

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STAVEBNÍ

KATEDRA HYDRAULIKY A HYDROLOGIE



**POSOUZENÍ SOUČASNÉHO STAVU A NÁVRH
OPATŘENÍ NA ČERVENÉM POTOCE**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Ivana Marešová, CSc.

Květen 2018

VERONIKA MORAVOVÁ



ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Moravová Jméno: Veronika Osobní číslo: 438458

Zadávací katedra: katedra hydrauliky a hydrologie

Studijní program: SI

Studijní obor: vodní hospodářství a vodní stavby

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce: Posouzení současného stavu a návrh opatření na Červeném potoce

Název bakalářské práce anglicky: Review of present stage and proposal of measures on the Červený brook

Pokyny pro vypracování:

Červený potok mezi obcí Bavoryně a přemostěním u objektu čistírny odpadních vod protéká územím, kde byly vybudovány ochranné hráze. Posuďte kapacitu koryta potoka v jeho současném stavu a posuďte i vliv těchto ochranných hrází na odtokové poměry potoka. Na základě výsledků zvažte i možné navýšení kapacity potoka.

Seznam doporučené literatury:

Raplík, Výbora, Mareš (1989): Úprava tokov

Kemel (2000): Klimatologie, meteorologie, hydrologie. Skripta ČVUT

AOPK ČR (2003): Revitalizace vodního prostředí

Jméno vedoucího bakalářské práce: Ing. Ivana Marešová, CSc

Datum zadání bakalářské práce: 21.2.2018

Termín odevzdání bakalářské práce: 27.5.2018

Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku

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 nutné 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

Čestně tímto prohlašuji, že jsem bakalářskou práci zpracovala samostatně pod vedením Ing. Ivany Marešové, CSc. a že jsem uvedla veškeré použité informační zdroje v souladu s metodickým pokynem ČVUT č. 1/2009 „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.

V Praze, dne

Veronika Moravová

.....

.....

Poděkování

Chtěla bych tímto poděkovat paní Ing. Ivaně Marešové, CSc. za odborné vedení, cenné rady a pomoc při zpracování mé bakalářské práce. Další poděkování patří státnímu podniku Povodí Vltavy, především panu Bc. Filipovi Jandovi za poskytnutí podkladů, které jsem použila při vypracování bakalářské práce.

Anotace

Předmětem bakalářské práce je zhodnocení stávajícího stavu drobného vodního toku Červený potok v obci Bavoryně. Zájmový úsek se nachází mezi říčními kilometry 2,947 – 3,581. Práce se zabývá stanovením kapacity koryta. Součástí zadání je posouzení nově vybudovaných ochranných hrází v blízkosti vodního toku a jejich vliv na odtokové poměry. Pro posouzení byl vytvořen jednorozměrný model v programu HEC–RAS. Zároveň je součástí této práce stanovení rozsahu záplavového území a zhodnocení současného stavu protipovodňové ochrany zájmového úseku v obci. V závěru práce je řešeno možné navýšení kapacity koryta.

Klíčová slova

Proudění, jednorozměrný model, kapacita koryta, otevřené koryto, Červený potok, průtok, záplavové čáry, program HEC–RAS, ochranné hrázky

Annotation

The Bachelor's thesis focuses on the assessment of present current conditions of Červený potok – the small watercourse. Červený potok is located in Bavoryně village. The section, which is described is between 2,947 – 3,581 river mileage. The thesis deals with channel capacity determination. Part of the assignment is the evaluation of new protective levees which are built close to watercourse. The evaluation also marks the effect on flow ratios. The HEC–RAS application was used for creating one–dimensional model, which was necessary for the assessment. Determination of floodplains and evaluation of protective measures present conditions in Bavoryně village is part of this thesis, too. The conclusion of this thesis solves possible increase of channel capacity.

Keywords

Flow, one–dimensional model, channel capacity, Červený potok, flow rate, flood lines, HEC–RAS, protective levees

OBSAH

1.	ÚVOD.....	8
2.	PODKLADY.....	9
2.1.	HYDROLOGICKÉ ÚDAJE.....	9
2.2.	GEODETICKÉ PODKLADY.....	9
2.3.	MAPOVÉ PODKLADY	10
2.4.	DALŠÍ PODKLADY	10
3.	IDENTIFIKAČNÍ ÚDAJE.....	11
3.1.	POPIS TOKU.....	11
3.2.	POPIS ZKOUMANÉHO ÚSEKU	12
3.2.1	OBJEKTY V TOKU	15
4.	PROGRAM HEC-RAS	19
4.1.	VÝPOČET USTÁLENÉHO PROUDĚNÍ.....	19
4.2.	VÝPOČET NEUSTÁLENÉHO PROUDĚNÍ.....	19
4.3.	VÝPOČET TRANSPORTU SPLAVENIN	19
4.4.	ANALÝZA KVALITY VODY	20
5.	HYDROTECHNICKÉ VÝPOČTY	21
5.1.	POSTUP VÝPOČTU USTÁLENÉHO NEROVNOMĚRNÉHO PROUDĚNÍ....	21
5.1.1	REŽIMY PROUDĚNÍ.....	22
5.1.2	VÝPOČET USTÁLENÉHO NEROVNOMĚRNÉHO PROUDĚNÍ	22
5.2.	VÝPOČET PROUDĚNÍ MOSTNÍMI OBJEKTY	24
5.2.1	PROUDĚNÍ MOSTNÍMI OBJEKTY S VOLNOU HLADINOU	24
5.2.2	TLAKOVÉ PROUDĚNÍ MOSTNÍM OTVOREM.....	25
5.3.	VSTUPNÍ DATA	28
5.3.1	GEOMETRIE TOKU.....	28

5.3.2	DRSNOSTNÍ CHARAKTERISTIKY	29
5.3.3	OKRAJOVÉ PODMÍNKY	30
5.4.	OMEZENÍ PROUDĚNÍ.....	30
5.5.	KALIBRACE MODELU	31
5.6.	VÝSLEDKY VÝPOČTU.....	32
5.7.	STANOVENÍ KAPACITY KORYTA	33
5.8.	ROZLIVY V ŘEŠENÉM ÚSEKU.....	34
6.	ROZSAH ZÁPLAVOVÉHO ÚZEMÍ.....	35
6.1.	POROVNÁNÍ ZÁPLAVOVÝCH ČAR	35
7.	POSOUZENÍ OCHRANNÝCH HRÁZEK	36
8.	PROTIPOVODŇOVÁ OPATŘENÍ NA ČERVENÉM POTOCE	40
9.	POVODŇ V OBCI BAVORYNĚ	40
9.1.	PROTIPOVODŇOVÁ OPATŘENÍ V OBCI BAVORYNĚ.....	40
9.1.1	POVODŇOVÝ PLÁN OBCE BAVORYNĚ.....	41
10.	NÁVRH OPATŘENÍ V ZÁJMOVÉM ÚSEKU	43
11.	ZÁVĚR	45
12.	POUŽITÁ LITERATURA.....	46
	SEZNAM OBRÁZKŮ	48
	SEZNAM TABULEK.....	49
	SEZNAM GRAFŮ	49
	SEZNAM PŘÍLOH.....	49

1. ÚVOD

Bakalářská práce se zabývá studií současného stavu a posouzením nově vystavených ochranných hrázek v blízkosti toku. Zájmový úsek se nachází na Červeném potoce v katastrálním území obce Bavoryně, v okrese Beroun. Převážná část úseku se nachází v extravilánu obce.

Práce je rozdělena do několika kapitol. V úvodních kapitolách jsou zhodnoceny použité podklady a popsán současný stav toku a vyskytujících se objektů na něm. Část práce je věnována programu HEC–RAS, pomocí kterého jsou provedeny hydrotechnické výpočty. Pro zhodnocení byl vytvořen jednorozměrný model a využito ustáleného nerovnoměrného proudění.

Na základě výpočtu byla stanovena kapacita koryta a vykresleny záplavové čáry pro průtoky s dobou opakování pět, dvacet a sto let. V další části jsou posouzeny ochranné hrázky postavené kolem objektů na pravé i levé straně toku. Na konci práce je zpracována současná ochrana obce proti povodním a na základě stanovení kapacity koryta zhodnoceno možné navýšení kapacity koryta v zájmovém úseku.

2. PODKLADY

Pro zpracování bakalářské práce byly použity tyto podklady.

Hydrologické podklady

Geodetické podklady

Mapové podklady

Další podklady

2.1. HYDROLOGICKÉ ÚDAJE

Hodnoty m–denních a N–letých průtoků, získané podnikem Povodí Vltavy od ČHMÚ při predešlém stanovení záplavových čar. Hodnoty jsou uvedené v následujících tabulkách (Tab. 1 a Tab. 2).

Tab. 1 – Hodnoty m-denních průtoků

Q_m	Q_{30d}	Q_{90d}	Q_{180d}	Q_{270d}	Q_{330d}	Q_{355d}	Q_{364d}
Průtok (m^3/s)	1,26	0,57	0,27	0,14	0,08	0,06	0,04

Tab. 2 – Hodnoty N-letých průtoků

Q_N	Q_1	Q_2	Q_5	Q_{10}	Q_{20}	Q_{50}	Q_{100}
Průtok (m^3/s)	8,0	13,9	25,00	36,10	50,0	71,8	92,0

2.2. GEODETICKÉ PODKLADY

Geodetické podklady byly převzaty od státního podniku Povodí Vltavy z podkladu geodetického zaměření Červeného potoka v ř. km 0,00 – 20,50 firmou GEFOS a.s. vyhotovené v roce 2007.

Geodetické podklady získané v elektronické podobě obsahovaly:

Podélný profil toku v ř. km 0,00 – 20,50

Příčné profily v ř. km 0,00 – 20,50

Polohopisné a výškopisné zaměření objektů na toku

Situaci s vyznačením břehů a osy vodního toku

Záplavové čáry sestrojené v roce 2007

Zároveň v březnu v roce 2018 došlo k podrobnějšímu zaměření příčných profilů včetně postavených ochranných hrází. Zaměření bylo provedeno opět firmou GEFOS a.s. pro podnik Povodí Vltavy. Zaměření proběhlo v ř. km 3,023 až ř. km 3,510. Na základě tohoto zaměření byly vykresleny příčné profily v ř. km 3,023 a 3,510. V zaslaných podkladech bohužel zcela chyběl zaměřený stupeň v ř. km 2,984 a zaměření příčných profilů na začátku (ř. km 2,947) a konci úseku (ř. km 3,581) bylo nedostatečné, proto v těchto místech proběhlo vlastní zaměření, pomocí již umístěných pevných bodů, nivelačního přístroje a měřičské latě.

Veškeré podklady byly pořízeny ve výškovém systému Balt po vyrovnání a v souřadnicovém systému S–JTSK.

2.3. MAPOVÉ PODKLADY

Základní mapa České republiky

Letecké ortofoto snímky

Digitální model reliéfu 5. generace

Katastrální mapa České republiky

2.4. DALŠÍ PODKLADY

Odtoková studie obce Bavoryně, zpracovaná firmou VH – TRES spol. s.r.o. v roce 2014 pro úsek Červeného potoka od ř. km 3,480 do ř. km 4,866, získaná od starosty obce Bavoryně.

3. IDENTIFIKAČNÍ ÚDAJE

3.1. POPIS TOKU

Červený potok pramení v České republice v pohoří Brdy, přímo v oblasti Vojenského újezdu Brdy, nedaleko hranice bývalé cílové dopadové plochy Jordán. Červený potok vyvěrá severovýchodně od vrchu Houpák s nadmořskou výškou 794 m n.m. a dále protéká územím Brd, kde do Červeného potoku ústí značné množství bezejmenných přítoků.

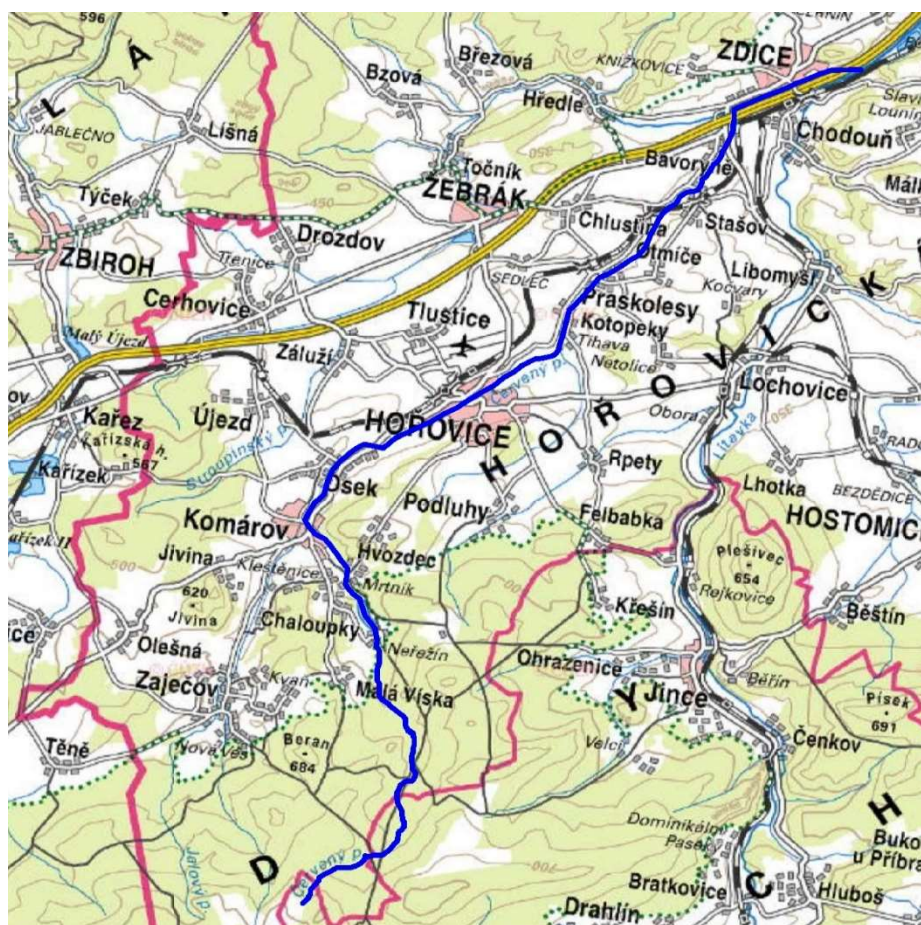
V oblasti Brd tok napájí rybník Pod Valdekem a dále protéká západně od zříceniny hradu Valdek. Území Brd potok opouští u obce Neřežín, kterou dále protéká a za obcí napájí vodní nádrž Zásalská. Červený potok dále v obci Mrtník napájí rybník Dráteník a Červený rybník a pokračuje k městyso Komárov, kterým protéká. V tomto místě se do toku z levé strany vlévá Jalový a Rochlovský potok.

Tok dále teče podél silnice do obce Osek, kde za vesnicí napájí umělým náhonem Žákův rybník. Pokračuje Hořovicemi, kde ve středu města napájí Lázeňský rybník a za městem rybník Valcverk. Potok následně směřuje severně a protéká obcemi Kotopeky a Praskolesy. Před obcí Stašov se do něj vlévá z levé strany tok Chlustina.

Následně protéká obcí Bavoryně, kde pomocí uzavřeného profilu, překonává křížení s dálnicí D5, která spojuje hlavní město se státní hranicí s Německem. Před obcí Zdice se do Červeného potoku z levé strany připojuje Stroupínský potok. Potok dále protéká obcí Zdice v pravostranném souběhu s dálnicí.

Za touto obcí tok protéká pod dálničním mostem a ve vzdálenosti 120 m od mostu ústí do řeky Litavky, jako její levostranný přítok. Litavka dále teče do Berouna, kde se vlévá do Berounky.

Červený potok je vyznačen na přiloženém Obr. 1.

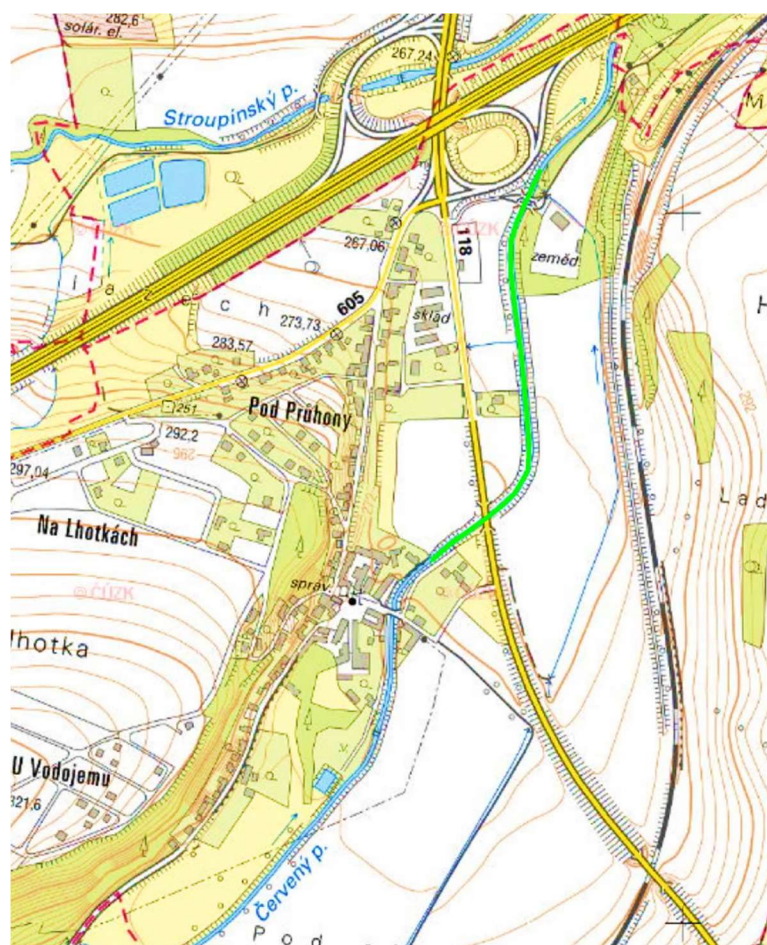


Obr. 1 – Vyznačení toku na mapě [3]

3.2. POPIS ZKOUMANÉHO ÚSEKU

Zájemový úsek se nachází v malé obci Bavoryně, která se nalézá ve Středočeském kraji, v okrese Beroun. V roce 2017 zde bylo evidováno 328 obyvatel [2]. Červený potok protéká střední částí obce Bavoryně. Do správního území Bavoryně vtéká v ř. km 4,380 a opouští jej v ř. km 2,760. Zástavba je převážně situována na levém břehu. Ve východní části obce vede železniční trať č. 170, spojující Plzeň, Prahu a Cheb. Katastrálním územím obce Bavoryně prochází dálnice D5, ze které je pro obec Bavoryně a okolní obce postaven exit 28. Dále územím vede silnice II. třídy č.118 a v severní části obce silnice č. 605.

Řešený úsek je znázorněn na podkladu základní mapy ČR na Obr. 2.



Obr. 2 – Znáornění řešeného úseku toku v obci Bavoryně [3]

Řešený úsek Červeného potoku je vymezen říčními kilometry 2,947 a 3,581. Celková délka řešeného úseku je 0,63 km. Na začátku úseku (ř. km 2,947) je koryto toku ponecháno bez opevnění. Levý břeh je v těchto místech položen výše než pravý. Na pravé straně se nachází parkoviště a vede zde asfaltová cesta. Za stupněm ve dně v ř.km 2,984 dochází k pravostrannému přítoku bezejmenné vodoteče. Problémem při průtoku velkých vod, by mohl být propustek umístěný na této vodoteči. Na Obr.3 je pohled na tok z mostu v ř. km 3,005 směrem po směru proudu. Za mostem v ř. km 3,017 se na levém břehu nachází objekt čistírny odpadních vod pro obci Bavoryně. Objekt je obestavěn ochrannými hrázemi a je postaven na vrcholu těchto hrází. Za budovou ČOV, směrem od toku, se nachází objekt s prodejem dřeva firmy DŘEVONA Bartušek. Na pravém břehu se v těchto místech nachází objekt firmy BURIMEX s.r.o., zabývající se prodejem karavanů. Objekt je obestavěn ochrannými hrázemi. Na Obr. 4 je pohled na tok z mostu v ř. km 3,017 směrem proti proudu.



Obr. 3 – Pohled na koryto toku, foceno ze silničního mostu v ř. km 3,005



Obr. 4 – Pohled na koryto toku, foceno z mostu pro pěší v ř. km 3,017

Koryto toku dále vede bez opevnění, výjimku tvoří zpevnění kolem objektů v toku. Potok je zde přirozeného charakteru, břehy jsou v těchto místech zarostlé, střídají se zde neprůchozí houštiny stromů a keřů s řidšími křovinami. Na pravé straně toku se nachází pole. Na levé straně toku se u mostu v ř. km 3,480 nachází rodinný dům a objekt zabývající se prodejem okrasných dřevin a rostlin. Na Obr. 5 je pohled na koryto toku, tento pohled je focen za mostem v ř. km 3,480 po směru proudu.



Obr. 5 – Pohled na koryto toku, foceno za silničním mostem v ř. km 3,480

Od silničního mostu v ř. km 3,480 do ř. km 3,533 je korytu toku ponechán přirozený charakter, oba břehy jsou však poměrně nízko. Na konci úseku je profil toku od ř. km 3,533 narovnaný a prochází trvalou zástavbou obce. Na levém břehu je svah zcela opevněn kamennou dlažbou. Pravý břeh je v těchto místech vegetačně opevněn, v patě svahu je po obou stranách umístěn betonový pás, zamezující pohybu svahů. Na Obr. 6 je vidět pohled na koryto toku na konci úseku.



Obr. 6 – Pohled na koryto toku, foceno z pravého břehu

3.2.1 OBJEKTY V TOKU

V úseku je vybudováno celkem šest objektů v toku, jimiž jsou tři stupně ve dně a tři mostní objekty.

V ř. km 2,984 se nachází první objekt, a tím je betonový stupeň ve dně. Tento prvek překonává v nejnižším místě toku 1,15 m. Šířka koruny stupně je 0,95 m. Průtočný profil je totožný s profilem toku před stupněm. Koryto toku je za stupněm prohloubeno. Zvýšeně namáhaný svah je na levém břehu opevněn před i za stupněm. Před stupněm je opevnění silně prorostlé travinami. Stupeň je vyobrazen na Obr. 7.



Obr. 7 – Stupeň ve dně v ř. km 2,984

V ř. km 3,005 byl vybudován most pro pěší, který je v zachovalém stavu. Šířka mostovky je 3,5 m, dolní hrana mostovky byla vybudována ve výšce 267,27 m n.m., horní hrana mostovky je ve výšce 267,80 m n.m. Za mostem, ve směru proudění toku, se objevují splaveninové lavice, které mohou negativně ovlivňovat průtočnou kapacitu. Most je zobrazen na následujícím Obr. 8.



Obr. 8 – Most pro pěší v ř. km 3,005

V ř. km 3,017 se nalézá další mostní objekt pojízdný i pro automobily, bohužel je v silně zchátralém stavu. Šířka mostu je 5 m, dolní hrana mostovky se nachází ve výšce 266,14 m n. m., horní hrana mostovky je ve výšce 267,35 m. n.m. Silniční most je zobrazen na Obr. 9.



Obr. 9 – Silniční most v ř. km 3,017

V ř. km 3,082 se nachází betonový stupeň ve dně, překonávající výšku 1,15m. Šířka koruny stupně je 0.85 m. Koryto toku je před stupněm i za stupněm opevněno, opevnění je však prorostlé travinami. Za stupněm je koryto prohloubeno. Stupeň je znázorněn na Obr. 10.



Obr. 10 – Stupeň ve dně v ř. km 3,082

V ř.km 3,480 byl zbudován další objekt, a tím je silniční most se šířkou mostovky 11,2 m. Dolní hrana mostovky je ve výšce 269,76 m n. m., horní hrana je ve výšce 270,92 m n.m. Koryto toku je v místě mostu opevněno betonovými tvárnicemi s otvory. Pohled na most z pravého břehu směrem proti proudu je vidět na Obr. 11.



Obr. 11 – Silniční most v ř. km 3,480

V ř. km 3,533 byl realizován poslední objekt v řešeném úseku toku, kterým je betonový stupeň ve dně. Stupeň překonává výšku 1,3 m. Šířka koruny stupně je 0,6 m. Svah je na levé straně před stupněm opevněn dlažbou z lomového kamene, na pravé straně je zpevnění provedeno pomocí vegetačního opevnění. Za stupněm jsou břehy do vzdálenosti přibližně 10 m opatřeny betonovými tvárnicemi. Dno toku je za stupněm mírně rozšířeno. Poslední objekt je zobrazen na Obr. 12.



Obr. 12 – Stupeň ve dně v ř. km 3,533

4. Program HEC–RAS

Program HEC–RAS (Hydrologic Engineering Center River Analysis System) je softwarový nástroj vytvořený americkou armádou pro účely hydraulických výpočtů. Tento software je vyvíjen společností USACE (United States Army Corps of Engineers) od roku 1964. Společnost současně pracuje na několika verzích daného programu pro různá využití. Program se tak stal velmi využívaným při posuzování a plánování v oblasti vodních toků. Pomocí softwarové části RAS (River Analysis System) je umožněno komplexně modelovat, jak přírodní, tak uměle vybudované vodní sítě. Program umožňuje řešit ustálené i neustálené proudění pomocí jednorozměrného i dvourozměrného modelu, rozdělení rychlostí a průtoků, šíření znečištění, změny teplot a jakosti vody v toku. Program nabízí export dat, která jsou kompatibilní s programy využívanými v oblasti vodních toků, jako jsou GIS (Geographic Information System) nebo CAD (Computer – Aided Design). [10]

4.1. VÝPOČET USTÁLENÉHO PROUDĚNÍ

Výpočet ustáleného nerovnoměrného proudění probíhá metodou po úsecích, která využívá Bernoulliho rovnici a zákon zachování mechanické energie. Ztráty jsou do výpočtu začleněny pomocí ztrát třením a součinitelem kontrakce – zúžení nebo rozšíření. Program dokáže do výpočtu zakomponovat i objekty nacházející se na toku. Je možné vymodelovat a řešit hydraulickou funkci mostních objektů, propustků a jezů a zároveň objektů mimo koryto toku ovlivňující proudění. Program je schopný řešit i rozsáhlejší říční síť, včetně posouzení proudění v profilu křížení toků. Program zároveň dokáže modelovat proudění v říčním, bystrinném i smíšeném režimu proudění. [10]

4.2. VÝPOČET NEUSTÁLENÉHO PROUDĚNÍ

Program využívá funkcí pro modelování ustáleného proudění i při výpočtu neustáleného proudění pomocí jednorozměrného i dvourozměrného modelu. Navíc je možno využít prvků, jako například simulování průlomu a přelití hrází, tlakových proudění potrubím, čerpacích stanic a automatické kalibrace modelu. [10]

4.3. VÝPOČET TRANSPORTU SPLAVENIN

Program dokáže simulovat přenos sedimentů způsobený odnášením a usazováním částic, jak v průběhu dlouhého časového období (i několik let), ale i vypočítat chování

splavenin například během jednotlivých povodní. Potenciál přenosu se simuluje na základě velikosti zrna. Program využívá několik různých rovnic pro výpočet transportu sedimentů. Je možné ho využít pro odhad míry usazování v opevněných korytech, odhad maximálního odnosu při povodních nebo při předpovídání vlivu čištění na rychlost zanášení. [10]

4.4. ANALÝZA KVALITY VODY

Tato součást programu umožňuje provádět analýzu kvality vody v tocích. Pomocí této části se simuluje výskyt a rozptyl složek vzhledem k objemu vody. Pro analýzu kvality vody jsou k dispozici prvky, jako rozpuštěný dusík, rozpuštěný fosfor, rozpuštěný kyslík nebo řasy. Součástí analýzy je i schopnost modelovat teplotu vody. [10]

5. HYDROTECHNICKÉ VÝPOČTY

V otevřených korytech existuje několik typů proudění. Základní rozdělení proudění vody v korytě je na proudění ustálené a neustálené. Ustálené proudění se dále dělí na rovnoměrné a nerovnoměrné. Ustálené rovnoměrné proudění uvažuje konstantní průtok, sklon i průtočný profil. Ustálené nerovnoměrné proudění uvažuje konstantní průtok, sklon a průtočný profil se po toku mění. Neustálené proudění uvažuje změnu průtoku i průřezové rychlosti v čase, žádná hydraulická charakteristika není konstantní. Neustálené proudění se v přirozených podmínkách vyskytuje téměř vždy, je však náročné na vstupní údaje i výpočet. Pro zjednodušení se často při výpočtech pracuje s kratším časovým intervalem a je tak možno uvažovat proudění ustálené nerovnoměrné. [1]

Výpočty byly provedeny pomocí programu HEC-RAS verze 5.0.3 a jednorozměrného modelu, na základě metody ustáleného nerovnoměrného proudění.

5.1. POSTUP VÝPOČTU USTÁLENÉHO NEROVNOMĚRNÉHO PROUDĚNÍ

Při výpočtu ustáleného nerovnoměrného proudění jsou hydraulické charakteristiky, jako průtočná plocha, průřezová rychlost, drsnostní součinitel a další charakteristiky nezávislé na čase. Ale dochází ke změně charakteristik po délce toku. Sklon čáry energie není stejný jako sklon čáry hladiny a dna. Pohyb vody ve směru proudění vyvolává ztráty energie. [1]

Při výpočtu ustáleného nerovnoměrného proudění se využívá metoda po úsecích. Řešená délka toku se rozdělí na řešené úseky o délce l . V takto rozdělených úsecích předpokládáme, že průtočná plocha a průřezová rychlost se mění spojitě. Podle režimu proudění volíme postup výpočtu. Při říčním režimu proudění výpočet provádíme ze známé hladiny dolního úseku směrem proti proudu. Při bystřinném režimu proudění provádíme výpočet ze známé hladiny horního úseku, tedy ve směru proudění. [1]

5.1.1 REŽIMY PROUDĚNÍ

Režim proudění se stanoví dle kritéria režimu proudění, tím je hodnota Froudova čísla:

$$Fr = \frac{v}{\sqrt{g \cdot y_s}} \quad (5.1)$$

kde: Fr – Froudovo číslo (-), v – rychlost proudění (m/s), g – gravitační zrychlení (m/s^2), y_s – střední hloubka průřezu (m).

Pro režimy proudění platí:

$Fr = 1$ – kritický režim proudění ($y = y_k$),

$Fr < 1$ – podkritický režim proudění ($y > y_k$, říční proudění),

$Fr > 1$ – nadkritický režim proudění ($y < y_k$, bystrinné proudění),

kde: y – hloubka vody (m), y_k – kritická hloubka vody (m).

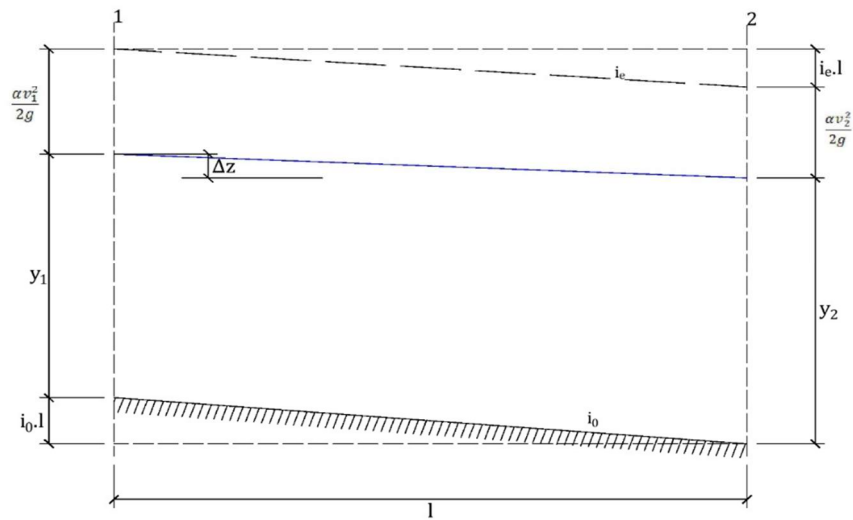
5.1.2 VÝPOČET USTÁLENÉHO NEROVNOMĚRNÉHO PROUDĚNÍ

Výpočet ustáleného nerovnoměrného proudění vychází z Bernoulliho rovnice:

$$i_0 \cdot l + y_1 + \frac{\alpha \cdot v_1^2}{2g} = y_2 + \frac{\alpha \cdot v_2^2}{2g} + i_e \cdot l \quad (5.2)$$

kde: i_0 – sklon dna (-), l – vzdálenost mezi dvěma příčnými profily (m), y_1 – hloubka vody v prvním profilu, α – součinitel kinetické energie (Coriolisovo číslo) (-), v_1 – průřezová rychlost v prvním profilu (m/s), g – gravitační zrychlení (m/s^2), y_2 – hloubka vody ve druhém profilu (m), v_2 – průřezová rychlost ve druhém profilu (m/s), i_e – sklon čáry energie.

Průběh hladiny mezi dvěma profily pomocí výpočtu ustáleného nerovnoměrného proudění vody je znázorněn na Obr. 13. [1]



Obr. 13 – Znázornění nerovnoměrného pohybu vody mezi dvěma profily [1]

Sklon čáry energie i_e můžeme vyjádřit z Chézyho rovnice s průměrnými hodnotami v řešeném úseku:

$$i_e = \frac{Q^2}{K_p^2} \quad (5.3)$$

kde: Q – průtok (m^3/s), K_p – průměrná hodnota modulu průtoků (m^3/s).

Zúžením či rozšířením profilu dochází k místním ztrátám, které jsou vyjádřeny jako:

$$Z_m = \zeta \left| \frac{\alpha \cdot (v_2^2 - v_1^2)}{2g} \right| \quad (5.4)$$

kde: ζ – ztrátový součinitel (-).

Dosažením do Bernoulliho rovnice získáme tvar rovnice pro hledaný rozdíl hladiny v prvním a druhém profilu:

$$\Delta z = Q^2 \left[(1 + \zeta) \frac{\alpha}{2g} \left(\frac{1}{S_2^2} - \frac{1}{S_1^2} \right) + \frac{l}{K_p^2} \right] \quad (5.5)$$

kde: Δz – rozdíl hladin prvního a druhého profilu (m), S_2 – průtočná plocha v druhém profilu (m^2), S_1 – průtočná plocha v prvním profilu (m^2).

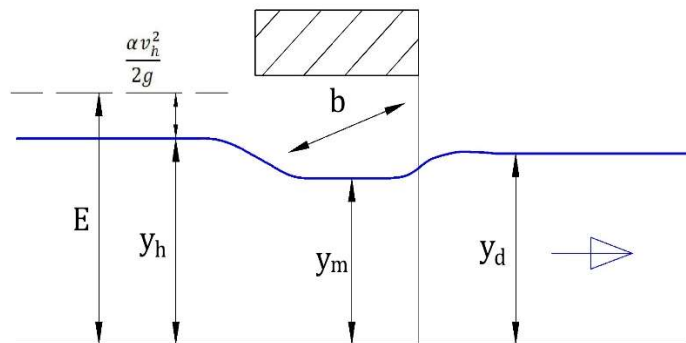
Znaménko – u součinitele místní ztráty platí pro křivky vzduť a znaménko + platí pro křivky snížení. [1]

5.2. VÝPOČET PROUDĚNÍ MOSTNÍMI OBJEKTY

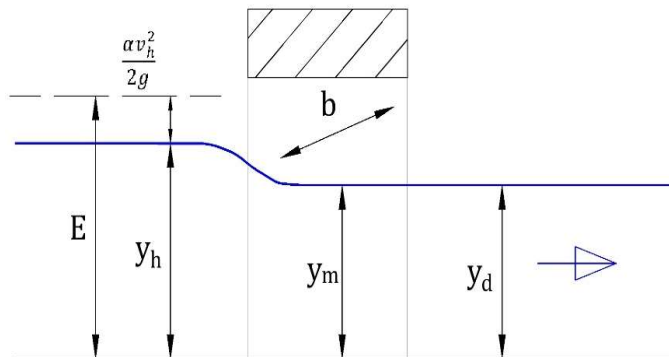
Pro převedení komunikací přes vodní toky je možno použít mostní objekt. Mosty následně ale tvoří významnou překážku při proudění vody ve vodním toku. Vznikají zde velké energetické ztráty na vtoku a výtoku mostu. Průběh proudění mostním objektem se odvíjí od průběhu hladin v blízkosti mostu. Výpočet proudění se liší pro různé režimy proudění. [4] [5]

5.2.1 PROUDĚNÍ MOSTNÍMI OBJEKTY S VOLNOU HLADINOU

Při výpočtu proudění s volnou hladinou se využívá schématu přepadu přes širokou korunu. Vyskytuje se přepad dokonalý (Obr. 14), v případě, že proudění není ovlivněné hladinou v korytě za mostem a přepad nedokonalý (Obr. 15), v případě, že je proudění ovlivněné hladinou vody v korytě za mostem. [4] [5]



Obr. 14 – Proudění mostním objektem – přepad dokonalý [4]



Obr. 15 – Proudění mostním objektem – nedokonalý přepad [4]

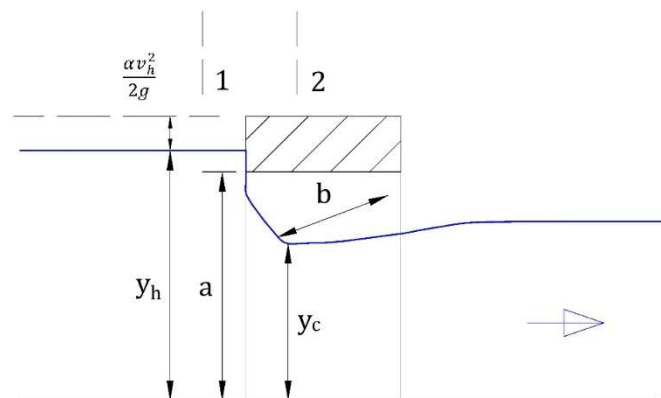
Pro výpočet proudění s volnou hladinou použijeme Bernoulliho rovnici pro vzdutou hladinu před mostem a pro hloubku za vtokem:

$$E = y_h + \frac{\alpha v_h^2}{2g} = y_d + \frac{\alpha v_m^2}{2g} + \frac{\xi v_m^2}{2g} = y_d + \frac{v_m^2}{\varphi^2 2g} = y_d + \frac{Q^2}{2g\varphi^2 S_m^2} \quad (5.6)$$

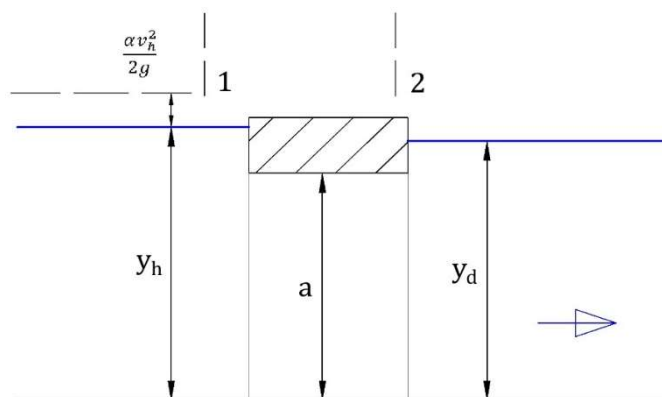
kde: E – energetická výška před mostem (m), y_h – hloubka proudění v profilu před mostem (m), α – Coriolisovo číslo (-), v_h – přítoková rychlost odpovídající vzduté hloubce před mostem (m/s), g – gravitační zrychlení (m/s^2), y_d – hloubka proudění ve druhém profilu (m), v_m – rychlost proudění ve druhém profilu (m/s), ξ – součinitel místní ztráty (-), φ – rychlostní součinitel (-), S_m – průřezový průřez mostu (m^2)

5.2.2 TLAKOVÉ PROUDĚNÍ MOSTNÍM OTVOREM

Při proudění mostním objektem se také může vyskytovat tlakové proudění, kdy dojde k zatopení vtoku s možností volného výtoku (Obr. 16), nebo dojde k zatopení i výtoku (Obr. 17). [4] [5]



Obr. 16 – Tlakové proudění mostním objektem – volný výtok [4]



Obr. 17 – Tlakové proudění mostním objektem – zatopený výtok [4]

Při výpočtu zatopeného vtoku a volného výtoku vyjdeme z Bernoulliho rovnice pro první a druhý profil:

$$y_h + \frac{\alpha v_h^2}{2g} = y_c + \frac{\alpha v_c^2}{2g} + \xi \frac{v_c^2}{2g} \quad (5.7)$$

po dosazení:

$$v_c = \frac{Q}{y_c b} \quad (5.8)$$

$$y_c = \varepsilon a \quad (5.9)$$

$$\varphi = \frac{1}{\sqrt{\alpha + \xi}} \quad (5.10)$$

$$\mu_v = \varphi \varepsilon \quad (5.11)$$

Rovnice výtoku pod stavidlem:

$$Q = \mu_v ab \sqrt{2g \left(y_h + \frac{\alpha v_h^2}{2g} - \varepsilon a \right)} \quad (5.12)$$

kde: Q – průtok vody (m^3/s), μ_v – součinitel výtoku (-), a – výška dolní hrany mostovky nade dnem (m), b – šířka mostu, ε – součinitel kontrakce (-)

V případě zatopeného vtoku i výtoku použijeme Bernoulliho rovnici mezi profily jedna a dva:

$$y_h + \frac{\alpha v_h^2}{2g} = y_a + \frac{\alpha v_a^2}{2g} + \xi \frac{v_a^2}{2g} \quad (5.13)$$

po dosazení:

$$v_a = \frac{Q}{S_a} \quad (5.14)$$

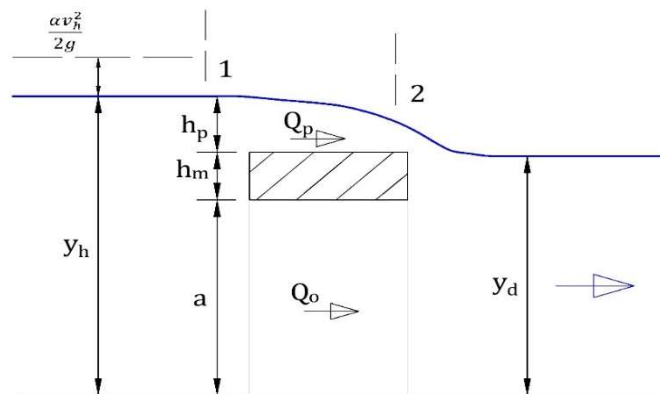
$$C_{do} = \frac{1}{\sqrt{\alpha + \xi}} \quad (5.15)$$

Vznikne rovnice pro výtok zatopeným otvorem:

$$Q = C_{do} S_a \sqrt{2g \left(y_h + \frac{\alpha v_h^2}{2g} - y_d \right)} \quad (5.16)$$

kde: C_{do} – součinitel průtoku pro výtok zatopeným otvorem (-), S_a – průtočná plocha mostu (m^2)

V případě, kdy voda přepadá přes mostní konstrukci, rozdělíme průtok na průtok pod mostovkou pomocí rovnice zatopeného výtoku otvorem, a na průtok nad mostovkou pomocí rovnice přepadu. Schéma přepadu přes mostní konstrukci je zobrazené na Obr. 18. [4]



Obr. 18 – Proudění mostním objektem – přelévaná mostovka [4]

Rovnice výtoku zatopeným otvorem je uvedena v (5.16).

Výpočet průtoku nad mostovkou se vypočte podle rovnice přepadu:

$$Q_p = \sigma_z m b_p \sqrt{2g} \left(h_p + \frac{\alpha v_h^2}{2g} \right)^{\frac{3}{2}} \quad (5.17)$$

kde: Q_p – průtok nad mostovkou (m^3/s), σ_z – součinitel zatopení (-), m – součinitel přepadu (-), b_p – šířka přepadového paprsku (m), h_p – přepadová výška (m)

5.3. VSTUPNÍ DATA

Vstupní data jsou geometrie toku, drsnostní charakteristiky a okrajové podmínky.

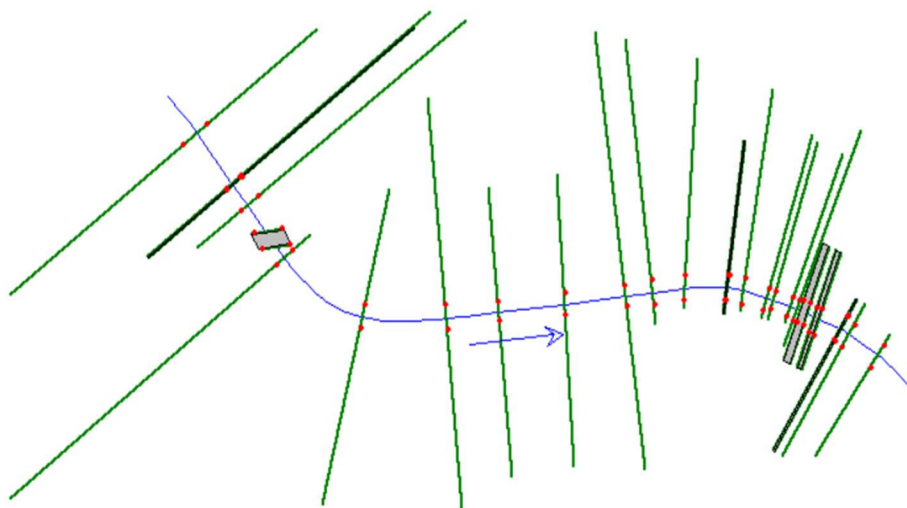
5.3.1 GEOMETRIE TOKU

Celková délka řešeného úseku byla stanovena na 0,634 km. Na tomto řešeném úseku bylo převzato dvanáct profilů z předešlého geodetického zaměření, dva profily vznikly vlastním geodetickým zaměřením. Tyto profily byly prodlouženy pomocí dat z digitálního modelu reliéfu do předpokládaného rozsahu záplavových čar.

Čtyři profily byly vytvořeny jako pomocné řezy pro přesnější posouzení ochranných hrázek, profily vznikly na základě geodetického zaměření a výškových hodnot z digitálního modelu reliéfu.

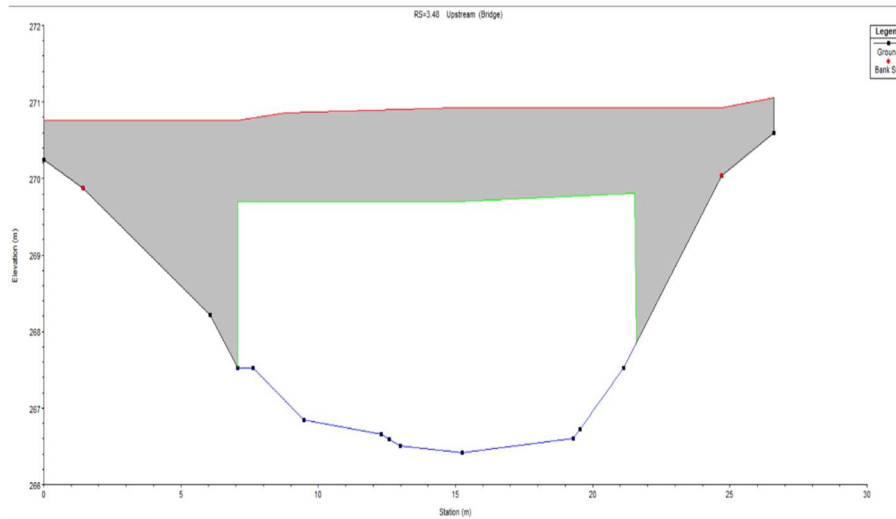
Příčné profily byly do programu zadány pomocí staničení a pomocí hodnot nadmořských výšek. Po zadání hodnot staničení a výšek byly příčné řezy definovány pomocí vzdálenosti k dalšímu profilu, úrovni břehů a Manningovým součinitelem drsnosti. Geometrie toku spolu se zadanými profily je znázorněna na Obr. 19.

V řešeném úseku se v ř. km 2,980 nachází pravostranný přítok bezejmenné vodoteče. Při výpočtu však nebyla k dispozici geometrie toku ani jeho průtoky, proto při výpočtu nebyl tento přítok uvažován. Hodnoty průtoky jsou stanovené pro profil nad zaústěním Stroupínského potoku, proto se nepředpokládá navýšení hodnot touto vodotečí.



Obr. 19 – Geometrie toku vytvořená pomocí programu HEC-RAS

Součástí řešeného úseku jsou i objekty na toku. Objekt byl vložen mezi dva blízké profily. Celkem bylo vymodelováno šest objektů, kterými jsou tři stupně ve dně a tři mosty. Žádný z mostů nemá pilíře umístěné přímo v toku. Zaměření objektů bylo součástí podkladů od Povodí Vltavy. Na Obr. 20 je zobrazen model mostu v ř. km 3,480.



Obr. 20 – Model mostu v ř. km 3,480 vytvořený v programu HEC–RAS

5.3.2 DRSNOSTNÍ CHARAKTERISTIKY

Drsnostní charakteristiky byly do programu zadány pomocí proměnné hodnoty Manningova součinitele drsnosti v rámci jednotlivých příčných profilů. Součinitel vyjadřuje odpor koryta působící na proud vody. Hodnoty součinitele byly stanoveny dle skutečného stavu místa na základě osobní prohlídky a zároveň byly kalibrovány pro srovnání výšek hladin s podklady. Hodnoty součinitele přiřazené jednotlivým druhům povrchu jsou uvedené v Tab. 3, rozdělení druhů povrchů je patrné z příčných řezů (Příloha 3.1–3.9).

Tab. 3 – Hodnoty drsnostního součinitele pro jednotlivé druhy povrchu

Název (druh povrchu)		Součinitel drsnosti n
Koryto toku	dno	0,031
	břehy	0,045
Parkoviště		0,025
Louka, tráva		0,028
Křoviny	řídké	0,045
	husté	0,065
Opevnění břehu kamennou dlažbou		0,019
Zahrada		0,02
Asfaltová cesta, silnice		0,019
Orná půda		0,028
Zástavba		0,12

5.3.3 OKRAJOVÉ PODMÍNKY

V řešeném úseku je uvažováno říční proudění, z toho vyplývá, že metoda po úsecích vychází z dolního profilu a výpočet je prováděn ve směru proti proudu. Hodnoty průtoků byly zadány do horního profilu a při výpočtu nerovnoměrného proudění se uvažuje, že průtok zůstává konstantní ve směru proudění.

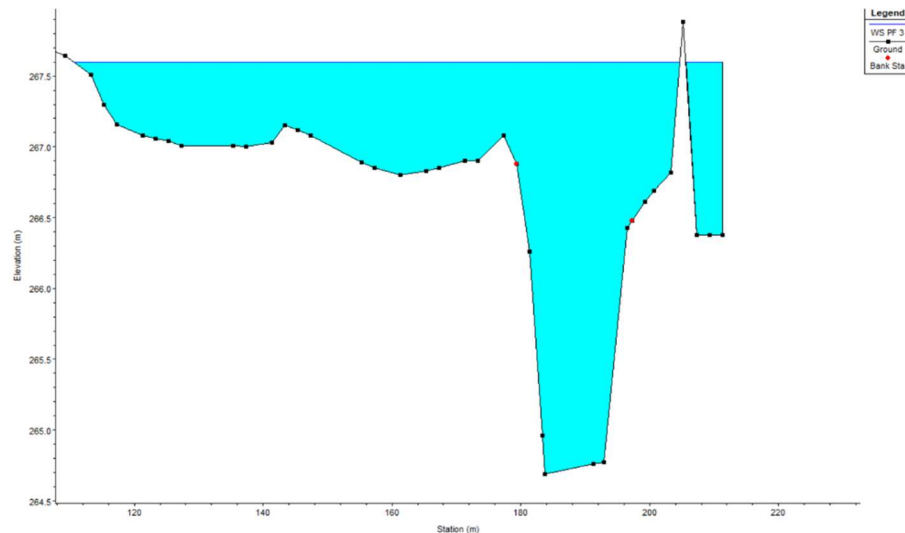
Dolní okrajová podmínka byla původně volena na základě průsečíku záplavových čar z podkladů od Povodí Vltavy s příčným profilem 1, tedy úrovně hladin při průchodu průtoků Q_5 , Q_{20} a Q_{100} . Tyto hodnoty však byly zhodnoceny jako nepřiměřené, a proto byl pro hodnotu dolní okrajové podmínky zvolen průměrný sklon dna na začátku úseku. Hodnota sklonu změřená z podélného profilu je $i = 0,006$. Tato okrajová podmínka byla volena i při výpočtu odtokové studie firmou VH – TRES s.r.o.

5.4. OMEZENÍ PROUDĚNÍ

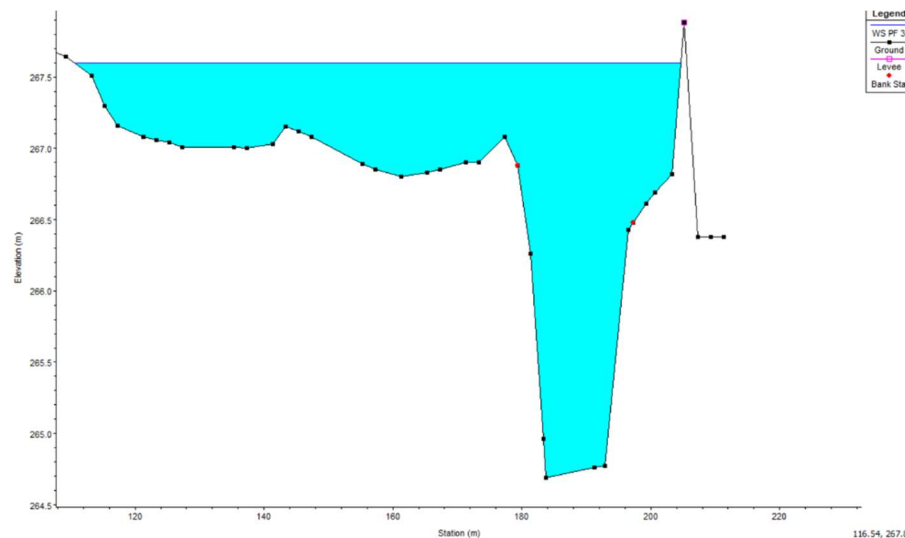
Program HEC–RAS umožňuje omezit proudění v kterémkoliv zadaném příčném profilu. Je možno využít funkci Ineffective flow area (neúčinná oblast toku), pro tvorbu pasivních oblastí. Pokud je úroveň hladiny nižší než zadaná úroveň hladiny, program pasivní oblast neuvažuje do průtočné plochy, ale hladinu zde stále vykresluje. Této funkci bylo například využito v místech, kde se nachází zástavba. [9]

Obdobnou funkcí je funkce Levees (hráze), pokud hladina nepřesáhne zadanou úroveň, program oblast nezahrnuje do průtočné plochy ani ji do této oblasti nevykreslí.

Když hladina zadanou úroveň přesáhne, oblast je uvažována jako plně aktivní a je započítávána do průtočné plochy. Pomocí této funkce lze modelovat zamezení vniku vody do prostoru za posuzované hráze. Využití této funkce je zobrazeno na příloženém Obr. 21 a Obr. 22. [9]



Obr. 21 – Ukázka funkce Levees v ř. km 3,144 – před zadáním



Obr. 22 – Ukázka funkce Levees v ř. km 3,144 – po zadání

5.5. KALIBRACE MODELU

Model byl kalibrován pomocí hodnot odporu koryta pro hodnoty průtoků Q_5 , Q_{20} a Q_{100} . Kalibrace se prováděla stanovením drsnostních součinitelů tak, aby se vypočtené hodnoty přibližně shodovaly s výškou hladin z podkladů.

Hodnoty byly posuzovány pro úroveň hladiny u mostu v ř. km 3,480, který je společný pro zkoumaný úsek a zároveň pro odtokovou studii zpracovanou pro obec Bavoryně i pro podklady dodané od Povodí Vltavy.

Vypočtené hodnoty pro profil mostu se v dolním profilu rovnají pro $Q_{100} = 268,70$ m n. m., pro $Q_{20} = 268,47$ m n. m., pro $Q_5 = 267,80$ m n.m. Hodnoty pro horní profil mostu se rovnají pro $Q_{100} = 268,88$ m n. m., pro $Q_{20} = 268,52$ m n. m., pro $Q_5 = 267,86$ m n.m. V odtokové studii pro obec Bavoryně je stanovena výška v mostním profilu jednotně, pro průtok $Q_{100} = 268,82$ m n. m., pro $Q_{20} = 268,20$ m n. m., pro $Q_5 = 267,73$ m n.m. V podkladech od Povodí Vltavy byla stanovena pro profil mostu pouze výška hladiny pro $Q_{100} = 268,67$ m n. m. Při porovnání průtoků se nejvíce liší hodnota pro Q_{20} , je však nutné podotknout, že odtoková studie vycházela z hodnot průtoků přibližně o $1 \text{ m}^3/\text{s}$ menší než použité hodnoty pro výpočet. Při dosažení výše uvedených hodnot byla kalibrace modelu zhodnocena jako dostačující a použité hodnoty součinitele drsnosti (v Tab. 3) byly stanoveny jako konečné.

5.6. VÝSLEDKY VÝPOČTU

Výsledky výpočtu ustáleného nerovnoměrného proudění pro průtoky Q_5 , Q_{20} a Q_{100} jsou graficky znázorněny v podélném profilu (Příloha 2) a uvedeny v tabulce psaného podélného profilu (Příloha 5). Zároveň jsou hladiny těchto průtoků vykresleny v jednotlivých příčných řezech.

Výsledky hladiny při proudění mostními objekty jsou uvedeny v Tab. 4, kde jsou zároveň uvedeny i kóty horní a dolní hrany mostovky a rozdíl mezi hladinou při průtoku s dobou opakování sto let a již zmiňovanou kótou dolní hrany mostovky.

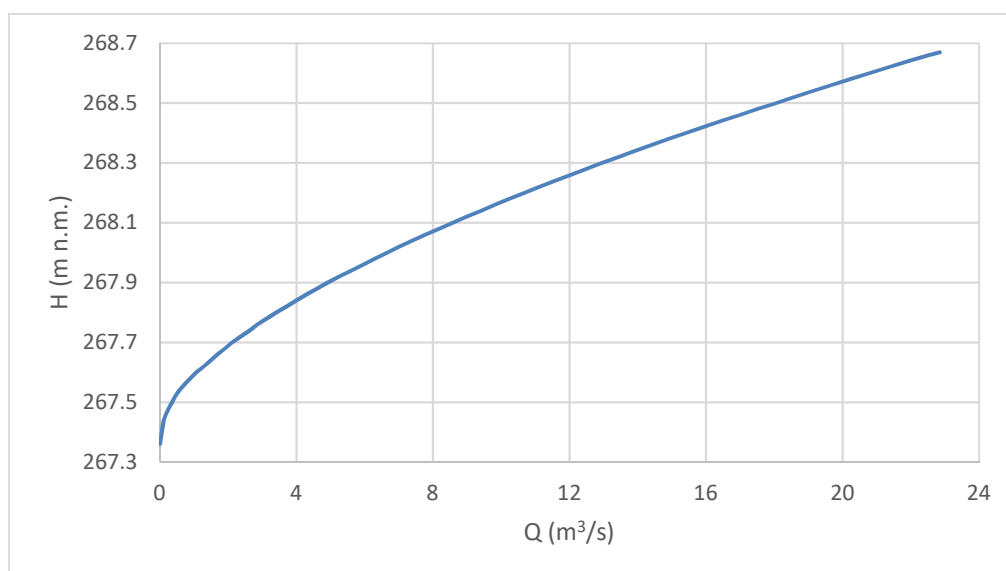
Tab. 4 – Seznam mostů a kót hladin při průchodu průtoku Q_5 , Q_{20} , Q_{100}

Objekt	Staničení (ř. km)	Kóta horní hrany mostovky (m n. m.)	Kóta dolní hrany mostovky (m n. m.)	Kóta hladiny			Δ (m)
				Q_5 (m n. m.)	Q_{20} (m n. m.)	Q_{100} (m n. m.)	
Most pro pěší	3,005	267,8	267,27	265,37	265,78	266,12	1,15
Silniční most	3,017	267,35	266,14	265,45	265,95	266,49	-0,35
Silniční most	3,480	270,92	269,76	267,86	268,52	268,88	0,88

Z tabulky je zřejmé, že mostní profil v ř. km 3,017 je velmi nekapacitní, požadovanou minimální hodnotu rozdílu hladiny a dolní hrany mostovky stanovenou dle normy na 0,5 m, profil mostu nespĺňuje již při průchodu průtoku Q_{20} , při průchodu průtoku Q_{100} je u mostu zatopen jak vtok, tak výtok a tvoří tak výraznou překážku v toku a vzdouvá vodu v úseku před mostem. Tímto zpětným vzduťím hladiny by v některých případech mohlo dojít i k přelití ochranných hrázek u objektu firmy prodávající karavany. Tohoto stavu při výpočtu nebylo dosaženo. Tento most zároveň při průchodu větších průtoků ovlivňuje most v ř. km 3,005, který je však dle výpočtu dostatečně kapacitní. Podrobnější výpočet mostů a jejich vzájemného ovlivnění nebyl proveden.

5.7. STANOVENÍ KAPACITY KORYTA

Kapacita koryta byla stanovena na základě výpočtu programu HEC-RAS pro nejméně kapacitní profil v řešeném úseku. Nejméně kapacitní profil v řešeném úseku byl určen příčný profil 17 v ř. km 3,533. Kapacita profilu bude překročena při vystoupaní výšky hladiny nad nadmořskou výšku pravého břehu, která je 268,7 m n. m. Výpočet byl proveden pro průtoky s krokem $1 \text{ m}^3/\text{s}$. Tím bylo zjištěno, že kapacita bude překročena při průtoku mezi 22–23 m^3/s . Podrobnějším výpočtem byl stanoven kapacitní průtok na 22,85 m^3/s . Závislost mezi průtokem a nadmořskou výškou v profilu 17 je vykreslena v následujícím grafu (Graf 1) pomocí konsumpční křivky.



Graf 1 – Konsumpční křivka profilu v ř. km 3,533

5.8. ROZLIVY V ŘEŠENÉM ÚSEKU

Při průchodu průtoku Q_5 , který se rovná $25,0 \text{ m}^3/\text{s}$, dojde jen k nepatrnému rozlivu z koryta toku v příčném profilu 17, který je zároveň nejméně kapacitní. K dalšímu rozlivu při průtoku Q_5 nedojde.

Při průchodu Q_{20} již dochází k větším rozlivům, především na konci úseku v ř. km 3,500 – 3,581, kdy jsou tímto rozlivem do území přilehlého k toku ohroženy stavby na pravém břehu. Dále při průchodu průtoku Q_{20} došlo k levobřežnímu rozlivu v příčném profilu 11, v příčném profilu 7 je koryto již dostatečně kapacitní pro průtok Q_{20} . K dalšímu rozlivu z koryta dojde mezi ř. km 2,976 a 2,947, kdy dojde k zaplavení parkoviště a přilehlé louky na pravém břehu.

Při průchodu Q_{100} již dochází k rozsáhlejším oboustranným rozlivům v celém řešeném úseku. Na konci úseku dojde k rozlivům na obou stranách koryta. Za silničním mostem v ř. km 3,480 dojde k rozlivu z koryta na pravé straně, kde se nachází pouze pole. Levý břeh je v těchto místech vyvýšen, a proto k rozlivu do levé strany nedojde. K pravostranným rozlivům dojde ve všech profilech až k začátku úseku. K levostrannému rozlivu dojde mezi ř. km 3,315 a 3,272. V tomto úseku dojde k ohrožení stávajících nemovitostí. Rozliv je na levé straně dále ohraničen silnicí, která je vyvýšená a zabraňuje tak rozlivu za silnici, kde se nachází trvalá zástavba s rodinnými domy. Dalším ohroženým objektem na levém břehu je areál s prodejem dřeva, který se nachází přibližně v ř. km 3,118. V příčném profilu 3 v ř. km 3,023 došlo k rozlivu vody z koryta až na přilehlou silnici. Levý břeh se po směru toku za mostem v ř. km 3,005 zvyšuje, a proto se voda z koryta v těchto místech vylévá spíše do pravé části přilehlého území.

6. ROZSAH ZÁPLAVOVÉHO ÚZEMÍ

Na základě výpočtu ustáleného nerovnoměrného proudění v programu HEC–RAS byl stanoven rozsah záplavového území. Podkladem, pro vykreslení záplavových čar a následně i rozsahu záplavového území, bylo stanovení průsečíků hladin průtoků s terénem v příčných profilech.

Rozsah záplavového území je znázorněn na základní mapě České republiky v měřítku 1:1000 (Příloha 4.1).

6.1. POROVNÁNÍ ZÁPLAVOVÝCH ČAR

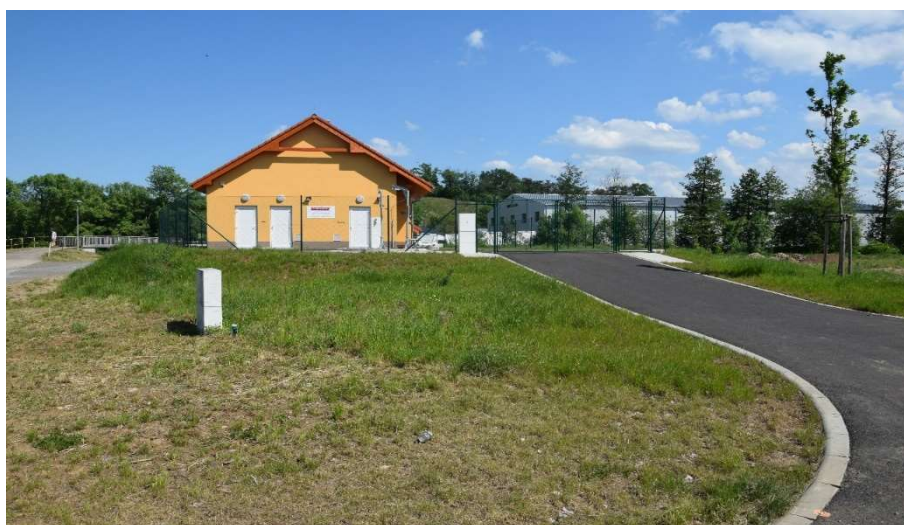
Nově stanovené záplavové čáry z výpočtu ustáleného nerovnoměrného proudění byly porovnány s původními záplavovými čarami. Porovnáním bylo zhodnoceno, že původní záplavové čáry nejsou zcela věrohodné. Při výpočtu bylo zjištěno, že koryto je téměř v celé délce úseku kapacitní pro Q_5 . V původním výkresu záplavových čar je však rozliv pro průtok Q_5 značný a je v podstatě vykreslen jako vodorovná čára podél břehu toku. Pro průtok Q_{20} také nedošlo k tak výrazným rozlivům, jako je naznačeno ve výkresu původních záplavových čar. Při průtoku Q_{100} se již záplavové čáry tolik neliší. Na konci úseku v ř. km 3,581 se záplavové čáry liší na pravém i levém břehu. Tento jev je možné zdůvodnit faktem, že výpočet neuvažuje s rozlivy, které se objevují ve směru proti toku nad koncem úseku, kde se voda vylévá z koryta již nad obcí. Původní záplavové čáry byly sestrojeny v roce 2007 pro tok v ř. km 0,00 – 20,5. V řešeném úseku se vyskytovaly zaměřené pouze tři příčné profily a zaměřené objekty. Ve výpočtu se uvažovalo se zaměřenými sedmnácti příčnými profily a zaměřenými objekty. Výpočet pro řešený úsek je tak mnohem podrobnější a z toho můžou pramenit rozdíly mezi původními a novými záplavovými čarami. Původní i nové záplavové čáry jsou zobrazené na mapovém podkladu základní mapy České republiky v měřítku 1:1000 (Příloha 4.2).

7. POSOUZENÍ OCHRANNÝCH HRÁZEK

Ochranné hrázky, sloužící k ochraně objektu před povodňovými průtoky, jsou na levém břehu vybudovány mezi říčními kilometry 3,019 a 3,032. Jedná se o ochrannou hrázku čistírny odpadních vod pro obci Bavoryně dokončené v roce 2017. Čistírna je vybudována na vrcholu hrází. Objekt ČOV je zobrazen na Obr. 23 a Obr. 24. Na pravém břehu jsou hrázky vybudovány mezi říčními kilometry 3,020 a 3,144. Jedná se o ochrannou hrázku objektu, zabývajícího se prodejem karavanů. Objekt je ohrázován ze všech stran a prodejní plocha je umístěna níže, než je výška hrází. Ohrázování objektu je viditelné na Obr. 25 a Obr. 26.



Obr. 23 – Pohled na ohrázovaný objekt ČOV



Obr. 24 – Pohled na ohrázovaný objekt ČOV



Obr. 25 – Pohled na ohrázený objekt prodejny karavanů



Obr. 26 – Pohled na hráz objektu s prodejem karavanů

Je však nutné podotknout, že nebyly k dispozici výšky hladin při průchodu větších průtoků, ani výšky terénu před ohrázením. Při porovnání s archivní ortofotomapou bylo zjištěno, že na levé straně byla v minulosti vybudována skládka materiálu a na pravé straně byl vystavěn objekt s dřevovýrobou, který samotný již měl také zvýšené břehy. Na pravém břehu byla skládka posunuta blíže k toku, zatímco na levé straně je objekt ČOV postaven dále od toku, než byla skládka. Výřez z archivní ortofotomapy a ortofotomapy z roku 2017 je viditelný na Obr. 27 a Obr. 28.



Obr. 27 – Archivní ortofotomapa z r. 2013 [3]



Obr. 28 – Ortofotomapa z r. 2017 [3]

Při průchodu Q_5 hladina nedosahuje na ochranné hráze, nedojde tedy k ovlivnění proudění. Při průchodu Q_{20} dojde k rozlivu do levé části, v místech nad začátkem ohrázování na pravém břehu. Při průchodu Q_{100} dojde v místě hrázi k většímu rozlivu na levé straně, kdy voda dosáhne až na přilehlou silnici. K této situaci při porovnání s původními záplavovými čarami nedošlo.

Při výpočtu průběhu hladin pro průtok Q_{100} bylo zjištěno, že v příčném profilu 6 je rozdíl výšky hladiny a hrázky pouhé dva centimetry. Výpočet není tak přesný, aby bylo zajištěno, že v tomto dle geodetického zaměření nejnižším místě ochranné hráze nedojde k přelití této hrázky.

Při porovnání s původními záplavovými čarami nedošlo k výrazným změnám v rozsahu záplavového území. Nedošlo ani k ohrožení jiných nemovitostí nebo objektů, než při původním výpočtu. Lze tedy vyhodnotit, že při vystavení hrází došlo k účelné ochraně obestavěných objektů. Výstavbou objektů a jejich protipovodňových hrázek nedošlo k výraznému negativnímu ovlivnění záplavového území.

Hrázky byly posouzeny výpočtem programu HEC–RAS pomocí jednorozměrného modelu, který při výpočtu zanedbává příčné a podélné složky rychlosti.

8. PROTIPOVODŇOVÁ OPATŘENÍ NA ČERVENÉM POTOCE

Na Červeném potoce do dnešní doby proběhlo několik opatření pro zmírnění následků povodní. Jedná se o zabezpečení vodního díla Záskalská a Dráteník před účinky velkých vod a ochrana proti vyběřování velkých vod v obci Hořovice. [7]

Vodní dílo Záskalská je vodní dílo II. kategorie a bylo upraveno tak, aby převedlo bez problémů kontrolní povodeň $Q_{10\,000}$. Vodní dílo Dráteník je vodní dílo III. kategorie a bylo upraveno tak, aby bezpečně převedlo Q_{1000} . V Hořovicích proběhla úprava koryta zvýšením kapacity pomocí nově budovaných opěrných zdí, nebo navýšením původních zdí. Zároveň byl zkapacitněn objekt náhonu procházejícího obcí Hořovice, kde působil značné problémy při povodni. Úroveň zabezpečení v zastavěné části města je Q_{100} . [7]

9. POVODNĚ V OBCI BAVORYNĚ

Zatím největší povodeň v obci se vyskytla v roce 1995, kdy voda dosahovala do výšky přibližně 30 cm pod dálničním mostem. Tato povodeň výrazně přesahovala průtok stoleté vody. Další povodně obec zasáhly v letech 2002, 2010, 2012 a 2013. V roce 2002 byl kulminační průtok mezi Q_2 - Q_5 . V roce 2010 byl kulminační průtok rovný přibližně Q_5 , v roce 2012 byl kulminační průtok přibližně rovný Q_2 . V roce 2013 byl kulminační průtok rovný přibližně Q_{20} . Červený potok je přítokem řeky Litavky, proto tyto průtoky značně ovlivnily průběh povodní na dolním toku této řeky. [8]

9.1. PROTIPOVODŇOVÁ OPATŘENÍ V OBCI BAVORYNĚ

Významná protipovodňová opatření nejsou zatím v obci realizována. Problémy při povodních má obec spíše v zastavěné části obce, tedy nad řešeným úsekem. V roce 2014 došlo k pořízení varovného systému společně se zpracováním digitálního povodňového plánu. [11]

9.1.1 POVODŇOVÝ PLÁN OBCE BAVORYNĚ

Povodňové orgány zajišťují řízení ochrany před povodněmi. Řízení ochrany zahrnuje přípravu na povodňové situace, kontrolu a organizaci příslušných činností v době povodně a v období po povodni. Podkladem pro řízení ochrany je povodňový plán. V období povodně jsou v obci Bavoryně stanovené povodňové orgány složené z povodňových komisí obcí Bavoryně, Hořovice, Praskolesy, Stašov, Zdice, povodňové komise obce s rozšířenou působností Beroun, povodňové komise Středočeského kraje a ústřední povodňové komise České republiky. Povodňová komise obcí je podřízena povodňové komisi obce s rozšířenou působností. Účastníci povodňové ochrany jsou zároveň správci povodí, správci vodních toků, vlastníci pozemků a staveb nacházejících se v záplavovém území, ČHMÚ, hasičský a záchranný sbor Středočeského kraje, složky Policie a armády České republiky a další subjekty, které mohou pomoci. Součástí povodňového plánu je seznam ohrožených objektů a jednotlivé povodňové plány vlastníků těchto objektů. V povodňovém plánu jsou také uvedena místa omezující odtokové poměry, včetně opatření ke zmírnění těchto omezení (pravidelné kontroly, odstraňování sedimentů, apod.). [11]

Obec, jako povodňový orgán, organizuje hlášenou povodňovou službu, která zajišťuje dodání informací k občanům obce, zároveň informuje ostatní členy povodňových komisí, vydává zprávy a hlášení o vývoji povodňové situace. [11]

V případě potřeby zřizuje povodňová komise obcí hlídkovou povodňovou službu. Podnětem pro zřízení komise jsou většinou informace od předpovědní povodňové služby, postoupené obcím nebo ostatním povodňovým orgánům. Hlídkka kontroluje vyvíjející se situaci, odstraňuje drobné závady, případně si vyžádá pomoc od sboru dobrovolných hasičů, hasičského záchranného sboru a dalších pověřených orgánů. Hlídková služba sleduje vodní stavy v hlásných profilech a stav koryta v místech omezujících odtokové poměry. [11]

Jako hlásné profily pro obci Bavoryně se využívá hlásný profil kategorie B v Hořovicích v ř. km 12,100. Jako pomocné hlásné profily kategorie C se pro obci Bavoryně využívá hlásný profil v ř. km 7,950 v obci Praskolesy vybavený automatickým čidlem, a jako pomocné jsou na pilířích mostů v ř. km 3,680 a v ř.km 4,680 v Bavoryni umístěny tři značky vodních stavů odpovídající směrodatným limitům pro stupně povodňové aktivity. [11]

Povodňová komise dle dosažených vodních stavů vyhláší stupně povodňové aktivity a zároveň aktivuje pohotovost ostatních složek povodňových orgánů. Hlavní úkoly a opatření se liší dle stupně povodňové aktivity a jsou součástí povodňového plánu obce. [11]

Po opadnutí povodně povodňová komise zajišťuje odvolání povodňových stupňů, zpracovává zprávy o povodni včetně vyznačení nejvyšších dosažených hladin a času tohoto dosažení, koordinuje prohlídky objektů a zajišťuje humanitární pomoc, vysoušecí techniku, vyčerpání objektů a další. Povodňová komise si také od vlastníků zasažených objektů vyžádá soupis škod. Zprávu o povodni povodňová komise obce Bavoryně předkládá do tří měsíců povodňové komisi obce s rozšířenou působností v Berouně. [11]

10. NÁVRH OPATŘENÍ V ZÁJMOVÉM ÚSEKU

Součástí zadání bakalářské práce je na základě výsledků výpočtu zvážit i možné navýšení kapacity koryta.

Výpočtem pomocí jednorozměrného modelu bylo zjištěno, že koryto ve stávajícím stavu je dostatečně kapacitní pro převedení průtoku s dobou opakování pět let, pro průtok s dobou opakování dvacet let již došlo k rozlivům do území v některých místech, pro průtok s dobou opakování sto let již došlo k rozlivům téměř v celém řešeném úseku.

Největším problémem je konec řešeného úseku, kdy dochází k zatopení objektů již při průchodu průtoku Q_{20} . Jedná se o objekty s popisným číslem 6, 85 a 78. K dalšímu ohrožení objektů při průchodu Q_{20} při výpočtu nedošlo. Tento problém je však nutno začít řešit již dříve směrem proti proudu toku, nejlépe od začátku území obce. Zde se již začíná voda vylévat z koryta a kvůli jeho v některých místech vyšším hranám, již do koryta zpět nevtéká ale vlastně stéká dolů samostatným proudem.

Navržená ochrana pro intravilán obce by dle Tab. 5 měla být větší než Q_{50} .

Tab. 5 – Orientační hodnoty návrhového průtoku pro kapacitu koryta [6]

Souvislá zástavba, průmyslový areál, liniové stavby (komunikace, železnice)	$> Q_{50}$
Velmi cenná půda, vinice, chmelnice apod.	$> Q_{20}$
Orná půda	Q_5 až Q_{20}
Louky, lesy	Q_2 až Q_5

Zároveň však s přihlédnutím k velikosti obce, četnosti výskytu povodní a jejich průtokům se zdá přiměřená a zároveň ekonomicky vhodná úroveň ochrany území na průtok rovný Q_{20} . Vzhledem k zastavěnosti obce by vyšší zabezpečení vyžadovalo již rozsáhlý zásah v území obce a například celoobvodové ohrázování by tvořilo komunikační i optickou bariéru.

V řešeném úseku při výpočtu nedošlo k dalšímu ohrožení objektů pro průtok Q_{20} , proto nebyla navržena ani úprava koryta. Kromě konce úseku se zbylá část zkoumaného úseku nachází v extravilánu obce.

Objekty, ohrožené průtoky s dobou opakování sto let, jsou již výše zmíněné objekty ohrožené při průtoku s dobou opakování dvacet let, a navíc objekt na levém břehu s parcelním číslem 4/3, kde se v současné době nachází zahradnictví. Další ohrožený objekt je na levé straně rodinný dům s popisným číslem 80 a k němu přilehlá zahrada a zahradní domek. Opatřením pro ochranu těchto objektů by mohlo být vystavení nového plotu s nepropustnou podezdívkou. Zahradnictví má v současné době pouze drátěný plot, rodinný dům je obestavěn plotem z betonových tvarovek a dřevěnou výplní. Při ochranné podezdívce je třeba dbát na založení, aby nebyla zídka podemleta prouděním vody a zároveň nedošlo k protržení tlakem vody. Z rodinného domu vedou vrátka i schody směrem k toku. Pokud by majitel chtěl tento objekt zachovat, je možné tato vrátka vybavit drážkami pro mobilní hrazení. Na levé straně se v řešeném úseku nachází ještě objekt s prodejem dřeva rozléhající se na parcelních číslech 253/2, 253/3, 253/4 a 253/5. Opatřením pro ochranu tohoto objektu by také mohla být individuální ochrana objektu pomocí již zmíněné podezdívky plotu. Vzhledem k počtu a charakteru ohrožených objektů nebyla rovněž navržena úprava koryta na ochranu před Q_{100} .

Součástí opatření proti povodním je periodická kontrola a údržba objektů omezujících odtokové poměry. V řešeném úseku se jedná především o objekty umístěné v toku popsané v kap.3.2.1. Především by bylo zapotřebí zrekonstruovat nebo znovu postavit most v ř. km 3,017, který je nekapacitní.

Nejdříve je tedy nutné vyřešit ochranu intravilánu obce nacházející se nad tímto řešeným úsekem a dle nových rozlivů řešit ochranu objektů v zájmovém úseku. Například celkové ohrazování toku v řešeném úseku by mohlo zhoršit situaci v centru obce nacházející se nad uvažovaným úsekem proti směru toku. Rozlivy v zájmovém úseku neohrožují velké množství objektů, proto i odtoková studie pro obci Bavoryně uvažuje s možností rozlivu na polích v řešeném úseku.

11. ZÁVĚR

Výpočtem pomocí programu HEC–RAS byly zakresleny záplavové čáry a vymezen rozsah záplavového území pro zájmový úsek Červeného potoku v obci Bavoryně. Byla stanovena kapacita koryta pro nejméně kapacitní profil, tím je příčný profil 17 v ř. km 3,533. Kapacita koryta v tomto místě nedosahuje ani velikosti průtoku rovnému průtoku s dobou opakování pět let. Zbývající profily v řešeném úseku jsou již však dostatečně kapacitní pro průchod průtoku Q_5 .

Při posouzení vlivu ochranných hrází na levém i pravém břehu Červeného potoka byly zjištěny malé změny v rozsahu záplavového území, při průchodu průtoku s dobou opakování sto let, ale nedošlo k ohrožení jiných objektů, než které byly ohroženy před vybudováním hrází. Hráze splňují účel individuální ochrany objektů. Použití dvourozměrného modelu by bylo vhodnější pro vystihnutí usměrnění proudu vlivem překážky.

Při průchodu průtoku s dobou opakování dvacet let, dochází k rozlivům do zastavěného území na konci úseku. Tento problém je však nutno začít řešit již dříve proti směru toku, proto nebyla navržena celková úprava kapacity koryta v řešeném úseku.

12. POUŽITÁ LITERATURA

- [1] BOOR, Boris, Jiří KUNŠTÁTSKÝ a Cyril PATOČKA. *Hydraulika pro vodohospodářské stavby: s.334-335, 352*. Praha: Nakladatelství technické literatury, 1968.
- [2] ČESKÝ STATISTICKÝ ÚŘAD. *Počet obyvatel v obcích k 1.1.2017* [online]. 2017 [cit. 2018-03-15]. Dostupné z: <https://www.czso.cz/csu/czso/pocet-obyvatel-v-obcich-see2a5tx8j>
- [3] ČESKÝ ÚŘAD ZEMĚMĚŘIČSKÝ A KATASRÁLNÍ. *Geoportál ČÚZK, Geoprohlížeč* [online]. [cit. 2018-04-26]. Dostupné z: <http://geoportal.cuzk.cz/geoprohlizec/>
- [4] HAVLÍK, Aleš a Tomáš PICEK. Proudění mostními objekty a propustky. In: *Katedra hydrauliky a hydrologie: K141 - Fsv ČVUT* [online]. [cit. 2018-04-15]. Dostupné z: http://hydraulika.fsv.cvut.cz/Hydraulika/Hydraulika/Predmety/HY2V/ke_stazeni/prednasky/HY2V_08_Mosty_propustky.pdf
- [5] HAVLÍK, Vladimír a Ivana MAREŠOVÁ. Proudění mosty a propustky. *Hydraulika 20: příklady*. Vyd. 2. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2001, s. 75-77. ISBN 80-01-02355-9.
- [6] PATOČKA, Cyril, Lukáš MACURA a kol. *Úpravy toků*. Praha: Nakladatelství techn. lit., 1989. Technický průvodce. s. 131. ISBN 80-03-00203-6.
- [7] POVODÍ VLTAVY. *Zprávy o povodni Povodí Vltavy* [online]. [cit. 2018-05-04]. Dostupné z: <http://www.pvl.cz/hydrologicke-informace/dokumentace-a-vyhodnoceni-povodni/zpravy-o-povodni-pvl>
- [8] POVODÍ VLTAVY. *Přehled staveb protipovodňových opatření* [online]. [cit. 2018-05-04]. Dostupné z: <http://www.pvl.cz/podpora-prevence-pred-povodnemi-ii/prehled-staveb-protipovodnovych-opatreni>
- [9] US ARMY CORPS OF ENGINEERS. *Hydrologic Enginnering Center: User's Manual* [online]. [cit. 2018-04-05]. Dostupné z: <http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/documentation/HEC-RAS%205.0%20Users%20Manual.pdf>

- [10] US ARMY CORPS OF ENGINEERS. *Hydrologic Engineering Center: Features* [online]. In: [cit. 2018-03-29]. Dostupné z:
<http://www.hec.usace.army.mil/software/hecras/features.aspx>
- [11] VRV A.S. a HYDROSOFT VELESLAVÍN S.R.O. *Povodňový plán obce Bavoryně* [online]. 2015 [cit. 2018-05-05]. Dostupné z:
http://stredocesky.dppcr.cz/web_534421/

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 – Vyznačení toku na mapě [3]	12
Obr. 2 – Znázornění řešeného úseku toku v obci Bavoryně [3]	13
Obr. 3 – Pohled na koryto toku, foceno ze silničního mostu v ř. km 3,005	14
Obr. 4 – Pohled na koryto toku, foceno z mostu pro pěší v ř. km 3,017	14
Obr. 5 – Pohled na koryto toku, foceno za silničním mostem v. ř. km 3,480	15
Obr. 6 – Pohled na koryto toku, foceno z pravého břehu	15
Obr. 7 – Stupeň ve dně v ř. km 2,984	16
Obr. 8 – Most pro pěší v ř. km 3,005	16
Obr. 9 – Silniční most v ř. km 3,017	17
Obr. 10 – Stupeň ve dně v ř. km 3,082	17
Obr. 11 – Silniční most v ř. km 3,480	18
Obr. 12 – Stupeň ve dně v ř. km 3,533	18
Obr. 13 – Znázornění nerovnoměrného pohybu vody mezi dvěma profily [1]	23
Obr. 14 – Proudění mostním objektem – přepad dokonalý [4]	24
Obr. 15 – Proudění mostním objektem – nedokonalý přepad [4]	24
Obr. 16 – Tlakové proudění mostním objektem – volný výtok [4]	25
Obr. 17 – Tlakové proudění mostním objektem – zatopený výtok [4]	25
Obr. 18 – Proudění mostním objektem – přeléváná mostovka [4]	27
Obr. 19 – Geometrie toku vytvořená pomocí programu HEC–RAS	28
Obr. 20 – Model mostu v ř. km 3,480 vytvořený v programu HEC–RAS	29
Obr. 21 – Ukázka funkce Levees v ř. km 3,144 – před zadáním	31
Obr. 22 – Ukázka funkce Levees v ř. km 3,144 – po zadání	31
Obr. 23 – Pohled na ohrázený objekt ČOV	36
Obr. 24 – Pohled na ohrázený objekt ČOV	36
Obr. 25 – Pohled na ohrázený objekt prodejny karavanů	37
Obr. 26 – Pohled na hráz objektu s prodejem karavanů	37
Obr. 27 – Archivní ortofotomapa z r. 2013 [3]	38
Obr. 28 – Ortofotomapa z r. 2017 [3]	38

SEZNAM TABULEK

Tab. 1 – Hodnoty m–denních průtoků	9
Tab. 2 – Hodnoty N–letých průtoků	9
Tab. 3 – Hodnoty drsnostního součinitele pro jednotlivé druhy povrchu	30
Tab. 4 – Seznam mostů a kót hladin při průchodu průtoku Q_5 , Q_{20} , Q_{100}	32
Tab. 5 – Orientační hodnoty návrhového průtoku pro kapacitu koryta [6]	43

SEZNAM GRAFŮ

Graf 1 – Konsumpční křivka profilu v ř. km 3,533	33
--	----

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1 – Situace zájmového úseku

Příloha 2 – Podélný profil toku

Příloha 3.1 – 3.9 – Příčné řezy

Příloha 4.1 – Situace záplavového území

Příloha 4.2 – Porovnání záplavových čar

Příloha 5 – Psaný podélný profil toku