



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

**Fakulta stavební
Katedra hydrauliky a hydrologie**

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

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

Bakalářská práce

Studijní program: Stavební inženýrství

Studijní obor: Vodní hospodářství a vodní stavby

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

Alena Šarmanová

Praha 2016



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební

Tháškova 7, 166 29 Praha 6

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

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

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce: Studie záplavového území města Český Těšín na řece Olši	
Název bakalářské práce anglicky: The study of flood plain of the city Český Těšín on the river Olše	
Pokyny pro vypracování: Stanovení průběhu hladin velkých vod pomocí 1D modelu HEC-RAS v záplavovém území Olše v Českém Těšíně v úseku ř.km 35.52 (železniční most) až 38.817 (přítok Sadového potoka). Stanovení kapacity koryta v řešeném úseku a návrh rozsahu záplavového území. Model bude kalibrován a verifikován podle povodně z roku 2010. Posouzení nové stavby (ochranná zídka) na polské straně na ulici Aleja Jana Lyska na ovlivnění odtokových poměrů.	
Seznam doporučené literatury: HEC-RAS version 3.1, User's Manual. US Army Corps of Engineers. USA, Davis, 2010	
Jméno vedoucího bakalářské práce: Doc. Ing. Aleš Havlík, CSc.	
Datum zadání bakalářské práce: 2.3.2016	Termín odevzdání bakalářské práce: 22.5.2016
Podpis vedoucího práce	Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

Datum převzetí zadání	Podpis studenta(ky)
-----------------------	---------------------

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci zpracovala samostatně pod vedením doc. Ing. Aleše Havlíka, CSc. a že jsem uvedla veškeré použité informační zdroje a v souladu s metodickou příručkou ČVUT "O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací."

V Praze dne 22. 5. 2016

.....
podpis autora
Alena Šarmanová

Poděkování:

Děkuji doc. Ing. Aleši Havlíkovi, CSc. za odborné vedení, poskytnuté podklady, cenné rady a připomínky a za čas strávený nad konzultacemi mé bakalářské práce.

Dále bych chtěla poděkovat státnímu podniku Povodí Odry za poskytnutá data, která jsem použila při vypracování bakalářské práce.

Abstrakt

Práce se zabývá stanovením rozsahu záplavového území na základě výpočtu průběhu hladin povodňových průtoků. Výpočet je proveden za pomoci jednorozměrného modelu proudění vytvořeného v programu HEC-RAS. Část práce je věnována metodice stanovení rozsahu záplavového území a historickým povodním zaznamenaným na zkoumaném vodním toku. Součástí práce je stanovení kapacity koryta vodního toku a posouzení nově vybudované stavby, nacházející se v těsné blízkosti vodního toku, na ovlivnění odtokových poměrů.

Klíčová slova

HEC-RAS, ustálené nerovnoměrné proudění, kapacita koryta, Manningův drsnostní součinitel, průtok, otevřené koryto, záplavové území, záplavová čára

Abstract

The main aim of the work is an assessment of an extent of the flood plain based on a steady flow computation of a flood flow. The computation is carried out using one-dimensional model created in a software HEC-RAS. A part of the work is dedicated to a methodical description of an assessment of the extent of the flood plain and to a historical floods recorded on the analysed river. Another part of the work is to determine the capacity of the channel and to assess an influence of a newly built structure located on the right bank of the river on flow conditions.

Key words

HEC-RAS, steady flow, capacity of the channel, Manning`s roughness coefficient, flow, opened channel, flood plain, flood plain line

Obsah

1	Úvod	8
2	Charakteristika vodního toku Olše	9
2.1	Popis toku	9
2.2	Povodí toku	9
3	Popis zkoumaného úseku	11
3.1	Mostní objekty.....	14
4	Podklady	18
4.1	Geodetické podklady.....	18
4.2	Mapové podklady	18
4.3	Hydrologická data	18
4.4	Ostatní podklady	18
5	Průběhy historických povodní.....	19
5.1	Povodeň v roce 1940	19
5.2	Povodeň v roce 1970	19
5.3	Povodeň v roce 1972	20
5.4	Povodeň v roce 1974	20
5.5	Povodeň v roce 1985	20
5.6	Povodeň v roce 1997	20
5.7	Povodeň v roce 2010	21
6	Metodika stanovení rozsahu záplavového území a vymezení jeho aktivní zóny.....	23
6.1	Vstupní data pro vymezení záplavového území.....	23
6.1.1	Hydrologická data	23
6.1.2	Geodetické podklady.....	23
6.1.3	Mapové podklady	24
6.1.4	Kalibrační podklady	24
6.1.5	Místní šetření.....	24
6.1.6	Hydraulické výpočty	24
6.2	Výstupní data pro vymezení záplavového území.....	24
6.3	Stanovení aktivní zóny záplavového území	25
7	Program HEC-RAS	27

7.1	Ustálené proudění v otevřených korytech	27
7.2	Neustálené proudění	27
7.3	Transport splavenin	27
7.4	Analýza kvality vody	28
8	Hydrotechnické výpočty.....	29
8.1	Metodika výpočtu.....	29
8.1.1	Ustálené nerovnoměrné proudění vody v přirozeném korytě	29
8.1.2	Proudění mostními objekty	31
8.2	Matematický model.....	34
8.3	Kalibrace modelu	38
8.3.1	Postup výpočtu	38
8.4	Výsledky výpočtů.....	38
8.5	Stanovení kapacity koryta	40
9	Návrh rozsahu záplavového území.....	41
10	Posouzení ochranné zídky na ovlivnění odtokových poměrů	42
11	Závěr.....	43
12	Použitá literatura.....	44
	Seznam obrázků.....	45
	Seznam tabulek	47
	Seznam příloh	48
	Příloha P. 1. Fotodokumentace	49
	Příloha P. 5. Psaný podélný profil	59

1 Úvod

Cílem správců vodních toků je přezkoumání a aktualizace navržených záplavových území vybraných vodních toků pro lepší a účelnější zvládnání povodní. Stanovení rozsahu záplavového území a vymezení jeho aktivní zóny je nezbytné pro návrh protipovodňových opatření.

Záplavové čáry vymežující záplavová území jsou sestavovány na základě výsledků výpočetních modelů průběhů hladin pro průtoky s dobou opakování 5, 20 a 100 let. Pro dosažení pokud možno co nejpřesnějších návrhů rozsahu záplavového území jsou tyto modely upravovány za pomoci získaných informací o výskytu a průběhu minulých povodní.

Předmětem bakalářské práce je výpočet průběhu velkých vod pomocí jednorozměrného modelu HEC-RAS na řece Olši v centru Českého Těšína a následný návrh rozsahu záplavového území. Část práce je věnována metodice stanovení rozsahu záplavového území a historickým povodním zaznamenaným na řece Olši. Součástí práce je také stanovení kapacity koryta řešeného úseku a posouzení vlivu nově vybudované ochranné zídky na pravém břehu řeky Olše podél ulice Aleja Jana Lyska na odtokové poměry v centru Českého Těšína. 1D matematický model bude kalibrován na poslední významnou povodeň, která postihla povodí Olše na jaře v roce 2010.

2 Charakteristika vodního toku Olše

2.1 Popis toku

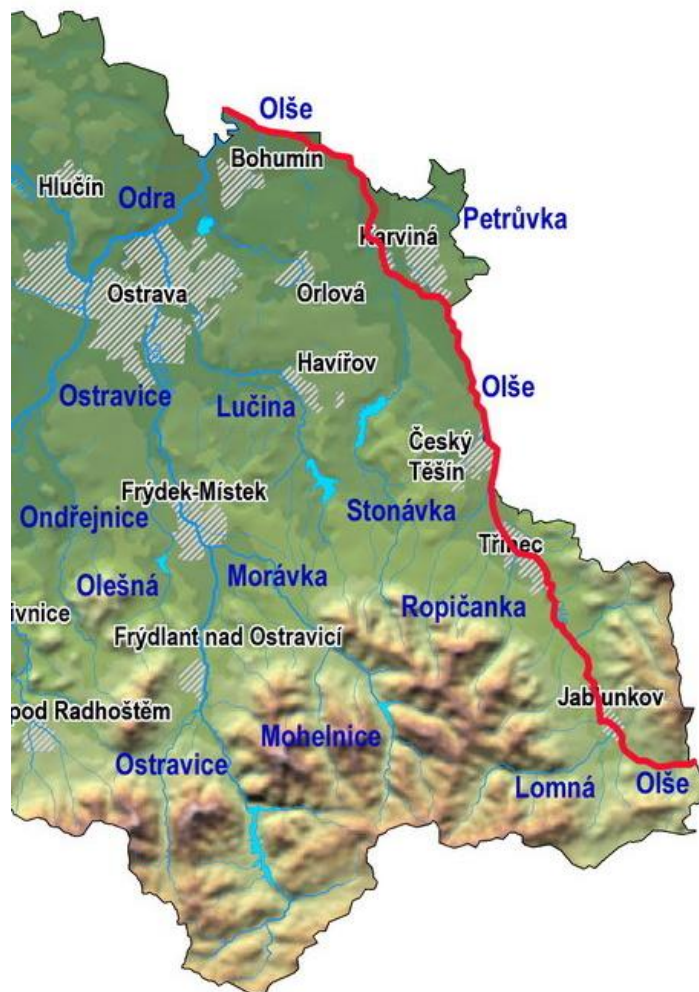
Název toku: Olše

Identifikátor vodního toku: 10100039 [3]

Číslo hydrologického pořadí toku: 2-03-03-0430, 2-03-03-0450 [3]

2.2 Povodí toku

Olše pramení na území Polské republiky v nadmořské výšce 909 m n. m. a po 16 km toku se dostává na české území nedaleko obce Bukovec (ř. km 72.8). Odtud teče severozápadním směrem, přičemž z uvedené délky (72.8 km) na přibližně 25.3 km tvoří Olše státní hranici mezi Českou a Polskou republikou. Na zbyvající délce protéká řeka českým územím a vlévá se do řeky Odry u Bohumína v nadmořské výšce 190 m n. m.. Geograficky Olše spadá do beskydské části povodí, která je charakteristická rozkolísanějšími průtoky. [9]



Obr. 1 Vodní tok Olše na území České republiky [9]

Do Olše ústí čtyři významné přítoky, jimiž jsou Lomná, Ropičanka, Stonávka a Petrůvka. Mimo ně je do Olše zaústěna řada menších toků. Mezi větší města ležící přímo na Olši, nebo nacházející se v její těsné blízkosti, patří města Jablunkov, Třinec, Český Těšín, Karviná a Bohumín. [9]

Charakter Olše je z části ovlivněn osídlením nivy, přilehlými městy a komunikacemi, průmyslem a na určité délce i poddolováním. Ve městě Třinec na délce přibližně 4,2 km protéká Olše průmyslovým areálem Třineckých železáren, které patří mezi největší odběratele vody z Olše a zároveň k největším bodovým zdrojům znečištění. Celkový vývoj území měl za posledních 100 let významný dopad na regulační zásahy do koryta Olše. Břehy toku byly na mnoha místech stabilizovány a v některých z výše uvedených měst byla zavedena protipovodňová opatření. V horní části povodí Olše bylo koryto stabilizováno hrazením bystřin. [9]

Na českém území se podélný sklon dna řeky Olše pohybuje v úseku od Bukovce po zaústění přítoku Lomná okolo 10 ‰, v navazujícím úseku po zaústění Ropičanky přes 5 ‰, po přítok Stonávky 3 ‰ a v dolní části toku až po Bohumín, kde se Olše vlévá do Odry, se podélný sklon dna pohybuje okolo 1,5 ‰. [9]

Kvalita vody v Olši úzce souvisí s hustotou osídlení a množstvím vypouštěných znečišťujících látek. Jakost vody se po toku pozvolna zhoršuje a nejhorší situace je v dolním úseku, kde je čistota vody zatěžována rozpuštěnými anorganickými solemi, pocházejícími z důlních vod přiváděných do Olše Karvinským potokem. [9]



Obr. 2 Horní úsek Olše (ř. km 72.1) [9]



Obr. 3 Jez sloužící k zásobení Třineckých železáren užitkovou vodou [9]



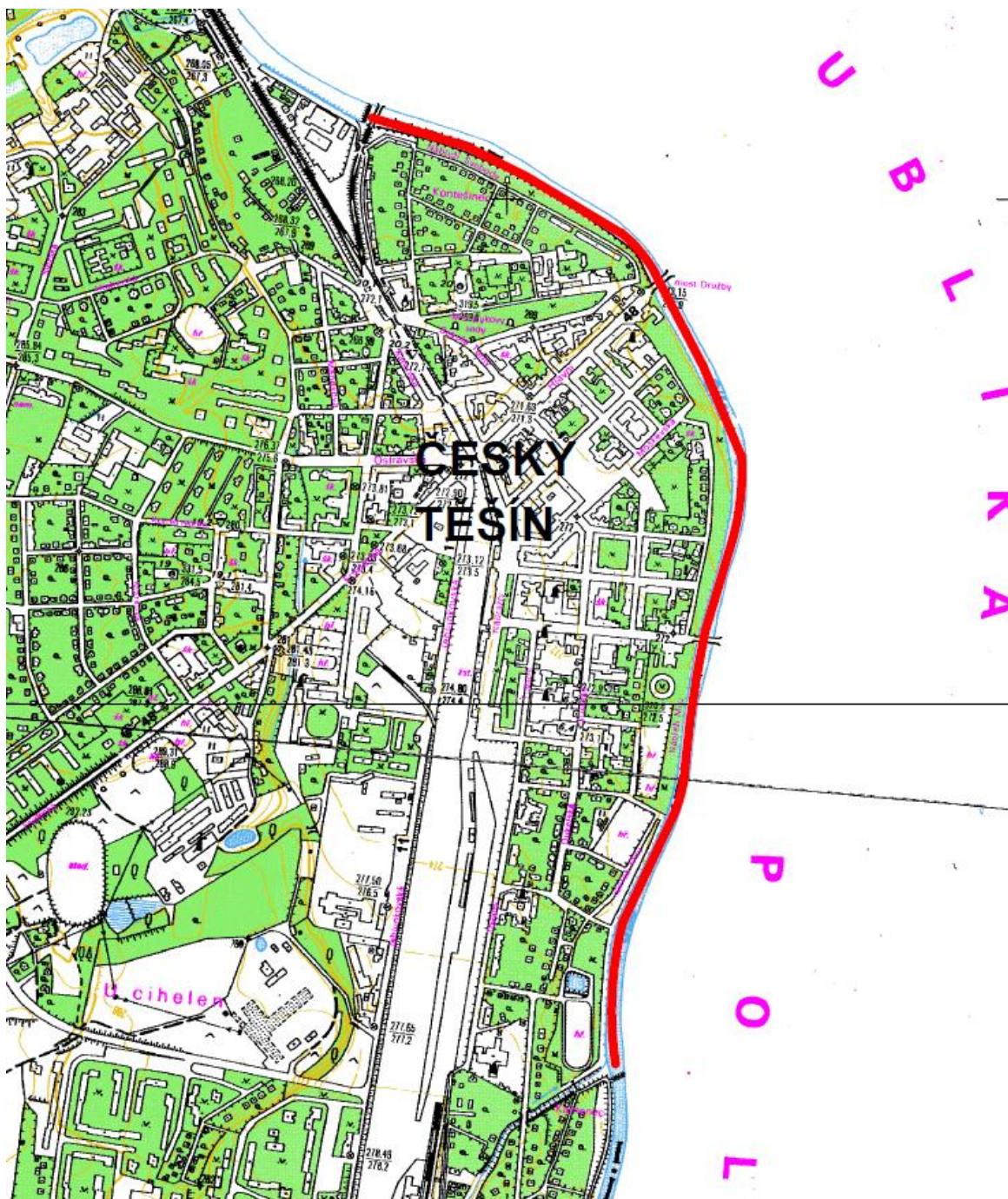
Obr. 4 Vliv důlní těžby (ř. km 18.5) [9]



Obr. 5 Úsek nad soutokem Olše s Odrou [9]

3 Popis zkoumaného úseku

Zájmovým úsekem toku je část řeky Olše protékající centry Českého Těšína a Těšína, vymezené na dolním úseku železničním mostem (ř. km 36.502) a na horním úseku přítokem Sadového potoka (ř. km 38.817). Délka řešeného úseku vodního toku Olše je vyznačena na podkladu mapy ZABAGED (Obr. 6).



Obr. 6 Vyznačení řešeného úseku vodního toku Olše

V horní části úseku od zaústění Sadového potoka (ř. km 38.817) po lávku pro pěší (ř. km 38.529) je levý břeh koryta zpevněný betonovou zdí ve tvaru lichoběžníku, která chrání přilehlé území před průchodem velkých vod. Oproti tomu pravý břeh je neupravený, porostlý křovinami a je výrazně nižší než hladina stoleté vody.



Obr. 7 Pohled na koryto v horní části úseku

V těsné blízkosti pod lávkou pro pěší ústí do Olše pravostranný přítok Puncówka (ř. km 38.500).



Obr. 8 Zaústění Puncówky (ř. km 38.500), pohled proti vodě

V úseku pod zaústěním Puncówky (ř. km 38.500) dojde ke snížení úrovně obou břehů a okolní území již není dostatečně chráněno. Po levé straně toku se nachází městský park a sportoviště, které jsou při výskytu povodní ohroženy.



Obr. 9 Úsek pod zaústěním Puncówky (ř. km 38.500)

Koryto má po celé délce zbývajícího úseku lichoběžníkový tvar. Břehy toku jsou upravené, udržované a povrch je v převážné části osetý trávou.

V řešeném úseku se nachází dva silniční mosty, jedna lávka pro pěší a jeden železniční most. Všechny mostní objekty jsou vybudovány s poměrně vysokou úrovní dolní hrany mostovky. V úseku mezi dvěma silničními mosty a mezi silničním a železničním mostem se úroveň břehů znatelně sníží a lze tedy očekávat, že v těchto místech dojde k zaplavení okolního území při výskytu vyšších průtoků.

Na pravém břehu na polské straně se nachází limnigrafická stanice. Hodnoty naměřené touto stanicí při průchodu povodně na jaře v roce 2010 byly v této práci využity pro kalibraci matematického modelu.



Obr. 10 Ř. km 37.500 limnigrafická stanice při pravém břehu na polské straně

3.1 Mostní objekty

V řešeném úseku se nachází čtyři významná přemostění, jimiž jsou železniční most, dva silniční mosty a lávka pro pěší. Seznam mostů je uveden v následující tabulce (Tabulka 1). V tabulce je uvedená poloha objektů a kóty dolních a horních hran mostovek příslušných mostních objektů.

Objekt	Staničení [ř. km]	Dolní hrana mostovky [m n. m.]	Horní hrana mostovky [m n. m.]
Železniční most	35.502	268.80	269.67
Silniční most	37.174	271.09	272.96
Silniční most	37.932	272.69	273.65
Lávka pro pěší	38.529	275.66	276.56

Tabulka 1 Seznam mostů v řešeném úseku řeky Olše

Železniční most se dvěma pilíři se nachází na začátku zkoumaného úseku (ř. km 35.502). Šířka mostního objektu je 5.9 m, šířka obou pilířů pak 1.96 m.



Obr. 11 Železniční most ř. km 35.502

Silniční most se středovým pilířem se nachází na ř. km 37.174. Šířka mostního objektu je 17.10 m, šířka pilíře 1.82 m. Silniční most byl v minulosti zrekonstruován a v místě stávajícího mostu byly ponechány pozůstatky původní konstrukce. V obou mostních polích se nachází zbytky spodních částí pilířů, dosahující svou výškou na úroveň hladiny třicetidenní vody. Na pravém břehu v těsné blízkosti před a za silničním mostem je ponechán celý pilíř, který svou výškou dosahuje úrovně dolní hrany mostovky.



Obr. 12 Silniční most ř. km 37.174



Obr. 13 Pozůstatky pilířů pod silničním mostem (ř. km 37.174), pohled proti vodě

V profilu mostního objektu je koryto značně zúženo. Levý břeh je zpevněn kamennou zdí, která je za mostem pozvolna navázaná na původní lichoběžníkové koryto. Střední část koryta v úseku pod silničním mostem je v důsledku obtékání středového pilíře vodou při nízkých průtocích zarostlá vysokou trávou a křovím, takže je v tomto místě nepatrně snížena kapacita koryta.

Dalším objektem je silniční most se dvěma pilíři se šířkou mostovky 15.40 m a šířce pilířů 0.65 m, nacházející se na ř. km 37.932. V profilu silničního mostu nedochází k výraznému zúžení koryta a světlost mostních otvorů je dostatečná.



Obr. 14 Silniční most ř. km 37.932

Posledním, čtvrtým objektem nacházejícím se v části řešeného úseku je lávka pro pěší na ř. km 38.529. Šířka lávky je 4.35 m a šířka pilířů je 0.87 m. Pilíře však svým umístěním nezasahují do koryta toku, k ovlivnění proudění těmito podpěrami dojde pouze v případě vybřežení vody z koryta při průchodu velké vody.



Obr. 15 Lávka pro pěší ř. km 38.529

4 Podklady

Použité podklady k vypracování bakalářské práce byly čerpány ze starších studií zabývajících se podobnou problematikou.

4.1 Geodetické podklady

Veškeré geodetické podklady byly pořízeny v polohopisném systému S-JTSK (Souřadný systém jednotné trigonometrické sítě katastrální) a výškopisném systému Balt po vyrovnání. Geometrie vodního toku byla převzata z podkladů geodetického zaměření řeky Olše v úseku Třinec - Český Těšín firmou Pöyry Environment, a. s., Brno, 2012, a stanovena následujícími zaměřeními:

- Polohopisné zaměření osy vodního toku
- Polohopisné a výškopisné zaměření příčných profilů
- Polohopisné a výškopisné zaměření objektů nacházejících se na vodním toku (mosty, lávky, ochranné zídky)

4.2 Mapové podklady

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

4.3 Hydrologická data

Použité hydrologické údaje jsou uvedené v následujících tabulkách (Tabulka 2 a 3).

Hydrologický profil	Datum pořízení	Říční kilometr	Q ₅	Q ₂₀	Q ₁₀₀	Třída přesnosti
Olše nad Puncówkou	11. 11. 2011	38.50	271	433	655	II.
Olše nad Bobrówkou	11. 11. 2011	35.40	280	449	682	II.

Tabulka 2 N-leté průtoky (QN) v m³.s⁻¹

Hydrologický profil	Datum pořízení	ř. km	Q ₃₀	Q ₉₀	Q ₁₈₀	Q ₂₇₀	Q ₃₃₀	Q ₃₅₅	Q ₃₆₄	Třída přesnosti
Olše nad Stonávkou	25. 4. 1994	20.92	19.81	8.88	4.76	2.73	1.47	0.85	0.62	II.

Tabulka 3 m-denní průtoky (Qm) v m³.s⁻¹

4.4 Ostatní podklady

- Studie vyhodnocení a zvládnání povodňových rizik na řece Olši (úsek Věřňovice - Karviná a úsek Chotěbuz - Třinec). Revital, Praha, 2013.

5 Průběhy historických povodní

V následující kapitole jsou shrnuty průběhy povodní na řece Olši. Za největší zaznamenanou povodeň se dá považovat povodeň z května a června roku 2010, kdy byla na dolním úseku Olše naměřena hodnota kulminačního průtoku převyšující stoletý průtok. Za ní se řadí svou velikostí objemu povodňové vlny povodně z roku 1985 a 1970. Z dostupných podkladů, jež tvoří převážně zprávy z povodní, jsou níže stručně popsány příčiny a průběhy povodní v rozmezí let 1940 - 2010.

5.1 Povodeň v roce 1940

Při povodni v květnu 1940 řeka Olše vyběžila a zaplavila velkou část Českého Těšína. Povodeň byla tehdy zapříčiněna prudkými lijáky, které však zasáhly pouze část povodí Olše. Centrum srážek leželo nad beskydským hřebenem, na Lysé hoře tenkrát napadlo 340 mm srážek. Množství povrchového odtoku výrazně zvýšilo tání sněhu, který v té době ležel na severních svazích Beskyd. [2]

5.2 Povodeň v roce 1970

Dne 17. července se vytvořila frontální vlna, která postupovala k severu. Velký teplotní kontrast na frontě, značná vlhkost teplého vzduchu proudícího od Černého moře a zejména stacionárnost frontálního rozhraní zapříčinily vznik silných srážek, které způsobily následnou povodeň. Tou bylo nejvíce zasaženo povodí Olše. Rychlým vzestupem hladiny byl v Českém Těšíně strhnut silniční most a železniční těleso hlavního tahu na Slovensko. Průtoky na Olši pod Jablunkovem tehdy přesáhly dvacetiletou četnost, ve Věřňovicích se průtok blížil hodnotě stoleté vody. Pro představu je v tabulce (Tabulka 4) uveden vývoj povodně směrem po toku dolů.

Profil	Plocha povodí	Vodní stav	Průtok	Doba opakování	Obj. povodňové vlny
	[km ²]	[cm]	[m ³ .s ⁻¹]	[N-letost]	[mil. m ³]
Bukovec	55.81	223	82	20-50	7.7
Jablunkov	92.49	375	132	50	15.2
Ropice	383.60	520	410	20	44.0
Dětmarovice	704.66	396	512	20	71.9
Věřňovice	1068.00	524	730	50-100	93.8

Tabulka 4 Povodeň červenec 1970

5.3 Povodeň v roce 1972

Povodeň z 21. - 22. srpna 1972 byla způsobena dlouhotrvajícími vydatnými srážkami v průběhu pomalého postupu mělké frontální vlny směřující k severozápadu. Tehdy bylo zasaženo zejména povodí Stonávky, levostranného přítoku Olše. Pod zaústěním Stonávky do Olše byl na Olši zaznamenán průtok o velikosti padesátiletého průtoku.

5.4 Povodeň v roce 1974

Povodeň z 20. ledna 1974 způsobil průnik teplého a vlhkého vzduchu do střední Evropy, který s sebou přinesl silnější deště a způsobil prudké tání sněhu. Na Olši v Českém Těšíně tehdy nastala kritická situace, kde bylo nutné provést rozsáhlé zabezpečovací práce.

5.5 Povodeň v roce 1985

Jednou z nejvýraznějších povodní byla povodeň 7. - 10. srpna 1985. Atmosférická fronta přecházející Moravu se tehdy zastavila nad severovýchodní Moravou a nad Beskydami. Na Lysé hoře byl tehdy naměřen během tří dnů srážkový úhrn 277 mm. Ve Věřnovicích byl naměřen průtok $830 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Pod Českým Těšínem Olše podemlela železniční trať na trase Bohumín - Žilina a výše u Jablunkova byly zaplaveny vesnice. Na základě předpokladů průběhu povodně tehdy nakázala okresní povodňová komise neodpouštět vodu z nádrže Těrlicko, nacházející se na levostranném přítoku Olše Stonávce. Nad soutokem Stonávky s Olší se totiž nacházela poddolovaná obec Lipiny, připravená k asanaci, ale ještě ne zcela vystěhovaná. Z bezpečnostních důvodů však bylo po krátkém čase nutné začít nádrž vypouštět a poddolované Lipiny tak byly zaplaveny. Voda se pak dále rozlila a zaplavila celé město Karviná. [2]

5.6 Povodeň v roce 1997

Povodeň v červenci 1997 byla zapříčiněna dlouhotrvajícími srážkami a proběhla ve dvou etapách. Během první srážkové epizody, která započala 4. července, byla střední Evropa pod vlivem studené fronty, která postupovala od jihozápadu k severozápadu. Přejít studené fronty byl doprovázen bouřkami, místy i lijáky. Nad Alpami se postup fronty zpomalil, vytvořila se tlaková níže, která postupovala k severovýchodu a přinesla mimořádné množství srážek ve východní části České republiky. Druhá srážková epizoda začala 17. července, kdy se přibližovaly a nakonec střetly dva frontální systémy.

Na většině toků v oblasti zasažené dlouhotrvajícími srážkami byly naměřené dosud nezaznamenané hodnoty průtoků. Výjimku tvořila řeka Olše, kterou na dolním toku protékal průtok o velikosti $673 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, který odpovídal dvacetileté vodě. V tabulce (Tabulka 5) je uveden průběh povodně. Pro srovnání je u vodoměrných stanic vždy uvedena hodnota dlouhodobého průměrného průtoku Q_a .

Stanice	Plocha povodí	Q _a	Průměrný průtok v roce 1997		Kulminace			
			červenec	srpen	Datum	Vodní stav	Průtok	Doba opak.
	[km ²]	[m ³ ·s ⁻¹]	[m ³ ·s ⁻¹]		[-]	[cm]	[m ³ ·s ⁻¹]	[N-letost]
Jablunkov	92.45	1.83	11.8	0.79	8. 7.	320	117	10
Český Těšín	383.60	7.15	49.3	3.79	8. 7.	472	389	<20
Dětmarovice	678.62	11.00	77.5	4.75	9. 7.	412	548	<20
Věřňovice	1068	13.70	102.0	8.22	9. 7.	596	673	>20

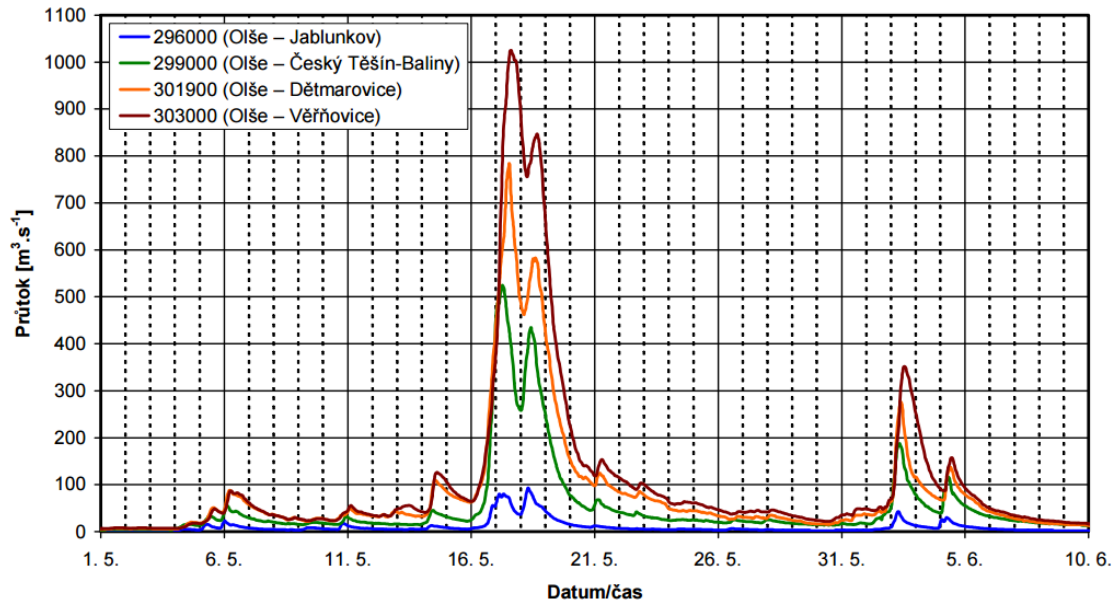
Tabulka 5 Průměrné průtoky a kulminační hodnoty ve vodoměrných stanicích ČHMÚ, červenec 1997

5.7 Povodeň v roce 2010

Srážky, které se vyskytly v druhé polovině května roku 2010 a způsobily následné povodně, byly zapříčiněny tlakovou níží, která po delší dobu setrvala východně od území České republiky. Průběh srážek se dal rozdělit do dvou fází. V první fázi (15. 5. - 20. 5.) byla zasažena Morava, zejména pak Beskydy a jejich podhůří, přičemž celkové srážkové úhrny za těchto šest dnů dosahovaly v některých oblastech Slezska a severní Moravy 360 až 390 mm. V druhé fázi (30. 5. - 3. 6.) byla nejvíce zasažena oblast podél státních hranic s Polskem a Slovenskem, ale také velká část území Čech. Celkový srážkový úhrn druhé fáze se pohyboval v rozmezí 60 až 130 mm. [5]

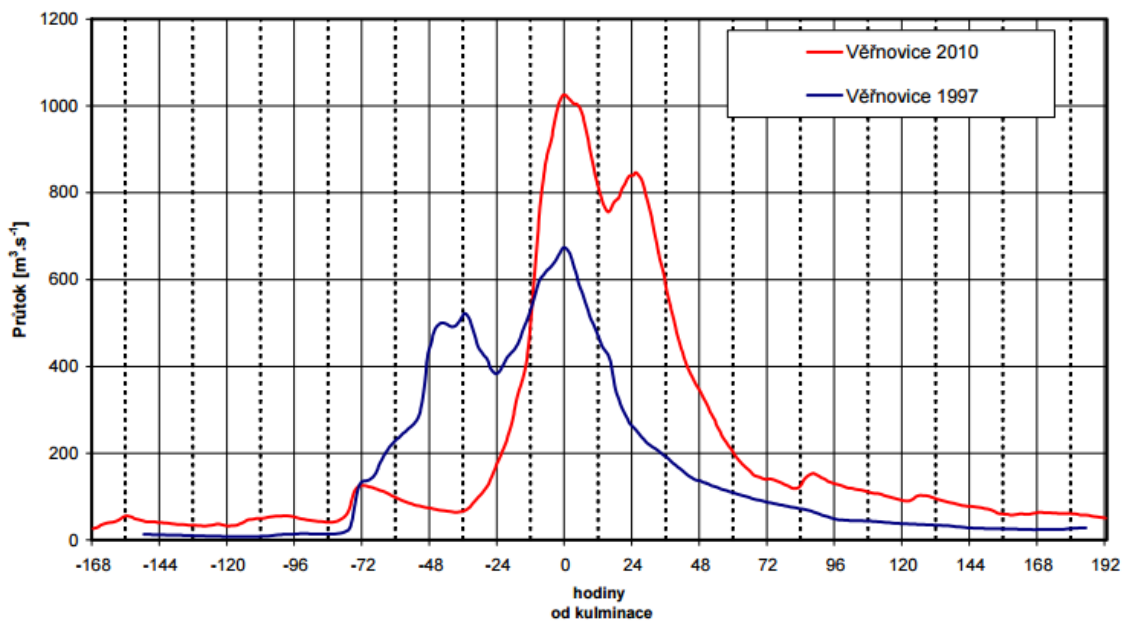
V důsledku výskytu dvou srážkových epizod byly na Moravě a ve Slezsku zaznamenány dvě povodňové vlny. První povodňová vlna zasáhla zejména povodí pravostranných přítoků řeky Odry. Nejvíce zasažené bylo povodí řeky Olše, kde hodnota kulminačního průtoku naměřená ve Věřňovicích přesáhla hodnotu stoletého průtoku. [5]

Podle pořízených záznamů v Jablunkově povodňová vlna vrcholila při zhruba pětiletém průtoku, nad Českým Těšínem přesáhl kulminační průtok dobu opakování 50 let, což bylo výrazně ovlivněno přítoky Olše z Beskyd. Těsně nad Bohumínem, kde se Olše vlévá do Odry, přesáhl kulminační průtok dobu opakování sto let. Ve stejnou dobu vrcholila povodňová vlna na Odře ve městě Bohumín a při soutoku Odry s Olší došlo ke střetu povodňových vln obou toků a výrazně se zkomplikovala situace na polském území. [5] Časový průběh povodně je znázorněn na následujícím obrázku (Obr. 16).



Obr. 16 Časový vývoj průběhu průtoků na Olši během povodně na jaře 2010 [5]

Povodeň, která zasáhla české území v květnu a červnu v roce 2010, je srovnatelná pouze s povodní z července roku 1997. Společným znakem obou povodní je výskyt druhé srážkové epizody a druhé fáze povodňové vlny. Nejvyšší dosažené průtoky naměřené na zasažených tocích během povodně na jaře roku 2010 dosahovaly převážně 70 - 90 % hodnot maximálních průtoků zaznamenaných při povodni v roce 1997. Jinak tomu bylo v případě řeky Olše, kdy hodnoty naměřené během povodně v roce 2010 byly výrazně vyšší než v roce 1997. [5] Pro srovnání je níže vykreslen (Obr. 17) průběh povodní na Olši ve Věřňovicích v roce 1997 a 2010.



Obr. 17 Porovnání průběhů povodní v červenci 1997 a květnu 2010 na Olši ve Věřňovicích [5]

6 Metodika stanovení rozsahu záplavového území a vymezení jeho aktivní zóny

Záplavové území je ohraničené záplavovými čarami, které vznikají jako průsečnice hladin vody s terénem. [8] Stanovením rozsahu záplavového území můžeme předejít škodám způsobeným povodněmi, nebo alespoň eliminovat rozsah těchto škod.

Rozsah záplavového území stanoví vodoprávní úřad na návrh správce vodního toku. Podle nebezpečí povodňových průtoků vymezení vodoprávní úřad aktivní zónu záplavového území (AZZÚ). Za aktivní zónu může být považována část záplavového území, ve které je při povodních soustředěna významná část povodňového průtoku. [13]

6.1 Vstupní data pro vymezení záplavového území

Podklady pro zpracování návrhu záplavového území musí obsahovat hydrologické údaje poskytnuté Českým hydrometeorologickým ústavem (ČHMÚ), geodetické zaměření podélného a příčných profilů koryta vodního toku a objektů, které se na vodním toce nacházejí a ovlivňují proudění vody, dále mapové podklady a údaje z nejvyšší zaznamenané povodně. Vyskytuje-li se v části řešeného úseku toku vodní dílo, které by mohlo významně ovlivnit průchod povodňových průtoků, je nutným podkladem manipulační řád tohoto vodního díla. [11]

6.1.1 Hydrologická data

Základními hydrologickými daty je řada N-letých průtoků poskytnutá ČHMÚ, představující charakteristiky povodní s dobou opakování 5, 20 a 100 let. [11]

6.1.2 Geodetické podklady

Geodetické podklady jsou základními geometrickými daty pro tvorbu matematických modelů. Veškeré geodetické podklady se pořizují v polohopisném systému S-JTSK a výškopisném systému Balt po vyrovnání.

Geometrie vodního toku je dána polohopisným zaměřením osy toku, polohopisným a výškopisným zaměřením příčných profilů a objektů nacházejících se v řešeném úseku. Vzdálenost mezi příčnými profily je volena taková, aby byly zachyceny veškeré podstatné geometrické změny koryta. Hustota zaměření příčných profilů se také odvíjí od typu použitého matematického modelu. Obecně dvourozměrné modely kladou vyšší nároky na podrobnější zaměření. [8]

Při tvorbě jednorozměrného modelu je geometrie inundačního území popsána geodetickým zaměřením vhodně zvolených údolních profilů. V případě členitého inundačního území se využívá podrobného digitálního modelu terénu (DMT), který je nedílnou součástí tvorby dvourozměrného modelu. [8]

6.1.3 Mapové podklady

Mapové podklady slouží při stanovení rozsahu záplavového území k základní orientaci v zájmovém území a následně k zobrazení výsledků v podobě mapových výstupů. Základním mapovým podkladem jsou rastrové základní mapy v měřítku 1:10 000, které jsou kartografickým výstupem geografického datového podkladu ZABAGED (Základní báze geografických dat České republiky). Dalším využitým mapovým podkladem jsou ortofotomapy. Ortofotomapy podávají informace o aktuálním stavu zájmového území, slouží k identifikaci využití ploch inundačního území a ke specifikaci hydraulických drsností povrchu terénu. [11]

6.1.4 Kalibrační podklady

Kalibrací modelu se zohledňují informace poskytnuté z předchozích povodní. Ke kalibraci je zapotřebí znát velikost kulminačního průtoku a k němu příslušející maximální úroveň hladiny, popřípadě informace o rozsahu záplavy a tvaru záplavové čáry, hodnoty naměřené na limnigrafické a vodočetné stanici a záznamy o provedených manipulacích na vodních dílech během povodně. [8]

6.1.5 Místní šetření

Podrobná obhlídka zájmového území je nutnou součástí tvorby výpočetního modelu. Vizualní prohlídka řešeného úseku slouží převážně k identifikaci objektů a terénních překážek nacházejících se na vodním toce, určení druhu povrchu, vegetace a k následnému určení hodnoty Manningova součinitele drsnosti a k seznámení se s aktuálním stavem řešeného úseku. Při místním šetření zájmového úseku se pořizuje foto a videodokumentace. [8]

6.1.6 Hydraulické výpočty

Návrh záplavového území se stanoví na základě hydraulických výpočtů nerovnoměrného proudění a navazuje na již dříve stanovené návrhy záplavových území vodních toků, které tvoří recipienty řešených vodních toků. Tyto návrhy záplavových území by si měly vzájemně odpovídat. Výsledky hydraulických výpočtů tvoří podklad pro tvorbu výstupů v podobě map na podkladu Základní mapy České republiky 1:10 000. [11]

6.2 Výstupní data pro vymezení záplavového území

Z výpočtu průběhů hladin nerovnoměrného proudění jsou výstupem úrovně hladin daných průtoků (Q_5 , Q_{20} nebo Q_{100}) ve všech příčných profilech. Následně se hledají průsečíky úrovní hladin průtoků v jednotlivých profilech s terénem. Spojením těchto průsečíků vzniknou záplavové čáry, ohraničující záplavová území. Výsledky jsou prezentovány na mapovém podkladu ZABAGED v měřítku 1:10 000.

6.3 Stanovení aktivní zóny záplavového území

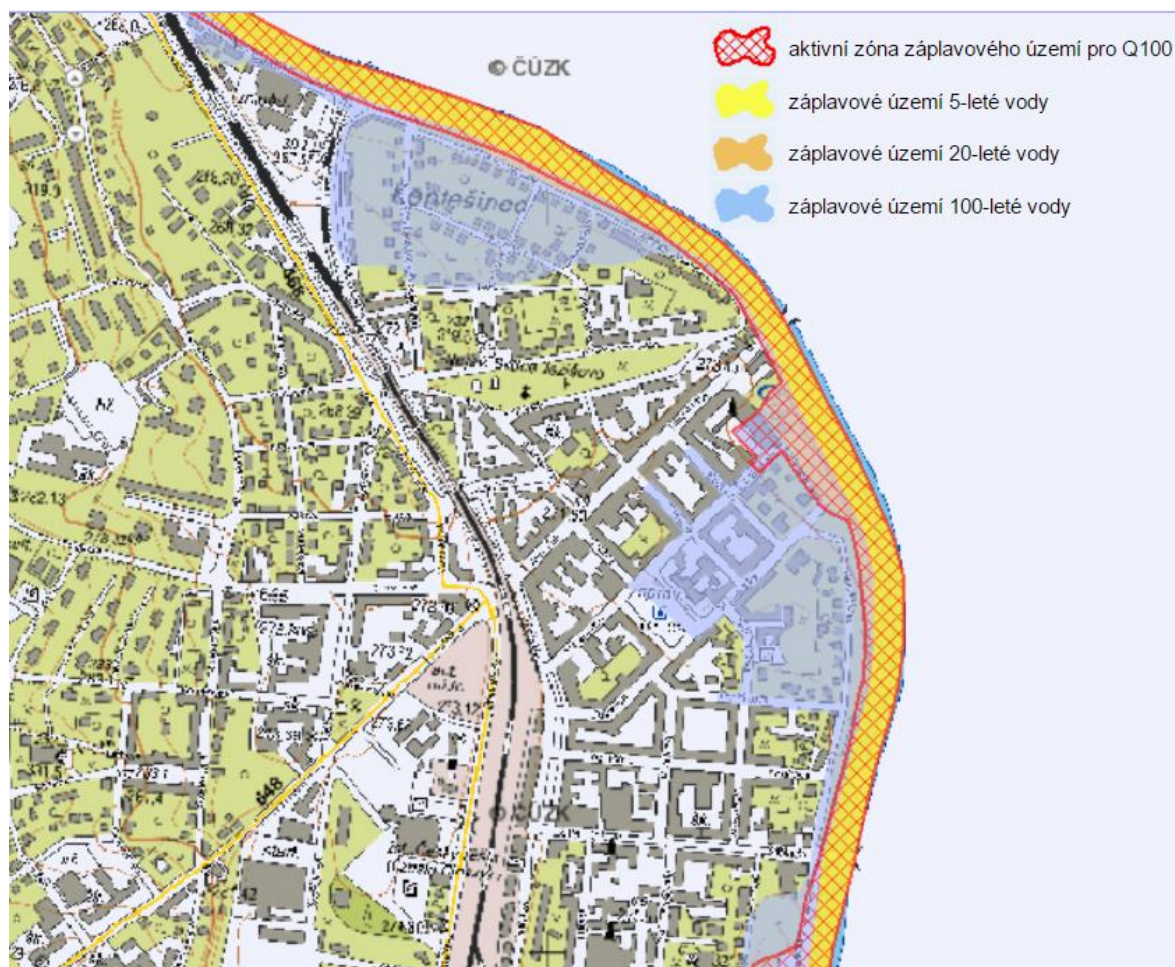
AZZÚ se podle vyhlášky Ministerstva životního prostředí č. 236/2002 Sb., "o způsobu a rozsahu zpracování návrhu a stanovování záplavových území" stanovuje pro ustálený průtok odpovídající Q_{100} na základě komplexního hydraulického výpočtu vhodným matematickým modelem. [7]

Aktivní zónu lze rozdělit na primární a rozšířenou aktivní zónu. Vlastní koryto hlavního toku v šířce definované břehovými hranami vždy vymezuje primární AZZÚ. Je-li tok ohrázený hrázemi chránícími okolní území před povodněmi dimenzovanými na Q_{100} , tvoří tyto hráze hranici aktivní zóny. Rozšířená aktivní zóna, tj. část aktivní zóny ležící mimo koryto vodního toku, je určena několika způsoby, lišícími se podle typů vodních toků. [7]

Pro toky s kratší dotokovou dobou, se strmějším tvarem hydrogramu a s jednodušším prouděním v inundačním území se rozšířená aktivní zóna záplavového území stanoví podle záplavového území dvacetileté vody. V lokalitách se známým rozdělením rychlostí a hloubek po příčném profilu a s komplikovanějším prouděním v inundačním území se AZZÚ stanoví dle parametrů proudění. Oblast aktivní zóny se určí na základě součinu hloubky vody a rychlosti proudění. V obou případech je výpočet řešen pomocí jednorozměrného matematického modelu. [7]

Další možný způsob stanovení rozšířené AZZÚ vychází z rozdělení měrných průtoků. Tato tzv. proužková metoda je vhodná pro kategorie toků s delší dotokovou dobou a s širokým a plochým záplavovým územím, kde se rozsah Q_{20} téměř shoduje s rozsahem Q_{100} . Za AZZÚ budou vymezeny oblasti záplavového území, kterými protéká přibližně 80 % průtoku Q_{100} . [7]

V územích s patřičným významem lze výpočet provést pomocí detailnějšího 2D matematického modelu. Stanovení rozšířené části aktivní zóny se provádí na základě prostorového rozdělení měrných průtoků a dle soustředěných proudnic v inundačním území. [7]



Obr. 18 Ukázka záplavového území v centru Českého Těšína s vymezenou aktivní zónou záplavového území pro Q_{100} [12]

7 Program HEC-RAS

HEC-RAS (Hydrologic Engineering Center River Analysis System) je software, který umožňuje jednorozměrný hydraulický výpočet. Analyzuje ustálené a neustálené proudění v otevřených korytech, rozdělení rychlostí a průtoků v příčných profilech, simuluje transport sedimentů v korytě toku, analyzuje šíření znečištění a je schopný exportovat data ve formátu použitelném pro programy jako jsou GIS nebo CAD. [10] Navazující části kapitoly stručně popisují základní funkce softwaru použitého při modelování průběhů hladin na řece Olši.

7.1 Ustálené proudění v otevřených korytech

Část softwaru je určena pro výpočet ustáleného nerovnoměrného proudění v profilech povrchových toků. Systém zvládne zpracovat rozsáhlejší říční síť a je schopný modelovat ustálené proudění v bystřinném, říčním a smíšeném režimu proudění. [10]

Základní výpočet spočívá v řešení jednorozměrné energetické rovnice. Energetické ztráty jsou vyhodnoceny na základě tření (Manningova rovnice) a součinitelem zúžení a rozšíření. Software je schopný vymodelovat hydraulické jevy, ale i vyhodnotit proudění v profilu křížení dvou vodních toků. [10]

Do výpočtu ustáleného proudění lze zahrnout i vlivy objektů, nacházejících se na vodním toku, jimiž jsou například mosty, propustky, stupně, ale i objekty v inundačním území, ovlivňující proudění.

Průběh hladiny ustáleného nerovnoměrného proudění je pro představu zobrazen na obrázku 19 a 20.

7.2 Neustálené proudění

Výpočetní model pro neustálené proudění může být taktéž řešen pro rozsáhlou síť otevřených koryt v bystřinném, říčním i smíšeném režimu proudění. Veškeré hydraulické výpočty pro příčné profily, mosty, propustky a další objekty na vodním toce, které byly vyvinuty pro ustálené proudění, byly začleněny i do modelu neustáleného proudění. [10]

Speciálním prvkem neustáleného proudění je model průlomu hráze, model prolomení a přelití ochranných hrázek, čerpací stanice a tlakové proudění potrubím. [10]

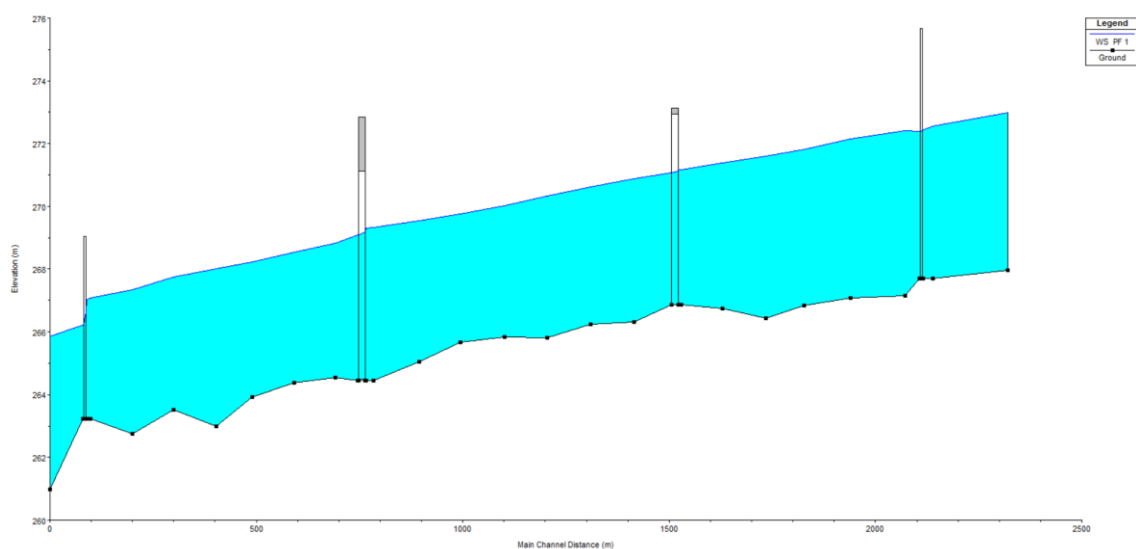
7.3 Transport splavenin

Tato část modelu je určena pro simulaci pohybu sedimentů pro delší časové období, obvykle se jedná o roky, ale lze funkci použít i při modelování pohybu splavenin při jednotlivých povodních. [10]

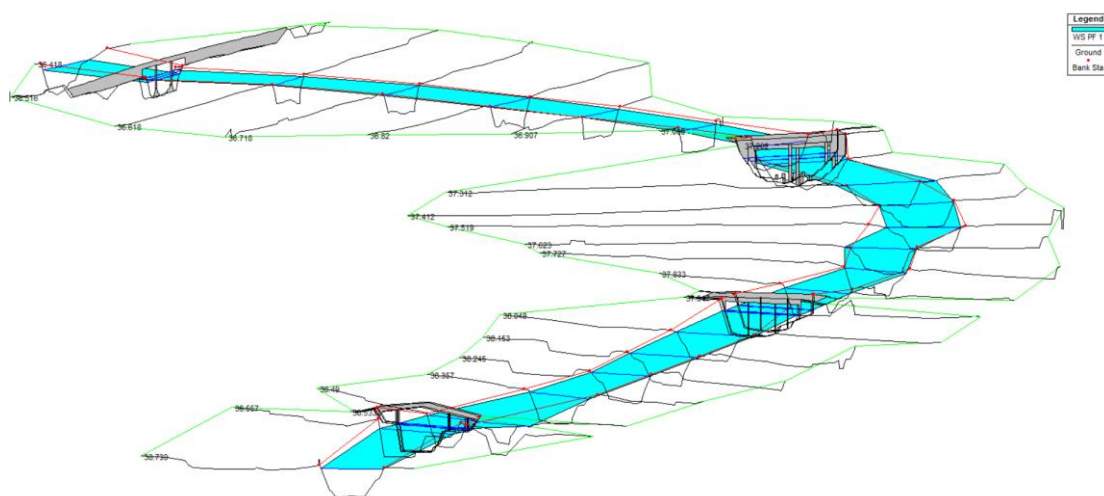
Pohyb sedimentů je modelován na základě zrnitostních frakcí. Mezi hlavní funkce patří model narušeného dna toku a využití několika různých rovnic pro výpočet pohybu splavenin. Model je navržen tak, aby simuloval dlouhodobé přetváření koryta v důsledku transportu sedimentů. Software je proto vhodný pro vyhodnocení usazování nádrže, odhadnutí maximální možné čistící schopnosti toku během velkých povodní a k předvídání míry sedimentace v opevněných korytech. [10]

7.4 Analýza kvality vody

V současnosti jsou v programu HEC-RAS při modelování kvality vody v otevřených korytech k dispozici následující prvky: rozpuštěný dusík, rozpuštěný fosfor, řasy a rozpuštěný kyslík. [10]



Obr. 19 Ukázka z programu HEC-RAS - Podélný profil vodního toku
(WS - hladina vody, Ground - terén, Elevation - převýšení, Station - staničení)



Obr. 20 Ukázka z programu HEC-RAS - Perspektiva vodního toku
(WS - hladina vody, Ground - terén, Bank Sta - úroveň břehu)

8 Hydrotechnické výpočty

Veškeré hydrotechnické výpočty byly provedeny pomocí programu HEC-RAS verze 4.1.0., metodou ustáleného nerovnoměrného proudění.

8.1 Metodika výpočtu

8.1.1 Ustálené nerovnoměrné proudění vody v přirozeném korytě

Výpočet ustáleného nerovnoměrného proudění se provádí takzvanou metodou po úsecích. V případě říčního proudění provádíme výpočet od známé hladiny na dolním konci úseku směrem proti proudu. Opačně je tomu v případě bystřinného proudění, kdy je výpočet prováděn ve směru proudění. [1]

Režim proudění se stanoví na základě hodnoty Froudova čísla, pro které platí vztah

$$Fr = \frac{\alpha \cdot v}{\sqrt{g \cdot y_s}} \quad (8.1)$$

kde Fr – Froudovo číslo [-],
 α – Coriolisovo číslo [-],
 v – rychlost proudění [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$],
 g – gravitační zrychlení [$\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$],
 y_s – střední hloubka [m],

přičemž

$$y_s = \frac{S}{B} \quad (8.2)$$

kde S – průtočná plocha [m^2],
 B – šířka toku na hladině [m].

Pro jednotlivé režimy proudění pak platí

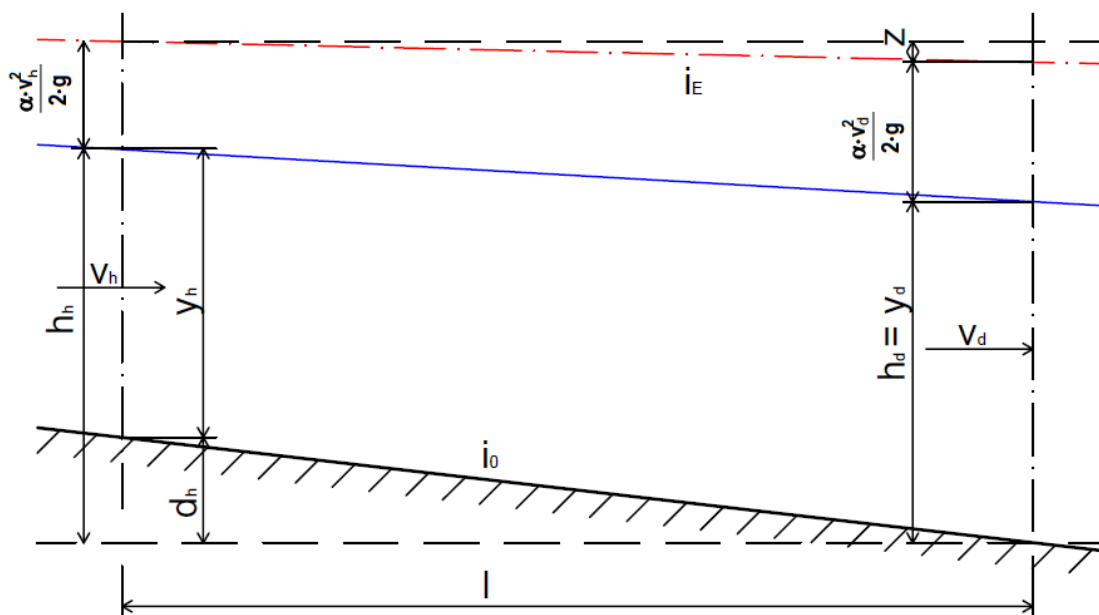
$Fr > 1$, $y < y_k$ bystřinné proudění

$Fr = 1$, $y = y_k$ kritické proudění

$Fr < 1$, $y > y_k$ říční proudění

kde y – hloubka vody v korytě [m],
 y_k – kritická hloubka [m].

Průběh hladiny nerovnoměrného proudění vody v korytě je znázorněn mezi dvěma zvolenými příčnými profily na následujícím obrázku (Obr. 21).



Obr. 21 Nerovnoměrný pohyb vody v úseku přirozeného koryta

Základní výpočet ustáleného nerovnoměrného proudění plyne z Bernoulliho rovnice

$$d_h + y_h + \frac{\alpha \cdot v_h^2}{2 \cdot g} = y_d + \frac{\alpha \cdot v_d^2}{2 \cdot g} + Z \quad (8.3)$$

kde d_h – rozdíl kót dna v horním a dolním profilu [m],
 y_h – hloubka proudění v horním profilu [m],
 v_h – průřezová rychlost v horním profilu [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$],
 y_d – hloubka proudění v dolním profilu [m],
 v_d – průřezová rychlost v dolním profilu [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$],
 Z – vzniklé ztráty [m],

přičemž

$$d_h = i_0 \cdot l \quad (8.4)$$

$$Z = i_E \cdot l \quad (8.5)$$

kde i_0 – sklon dna [-],
 i_E – sklon čáry energie [-],
 l – vzdálenost mezi profily [m].

Sklon čáry energie vyjádříme z Chézyho rovnice vztahem

$$i_E = \frac{Q^2}{C_p^2 \cdot S_p^2 \cdot R_p} = \frac{Q^2}{K_p^2} \quad (8.6)$$

kde Q – průtok vody [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$],
 C_p – průměrná hodnota Chézyho součinitele v řešeném úseku [$\text{m}^{0.5} \cdot \text{s}^{-1}$],
 S_p – průměrná průtočná plocha v řešeném úseku [m^2],
 R_p – průměrný hydraulický poloměr v řešeném úseku [m],
 K_p – průměrná hodnota modulu průtoku v řešeném úseku [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$].

Po dosazení členu vyjadřující vliv místních ztrát do Bernoulliho rovnice lze získat rozdíl hladin horního a dolního profilu z rovnice

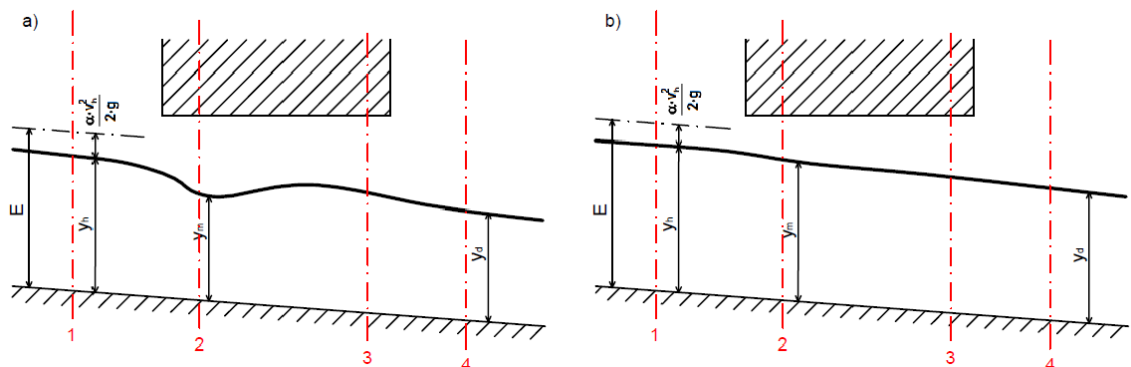
$$\Delta y = \frac{\alpha \cdot Q^2}{2 \cdot g} \left(\frac{1}{S_d^2} - \frac{1}{S_h^2} \right) + \frac{Q^2}{K_p^2} \cdot l + \xi \left| \frac{\alpha \cdot (v_d^2 - v_h^2)}{2 \cdot g} \right| \quad (8.8)$$

kde Δy – rozdíl hladin horního a dolního profilu [m],
 S_d – průtočná plocha v horním profilu [m^2],
 S_h – průtočná plocha v dolním profilu [m^2],
 ξ – součinitel místní ztráty [-].

8.1.2 Proudění mostními objekty

Proudění mostními objekty se odvíjí od průběhu hladiny v mostním objektu a v profilech v těsné blízkosti před a za mostem. Výpočet proudění mostními objekty se liší pro různé režimy proudění, jimiž jsou proudění s volnou hladinou ovlivněné nebo neovlivněné dolní vodou, proudění se zatopeným vtokem a volným výtokem, proudění se zatopeným vtokem i výtokem, nebo případ kdy dojde k přelití celého mostního objektu. [1]

Pro výpočet proudění s volnou hladinou použijeme vztah vycházející z Bernoulliho rovnice. [4]



Obr. 22 Proudění mostními objekty

a) proudění neovlivněné dolní vodou, b) proudění ovlivněné dolní vodou

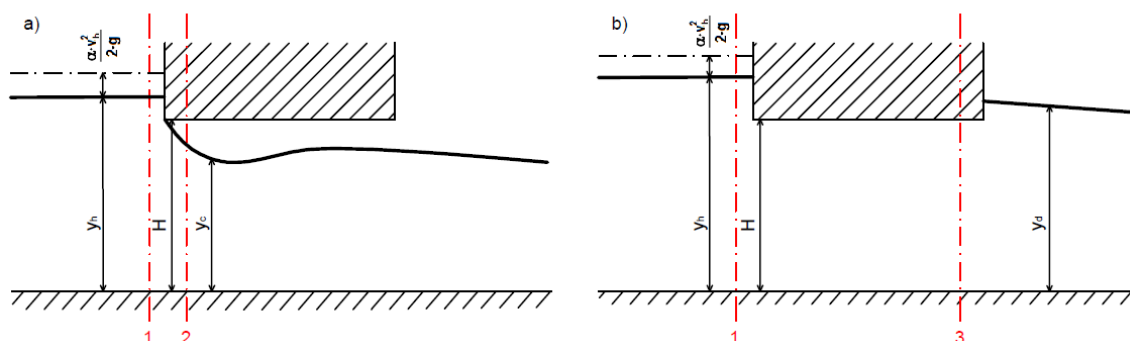
Za předpokladu, že zanedbáme sklon dna mezi profily 1 a 2 (Obr. 22), použijeme následující rovnici

$$E = y_h + \frac{\alpha \cdot v_h^2}{2 \cdot g} = y_d + \frac{\alpha \cdot v_m^2}{2 \cdot g} + \frac{\xi \cdot v_m^2}{2 \cdot g} = y_d + \frac{v_m^2}{\varphi^2 \cdot 2 \cdot g} = y_d + \frac{Q^2}{\varphi^2 \cdot 2 \cdot g \cdot S_m^2} \quad (8.9)$$

kde y_h – hloubka proudění v profilu 1 [m],
 v_h – střední rychlost vody v profilu 1 [m.s⁻¹],
 α – Coriolisovo číslo [-],
 y_d – hloubka proudění v profilu 2 [m],
 v_m – střední rychlost vody v profilu 2 [m.s⁻¹],
 ξ – součinitel místní ztráty na vtoku [-].

Dalším možným způsobem řešení průběhu hladiny mostními objekty je aplikace rovnice zachování hybnosti. Ta spočívá v postupném řešení základní rovnice pro úseky 4-3, 3-2 a 2-1 [4].

Při průchodu povodňových průtoků může dojít k zatopení vtoku mostního objektu s následným volným výtokem, případně dojde i k zatopení výtoku (tzv. tlakové proudění).



Obr. 23 Proudění mostními objekty

a) zatopený vtok a volný výtok, b) zatopený vtok i výtok

V případě zatopeného vtoku a volného výtoku vyjdeme při výpočtu průběhu hladin mezi profily 1-2 (Obr. 23) z Bernoulliho rovnice

$$y_h + \frac{\alpha \cdot v_h^2}{2 \cdot g} = y_c + \frac{\alpha \cdot v_c^2}{2 \cdot g} + \xi \cdot \frac{v_c^2}{2 \cdot g} \quad (8.10)$$

přičemž

$$v_c = \frac{Q}{y_c \cdot b} \quad (8.11)$$

$$y_c = \varepsilon \cdot H \quad (8.12)$$

$$\frac{1}{\sqrt{\alpha + \xi}} = \varphi \quad (8.13)$$

$$\varphi \cdot \varepsilon = \mu_v \quad (8.14)$$

Dostaneme rovnici výtoku pod stavidlem

$$Q = \mu_v \cdot H \cdot b \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot \left(y_h + \frac{\alpha \cdot v_h^2}{2 \cdot g} - \varepsilon \cdot H \right)} \quad (8.15)$$

kde μ_v – součinitel výtoku [-],
 H – vzdálenost mezi dnem a úrovní spodní hrany mostovky [m],
 ε – součinitel kontrakce [-].

Tlakové proudění, případ, kdy je zatopený jak vtok, tak i výtok, lze odvodit z Bernoulliho rovnice mezi profily 1-3 (Obr. 23)

$$y_h + \frac{\alpha \cdot v_h^2}{2 \cdot g} = y_d + \frac{\alpha \cdot v_H^2}{2 \cdot g} + \xi \cdot \frac{v_H^2}{2 \cdot g} \quad (8.16)$$

přičemž

$$v_H = \frac{Q}{S_H} \quad (8.18)$$

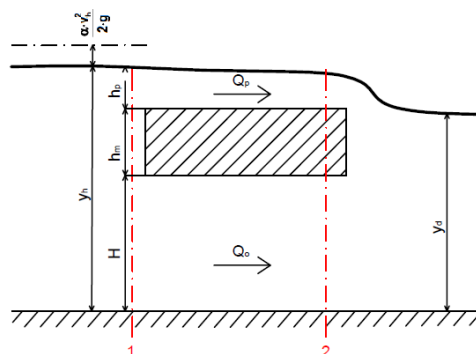
$$\frac{1}{\sqrt{\alpha + \xi}} = C_{d0} \quad (8.19)$$

Dosažením dostaneme rovnici pro výtok zatopeným otvorem

$$Q = C_{d0} \cdot S_H \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot \left(y_h + \frac{\alpha \cdot v_h^2}{2 \cdot g} - y_d \right)} \quad (8.20)$$

kde C_{d0} – součinitel průtoku pro výtok zatopeným otvorem [-],
 S_H – průtočná plocha pod mostním objektem [m²].

Poslední možnou situací proudění mostními objekty je případ, kdy voda přepadá přes mostní konstrukci.



Obr. 24 Přeléváná mostovka

Průtok pod mostovkou Q_o spočteme podle rovnice výtoku zatopeného otvoru (8.20) a průtok nad mostovkou z rovnice přepadu

$$Q_p = \sigma_z \cdot m \cdot b_p \cdot \sqrt{2 \cdot g} \cdot \left(h_p + \frac{\alpha \cdot v_h^2}{2 \cdot g} \right)^{\frac{3}{2}} \quad (8.22)$$

kde Q_p – průtok nad mostovkou [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$],
 σ_z – součinitel zatopení [-],
 m – součinitel přepadu [-],
 b_p – šířka přepadového paprsku [m],
 h_p – přepadová výška [m].

Celkový průtok mostním objektem

$$Q = Q_o + Q_p \quad (8.23)$$

8.2 Matematický model

Základními vstupními údaji při tvorbě jednorozměrného modelu jsou:

- zaměřené příčné profily
- okrajová podmínka
- součinitel drsnosti

Zaměřené příčné profily bylo potřeba pro výpočet rozšířit pomocí vrstevnicových map do předpokládaného rozsahu záplavy.

Jako horní okrajová podmínka byly použity průtoky (Tabulka 6) získané ze starších studií. Hodnota průtoku se v programu HEC-RAS zadává od horního profilu a program předpokládá, že průtok zůstává konstantní ve směru proudění. Abychom zohlednili boční přítoky, můžeme hodnotu průtoku změnit v kterémkoli příčném řezu. V řešeném úseku Olše byl zohledněn jeden boční přítok a to pravostranný přítok Puncówky (ř. km 38.500).

Hydrologický profil	Datum pořízení	Říční kilometr	Q ₅	Q ₂₀	Q ₁₀₀	Třída přesnosti
Olše nad Puncówkou	11. 11. 2011	38.50	271	433	655	II.
Olše nad Bobrówkou	11. 11.. 2011	35.40	280	449	682	II.

Tabulka 6 Hodnoty horních okrajových podmínek (O_N) v $m^3 \cdot s^{-1}$

Volba dolní okrajové podmínky vychází z předpokladu říčního proudění a do modelu se zadává známá hladina v profilu na dolním úseku. Hodnoty dolních okrajových podmínek (Tabulka 7) použitých při výpočtu byly získány ze starších studií, které se rovněž zabývaly řekou Olší.

Staničení [ř. km]	Hladina Q ₅ [m n.m.]	Hladina Q ₂₀ [m n.m.]	Hladina Q ₁₀₀ [m n.m.]
36.418	265.44	265.87	266.96

Tabulka 7 Hodnoty dolních okrajových podmínek

Další vstupní hodnotou byl Manningův součinitel drsnosti. Hodnoty součinitele drsnosti přiřazené jednotlivým plochám inundace jsou uvedené v následující tabulce (Tabulka 8). Podrobnějšímu popisu volby součinitele drsnosti koryta toku je věnována kapitola 8.3 Kalibrace modelu.

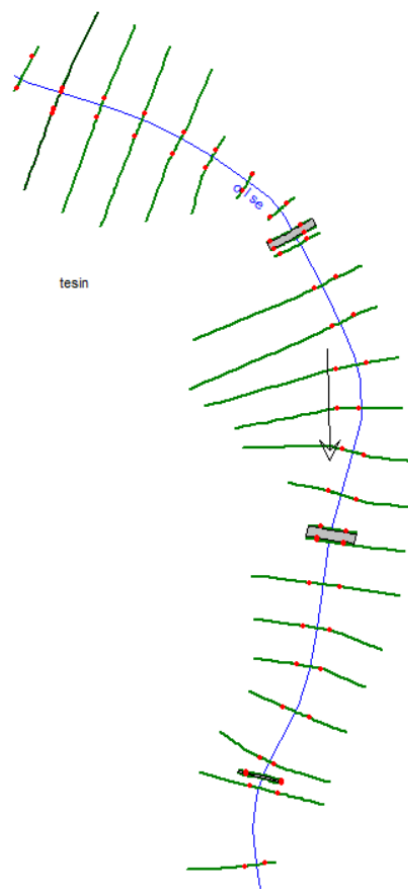
Název	Stručný popis území	Součinitel drsnosti
Trávníky	Udržovaný povrch porostlý trávou	0.04
Křoviny	Křoviny střední až velké hustoty	0.06
Cesty	Asfaltové cesty, chodníky, asfaltové plochy	0.04
Zahrady	Oplocené a zastavěné území	0.1 - 0.15

Tabulka 8 Hodnoty součinitele drsnosti inundačního území [6]

Před zahájením výpočtu byly příčné objekty nacházející se na toku (viz kapitola 3.1 Mostní objekty) doplněny příslušnými hodnotami odporového součinitele C_D (Obr. 25) zohledňující tvar pilíře.

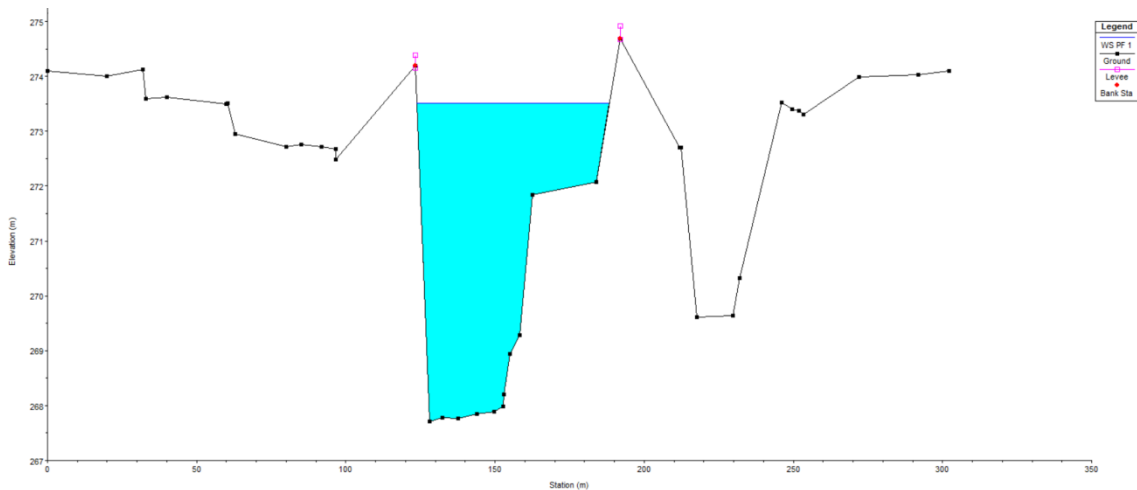
Pier Shape	Drag Coefficient C_D
Circular pier	1.20
Elongated piers with semi-circular ends	1.33
Elliptical piers with 2:1 length to width	0.60
Elliptical piers with 4:1 length to width	0.32
Elliptical piers with 8:1 length to width	0.29
Square nose piers	2.00
Triangular nose with 30 degree angle	1.00
Triangular nose with 60 degree angle	1.39
Triangular nose with 90 degree angle	1.60
Triangular nose with 120 degree angle	1.72

Obr. 25 Hodnoty odporového součinitele C_D pro různé tvary pilířů [9]



Obr. 26 Schématické znázornění geometrického modelu Olše v řešeném úseku

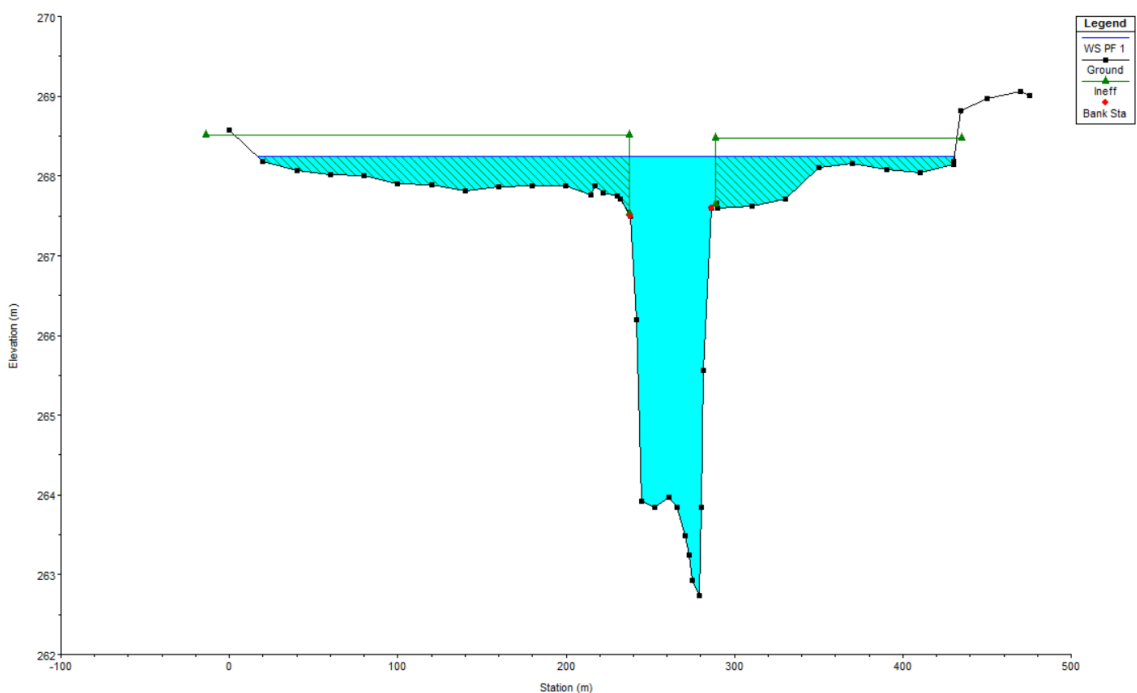
Další využitou funkcí programu HEC-RAS bylo modelování hrázek, tzv. *Levees* (z anglického originálu). Funkce *Levees* umožňuje omezit proudění vody v kterémkoliv místě příčného profilu. Umístění pravé, respektive levé hrázky zamezí vniknutí vody do oblasti napravo, respektive nalevo od hrázky, pokud nedojde k jejich přelití.



Obr. 27 Ukázka využití funkce Levees

(WS - hladina vody v profilu, Ground - terén, Levee - hrázka, Bank Sta - úroveň břehů, Elevation - převýšení, Station - staničení)

Při výpočtu průběhu hladin stoleté vody došlo v některých částech řešeného úseku k rozlivům vody do zastavěného území. V těchto částech inundačního území tvoří zástavba společně s jinými objekty překážku a dá se předpokládat, že voda v těchto místech neproudí, nebo že je rychlost proudění velmi malá a zanedbatelná. Pro zohlednění této skutečnosti byla v programu HEC-RAS využita funkce neaktivní plochy, tzv. *Ineffective Flow Area* (z anglického originálu). Voda v neaktivních plochách nadále zůstává součástí výpočtů, ale není zahrnuta do aktivní průtočné plochy.



Obr. 28 Ukázka využití funkce Ineffectiv Area Flow

(WS - hladina vody v profilu, Ground - terén, Ineff - neaktivní plocha, Bank Sta - úroveň břehů, Elevation - převýšení, Station - staničení)

8.3 Kalibrace modelu

Kalibrace modelu spočívá ve stanovení odporu koryta pro povodňový průtok. Kalibrace byla provedena pro poslední významnou povodeň z jara roku 2010. Velikost průtoku a úroveň hladiny vody během povodně byly naměřeny na limnigrafické stanici nacházející se na pravém břehu řeky Olše na polské straně (ř. km 37.500). Z naměřených hodnot a následného zohlednění přítoků Ropičnaky, Sadového potoka a Puncówky byl stanoven kulminační průtok v centru Českého Těšína o hodnotě $610 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

8.3.1 Postup výpočtu

Vstupní hodnotou výpočtu je hodnota povodňového průtoku a příslušející kóta hladiny změřené na limnigrafické stanici. Nejprve byla v modelu definována dolní okrajová podmínka a hodnota Manningova součinitele drsnosti, která byla zvolena po celé délce řešeného úseku konstantní. Následně byl proveden výpočet a vykreslen průběh hladiny. Jestliže kóta hladiny v profilu limnigrafické stanice odpovídala úrovni hladiny naměřené během povodně, dalo se předpokládat, že zvolená hodnota odporového součinitele je hledanou hodnotou. Pokud se hladiny v porovnávaném profilu lišily, zvolila se jiná hodnota součinitele odporu a výpočet byl opakován, dokud se hodnoty úrovní hladin neshodovaly.

Při prvním výpočtu byla zvolena drsnost pro koryto i břehy řeky Olše stejná, a to 0,04. Jelikož při této hodnotě vycházela úroveň hladiny v profilu limnigrafické stanice nižší zhruba o 25 cm, nebyl výpočet dále prováděn. Pro dosažení shodných úrovní hladin vody v profilu limnigrafu by bylo zapotřebí podstatně navýšit hodnotu drsnosti, což by neodpovídalo skutečnosti, a proto byla drsnost 0,04 považována za konečnou hodnotu pro koryto Olše. Výsledky kalibrace jsou uvedeny v tabulce (Tabulka 9).

Staničení [ř. km]	Vodní stav [cm]	Úroveň hladiny při povodni [m n. m.]	Úroveň hladiny 1D modelu [m n. m.]
37.500	789	271.00	270.77

Tabulka 9 Výsledky kalibrace 1D modelu

8.4 Výsledky výpočtů

Výsledky výpočtů průběhů hladin ustáleného nerovnoměrného proudění pro zvolené průtoky s dobou opakování pět, dvacet a sto let jsou graficky znázorněny v podélném profilu (Příloha P. 4.) v měřítku 1:10000/100. Hodnoty úrovní vypočtených hladin jsou uvedené v tabulce psaného podélného profilu (Příloha P. 5.) společně s úrovní dna a kótami levého a pravého břehu v jednotlivých příčných profilech.

Výsledky proudění mostními objekty na řece Olši jsou uvedeny v příložené tabulce (Tabulka 10). U každého objektu jsou uvedeny kóty dolní a horní hrany mostovky a úrovně hladin příslušejících N-letých průtoků. V posledním sloupci tabulky je hodnota

Δh [m] zastupující výškový rozdíl mezi dolní hranou mostovky a nejvyšší úrovní hladiny proudění, tj. hladina při průtoku Q_{100} .

Objekt	Staničení [ř. km]	Dolní hrana mostovky [m n. m.]	Horní hrana mostovky [m n. m.]	Kóta hladiny [m n. m.] při Q_N			Δh [m]
				Q_5	Q_{20}	Q_{100}	
Železniční most	36.502	268.80	269.67	265.89	266.63	267.53	1.27
Silniční most	37.174	271.09	272.96	268.19	269.19	270.30	0.89
Silniční most	37.932	272.69	273.65	270.17	271.12	272.14	0.55
Lávka pro pěší	38.529	275.66	276.56	271.44	272.42	273.52	2.16

Tabulka 10 Hodnoty úrovní hladin pod mostními objekty

Z tabulky je zřejmé, že u žádného z objektů nedošlo k zatopení vtoku, ve všech případech se tedy jedná o proudění s volnou hladinou. Rozdíl mezi spodní hranou mostovky a úrovní hladiny proudění při Q_{100} Δh je vždy větší než požadovaná minimální hodnota 0,5 m.

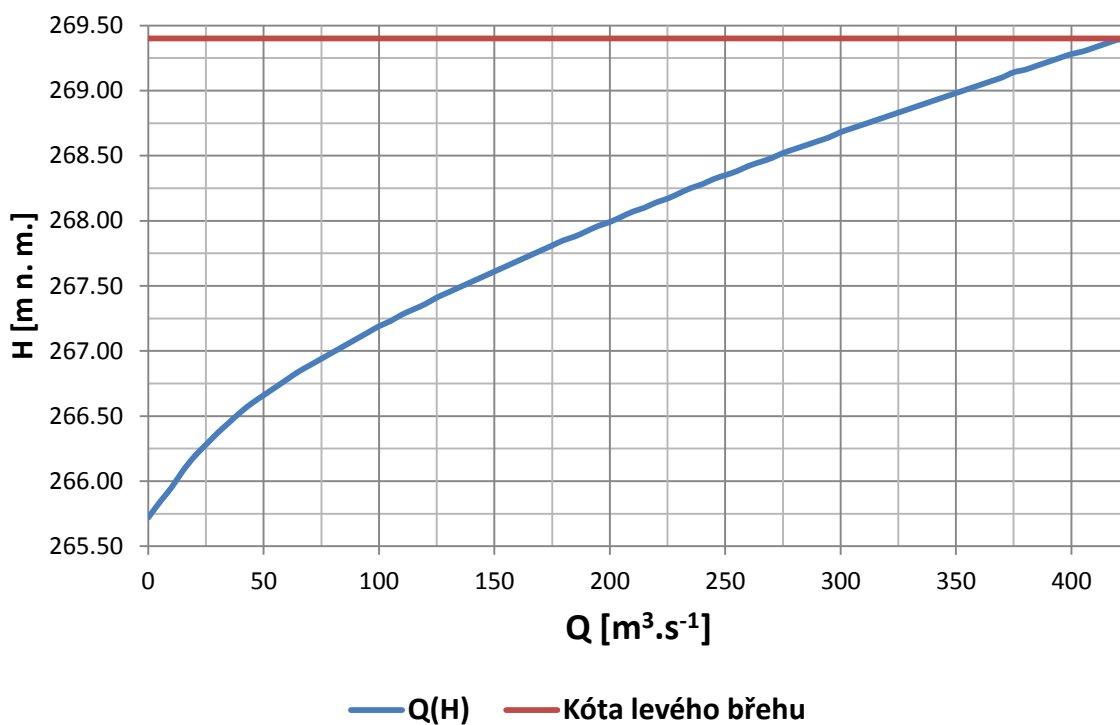
Po kalibraci modelu na povodeň z jara roku 2010 byly stanoveny následující hodnoty součinitele drsnosti (Tabulka 11).

Název	Stručný popis území	Součinitel drsnosti
Koryto Olše	Koryto Olše v centru Českého Těšína po kalibraci na povodeň z roku 2010	0.04
Trávníky	Udržovaný povrch porostlý trávou	0.04
Křoviny	Křoviny střední až velké hustoty	0.06
Cesty	Asfaltové cesty, chodníky, asfaltové plochy	0.04
Zahrady	Oplocené a zastavěné území	0.1 - 0.15

Tabulka 11 Výsledné hodnoty součinitele drsnosti

8.5 Stanovení kapacity koryta

Kapacita koryta řešeného úseku byla stanovena pro příčný profil s nejmenší kapacitou. Z podélného profilu, grafického znázornění průběhu hladin ustáleného nerovnoměrného proudění spočteného pomocí 1D modelu, byl zjištěn nejméně kapacitní profil koryta, tj. profil ř. km 37.312. Nejprve byla stanovena výšková kóta nižšího z břehů, tj. kóta levého břehu na úrovni 269.40 m n. m.. Při vystoupení hladiny vody na úroveň kóty levého břehu lze předpokládat dosažení maximální kapacity koryta. Výpočet byl proveden pro průtoky s krokem $5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. K vybřežení došlo při průtoku $425 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Pro zjištění přesné hodnoty kapacitního průtoku koryta (Q_{kap}) byl interval mezi průtoky snižen na hodnotu $1 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ a byl stanoven $Q_{\text{kap}} = 422 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Závislost mezi průtokem a vodním stavem je charakterizován konsumpční křivkou (Obr. 29). Výsledky výpočtu kapacity koryta jsou v příložené tabulce (Tabulka 12).



Obr. 29 Konsumpční křivka koryta pro vybraný profil (ř. km 37.312)

Staničení [ř. km]	Kóta levého břehu [m n. m.]	Vodní stav [m n. m.]	$Q_{\text{kap}} [\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}]$
37.312	269.40	269.40	422

Tabulka 12 Výsledky výpočtu kapacity koryta řeky Olše v řešeném úseku

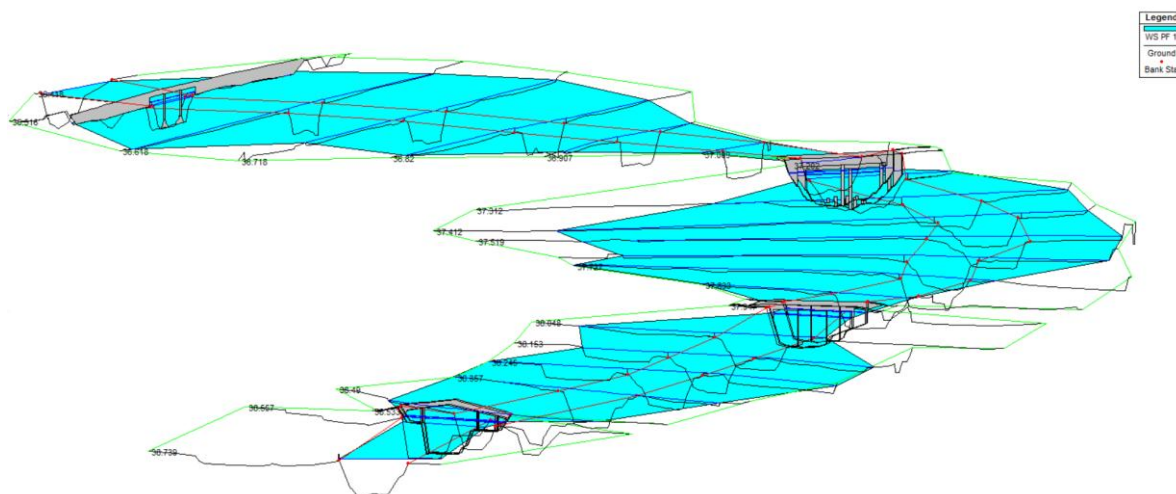
9 Návrh rozsahu záplavového území

Stanovení rozsahu záplavového území v centru Českého Těšína vyplývá z výpočtů průběhů hladin ustáleného nerovnoměrného proudění v programu HEC-RAS pro průtoky Q_5 , Q_{20} a Q_{100} . Základem pro vykreslení záplavové čáry a následného návrhu rozsahu záplavového území je přesné stanovení průsečíků hladiny vody zmíněných průtoků v jednotlivých příčných profilech s terénem.

Průsečíky hladiny vody s příčnými profily jsou dány dvěma souřadnicemi v systému S-JTSK a výškovou kótou v systému Balt po vrovnání.

Na následujícím obrázku (Obr. 30), který je výstupem z 1D modelu, je pro ukázkou znázorněn rozsah rozlivu pro průtok Q_{100} na Olši. Takto získané body tvořící hranici záplavové oblasti byly vyneseny na mapový podklad a spojeny v uzavřený polygon. Sestrojené záplavové čáry byly ručně poupraveny, aby se zohlednil přístup jednorozměrného modelu, který uvažuje konstantní průběh hladiny v celém profilu.

Rozsahy záplavových území pro průtoky Q_5 , Q_{20} a Q_{100} jsou zobrazeny na mapovém podkladu ZABAGED v měřítku 1:10 000 (Příloha P. 2.).



Obr. 30 Ukázka z programu HEC-RAS

(WS - hladina vody v profilu, Ground - terén, Bank Sta - úroveň břehů)

Vymezení aktivní zóny záplavového území není součástí bakalářské práce, avšak podle platné metodiky stanovení AZZÚ lze rozsah aktivní zóny ztotožnit s rozsahem záplavového území dvacetileté vody.

10 Posouzení ochranné zídky na ovlivnění odtokových poměrů

Posuzovaný objekt se nachází na pravém břehu řeky Olše na ulici Aleja Jana Lyska na polské straně v úseku ř. km 37.227 až ř. km 37.460. Jedná se o opěrnou zeď vybudovanou podél asfaltové cesty, sloužící jakou součást ochrany před povodněmi.



Obr. 31 Opěrná zeď podél ulice Aleja Jana Lyska

Ovlivnění této stavby na odtokové poměry v centru Českého Těšína bylo posuzováno pro pětiletou (Q_5), dvacetiletou (Q_{20}) a stoletou vodu (Q_{100}). Při průchodu Q_5 a Q_{20} nedosahují hladiny vody na úroveň zdi, nedojde tedy k ovlivnění proudění touto stavbou. Při výpočtu proudění pro Q_{100} došlo k nepatrným změnám v průběhu hladiny především v úseku nad posuzovaným objektem. Navýšení hladiny vody je v rozmezí 0 - 1 cm, dojde tedy pouze k nepatrným změnám v rozsahu záplavového území a není nutné navrhovat kompenzační opatření.

Ochranná zídka byla posouzena jednorozměrným výpočtem v programu HEC-RAS, který počítá pouze s podélnou složkou rychlosti a zanedbává složky rychlosti v příčném a svislém směru. Pro spolehlivější výsledek proto navrhuji použít dvourozměrný model. 1D model vypočte poměrně přesně výslednou průtočnou plochu příčného profilu, ale 2D model výpočtem podélné a příčné složky rychlosti lépe vystihne usměrnění proudu překážkou a zohlední tak její obtékání.

Obecně se dá tedy říct, že dvourozměrné modelování proudění vody v otevřených korytech dobře popisuje proudění členitým inundačním územím a vliv jednotlivých objektů na proudové pole. Proto je využití 2D modelu v případech, kdy posuzujeme ovlivnění objektu na rozsah záplavového území, věrohodnější.

11 Závěr

Na základě výpočtu průběhů hladin pro průtoky s dobou opakování 5, 20 a 100 let byl navržen rozsah záplavového území na Olši v centru Českého Těšína. Záplavové čáry, tedy hranice vytyčující záplavové území, byly přeneseny na mapový podklad rastrové základní mapy ZABAGED 1:10 000. Vykreslením těchto linií bylo zjištěno, že při výskytu stoleté vody dojde k částečnému zaplavení centra města, zatímco při výskytu průtoku s dobou opakování 20 let dojde jen k nepatrným rozlivům v některých částech řešeného úseku. Při průchodu pětileté vody nedojde k vybřežení vody z koryta. Výpočtem byly zároveň posouzeny kapacity mostních objektů nacházející v části řešeného úseku Olše. Mostní objekty jsou natolik kapacitní, že se v případě všech čtyř objektů jedná, při průchodu nejvyššího průtoku Q_{100} , o proudění s volnou hladinou a nedojde tak k zatopení vtoku ani výtoku mostu.

V další části byl zjišťován kapacitní průtok s výslednou hodnotou $Q_{\text{kap}} = 422 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Kapacita koryta byla řešena pro nejméně kapacitní profil, tj. pro příčný profil na ř. km 37.312. Spočtená hodnota kapacitního průtoku se blíží hodnotě průtoku s dobou opakování 20 let, při kterém již došlo k vybřežení vody z koryta v některých částech úseku. Výsledná hodnota kapacitního průtoku se tedy dá považovat za věrohodnou.

Při posouzení vlivu nově vybudované ochranné zídky na pravém břehu řeky Olše v úseku ř. km 37.227 až ř. km 37.460 byly zjištěny změny pouze v případě průběhu hladiny Q_{100} . Změny byly však nepatrné a není třeba navrhovat kompenzační opatření vůči této stavbě.

Výstupem bakalářské práce je situace se zakreslením záplavového území pro průtoky Q_5 , Q_{20} a Q_{100} na mapovém podkladu ZABAGED v měřítku 1:10 000, podélný profil toku, vykreslení příčných profilů toku a fotodokumentace pořízena v rámci místního šetření zkoumaného úseku.

12 Použitá literatura

- [1] BOOR, B., KUNŠTÁTSKÝ, J., PATOČKA, C., *Hydraulika pro vodohospodářské stavby*. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1968, 520 s.
- [2] BROSCH, Otto, *Povodí Odry*. Ostrava: Nakladatelství ANAGRAM s. r. o., 2005, 323 s. ISBN 80-7342-048-1.
- [3] ČESKÝ HYDROMETEOROLOGICKÝ ÚSTAV, Úsek hydrologie, oddělení povrchových vod [online]. [cit. 2016-03-09] Dostupné z WWW: <<http://voda.chmi.cz/opv/>>
- [4] HAVLÍK, A., PICEK, T., *Proudění mostními objekty a propustky* [přednáška]. Praha: ČVUT, 2014. Dostupné z WWW: <http://hydraulika.fsv.cvut.cz/Hydraulika/Hydraulika/Predmety/HY2V/ke_stazeni/prednasky/HY2V_08_Mosty_propustky.pdf>
- [5] HYDROLOGICKÝ SERVER ČHMÚ, *Vyhodnocení povodní v květnu a červnu 2010, Souhrnná zpráva VUV TGM* [online]. 2011 [cit. 2016-03-15] Dostupné z WWW: <http://voda.chmi.cz/pov10/pdf/vuv_szpr.pdf>
- [6] MAREŠ, K., *Úpravy toků, Navrhování koryt*. Praha: ČVUT, 1997, 210 s. ISBN 80-01-00903-3.
- [7] *Metodika stanovení aktivní zóny záplavového území* [duben 2005].
- [8] MINISTERSTVO ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ, *Metodika tvorby map povodňového nebezpečí a povodňových rizik*. Praha, 2012, 91 s.
- [9] PODNIK POVODÍ ODRY, s. p., *Atlas hlavních vodních toků povodí Odry* [online]. 2012 [cit. 2016-03-09] Dostupné z WWW: <http://www.pod.cz/atlas_toku/olse.html#bilance>
- [10] US ARMY CORPS OF ENGINEERS, *Hydrologic Engineering Center* [online]. [cit. 2016-04-22] Dostupné z WWW: <<http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/features.aspx>>
- [11] *Vyhláška Ministerstva životního prostředí č. 236/2002 Sb., o způsobu a rozsahu zpracování návrhu a stanovování záplavových území*.
- [12] VÝZKUMNÝ ÚSTAV VODOHOSPODÁŘSKÝ T. G. MASARYKA, *Prohlížení záplavových území* [online]. 2014 [cit. 2016-04-24] Dostupné z WWW: <<http://www.dibavod.cz/70/prohlizecka-zaplavovych-uzemi.html>>
- [13] *Zákon č. 254/2001 Sb., o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon)*.

Seznam obrázků

Obr. 1 Vodní tok Olše na území České republiky [9]	9
Obr. 2 Horní úsek Olše (ř. km 72.1) [9]	10
Obr. 3 Jez sloužící k zásobení Třineckých železáren užitkovou vodou [9].....	10
Obr. 4 Vliv důlní těžby (ř. km 18.5) [9]	10
Obr. 5 Úsek nad soutokem Olše s Odrou [9].....	10
Obr. 6 Vyznačení řešeného úseku vodního toku Olše	11
Obr. 7 Pohled na koryto v horní části úseku.....	12
Obr. 8 Zaústění Puncówky (ř. km 38.500), pohled proti vodě	12
Obr. 9 Úsek pod zaústěním Puncówky (ř. km 38.500).....	13
Obr. 10 Ř. km 37.500 limnigrafická stanice při pravém břehu na polské straně	14
Obr. 11 Železniční most ř. km 35.502	15
Obr. 12 Silniční most ř. km 37.174.....	15
Obr. 13 Pozůstatky pilířů pod silničním mostem (ř. km 37.174), pohled proti vodě	16
Obr. 14 Silniční most ř. km 37.932.....	17
Obr. 15 Lávka pro pěší ř. km 38.529	17
Obr. 16 Časový vývoj průběhu průtoků na Olši během povodně na jaře 2010 [5]	22
Obr. 17 Porovnání průběhů povodní v červenci 1997 a květnu 2010 na Olši ve Věřňovicích [5].....	22
Obr. 18 Ukázka záplavového území v centru Českého Těšína s vymezenou aktivní zónou záplavového území pro Q_{100} [12].....	26
Obr. 19 Ukázka z programu HEC-RAS - Podélný profil vodního toku.....	28
Obr. 20 Ukázka z programu HEC-RAS - Perspektiva vodního toku	28
Obr. 21 Nerovnoměrný pohyb vody v úseku přirozeného koryta	30
Obr. 22 Proudění mostními objekty.....	31
Obr. 23 Proudění mostními objekty.....	32
Obr. 24 Přeléváná mostovka	34
Obr. 25 Hodnoty odporového součinitele CD pro různé tvary pilířů [9]	36
Obr. 26 Schématické znázornění geometrického modelu Olše v řešeném úseku	36
Obr. 27 Ukázka využití funkce Levees.....	37
Obr. 28 Ukázka využití funkce Ineffectiv Area Flow	37
Obr. 29 Konsumpční křivka koryta pro vybraný profil (ř. km 37.312).....	40

Obr. 30 Ukázka z programu HEC-RAS.....	41
Obr. 35 Opěrná zeď podél ulice Aleja Jana Lyska	42

Seznam tabulek

Tabulka 1 Seznam mostů v řešeném úseku řeky Olše.....	14
Tabulka 2 N-leté průtoky (Q_N) v $m^3.s^{-1}$	18
Tabulka 3 m-denní průtoky (Q_m) v $m^3.s^{-1}$	18
Tabulka 4 Povodeň červenec 1970	19
Tabulka 5 Průměrné průtoky a kulminační hodnoty ve vodoměrných stanicích ČHMÚ, červenec 1997	21
Tabulka 6 Hodnoty horních okrajových podmínek (O_N) v $m^3.s^{-1}$	35
Tabulka 7 Hodnoty dolních okrajových podmínek	35
Tabulka 8 Hodnoty součinitele drsnosti inundačního území [6]	35
Tabulka 9 Výsledky kalibrace 1D modelu	38
Tabulka 10 Hodnoty úrovní hladin pod mostními objekty.....	39
Tabulka 11 Výsledné hodnoty součinitele drsnosti	39
Tabulka 12 Výsledky výpočtu kapacity koryta řeky Olše v řešeném úseku	40

Seznam příloh

P. 1. Fotodokumentace	
P. 2. Záplavová území v centru Českého Těšína	M 1:10000
P. 3. Celková situace zkoumaného úseku	M 1:10000
P. 4. Podélný profil	M 1:10000/100
P. 5. Psaný podélný profil	
P. 6. Příčné řezy	
P. 6. 1. Příčný řez číslo 1, 2, 3, 4	M 1:200/200
P. 6. 2. Příčný řez číslo 5, 6, 7, 8	M 1:200/200
P. 6. 3. Příčný řez číslo 9, 10, 11, 12	M 1:200/200
P. 6. 4. Příčný řez číslo 13, 14, 15, 16	M 1:200/200
P. 6. 5. Příčný řez číslo 17, 18, 19, 20	M 1:200/200
P. 6. 6. Příčný řez číslo 21, 22, 23	M 1:200/200

Příloha P. 1. Fotodokumentace

Foto 1	Železniční most ř. km 36.502, začátek řešeného úseku	50
Foto 2	Pohled na železniční most ř. km 36.502.....	50
Foto 3	Ř. km 36.800 zanesená část koryta Olše	50
Foto 4	Ř. km 37.000	51
Foto 5	Úsek pod silničním mostem (ř. km 37.174)	51
Foto 6	Pozůstatky pilířů pod silničním mostem (ř. km 37.174), pohled proti vodě.....	51
Foto 7	Pozůstatky pilířů pod silničním mostem ř. km 37.174.....	52
Foto 8	Silniční most s jedním středovým pilířem ř. km 37.174	52
Foto 9	Opěrná zídka na ulici Aleja Jana Lyska, pohled z pravého břehu.....	52
Foto 10	Opěrná zídka nad silničním mostem, pravý břeh, ulice Aleja Jana Lyska.....	53
Foto 11	Pohled na silniční most ř. km 37.174	53
Foto 12	Ř. km 37.500	53
Foto 13	Ř. km 37.500 limnigrafická stanice, pravý břeh	54
Foto 14	Ř. km 37.650	54
Foto 15	Ř. km 37.932 pohled ze silničního mostu	54
Foto 16	Zarostlá část koryta Olše pod silničním mostem ř. km 37.932	55
Foto 17	Ř. km 37.932 silniční most se dvěma pilíři	55
Foto 18	Ř. km 38.450 úsek pod zaústěním Puncówky.....	55
Foto 19	Ř. km 38.500 zaústění Puncówky, pohled proti vodě	56
Foto 20	Ř. km 38.500 zaústění Puncówky	56
Foto 21	Ř. km 38.529 pohled z lávky proti vodě	56
Foto 22	Ř. km 38.529 pohled z lávky po vodě	57
Foto 23	Ř. km 38.500 29 lávka pro pěší	57
Foto 24	Ř. km 38.800 úsek pod zaústěním Sadového potoka	57
Foto 25	Ř. km 38.817 přítok Sadového potoka, konec řešeného úseku	58



Foto 1 Železniční most ř. km 36.502, začátek řešeného úseku



Foto 2 Pohled na železniční most ř. km 36.502



Foto 3 Ř. km 36.800 zanesená část koryta Olše



Foto 4 Ř. km 37.000



Foto 5 Úsek pod silničním mostem (ř. km 37.174)



Foto 6 Pozůstatky pilířů pod silničním mostem (ř. km 37.174), pohled proti vodě



Foto 7 Pozůstatky pilířů pod silničním mostem ř. km 37.174



Foto 8 Silniční most s jedním středovým pilířem ř. km 37.174



Foto 9 Opěrná zídka na ulici Aleja Jana Lyska, pohled z pravého břehu



Foto 10 Opěrná zídka nad silničním mostem, pravý břeh, ulice Aleja Jana Lyska



Foto 11 Pohled na silniční most ř. km 37.174



Foto 12 Ř. km 37.500



Foto 13 Ř. km 37.500 limnigrafická stanice, pravý břeh



Foto 14 Ř. km 37.650



Foto 15 Ř. km 37.932 pohled ze silničního mostu



Foto 16 Zarostlá část koryta Olše pod silničním mostem ř. km 37.932



Foto 17 Ř. km 37.932 silniční most se dvěma pilíři



Foto 18 Ř. km 38.450 úsek pod zaústěním Puncówky



Foto 19 Ř. km 38.500 zaústění Puncówky, pohled proti vodě



Foto 20 Ř. km 38.500 zaústění Puncówky



Foto 21 Ř. km 38.529 pohled z lávky proti vodě



Foto 22 Ř. km 38.529 pohled z lávky po vodě



Foto 23 Ř. km 38.500 29 lávka pro pěší



Foto 24 Ř. km 38.800 úsek pod zaústěním Sadového potoka



Foto 25 Ř. km 38.817 přítok Sadového potoka, konec řešeného úseku

Příloha P. 5. Psaný podélný profil

Staničení [ř. km]	Kóta dna [m n. m.]	Kóta levý břeh [m n. m.]	Kóta pravý břeh [m n. m.]	Úroveň hladiny [m n. m.] při Q_N		
				Q_5	Q_{20}	Q_{100}
36.418	260.99	267.03	267.13	265.44	265.87	266.96
36.498	263.22	267.28	267.50	265.65	266.22	267.28
36.502	Železniční most š = 5.9 m					
36.506	263.22	267.33	267.50	266.21	267.02	267.96
36.516	263.22	267.36	267.50	266.25	267.07	268.01
36.618	262.74	267.50	267.60	266.51	267.34	268.24
36.718	263.51	268.20	268.06	266.86	267.75	268.72
36.820	262.99	268.33	268.19	267.13	268.02	269.01
36.907	263.92	268.34	268.70	267.34	268.24	269.22
37.009	264.37	269.19	269.37	267.60	268.53	269.51
37.109	264.55	270.57	270.01	267.87	268.84	269.89
37.164	264.45	272.55	273.00	268.07	269.08	270.20
37.174	Silniční most š = 17.1 m					
37.184	264.45	272.55	273.00	268.29	269.31	270.49
37.202	264.45	272.85	269.55	268.31	269.32	270.48
37.312	265.04	269.40	269.44	268.55	269.55	270.75
37.412	265.66	269.82	270.12	268.79	269.76	270.85
37.519	265.83	270.66	270.26	269.09	270.02	271.18
37.623	265.81	270.21	270.72	269.40	270.33	271.32
37.727	266.24	270.79	271.38	269.67	270.61	271.58
37.833	266.31	271.56	272.26	269.93	270.89	271.90
27.923	266.86	273.00	273.81	270.12	271.08	272.09
37.932	Silniční most š = 15.4 m					
37.941	266.86	273.00	273.81	270.21	271.16	272.18
37.947	266.86	273.00	273.81	270.23	271.18	272.20
38.048	266.74	271.67	272.26	270.44	271.38	272.42

Staničení [ř. km]	Kóta dna [m n. m.]	Kóta levý břeh [m n. m.]	Kóta pravý břeh [m n. m.]	Úroveň hladiny [m n. m.] při Q_N		
				Q_5	Q_5	Q_5
38.153	266.43	271.77	272.31	270.61	271.60	272.61
38.245	266.84	272.02	272.56	270.81	271.81	272.81
38.357	267.09	272.57	273.01	271.10	272.14	273.24
38.490	267.15	272.62	273.10	271.30	272.42	273.55
38.525	267.71	274.83	274.68	271.42	272.39	273.51
38.529	Lávka pro pěší š = 4.35 m					
38.533	267.71	274.83	274.68	271.44	272.44	273.55
38.557	267.71	274.19	274.68	271.51	272.55	273.59
38.739	267.97	273.64	273.24	271.92	273.00	273.97