

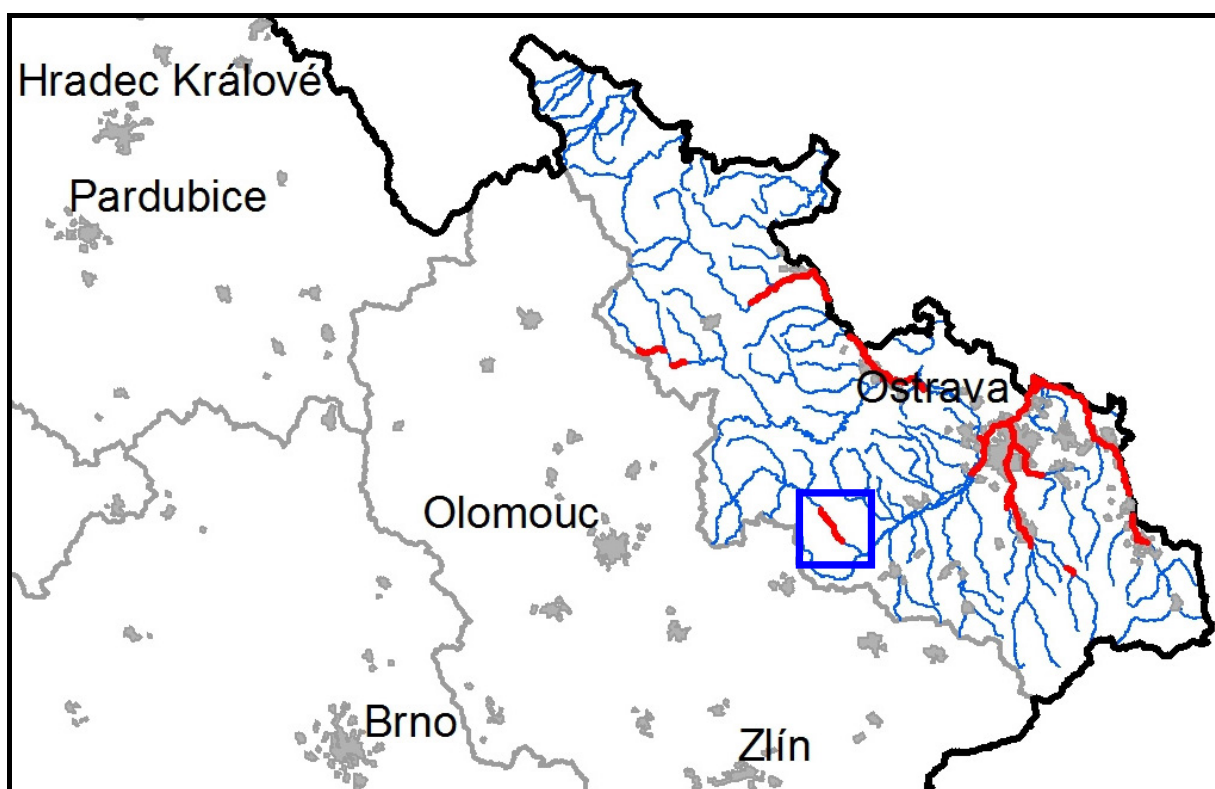


Studie vyhodnocení a zvládání povodňových rizik na řece Odře (úsek Jakubčovice – Odry)

POVODÍ ODRY

B. TECHNICKÁ ZPRÁVA – HYDRODYNAMICKÉ MODELY A MAPY POVODŇOVÉHO NEBEZPEČÍ

ODRA – POD-6 - Ř. KM 77.8 – 85.858



BŘEZEN 2013



OPERAČNÍ PROGRAM
ŽIVOTNÍ PROSTŘEDÍ



EVROPSKÁ UNIE
Fond soudržnosti

Pro vodu,
vzduch a přírodu

Studie vyhodnocení a zvládání povodňových rizik na řece Odře (úsek Jakubčovice – Odry)

POVODÍ ODRY

B. TECHNICKÁ ZPRÁVA – HYDRODYNAMICKÉ MODELY A MAPY POVODŇOVÉHO NEBEZPEČÍ

ODRA – POD-6 - Ř. KM 77.8 – 85.858

Pořizovatel:



ADRESA

Povodí Odry, státní podnik
Varenská 49
Ostrava, PSČ 701 26

Zhotovitel:



ADRESA

Doc. Ing. Aleš Havlík, CSc. - Revital
Suchý vršek 13
Praha 5, PSČ 158.00

Obsah:

1	Základní údaje	4
1.1	Seznam zkratk a symbolů	4
1.2	Cíle prací	4
1.3	Předmět práce	4
1.4	Postup zpracování a metoda řešení	4
2	Popis zájmového území	6
2.1	Všeobecné údaje	6
2.1.1	Stručný popis zájmového území	7
2.2	Průběhy historických povodní (největší známé povodně)	7
3	Přehled podkladů	8
3.1	Topografická data	8
3.1.1	Mapové podklady	8
3.1.2	Geodetické podklady	8
3.2	Hydrologická data	8
	Místní šetření	9
3.3	Doplňující podklady – technické a provozní informace, zprávy, studie, dokumenty, literatura	9
3.4	Normy, zákony, vyhlášky	9
3.5	Vyhodnocení a příprava podkladů	10
4	Metodika tvorby modelu	11
4.1	Vytvoření digitálního modelu terénu (DMT)	11
4.2	Hydrodynamický model	11
4.3	Sestavení hydrodynamického modelu	12
4.3.1	Schematizace oblasti	12
4.3.2	Hydraulické řešení objektů	15
4.3.3	Hydraulické parametry výpočtu	15
4.3.4	Okrajové podmínky	16
4.3.5	Kalibrace a verifikace modelu	16
5	Výstupy z modelu	18
5.1	Záplavové čáry pro průtoky Q_5 , Q_{20} , Q_{100} a Q_{500}	18
5.2	Hloubky pro průtoky Q_5 , Q_{20} , Q_{100} a Q_{500}	18
5.3	Rychlosti pro průtoky Q_5 , Q_{20} , Q_{100} a Q_{500}	18
5.4	Mapy povodňového nebezpečí pro Q_5 , Q_{20} , Q_{100} a Q_{500}	19
6	Přílohy	20
6.1	Psaný podélný profil	Chyba! Záložka není definována.
6.2	Posudek hydraulických výpočtů	Chyba! Záložka není definována.

1 Základní údaje

1.1 Seznam zkratek a symbolů

Tabulka 1 – Seznam zkratek a symbolů

Zkratka	Vysvětlení
DMT	Digitální model terénu
DOP	Dolní okrajová podmínka
FESWMS	Finite element surface-water modeling system
IDVT CEVT	Identifikátor vodního toku podle Centrální evidence vodních toků
RZM	Rastrová Základní mapa
S-JTSK	Souřadný systém jednotné trigonometrické sítě katastrální
SMS	Surface-water modeling system
SOP	Studie odtokových poměrů
TPE	Technicko-provozní evidence
VD	Vodní dílo
VM	Výpočtový model
ZÚ	Záplavové území

1.2 Cíle prací

Cílem prací je vyjádření povodňového nebezpečí na základě stanovení těchto charakteristik průběhu povodně:

- Hranice rozlivů.
- Hloubky vody v záplavovém území.
- Rychlosti proudění vody v záplavovém území.

Podstatou vyjádření povodňového nebezpečí je určení prostorového rozdělení uvedených charakteristik průběhu povodně a zpracování těchto údajů do podoby tzv. map povodňového nebezpečí. Ty budou sloužit následně jako podklad pro kvantifikaci rizika s využitím metod uvedených v „Metodice stanovování povodňových rizik a škod v záplavovém území“ [04].

Pro získání základní informace o povodňovém nebezpečí budou v první fázi využity existující podklady (např. dokumentace záplavových území (ZÚ) přirozených a zvláštních povodní, studie odtokových poměrů (SOP), mapy a atlasy ZÚ, záznamy z historických povodní apod.), které však obsahují pouze omezený počet řešených kulminačních průtoků (zpravidla průtoky Q_5 , Q_{20} , Q_{100} , popř. průtoky odpovídající zaznamenané historické povodni). Nevýhodou uvedených podkladů je ve většině případů absence údajů o hloubkách, popř. rychlostech proudění vody v ZÚ.

1.3 Předmět práce

Práce bude zahrnovat tyto činnosti:

- Popis postupů souvisejících se zajištěním vstupních podkladů – stávající + nové (dodatečné zaměření profilů, objektů atd.).
- Sestavení hydrodynamických modelů a příslušné simulace.
- Zpracování a vyhodnocení map povodňového nebezpečí (mapy hloubek a rychlostí) na podkladě výsledků numerického modelování.

1.4 Postup zpracování a metoda řešení

Zpracování dokumentace proběhlo v následujícím postupu:

- V prvotních úkonech byly získány dostupné podklady (SOP, ZÚ, hydraulické posudky) doplněné místním šetřením posuzované lokality, které pomohly popsat zájmovou oblast pro stanovení rozsahu geodetického zaměření a předběžně určit charakter proudění.
- Příprava podkladů pro geodetické zaměření a jeho zadání.
- Pořízení a aktualizace hydrologických dat.
- Vytvoření digitálního modelu terénu (DMT).
- Sestavení dvourozměrného hydrodynamického modelu v programu SMS 11.0-FESWMS a podrobnější rekognoskace lokalit pro výpočtové modely.
- Testovací výpočty a hydraulické simulace pro průtoky Q_5 , Q_{20} , Q_{100} , Q_{500} .
- Prezentace výsledků výpočtů v podobě map povodňového nebezpečí.
- Sestavení technické zprávy, verze standardizačního minima 13. 3. 2012 (datum stažení 28. 5. 2012) [36].
- Zajištění hydraulického posudku.

2 Popis zájmového území

Specifikace toku:

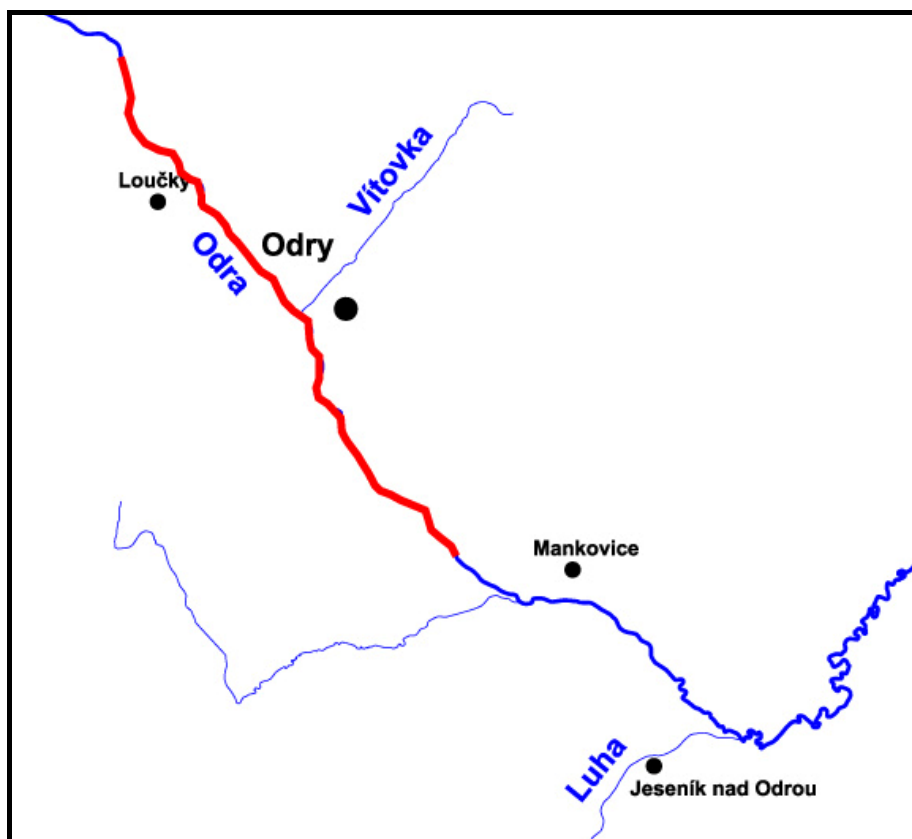
Název toku: Odra, úsek Jakubčovice - Odry

ID úseku: **10100012** identifikátor vycházející z Centrální evidence vodních toků (IDVT CEVT)

Identifikátor oblasti s potenciálně významným rizikem: POD-04

Číslo hydrologického pořadí toku: 2-01-01-0462.

Obrázek 1 – Přehledná mapa řešeného území



V řešeném území se přímo nenachází žádná chráněná oblast uvedená v příloze IV odst. 1 písm. i), iii) a v) směrnice 2000/60/ES.

2.1 Všeobecné údaje

Na Odře se řešil poměrně úsek dlouhý 8.058 km a je vymezen od profilu silničního mostu v Jakubcích v km 90.026 (dle TPE km 85.858, podle $X = 1114768.473$ a $Y = 506688.271$) až po dálničního mostu D47 (dle TPE km 77.800, podle $X = 1120799.715$ a $Y = 502512.537$).

Tabulka 2 – Současný stupeň protipovodňové ochrany obcí

Obec	Stupeň ochrany Q_N
Odry	$<Q_{20}$

Staničení toku bylo převzato ze studie. U jednotlivých objektů (mosty) je uvedena i kilometráž podle technicko-provozní evidence (TPE) správce povodí.

2.1.1 Stručný popis zájmového území

Koryto Odry je na území města Odry v celém úseku upraveno. Koryto má lichoběžníkový průřez, podélný sklon je stabilizován řadou pevných spádových objektů. Přesto není obec plně ochráněna ani na průtok Q_{20} , jak již prokázala mimo jiné studie [11]. Návrhy zkapacitnění koryta se ukázaly z ekologického hlediska neprůchozí. K proudění za větších povodní je rovněž využívána nezastavěná a pouze zemědělsky využívaná část levé inundace až za hlavní silnicí. Na tuto část však postupně navazují rozsáhlé průmyslové areály a dále i obytná zóna.

2.2 Průběhy historických povodní (největší známé povodně)

Vodní tok Odry pramení v oblasti Vojenského újezdu Libavá. 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 za povodně zdaleka nedosahovala extrémů, které se vyskytly zejména pod zaústěním Opavy. Studie ČHMÚ věnovaná vyhodnocení povodně z roku 1997 se jejím průběhem ve střední části Odry zabývá jen velmi okrajově, první profil, kde byla N-letost kulminace na Odře vyhodnocena je až profil Svinov v Ostravě.

Z této povodně nebyly k dispozici ani žádné údaje o průběhu kulminační hladiny, které by bylo možné využít pro kalibraci.

3 Přehled podkladů

Použitá podklady pro zpracování studie byly čerpány z archivů zpracovatelů a správce toku. Hydrologická data byla poskytnuta Českým hydrometeorologickým ústavem - pobočkou v Ostravě a Povodím Odry, s.p.

3.1 Topografická data

Topografická data jsou základním zdrojem, který je potřebný pro sestavení hydrodynamického modelu. Pomocí nich je možné popsat řešené území, sestavit digitální model terénu a vytvořit vhodnou schematizaci modelu. Jednotlivé topografické podklady jsou popsány v následujících kapitolách.

3.1.1 Mapové podklady

- Rastrové základní mapy (RZM) 1:10 000.
- Ortofotomapy řešeného území [10] (rok pořízení 2011, velikost nejmenšího elementu ortofotomapy 5 cm).

3.1.2 Geodetické podklady

Řešená oblast o ploše cca 7.15 km² byla geodeticky zmapována kombinací podrobného geodetického zaměření a stereofotogrammetrické metody v roce 2011 [07, 08]. Totální stanicí a soupravou GPS byly zaměřeny části údolní nivy, koryto toku a objekty. Pro výškopisné a polohopisné mapování stereofotogrammetrickou metodou bylo použito digitálních leteckých měřičských snímků pořízených kameou UltraCAMXp a přednáletové signalizace zaměřené v terénu. Mapování proběhlo dle metodického pokynu [03]. Stereofotogrammetrickou metodou byly zaměřeny následující prvky polohopisu a výškopisu:

- Podrobné body výškopisu, které jsou zaměřeny v pseudopravidelné síti s krokem 20 m až 30 m, podle lokální konfigurace terénu.
- Povinné spojnice (terénní hrany) s vzájemným převýšením dvou sousedních hran vyšším než 25 cm a delším než 20 m.
- Ploty tvořící překážku v proudění vody.
- Budovy bez rozlišení (budovy jsou zaměřeny po obvodě střešního pláště).
- Základní obrysy komunikací.

Zaměřená data jsou v souřadnicovém systému S-JTSK a výškovém horizontu Balt po vyrovnání.

3.2 Hydrologická data

Hydrologická data pro N-leté průtoky na Odře byla vyžádána u ČHMÚ [09], tabulka [3].

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

Hydrologický profil	Datum pořízení	Říční kilometr	Plocha povodí	Q_5	Q_{20}	Q_{100}	Q_{500}	Třída přesnosti
Odra, Loučky, silniční most	11.11.2011	90.03	395.52	80.7	127	191	---	II
Odra, Makovice, dálniční most	11.11.2011	82.05	426.40	85.8	135	201	283	II

Místní šetření

Podrobná rekognoskace terénu byla provedena v červenci roku 2012.

3.3 Doplnující podklady – technické a provozní informace, zprávy, studie, dokumenty, literatura

- [01] Zadávací dokumentace k veřejné zakázce, podle zákona č. 137/2006 Sb., o veřejných zakázkách. Studie vyhodnocení a zvládání povodňových rizik na dílčích úsecích řek Morávce, Lučině, Podolském potoce, Moravice a Odře. Zadavatel: Povodí Odry, s.p., Varenská 49, 701 26 Ostrava 1. Ostrava, 2010.
- [02] Posílení rizikové analýzy a stanovení aktivních zón v českém vodním hospodářství. Ministerstvo zemědělství ČR, květen 2004.
- [03] Metodický pokyn č.j.: 28181/2005-16000 k zadávání fotogrammetrických činností pro potřeby vymezování záplavových území. Ministerstvo životního prostředí. Praha, listopad 2005.
- [04] Metodika stanovování povodňových rizik a škod v záplavovém území. Ministerstvo životního prostředí. Brno, prosinec 2008.
- [05] Metodika tvorby map povodňových nebezpečí a povodňových rizik. Ministerstvo životního prostředí, březen 2012.
- [06] Sdělení ZP17/2011 odboru ochrany vod MŽP o aktualizaci Metodiky tvorby map povodňového nebezpečí a povodňových rizik. 2011.
- [07] Geodetické zaměření řeky Odry v úseku Jakubčovice – Odry, Aquageodet, Praha, září 2011.
- [08] Zaměření digitálního modelu terénu řeky Odry v úseku Jakubčovice – Odry, září 2011.
- [09] Zpracování N-letých průtoků, ČHMÚ, Ostrava 2011.
- [10] Horní Odra, studie odtokových poměrů a a preventivních protipovodňových opatření. Aquatis, 2000.
- [11] Riziková a finanční analýza na Odře v Odrách, ČVUT, 2005.
- [12] User's Manual for FESWMS Flo2DH. Two-dimensional Depth-averaged Flow and Sediment Transport Model. Froelich, D. Release 3. September 2002. FHWA-RD03-053.
- [13] Povodňový informační systém. www.povis.cz (ověřený přístup 5. 3. 2013).

3.4 Normy, zákony, vyhlášky

- [51] ČSN 75 0110 Vodní hospodářství – Terminologie hydrologie a hydroekologie
- [52] ČSN 75 1400 Hydrologické údaje povrchových vod.
- [53] TNV 75 2102 Úpravy potoků.
- [54] TNV 75 2103 Úpravy řek.
- [55] ČSN 75 2410 Malé vodní nádrže.
- [56] TNV 75 2415 Suché nádrže.
- [57] TNV 75 2910 Manipulační řady vodních děl na vodních tocích.
- [58] TNV 75 2931 Povodňové plány.
- [59] Zákon č. 240/2000 Sb. o krizovém řízení a změně některých zákonů (krizový zákon).
- [60] Nařízení vlády č. 462/2000 Sb., k provedení §27 odst. 8 a §28 odst. 5 zákona č. 240/2000 Sb., o krizovém řízení a o změně některých zákonů (krizový zákon).
- [61] Vyhláška MŽP 236/2002 Sb., o způsobu a rozsahu zpracovávání návrhu a stanovování záplavových území.
- [62] Vyhláška č. 470/2001 Sb., kterou se stanoví seznam významných vodních toků a způsob provádění činností souvisejících se správou vodních toků.

[63] Zákon č. 114/1992 Sb., o ochraně přírody a krajiny.

3.5 Vyhodnocení a příprava podkladů

Podklady byly seříděny a analyzovány. Pro potřeby 2D numerického modelování jsou vstupní data velmi podrobná. Zaměření dvou hran s výškovým rozdílem 25 cm, výškový rozdíl komunikace a chodníku, nemusí být topografií při diskretizaci náhradní oblasti vystihnout. Zájmová lokalita je polohopisem, výškopisem a hydrologickými daty dostatečně pokryta. Podrobnost ortofotomap je pro určení druhu pokryvu vynikající. *N*-leté průtoky řeky Odry jsou ve II. třídě přesnosti a jejich směrodatná chyba pro průtok větší než Q_{20} je 30 % [52].

4 Metodika tvorby modelu

Proudění v zájmovém území bylo simulováno 2D numerickým modelem FESWMS [12], který je založen na metodě konečných prvků. Příprava výpočetní sítě, další parametry modelu a prezentace výsledků byly řešeny s využitím programu SMS. Tento přístup byl vhodný zejména v případě proudění průtoků Q500, kdy dochází k rozsáhlému vyběžení hladiny. Naopak v případě malých povodňových průtoků (například Q5 a Q20) v korytě Odry s řadou spádových a mostních objektů by řešení s využitím 1D přístupu přineslo alespoň z pohledu průběhu hladin možná přesnější výsledky. Sestavení hydrodynamického modelu je popsáno v následujících kapitolách.

4.1 Vytvoření digitálního modelu terénu (DMT)

DMT je sestaven z geodeticky zaměřeného koryta doplněného ve zbylé části výškopisem a polohopisem stereofotogrammetrické metody. Data před spojením byla zkontrolována a následně spojena v prostředí Microstationu. Se zakomponováním povinných hran byl DMT sestaven v Autocad Civil 3D 2012 a výsledný povrch byl vyexportován do formátu DWG 2012 a XML. DMT je referencován v souřadném systému S-JTSK a výškovém horizontu Balt po vyrovnání.

4.2 Hydrodynamický model

Výpočtový program SMS-FESWMS 10.0 (Surface Modelling System) je prostředek určený především k modelování 2D přibližně horizontálního proudění s volnou hladinou. Jedná se o komplexní nástroj, který umožňuje vytvářet a upravovat síť (Mesh modul, Map modul a Scatter modul), provádět výpočty proudění pomocí některého z modelů založených na 2D přístupu, zpracovávat, vyhodnocovat a prezentovat výsledky. Řešení hydrodynamických rovnic je založeno na metodě konečných prvků. Výpočtové schéma modelu FESWMS (Finite Element Surface-Water Modeling System) řeší 2D neustálené proudění s volnou hladinou za předpokladu, že svislá složka rychlosti je v porovnání se složkami v podélném i příčném směru zanedbatelná. Předpokládá se relativně menší hloubka vody („shallow water“), model tedy není určen k simulaci proudění v nádržích. Modelování proudění vody v záplavovém území tuto podmínku plně splňuje.

Teoreticky se vychází z obecných trojrozměrných rovnic vyjadřujících zákony zachování hybnosti (pohybové rovnice) a hmotnosti (rovnice spojitosti). Z trojrozměrných na dvourozměrné rovnice se přejde zprůměrováním rychlosti po svislici, za předpokladu, že pohyb ve svislém směru je zanedbatelný v porovnání s vodorovným pohybem. Nejvýznamnější řídicí rovnice 2D proudění jsou:

$$\text{Rovnice spojitosti: } \frac{\partial Z_h}{\partial t} + \frac{\partial q_x}{\partial x} + \frac{\partial q_y}{\partial y} = q_m.$$

Pohybové rovnice:

$$\frac{\partial q_x}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\beta \frac{q_x^2}{h} + \frac{gh^2}{2} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\beta \frac{q_x q_y}{h} \right) + gh \frac{\partial Z_d}{\partial x} + \frac{h}{\rho} \frac{\partial p_a}{\partial x} - \Omega q_y + \frac{1}{\rho} \left[\tau_{dx} - \tau_{hx} - \frac{\partial(h\tau_{xx})}{\partial x} - \frac{\partial(h\tau_{xy})}{\partial y} \right] = 0,$$

$$\frac{\partial q_y}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\beta \frac{q_x q_y}{h} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\beta \frac{q_y^2}{h} + \frac{gh^2}{2} \right) + gh \frac{\partial Z_d}{\partial y} + \frac{h}{\rho} \frac{\partial p_a}{\partial y} - \Omega q_x + \frac{1}{\rho} \left[\tau_{dy} - \tau_{hy} - \frac{\partial(h\tau_{xx})}{\partial x} - \frac{\partial(h\tau_{xy})}{\partial y} \right] = 0.$$

Způsob výpočtu Reynoldsových napětí: Bousinesq – princip turbulentní viskozity:

$$\tau_{xx} = \rho \nu_t \left(2 \frac{\partial v_x}{\partial x} \right); \tau_{xy} = \tau_{yx} = \rho \nu_t \left(\frac{\partial v_x}{\partial y} + \frac{\partial v_y}{\partial x} \right); \tau_{yy} = \rho \nu_t \left(2 \frac{\partial v_y}{\partial y} \right).$$

Výpočet turbulentní viskozity podle Smagorinského:

$$v_t = v_{t0} + c_1 v_* h + c_2 |J| \sqrt{\left(\frac{\partial v_x}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial v_y}{\partial y}\right)^2 + \frac{1}{2} \left(\frac{\partial v_x}{\partial y} + \frac{\partial v_y}{\partial x}\right)^2}.$$

Vliv tření o omočený obvod:

$$\tau_{zx} = \rho \frac{gn^2}{h^{1/3}} \sqrt{1 + \left(\frac{\partial Z_d}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial Z_d}{\partial y}\right)^2} \frac{q_x \sqrt{q_x^2 + q_y^2}}{h^2},$$

$$\tau_{zy} = \rho \frac{gn^2}{h^{1/3}} \sqrt{1 + \left(\frac{\partial Z_d}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial Z_d}{\partial y}\right)^2} \frac{q_y \sqrt{q_x^2 + q_y^2}}{h^2}.$$

4.3 Sestavení hydrodynamického modelu

Základem řešení je výpočtová síť. Polygony pro její tvorbu byly zpracovány nad digitálním modelem terénu a osazenými ortofotomapami. Linie polygonů byly tak vytvářeny jak z pohledu odporů terénu (materiálové typy), tak z potřeby zachycení zejména významných terénních hran, kterými byly břehové hrany koryta, paty břehových svahů, hrany koruny hrází a případně i komunikací. Dále linie polygonů respektovaly i všechny významné stavby a další neprůtoční objekty. V takových to místech potom nebyla výpočetní síť vytvářena a byla zajištěna neprůtočnost. Polygony byly dále tvořeny s úmyslem preferovat při vyplnění polygonů elementy čtyřúhelníkového tvaru nad trojúhelníkovými. Velikost elementů byla volena v rozsahu od 6 do 8 metrů. V pásech břehů a dna koryta byly použity i elementy o menším rozměru.

Ze sestavené výpočetní sítě (u čtyřúhelníkových elementů byla použito 9 bodové řešení) byly následně převzaty souřadnice všech výpočtových bodů, pro které byly z digitálního modelu terénu [09] pomocí programového prostředku Atlas napočítány výšky přesně v místě výpočtových bodů. Tím byla zajištěna správnost těchto hodnot i v okolí terénních hran (ochranné hráze apod.). Takto získaný soubor byl následně načten Scatter a s využitím nástroje lineární interpolace byly výšky přiřazeny výpočtovým bodům. Protože byla poloha bodů Scatter souboru shodná s polohou bodů výpočetní sítě, nebylo již potřeba dělat žádnou úpravu výšek

4.3.1 Schematizace oblasti

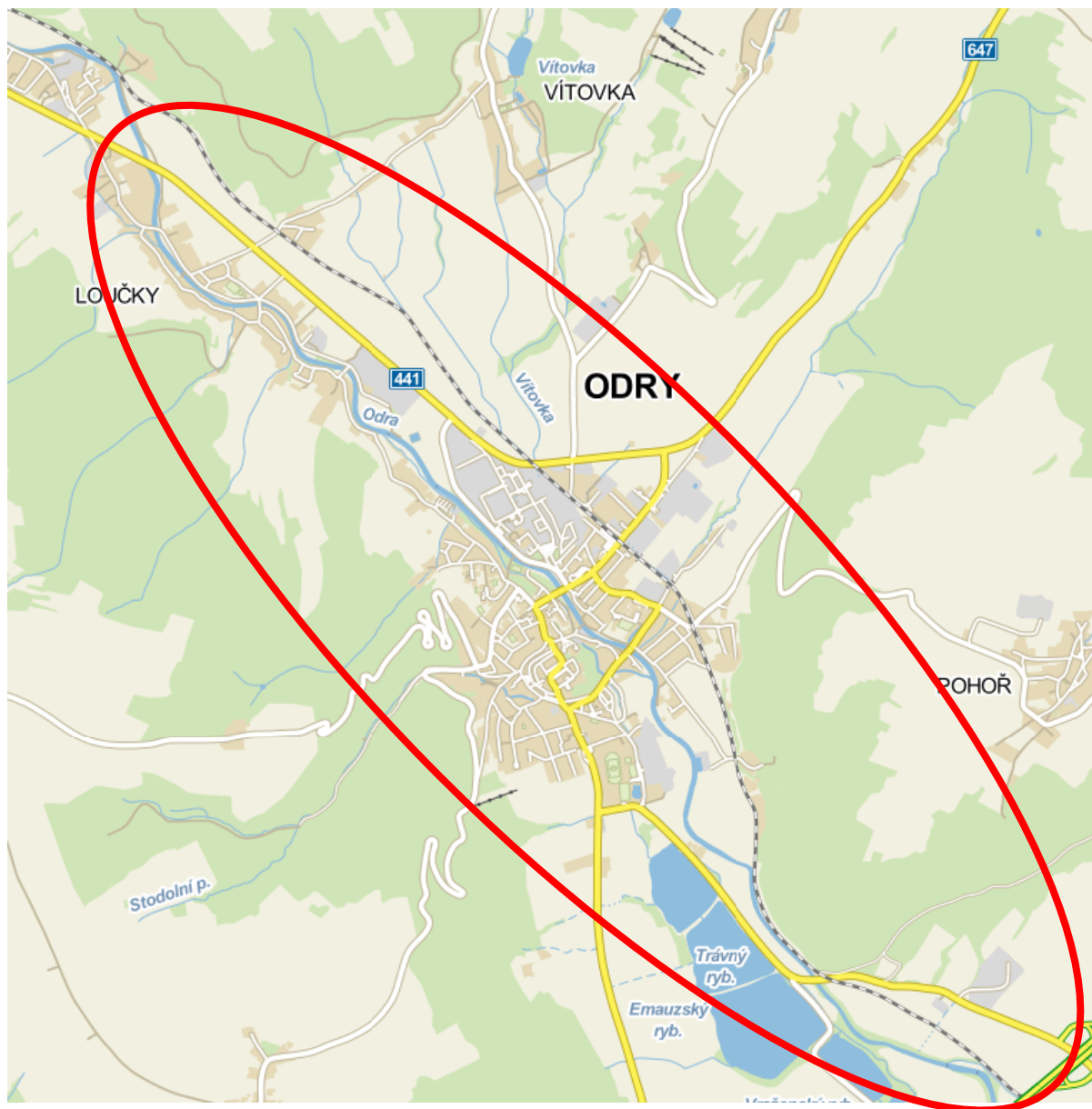
I přes velkou délku a velký výškový rozdíl se podařilo sestavit pro celý úsek jeden geometrický model. Počátek modelu byl cca 100 m umístěn nad silniční most v Jakubčovicích, kde dochází k rozdělení proudu (km 90.10), konec pod profil dálničního mostu na dálnici D47. Rozsah řešeného úseku je znázorněn na obrázku [2].

Při přípravě výpočetní sítě byla věnována pozornost všem neprůtočným objektům, a to jak obytným objektům, tak i průmyslovým halám v levé inundaci. Základní parametry výpočetní sítě modelu **Odry** jsou uvedeny v tabulce [4]. V profilech mostních objektů byla velikost výpočetních buněk volena tak, aby byla správně modelována šířka mostního otvoru mezi mostními opěrami. Proudění za průtokem Q_{100} bylo ve všech mostních objektech s výjimkou mostu v ř.km 88.865, kde došlo k zatopení jeho horního čela, s volnou hladinou, proto nebylo tlakové proudění při výpočtu mostů uvažováno.

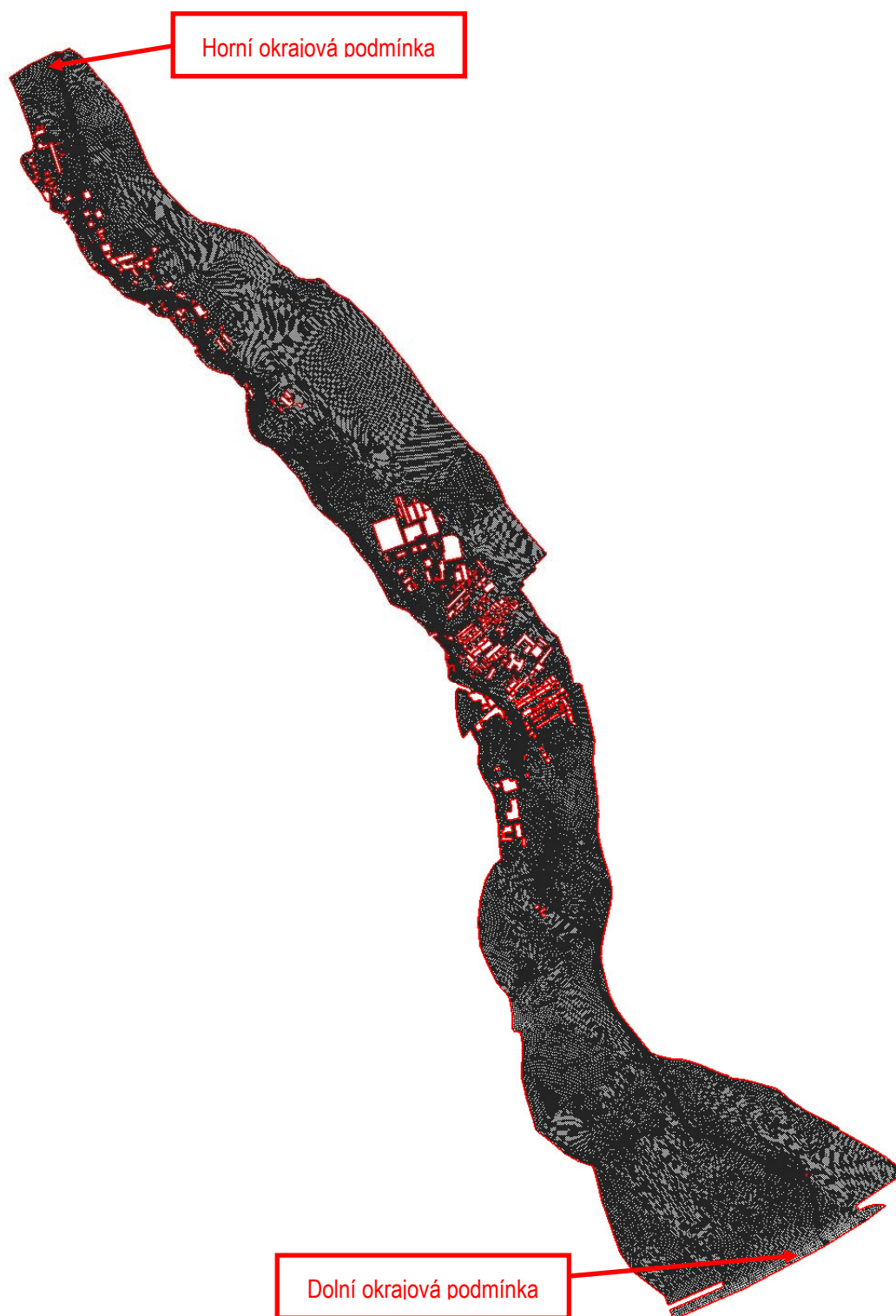
Tabulka 4 – Základní parametry výpočtového modelu Odry

Označení výpočtového modelu	Zahrnuté obce	Počet prvků	Počet bodů
Odry	Odry	150 565	560 565

Obrázek 2 – Rozsah rozhodující části řešeného úseku na Odře v Odrách.



Obrázek 3 –Schéma výpočetní sítě modelu Odry



Výčet mostů s uvedením úrovní dolní a horní mostovky je v následující tabulce [5].

Tabulka 5 – Výčet mostů v řešeném úseku Odry

Objekt	Staničení [ř. km]	Staničení [TPE]	Dolní mostovka [m n. m.]	Horní mostovka [m n. m.]
Dálniční most	82.050		278.65	282.36
Silniční most	83.488	79.356	278.07	279.78
Silniční most	85.840	81.670	286.42	287.53
Lávka	86.142	81.980	287.47	287.82
Silniční most	86.368	82.200	289.34	290
Lávka	86.704	82.574	290.78	291.74
Silniční most	88.199	84.035	298.74	299.35
Silniční most	88.865	84.710	300.86	301.39
Lávka	89.350	85.170	303.69	303.97
Silniční most	89.650	85.480	304.98	305.68
Silniční most	90.026	85.858	306.16	309.92

4.3.2 Hydraulické řešení objektů

Všechny mostní objekty v modelovaném úseku Odry byly řešeny pomocí 2D přístupu. Velikost výpočetních buněk v profilech mostů byla volena tak, aby byla přesně modelována šířka mostního otvoru mezi mostními břehovými opěrami. Středové pilíře byly součástí pouze konstrukce dálničního mostu. Protože byla do tohoto profilu umístěna dolní okrajová podmínka, vliv úzkých pilířů v široké inundaci nebyl uvažován.

Tlakový režim nebyl při výpočtech uvažován. S výjimkou 2 mostů (ř.km 88.865 a 90.026) vycházel u všech zbývajících dle 2D výpočtů průběh hladiny při průtoku Q_{100} na nižší úrovni než spodek mostovky.

Jezové objekty byly také řešeny pomocí 2D přístupu. Z důvodu potřeby zajištění stability výpočtu byly skokové výškové rozdíly mezi přelivnou hranou a podjezím oproti skutečnosti nahrazeny postupným vysvahováním dna se zvýšenou drsností – tedy jako balvanitý skluz.

4.3.3 Hydraulické parametry výpočtu

V případě modelování pomocí 2D matematické modelů je potřeba při řešení zvolit správné parametry modelující odpory, volané tečným napětím a to jak „turbulentním“, tak tečným napětím na obtékaném povrchu. Zatímco v případě 1D modelů jsou oba tyto jevy vyčísleny velikosti součinitele drsnosti, v případě 2D modelů vstupují do řešení ještě i modely turbulence. Na základě zkušeností s výpočty v rámci rozsáhlé studie [12] byla při výpočtech změněna hodnota viskozity z hodnoty default hodnoty 5 na 0.5.

Vzhledem k tomu, že dominantní část průtoku protéká korytem, je třeba věnovat zásadní pozornost stanovení hodnoty součinitele drsnosti koryta. Pro ostatní plochy z hlediska velikosti odporů povrchu zásadní roli hloubka. Například v hustě zarostlém lese při hloubkách v desítkách cm nebude voda prakticky vůbec proudit a hodnoty součinitele drsnosti třeba použít větší, než při velkých hloubkách. Tento princip byl při výpočtu použit u většiny povrchů.

Tabulka 6 – Ohodnocení povrchů součinitelem drsnosti

Název	Popis	Součinitel drsnosti
Koryto Odry		
<i>Upravené dno</i>	Upravené koryto v Odrách	0.040
<i>Upravený břeh</i>	Upravený břeh koryta pod Odrami	0.045
<i>Neupravené dno</i>	Neupravené koryto pod Odrami	0.045
<i>Neupravený břeh</i>	Neupravený břeh pod Odrami	0.050
Vybrané plochy inundace (hodnoty součinitele drsnosti závislé na hloubce vody)		
<i>Pole</i>	Středně zarostlé pole	0.05 až 0.1
<i>Trávníky</i>	Trávníky s ojedinělými dřevinami	0.03 – 0.05
<i>Silnice</i>	Silnice	0.03 – 0.04
<i>Křoviny</i>	Plochy nepravidelně zarostlé křovinami	0.06 – 0.15
<i>Průmysl</i>	Asfaltové plochy s překážkami	0.04 – 0.06

4.3.4 Okrajové podmínky

Výpočty byly provedeny pro neovlivněné *N-letých* průtoky zpracované ČHMÚ, viz tabulka [3].

Úrovně hladiny v profilu dolní okrajové podmínky byly převzaty ze studie Horní Odry, studie odtokových poměrů a preventivních protipovodňových opatření dle tabulky [7]. Tato studie se průběhem hladin pro průtok Q_{500} nezabývala, dolní okrajová podmínka pro tento průtok byla stanovena extrapolací.

Tabulka 7 – Hodnoty úrovní hladin v místě dolní okrajové podmínky pro model Odry

Výpočetní model	Staničení [ř.km]	Hladina Q_5 [m n.m.]	Hladina Q_{20} [m n.m.]	Hladina Q_{100} [m n.m.]	Hladina Q_{500} [m n.m.]
Odry	82.00	270.60	270.90	271.30	272.00

4.3.5 Kalibrace a verifikace modelu

Vzhledem k tomu, že nebyly k dispozici údaje o úrovni povodňových hladin z posledních povodní, nemohla být provedena přesná kalibrace modelu. Proto přistoupil řešitel alespoň k porovnání výsledků výpočtů 2D modelu s výsledky studie [10], která byla zpracována na základě 1D přístupu. Obě porovnávané studie byly řešeny na téměř shodných neovlivněných průtocích. Porovnání pro průtoky Q_{20} a Q_{100} je zpracováno v tabulce [8].

Tabulka 8 – Porovnání výsledků 2D a 1D modelu na Odře v Odrách

Staničení	Popis]	Hladina Q ₂₀ - 1D [m n.m.]	Hladina Q ₂₀ - 2D [m n.m.]	Hladina Q ₁₀₀ - 1D [m n.m.]	Hladina Q ₁₀₀ - 2D [m n.m.]
Silniční most	85.840	285.46	285.75	285.89	286.35
Lávka	86.142	286.63	286.90	287.08	287.35
Silniční most	86.368	287.51	287.71	288.55	288.45
Silniční most	88.199	297.29	297.58	297.61	298.08
Silniční most	88.865	299.87	300.64	301.31	301.14
Silniční most	89.650	303.92	304.36	304.57	304.70
Silniční most	90.026	305.62	305.98	306.12	306.55

5 Výstupy z modelu

Výstupy jsou dokládány ve formě dvourozměrných polí posuzovaných veličin pokrývajících řešenou oblast, v jednotlivých uzlech modelu jsou doloženy tyto proměnné:

- Úroveň hladiny.
- Hloubka vody.
- Svislicová rychlost.

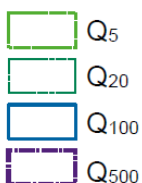
Hodnoty veličin jsou pro řešené průtoky zpracovány v grafickém zobrazení map záplavových čar, map povodňového nebezpečí, map úrovní hladin, datových polí (*.txt) a psaného podélného profilu dokládáných v tištěné podobě nebo na přiloženém DVD. Pro mapy úrovní hladin je použita proměnná barevná škála s výškovým rozdílem intervalu zobrazení 0,5 m.

5.1 Záplavové čáry pro průtoky Q_5 , Q_{20} , Q_{100} a Q_{500}

Záplavové čáry jsou křivky odpovídající průsečnicím hladin vody se zemským povrchem při zaplavení území povodní a jsou zobrazeny jako doprovodné informace pro jednotlivé průtoky na Základní rastrové mapě v měřítku 1:10 000. V mapách jsou vykresleny jako linie specifikované metodikou [05].

Obrázek 8 – Linie hranic rozlivů pro jednotlivé průtoky

Záplavové čáry

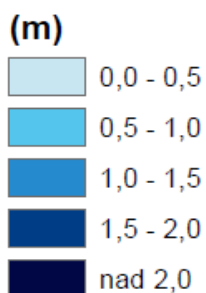


5.2 Hloubky pro průtoky Q_5 , Q_{20} , Q_{100} a Q_{500}

Hloubky vody z numerického programu jsou zobrazeny pro jednotlivé průtoky s velikostí jednoho pixelu rastru 1 m. Rozdělení intervalů hloubek a jejich barevná definice je v mapách vykreslena podle metodiky [05].

Obrázek 9 – Definice barev a intervalů hloubek

Hloubky



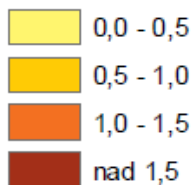
5.3 Rychlosti pro průtoky Q_5 , Q_{20} , Q_{100} a Q_{500}

Svislicové rychlosti vody jsou zobrazeny pro jednotlivé průtoky s velikostí jednoho pixelu rastru 1 m. Rozdělení intervalů rychlostí a jejich barevná definice je v mapách vykreslena podle metodiky [05].

Obrázek 10 – Definice barev a intervalů rychlostí

Rychlosti

(m/s)



5.4 Mapy povodňového nebezpečí pro Q_5 , Q_{20} , Q_{100} a Q_{500}

Charakteristiky povodně specifikující povodňové nebezpečí jako hloubka a rychlost proudu jsou v mapách povodňového nebezpečí vykresleny pro povodňové scénáře Q_5 , Q_{20} , Q_{100} a Q_{500} , kde hranice rozlivů jsou doprovázeny informacemi pro příslušné scénáře. Obrysy budov uvažovaných v numerickém modelu jsou zobrazeny bez linie. Charakteristiky jsou podloženy RZM v odstínu šedé a vyobrazená proměnná má velikost pixelu 1 m.

6 Přílohy

6.1 Psaný podélný profil

V tabulce [9] je uveden psaný podélný profil Odry v Odrách. V případě mostních objektů je hodnota úrovně hladiny vyznačena modrou barvou pro ty případy, kdy je rozdíl mezi touto veličinou a úrovní spodního líce mostovky menší než 0.5 m, ale nedojde k zatopení horního čela mostovky, a červenou čarou, pokud dojde k zatopení horního čela mostovky.

Tabulka 9 – Podélný profil Odry v Odrách

Staničení	TPE	Popis objektu	Úroveň hladiny [m n.m.] při průtoku			
[ř.km]	[ř.km]		Q ₅	Q ₂₀	Q ₁₀₀	Q ₅₀₀
82.500			273.14	273.43	273.61	273.74
83.00			275.23	275.76	276.1	276.25
83.488	79.356	Silniční most	277.6	277.18	277.69	277.93
83.500			277.62	277.18	277.69	277.93
84.00			278.36	278.96	279.45	279.83
84.500			280.46	280.95	281.16	281.3
85.00			282.39	282.78	283.04	283.17
85.500			284.13	284.63	285.09	285.3
85.840	81.670	Silniční most	285.36	285.82	286.4	286.69
86.00			285.9	286.44	286.87	285.9
86.142	81.980	Lávka	286.43	286.9	287.35	287.63
86.368	82.200	Silniční most	287.15	287.73	288.46	288.9
86.500			287.47	288.08	288.82	289.28
86.704	82.574	Lávka	288.97	289.45	289.94	290.14
87.00			291.02	291.55	292.06	292.24
87.500			293.51	294.04	294.57	294.75
88.00			296.16	296.66	296.96	297.04
88.199	84.035	Silniční most	297.05	297.58	298.07	298.23
88.500			298.15	298.76	299.34	299.53
88.865	84.710	Silniční most	300.01	300.67	301.17	301.32
82.500			273.14	273.43	273.61	273.74

Staničení	TPE	Popis objektu	Úroveň hladiny [m n.m.] při průtoku			
[ř.km]	[ř.km]		Q ₅	Q ₂₀	Q ₁₀₀	Q ₅₀₀
89.00			300.45	301.01	301.53	301.66
89.350	85.170	Lávka	302.29	302.75	303.14	303.27
89.500			302.87	303.33	303.68	303.8
89.650	85.480	Silniční most	303.88	304.37	304.71	304.86
90.00			305.23	305.69	305.98	306.07
90.026	85.858	Silniční most	305.4	305.93	306.51	306.72

6.2 Posudek hydraulických výpočtů

Příložený posudek hydraulických výpočtů zpracoval Ing. Zbyněk Zachoval, PhD., VÚT v Brně, Ústav vodních staveb.