Psaný podélný profil obsahuje výšky hladin pro jednotlivé scénáře ($Q_5 - Q_{500}$) po 200 m a v profilech objektů (viz tab. 5.1), kde:

- **modře** jsou vyznačeny hladiny <0,5 m od dolního okraje mostovky,
- **červeně** jsou označeny hladiny výše než dolní okraj mostovky.

Tab. 5.1 – Psaný podélný profil pro úsek 85,779 – 93,645

Říční km	Staničení TPE [ř. km]	Nadm. výška hladin pro scénáře				Poznámka
		Q_5	Q_{20}	Q_{100}	Q_{500}	
85,800		276,61	277,18	277,69	277,93	
86,000		276,96	277,59	278,20	278,62	
86,200		277,53	278,17	278,85	279,34	
86,400		278,41	278,98	279,61	280,00	
86,600		279,12	279,69	280,32	280,70	
86,800		280,17	280,70	281,07	281,25	
87,000		281,04	281,58	281,85	281,97	
87,200		281,70	282,27	282,56	282,63	
87,400		282,37	282,94	283,37	283,48	
87,600		282,99	283,53	284,08	284,30	
87,697	-	283,37	283,88	284,43	284,68	Balvanitý skluz
87,800		283,75	284,26	284,81	285,10	
88,000		284,53	284,99	285,56	285,91	
88,156	81,67	285,22	285,68	286,28	286,96	Silniční most
88,200		285,31	285,78	286,39	287,03	
88,400		285,97	286,44	287,06	287,53	
88,462	81,98	286,16	286,67	287,33	287,90	Lávka
88,465	-	286,17	286,68	287,34	287,91	Dřevěný stupeň
88,600		286,52	287,08	287,82	288,38	
88,686	82,207	286,86	287,44	288,19	288,72	Silniční most
88,800		287,21	287,79	288,54	289,02	
88,904	82,423	288,85	289,47	290,11	290,38	Spádový stupeň
89,000		289,06	289,67	290,35	290,63	
89,022	82,574	289,19	289,79	290,46	290,75	Lávka
89,028	-	289,21	289,80	290,48	290,76	Potrubí OC DN1000
89,105	82,626	290,48	291,10	291,76	292,00	Spádový stupeň
89,200		290,71	291,31	292,01	292,26	
89,400		291,15	291,74	292,49	292,75	
89,557	83,076	292,97	293,57	294,17	294,40	Spádový stupeň

89,600		293,05	293,66	294,27	294,51	
89,800		293,50	294,09	294,72	294,98	
90,000		294,10	294,63	295,28	295,54	
90,016	83,535	295,01	295,46	295,95	296,25	Pevný jez
90,200		295,70	296,13	296,53	296,74	
90,400		296,45	296,91	297,34	297,54	
90,519	84,035	297,00	297,48	298,05	298,36	Silniční most
90,600		297,26	297,76	298,36	298,66	
90,800		298,07	298,59	299,20	299,49	
91,000		298,88	299,43	300,03	300,29	
91,184	-	-	300,33	301,01	301,42	Mostek
91,184	84,702	299,74	300,29	300,94	301,35	Silniční most
91,200		299,79	300,34	300,99	301,39	
91,400		300,72	301,21	301,73	301,95	
91,600		301,83	302,25	302,67	302,83	
91,668	85,17	302,34	302,78	303,17	303,33	Lávka
91,800		302,84	303,29	303,72	303,88	
91,967	85,48	303,70	304,23	304,61	304,80	Silniční most
92,000		303,81	304,33	304,71	304,89	
92,200		304,67	305,17	305,55	305,73	
92,343	-	-	305,91	306,48	306,90	Propustek
92,343	85,858	305,36	305,88	306,43	306,86	Silniční most
92,400		305,53	306,06	306,63	307,05	
92,600		306,38	306,90	307,43	307,76	
92,800		307,43	307,94	308,60	308,93	
92,815	86,33	307,51	308,02	308,69	309,03	Práh kamenný
92,837	-	307,64	308,17	308,85	309,31	Lávka
93,000		308,10	308,67	309,44	310,00	
93,174	86,75	309,37	309,86	310,57	311,09	Práh kamenný
93,200		309,50	310,00	310,71	311,23	
93,400		310,63	311,12	311,65	311,96	
93,600		311,31	311,87	312,38	312,63	

5.1. Výsledky dalších hydrodynamických modelů

Výsledky 2D modelu vykazují poměrně dobrou shodu s 1D modelem vypracovaným v rámci této práce pro povodňové scénáře Q_5 a Q_{20} (viz tab. 5.2). Pro Q_{100} se vzhledem k rozsahu 1D modelu **nejedná** o validní výsledky. Přesto že je při srovnání s výsledky [17] [19] dosahováno poměrně shodného vzdutí hladiny u většiny mostních objektů, rozliv do inundačního území je oproti [17] [19] menší (viz obr. 5.2). Rozliv Q_{100} je výrazně menší oproti výsledkům v [2] a [1] [19], větší shoda se vyskytuje při srovnání s výsledky starší studie [17] (viz obr. 5.3), kde byl výpočet řešen jednorozměrně. Pro scénáře kulminačního průtoku Q_5 a Q_{20} jsou rozlivy ve srovnání s daty [1] a [2] téměř totožné (viz obr. 5.1). Výsledek rozlivu Q_{500} je téměř totožný se stanoveným rozlivem v [1] (viz obr. 5.4), data Dibavod [2] nejsou v této lokalitě pro povodňový scénář Q_{500} dostupná.

Tab. 5.2–5.4 porovnávají vzdutí hladiny v profilech horního profilu mostovek objektů vyskytujících se na toku. Výšky hladin jsou převzaty z hotových hydrodynamických modelů v dané lokalitě, kde:

- modře jsou vyznačeny hladiny <0,5 m od dolního okraje mostovky,
- červeně jsou označeny hladiny výše než dolní okraj mostovky.

Tab. 5.2 – Porovnání výsledků 1D a 2D modelu (tato práce)

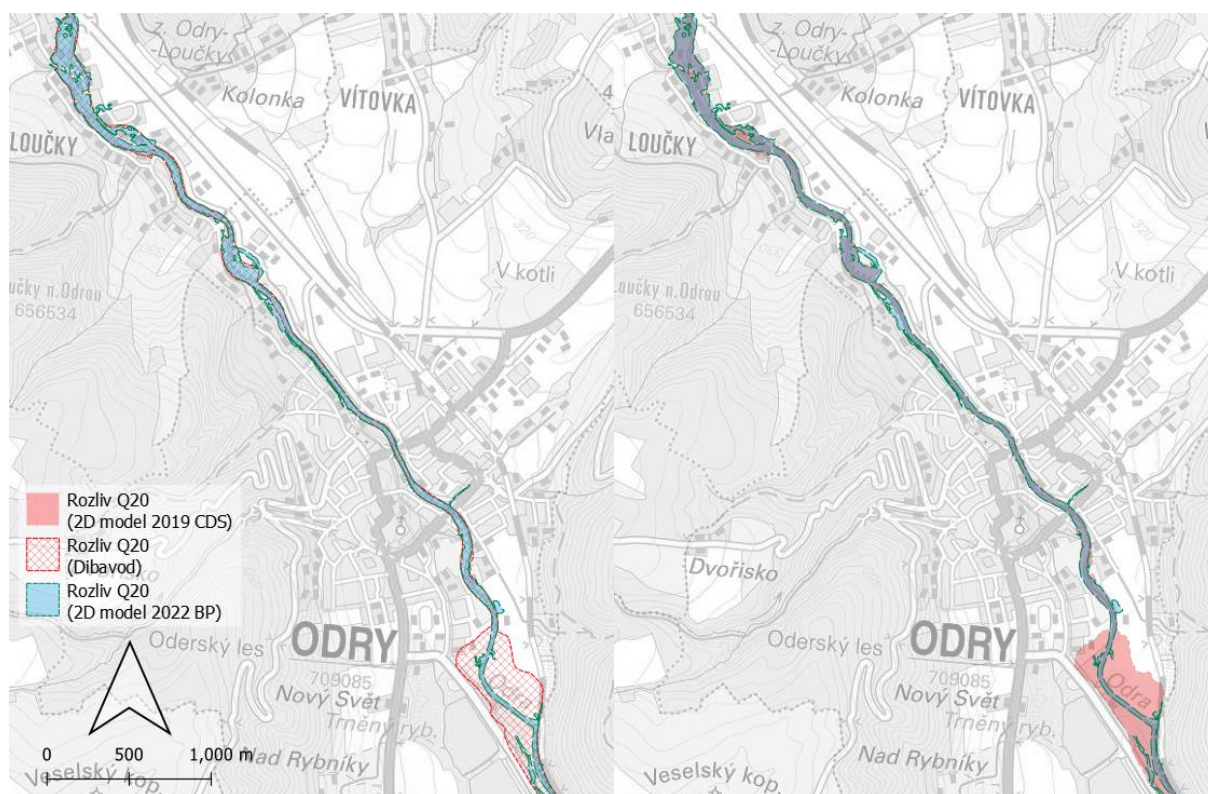
Objekt	ID	Říční km	Nadm. výška hladin pro scénáře výsledky 2D modelu				Nadm. výška hladin pro scénáře výsledky 1D modelu		
			Q ₅	Q ₂₀	Q ₁₀₀	Q ₅₀₀	Q ₅	Q ₂₀	Q ₁₀₀
			[m n.m.]				[m n.m.]		
Silniční most	47-051	88,156	285,22	285,68	286,28	286,96	285,22	285,67	286,13
Lávka	-	88,462	286,16	286,67	287,33	287,90	286,23	286,70	287,26
Silniční most	47 B-054	88,686	286,86	287,44	288,19	288,72	286,77	287,38	288,13
Lávka	-	89,022	289,19	289,79	290,46	290,75	289,07	289,60	290,19
Potrubí	DN1000	89,028	289,21	289,80	290,48	290,76	-	-	-
Silniční most	-	90,519	297,00	297,48	298,05	298,36	296,98	297,51	298,14
Silniční most	-	91,184	299,74	300,29	300,94	301,35	299,87	300,45	300,82
Mostek	-	91,184	-	300,33	301,01	301,42	299,87	300,45	300,82
Lávka	-	91,668	302,34	302,78	303,17	303,33	302,30	302,57	303,00
Silniční most	-	91,967	303,70	304,23	304,61	304,80	303,68	304,12	304,64
Silniční most	441-013	92,343	305,36	305,88	306,43	306,86	305,36	305,90	306,18
Propustek	441-014	92,343	-	305,91	306,48	306,90	305,36	305,90	306,18
Lávka	-	92,837	307,64	308,17	308,85	309,31	-	-	-

Tab. 5.3 – Porovnání vzdutí hladiny na mostních objektech s výsledky [19]

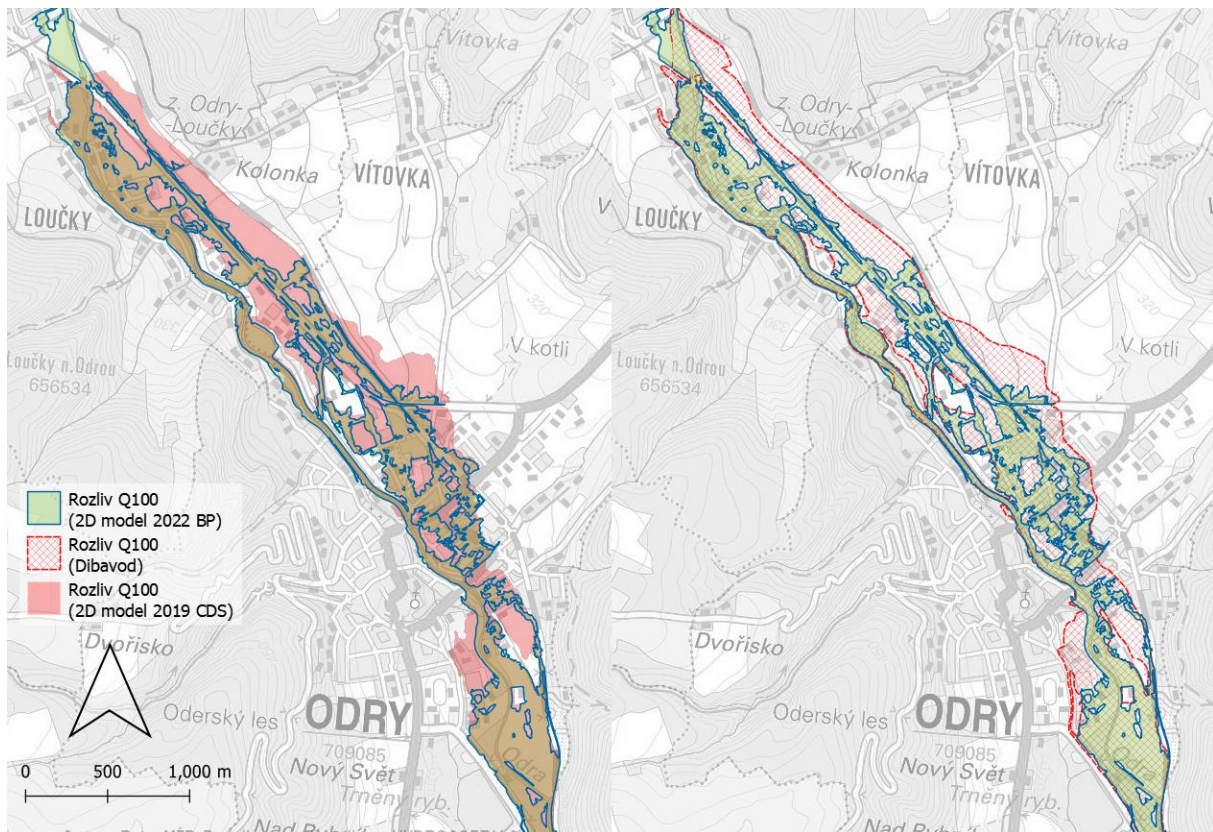
Objekt	ID	Říční km	Nadm. výška hladin pro scénáře výsledky této práce				Nadm. výška hladin pro scénáře převzato z			
			Q ₅	Q ₂₀	Q ₁₀₀	Q ₅₀₀	Q ₅	Q ₂₀	Q ₁₀₀	Q ₅₀₀
			[m n.m.]				[m n.m.]			
Silniční most	47-051	88,156	285,22	285,68	286,28	286,96	285,36	285,82	286,4	286,69
Lávka	-	88,462	286,16	286,67	287,33	287,90	286,43	286,9	287,35	287,63
Silniční most	47 B-054	88,686	286,86	287,44	288,19	288,72	287,15	287,73	288,46	288,9
Lávka	-	89,022	289,19	289,79	290,46	290,75	288,97	289,45	289,94	290,14
Potrubí	DN1000	89,028	289,21	289,80	290,48	290,76	-	-	-	-
Silniční most	-	90,519	297,00	297,48	298,05	298,36	297,05	297,58	298,07	298,23
Silniční most	-	91,184	299,74	300,29	300,94	301,35	300,01	300,67	301,17	301,32
Mostek	-	91,184	-	300,33	301,01	301,42	-	-	-	-
Lávka	-	91,668	302,34	302,78	303,17	303,33	302,29	302,75	303,14	303,27
Silniční most	-	91,967	303,70	304,23	304,61	304,80	303,88	304,37	304,71	304,86
Silniční most	441-013	92,343	305,36	305,88	306,43	306,86	305,40	305,93	306,51	306,72
Propustek	441-014	92,343	-	305,91	306,48	306,90	-	-	-	-
Lávka	-	92,837	307,64	308,17	308,85	309,31	-	-	-	-

Tab. 5.4 – Porovnání vzdutí hladiny na mostních objektech s výsledky [17]

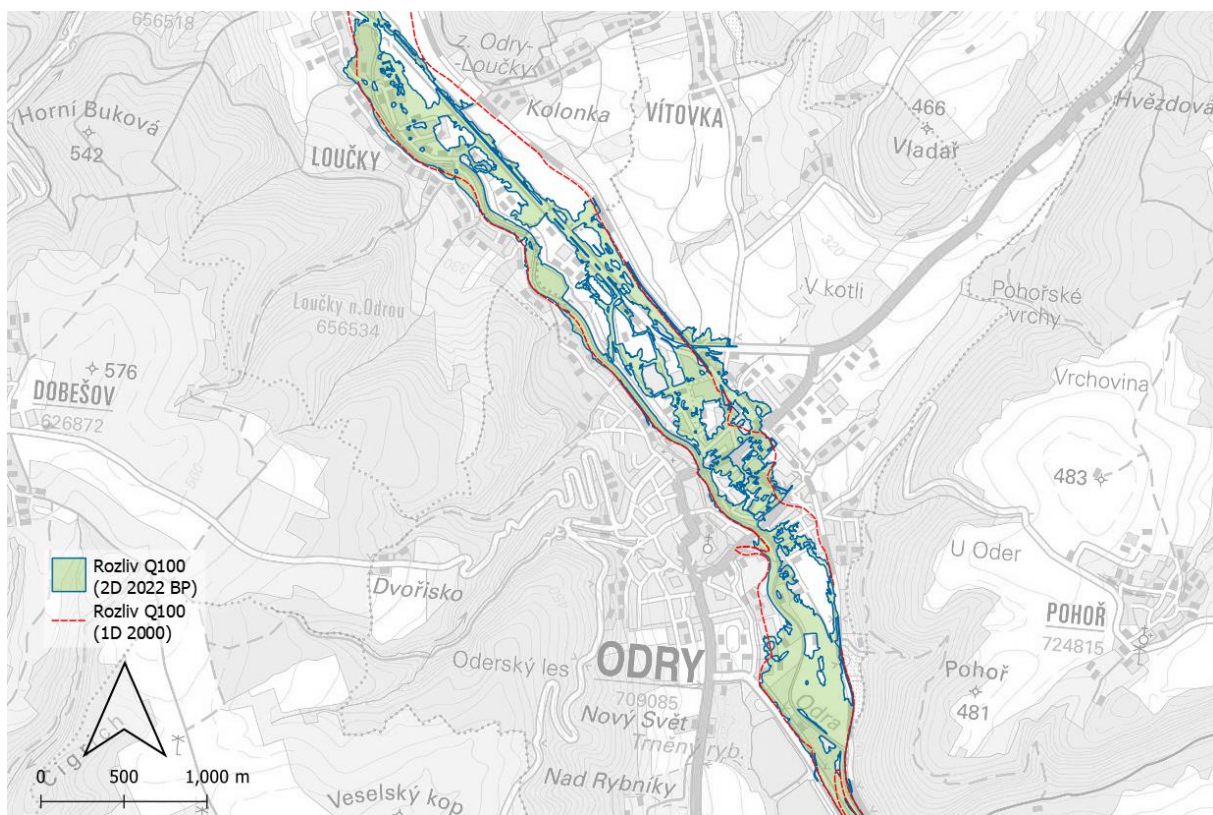
Objekt	ID	Říční km	Nadm. výška hladin pro scénáře výsledky této práce				Nadm. výška hladin pro scénáře převzato z		
			Q ₅	Q ₂₀	Q ₁₀₀	Q ₅₀₀	Q ₅	Q ₂₀	Q ₁₀₀
			[m n.m.]				[m n.m.]		
Silniční most	47-051	88,156	285,22	285,68	286,28	286,96	285,03	285,51	286,12
Lávka	-	88,462	286,16	286,67	287,33	287,90	286,17	286,63	287,08
Silniční most	47 B-054	88,686	286,86	287,44	288,19	288,72	286,82	287,45	288,04
Lávka	-	89,022	289,19	289,79	290,46	290,75	289,03	289,65	290,27
Potrubí	DN1000	89,028	289,21	289,80	290,48	290,76	289,03	289,65	290,27
Silniční most	-	90,519	297,00	297,48	298,05	298,36	296,6	297,84	297,71
Silniční most	-	91,184	299,74	300,29	300,94	301,35	299,21	299,87	301,31
Mostek	-	91,184	-	300,33	301,01	301,42	299,21	299,87	301,31
Lávka	-	91,668	302,34	302,78	303,17	303,33	302,2	302,64	303,02
Silniční most	-	91,967	303,70	304,23	304,61	304,80	303,21	303,68	304,09
Silniční most	441-013	92,343	305,36	305,88	306,43	306,86	305,2	305,73	306,3
Propustek	441-014	92,343	-	305,91	306,48	306,90	305,2	305,73	306,3
Lávka	-	92,837	307,64	308,17	308,85	309,31	307,43	307,95	308,38



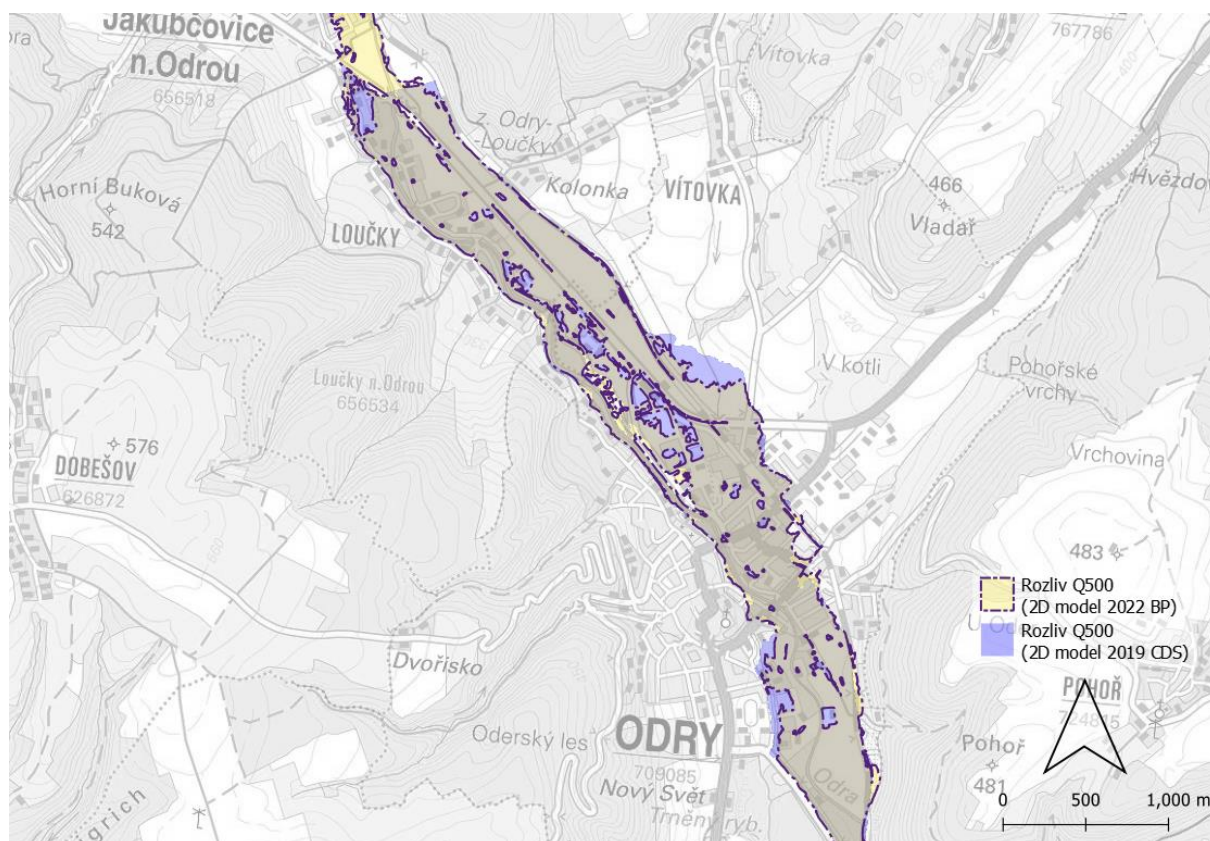
Obr. 5.1 – Porovnání rozlív Q₂₀ s daty Dibavod [2] a CDS [1]



Obr. 5.2 – Porovnání rozlivu Q_{100} s daty Dibavod [2] a CDS [1]



Obr. 5.3 – Porovnání rozlivu Q_{100} s výsledky [17]



Obr. 5.4 – Porovnání rozlivu Q_{500} s daty CDS [1]

6. ZÁVĚR

V rámci bakalářské práce, která byla zaměřena na simulaci povodňových průtoků v toku a záplavovém území Odry na území obce Odry, byly provedeny hydraulické výpočty proudění vody s využitím 2D numerického modelu. Pro řešení výpočtů byl zvolen software HEC-RAS 6.2.

Ve výpočtech bylo uvažováno s neovlivněnými N-letými kulminačními průtoky. Pro tok byly simulovány povodňové scénáře Q_5 , Q_{20} , Q_{100} a Q_{500} . Výsledky výpočtů byly zpracovány ve formě map povodňového nebezpečí, jako mapy rozlivů, hloubek a rychlostí. Dále map ohrožení, podrobného podélného profilu, příčných řezů korytem včetně hladin a psaného podélného profilu (úplný seznam příloh je uveden v kap. 10).

Ohrožení bylo zpracováno pro všechny povodňové scénáře a vyhodnoceno dle [27]. Výstupy této práce lze následně využít pro kvantifikaci rizika dle [27].

Výstupy byly porovnány s 1D modelem zpracovaným v rámci této práce, s výsledky dalších hydrodynamických modelů zpracovaných v této lokalitě [17] [19] a s daty DIBAVOD [2] (viz kap. 5.1.). Srovnání ukázalo, že rozlivy stanovené v této práci jsou menší než rozlivy udávané v [1] [2], a to zejména při přelití do levobřežního inundačního území pro kulminační průtok Q_{100} . Při porovnání hladin v podélném profilu s [17] [19] bylo shledáno, že ve výsledcích této práce mostní objekty způsobují ve většině případů poměrně shodné vzduť hladiny.

V navazující činnosti by bylo vhodné, pro zpracování přesnějšího modelu, přistoupit k detailnějšímu zaměření horního a dolního úseku toku. Zdůvodnění značného rozdílu při rozlivu Q_{100} by přineslo další poznatky o validitě výsledků modelu. Rozdíl může být způsobený rozdílnými přístupy k zaměření terénního reliéfu v záplavovém území, kdy v [17] je použito geodetické zaměření příčných profilů koryta a inundačního území, v [19] je využito výstupů z geodetického zaměření a zaměření stereofotogrammetrickou metodou, tato práce používá pro koryto geodetické zaměření [5] [6] a data DMR 5g [10]. Při kalibraci na povodňové značky z povodně Q_{1997} [6] je na místě provést hydraulické simulace na stavu terénního reliéfu a objektů odpovídajícím roku 1997.

Srovnání výsledků 2D modelu a analytického řešení přineslo, že 2D model stanovil ve většině případů vzduť hladiny v horním profilu mostních objektů na stranu bezpečnější než analytické řešení. Největší odchylka 2D modelu od analytického řešení na stranu nebezpečnou se vyskytuje v profilu mostu v ř. km 91,184 (84,702 dle TPE), tj. vzduť hladina o 43 cm níže oproti analytickému přístupu. V navazující činnosti je na místě tento objekt detailněji prověřit, provést citlivostní analýzu a změnu výpočetní metody (aktuálně je ve 2D modelu použito *Energy (standard step)*).

Více prvků kalibrace by přineslo jistě věrohodnější výsledky, např. ortofoto mapy zaplaveného území, aktuálnější povodňové značky, nebo zaměření kulminační hladiny, měrné křivky přelivů, hydrometrická data a data získaná měřením metodou ADCP.

7. SEZNAM ZKRATEK A SYMBOLŮ

1D	Jednorozměrný
2D	Dvourozměrný
HEC-RAS	Hydrologic Engineering Center (CEIWR-HEC) River Analysis System
CDS	Centrální datový sklad
ČHMÚ	Český hydrometeorologický ústav
ČÚZK	Český úřad zeměměřičský a katastrální
POVIS	Povodňový informační systém
MŽP	Ministerstvo životního prostředí
DIBAVOD	Digitální báze vodohospodářských dat
DMR 5g	Digitální model reliéfu 5. generace
ZABAGED	Základní báze geografických dat
DMT	Digitální model terénu
3D	Trojrozměrný
GIS	Geoinformační systém
ČSN	Česká státní norma
TNV	Odvětové technické normy vodního hospodářství
GPS	Globální poziční systém
ID	Identifikace
CEVT	Centrální evidence vodních toků
TPE	Technicko provozní evidence
ZÚ	Začátek úseku
KÚ	Konec úseku
Q	Průtok
Q(H)	Průtok v závislosti na nadm. výšce hladiny
SPA	Stupeň povodňové aktivity
S-JTSK	Systém jednotné trigonometrické sítě katastrální
MKK	Měrná křivka koryta
ČOV	Čistírna odpadních vod
DOP	Dolní okrajová podmínka
HOP	Horní okrajová podmínka
DWE	Diffusion wave equation
WMS	Web map service
ADCP	Acoustic Doppler Current Profiler
Balt p.v.	Balt po vyrovnání
Ř. km	Říční kilometr
Q _N	N-letý průtok
Q ₁₉₉₇	Kulminační průtok povodně v roce 1997

8. SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 2.1 – Zjištěná lávka (v ř. km 92,837)	7
Obr. 3.1 – Odra na území České republiky (červeně zájmový úsek, staničení odvozeno z [2], podklad [16]).....	8
Obr. 3.2 – Zájmový úsek řeky Odry v ř. km 85,779 – 93,645 (staničení odvozeno z [2], podklad [3])9	
Obr. 3.3 – Protipovodňová opatření v zájmové oblasti [21] (podklad [3])	11
Obr. 3.4 – Stávající záplavové území [21] (podklad [3])	12
Obr. 3.5 – Lokace hlásného profilu kat. A (km 88,466), Odry – Odry tok (S-JTSK) [3] [24] (podklad [3], foto [14]).....	13
Obr. 3.6 – Měrná křivka koryta, Odra – Odry tok (km 88,466) [7]	14
Obr. 3.7 – Simulovaný průběh povodně Q_{1997} [22] (podklad [3]).....	15
Obr. 3.8 – Povodňové značky kulminační hladiny Q_{1997} [6] [17] (podklad [3]).....	15
Obr. 4.1 – Úseky tvorby DMT (podklad [3])	16
Obr. 4.2 – Výsledný povrch středního úseku v programu Civil 3D 2021	17
Obr. 4.3 – Výsledný povrch dolního úseku	17
Obr. 4.4 – Schéma 1D modelu (podklad [3])	18
Obr. 4.5 – Schéma 2D výpočetní sítě modelu (podklad [3]).....	19
Obr. 4.6 – Schéma použitých profilů v 1D modelu.....	22
Obr. 4.7 – Výsledky kalibrace 1D modelu v měrném profilu (ř. km 88,466)	23
Obr. 4.8 – Použitý DMT pro 2D model	24
Obr. 4.9 – Použitá výpočetní síť.....	25
Obr. 4.10 – Schéma Manningova součinitele drsnosti v zájmové oblasti (podklad [3]).....	26
Obr. 4.11 – Hodnoty HOP (ř. km 93,645)	26
Obr. 4.12 – Hodnoty DOP (ř. km 85,779) [1].....	27
Obr. 4.13 – Výsledky kalibrace 2D modelu (v měrném profilu ř. km 88,466)	28
Obr. 5.1 – Porovnání rozlivu Q_{20} s daty Dibavod [2] a CDS [1]	33
Obr. 5.2 – Porovnání rozlivu Q_{100} s daty Dibavod [2] a CDS [1]	34
Obr. 5.3 – Porovnání rozlivu Q_{100} s výsledky [17]	34
Obr. 5.4 – Porovnání rozlivu Q_{500} s daty CDS [1]	35

9. SEZNAM TABULEK

Tab. 3.1 – Základní charakteristika toku [15]	8
Tab. 3.2 – Zájmový úsek	9
Tab. 3.3 – Seznam mostních objektů (Odra ř. km 85,779 – 93,645).....	10
Tab. 3.4 – Seznam jezů, stupňů a skluzů (Odra ř. km 85,779 – 93,645).....	10
Tab. 3.5 – Souhrn opatření města Odry [21].....	11
Tab. 3.6 – Hlásný profil Odry tok (ř. km 88,466)	12
Tab. 3.7 – Hlásné profily kat. C [23]	13
Tab. 3.8 – N-leté neovlivněné průtoky na Odře (18) [19].....	14
Tab. 4.1 – Hodnoty DOP [1] [19]	22
Tab. 4.2 – Hodnoty součinitele drsnosti dle Manninga	25
Tab. 5.1 – Psaný podélný profil pro úsek 85,779 – 93,645	30
Tab. 5.2 – Porovnání výsledků 1D a 2D modelu (tato práce).....	32
Tab. 5.3 – Porovnání vzduť hladiny na mostních objektech s výsledky [19].....	32
Tab. 5.4 – Porovnání vzduť hladiny na mostních objektech s výsledky [17].....	33

10. SEZNAM PŘÍLOH

A. Průvodní a technická zpráva

B. Analytické řešení mostních objektů

C. Výkresová dokumentace

C.1. Podrobný podélný profil

C.1.1. Podrobný podélný profil Odry (ř. km 85,779 – 89,7)

C.1.2. Podrobný podélný profil Odry (ř. km 89,7 – 93,645)

C.2. Příčné řezy korytem

C.2.1. Příčné řezy korytem (km 86,0 – 87,6)

C.2.2. Příčné řezy korytem (km 87,8 – 89,8)

C.2.3. Příčné řezy korytem (km 90,0 – 91,8)

C.2.4. Příčné řezy korytem (km 92,0 – 93,6)

C.3. Mapy rozlivů

C.3.1. Mapa rozlivů (úsek km 89,5 – 93,645)

C.3.2. Mapa rozlivů (úsek km 85,779 – 89,5)

C.4. Mapy hloubek

C.4.1. Mapa hloubek pro Q_5

C.4.1.1. Mapa hloubek (úsek km 89,5 – 93,645)

C.4.1.2. Mapa hloubek (úsek km 85,779 – 89,5)

C.4.2. Mapa hloubek pro Q_{20}

C.4.2.1. Mapa hloubek (úsek km 89,5 – 93,645)

C.4.2.2. Mapa hloubek (úsek km 85,779 – 89,5)

C.4.3. Mapa hloubek pro Q_{100}

C.4.3.1. Mapa hloubek (úsek km 89,5 – 93,645)

C.4.3.2. Mapa hloubek (úsek km 85,779 – 89,5)

C.4.4. Mapa hloubek pro Q_{500}

C.4.4.1. Mapa hloubek (úsek km 89,5 – 93,645)

C.4.4.2. Mapa hloubek (úsek km 85,779 – 89,5)

C.5. Mapy rychlostí

C.5.1. Mapa hloubek pro Q_5

C.5.1.1. Mapa hloubek (úsek km 89,5 – 93,645)

C.5.1.2. Mapa hloubek (úsek km 85,779 – 89,5)

C.5.2. Mapa hloubek pro Q_{20}

C.5.2.1. Mapa hloubek (úsek km 89,5 – 93,645)

C.5.2.2. Mapa hloubek (úsek km 85,779 – 89,5)

C.5.3. Mapa hloubek pro Q_{100}

C.5.3.1. Mapa hloubek (úsek km 89,5 – 93,645)

C.5.3.2. Mapa hloubek (úsek km 85,779 – 89,5)

C.5.4. Mapa hloubek pro Q_{500}

C.5.4.1. Mapa hloubek (úsek km 89,5 – 93,645)

C.5.4.2. Mapa hloubek (úsek km 85,779 – 89,5)

C.6. Mapy ohrožení

C.6.1. Mapa ohrožení (úsek km 89,5 – 93,645)

C.6.2. Mapa ohrožení (úsek km 85,779 – 89,5)

D. Fotodokumentace

