



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV VODNÍCH STAVEB

INSTITUTE OF WATER STRUCTURES

NÁVRH PŘÍRODĚ BLÍZKÉ PROTIPOVODŇOVÉ OPATŘENÍ NA VYBRANÉ LOKALITĚ

DESIGN OF FLOOD PROTECTION MEASURES OR REVITALISATION AT THE SELECTED SITE

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Ivan Ondrišík

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. David Duchan, Ph.D.

BRNO 2023

Zadání diplomové práce

Ústav:	Ústav vodních staveb
Student:	Bc. Ivan Ondříšek
Vedoucí práce:	Ing. David Duchan, Ph.D.
Akademický rok:	2022/23
Studijní program:	N0732A260025 Stavební inženýrství – vodní hospodářství a vodní stavby

Děkan Fakulty Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Návrh přírodě blízké protipovodňové opatření na vybrané lokalitě

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Provedte hydraulické ověření na vybrané lokalitě ve 1D/2D a ve 2D. Následně navrhnete úpravu toku směrem k přírodě blízkému protipovodňovému opatření a daný návrh hydraulicky ověřte.

Cíle a výstupy diplomové práce:

Cíle práce:

- hydraulické ověření stávající lokality,
- návrh úpravy,
- hydraulické ověření návrhu.

Seznam doporučené literatury a podklady:

- 1) Ven Te Chow, Open-Channel Hydraulics, 1959
- 2) Studijní opora "Proudění v systémech říčních koryt" a "Projekt vodní stavby".
- 3) ES 2007. Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2007/60/ES ze dne 23. října o vyhodnocování a zvládnutí povodňových rizik.
- 4) MŽP ČR 2009. Metodika tvorby map povodňového nebezpečí a povodňových rizik. VÚV T.G. Masaryka v.v.i, Brno. Ministerstvo životního prostředí ČR, Praha.
- 5) Zákon 254/2001 Sb. o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon).

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku.

V Brně, dne 7.3.2022

L. S.

prof. Ing. Jan Šulc, CSc.
vedoucí ústavu

Ing. David Duchan, Ph.D.
vedoucí práce

prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA, dr. h. c.
děkan

ABSTRAKT

Obsah diplomovej práce sa zaoberá hydraulickým posúdením stavu toku Dřevnice, ktorý v rámci diplomovej práce preteká cez obce Otrokovice, Tečovice a Zlín. V posudku je zahrnuté posúdenie stavu koryta a okolia v súčasnom stave a následné posúdenie koryta a okolia po návrhu protipovodňových opatrení. Cieľom navrhnutých protipovodňových opatrení je ochrana vybraného územia a častí obcí pred nežiaducimi rozlivmi vody pri prietoku $Q_{100} = 327,00 \text{ m}^3/\text{s}$. Vybraná záujmová oblasť toku Dřevnice sa nachádza v riečnom kilometri 2,358 – 9,050 a jej celková dĺžka je 6,692 km. V rámci hydrotechnických výpočtov je v diplomovej práci použitý matematický model HEC-RAS 6.3.1.

KLÍČOVÁ SLOVA

Protipovodňová ochrana, Dřevnice, protipovodňové opatrenia, protipovodňová stena, protipovodňová hrádzka, HEC-RAS, návrh opatrení

ABSTRACT

The content of this diploma thesis is focused on hydraulic assessment of the river Dřevnice, which flows through the village Otrokovice, Tečovice and Zlín. The assessment includes assessment of the current condition of the riverbed its surroundings and the condition after adjustments with the proposed flood control measures. Those flood control measures and modifications are supposed to ensure the protection of parts of municipalities from unwanted water spills at a flow rate of $Q_{100} = 327,00 \text{ m}^3/\text{s}$. The section of interest of the river Dřevnice stream is located on the river kilometre 2,358 – 9,050 nad its total length is 6,692 km. As part of hydrotechnical calculations, the mathematical model HEC-RAS 6.3.1 is used in this diploma thesis.

KEYWORDS

flood protection, Dřevnice, anti-flood measure, floodwall, flood dam, HEC-RAS, draft measures

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

ONDRIŠÍK, Ivan. *Návrh přírodě blízké protipovodňové opatření na vybrané lokalitě*. Brno, 2023. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodních staveb. Vedoucí Ing. David Duchan, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané diplomové práce s názvem *Návrh přírodě blízké protipovodňové opatření na vybrané lokalitě* je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 13.1.2023

Bc. Ivan Ondříšek
autor práce

PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci s názvem *Návrh přírodě blízké protipovodňové opatření na vybrané lokalitě* zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 13.1.2023

Bc. Ivan Ondrišík
autor práce

DECLARATION OF AUTHORSHIP OF THE FINAL THESIS

I declare that this final thesis titled *Návrh přírodě blízké protipovodňové opatření na vybrané lokalitě* is my own work and the result of my own original research. I have clearly indicated the presence of quoted or paraphrased material and provided references for all sources.

Brno, 13.1.2023

Bc. Ivan Ondrišík
author

POĎAKOVANIE

Týmto by som rád poďakoval vedúcemu diplomovej práce, pánovi Ing. Davidovi Duchanovi, Ph.D. za nekonečnú ochotu a čas, ktorý mi venoval pri konzultáciach práce, za odborné vedenie a poskytnutie potrebných podkladov a dôležitých informácií.

OBSAH

1	ÚVOD	11
2	CIEĽ PRÁCE	12
3	TYPY PRÚDENIA VODY V OTVORENÝCH KORYTÁCH	13
3.1	Rovnomerné a nerovnomerné prúdenie vody	13
3.2	Stacionárne a nestacionárne prúdenie vody	13
4	PRÚDENIE VODY V OTVORENÝCH KORYTÁCH – 1D MODEL	14
4.1	Metóda po úsekoch	14
4.2	Zákon zachovania hmotnosti	15
4.3	Veta o zmene hybnosti	15
4.4	Saint-Venantove rovnice pre 1D	16
5	PRÚDENIE VODY V OTVORENÝCH KORYTÁCH – 2D MODEL	17
6	PROTIPOVODŇOVÁ OCHRANA	19
6.1	Technické úpravy korýt	19
6.1.1	Protipovodňové ochranné steny	20
6.1.2	Protipovodňové ochranné hrádze.....	21
6.1.3	Návrh priečného profilu.....	22
6.2	REVITALIZÁCIA VODNÝCH TOKOV.....	23
6.2.1	PBPO v intraviláne obcí	24
6.3	PBPO vo vybranom území toku Dřevnice	24
7	ZÁKLADNÉ INFORMÁCIE	26
7.1	SPRÁVNE ÚDAJE	26
7.2	Vymedzenie a charakteristika záujmového územia	26
7.3	Údaje o povodí.....	27
7.4	Geologické pomery.....	29
7.5	Hydrogeologické pomery.....	29
7.6	Hydrologické pomery	30

7.7	Klimatické pomery.....	31
7.8	Hydrologické údaje.....	31
7.9	Objekty na vodnom toku Dřevnice.....	32
8	POUŽITÝ SOFTWARE	34
8.1	HEC-RAS 6.3.1	34
8.2	Autodesk Civil 3D	34
8.3	QGIS Desktop 3.22.4.....	35
8.4	Microsoft Office Excel	35
9	SPRACOVANIE MODELU POMOCOU SOFTWARE HEC-RAS.....	36
9.1	Neistoty vstupných dát	36
9.2	1D model	36
9.3	2D model	37
9.3.1	Zobrazenie výstupov.....	39
10	VYHODNOTENIE VÝPOČTU – STÁVAJÚCI STAV.....	40
10.1	Pravý breh.....	40
10.2	Ľavý breh	43
10.3	Výsledné zhodnotenie aktuálneho stavu.....	45
11	NÁVRH PROTIPOVODŇOVÝCH OPATRENÍ.....	47
11.1	Pravý breh.....	47
11.2	Ľavý breh	49
11.3	Navrhnuté protipovodňové opatrenia	51
11.3.1	Ochranné protipovodňové steny	52
11.3.2	Ochranné protipovodňové hrádzky	53
11.3.3	Navýšenie cyklotrás.....	53
12	VYHODNOTENIE VÝPOČTU – NÁVRHOVÝ STAV.....	54
12.1	Pravý breh.....	54
12.2	Ľavý breh	56
12.3	Zhrnutie	58

13	ZÁVER	63
14	POUŽITÉ ZDROJE	64
14.1	Zdroje – internet.....	64
14.2	Zdroje – literatúra.....	66
15	ZOZNAM TABULIEK.....	67
16	ZOZNAM OBRÁZKOV	68
17	ZOZNAM POUŽITÝCH SKRATIEK A SYMBOLOV	70
18	ZOZNAM PRÍLOH	71

1 ÚVOD

Pre mesto Zlín a jeho najbližšie okolie je najväčším zdrojom povodňového nebezpečenstva vodný tok Dřevnice. V období zvýšených prietokov vody dochádza často k prekročeniu kapacity koryta a následným rozlivom vody do okolia. Tieto nežiaduce stavy môžu následne spôsobovať škody na majetkoch alebo ľudskom zdraví, či už v zastavaných alebo priemyselných oblastiach ležiacich v blízkosti toku. Práve z tohto dôvodu je nutnosťou zabezpečiť ochranu majetkov a miestneho obyvateľstva vyhodnotením aktuálneho stavu protipovodňovej ochrany toku a prípadným návrhom nových protipovodňových opatrení zlepšiť a zefektívniť ochranu okolia vodného toku.

Riešený úsek toku, ktorým sa táto práca zaoberá leží v riečnom kilometri 2,358 – 9,050 a preteká cez päť rôznych katastrálnych území, menovite k.ú. Kvítkovice u Otrokovíc, k.ú. Otrokovice, k.ú. Tečovice, k.ú. Malenovice u Zlína a k.ú. Louky nad Dřevnicí.

Vodný tok Dřevnice, ktorý spadá pod správu Povodí Moravy s.p., bude hydraulicky posúdený v stávajúcom stave a po vyhodnení výsledkov bude realizovaný návrh určitých protipovodňových opatrení, ktoré by zabezpečili efektívnejšiu ochranu proti zvýšeným prietokom. Posúdenie bude zhotovené pre celú riešenú oblasť pre návrhový prietok $Q_N = Q_{100}$, na ktorý budú následne navrhované protipovodňové opatrenia.

Pre hydraulické výpočty bol využitý 2D model, ktorý bol vymodelovaný pomocou softwaru HEC-RAS 6.3.1. Výstupmi týchto výpočtov budú vo forme príloh jednotlivé mapy rozlivov, hĺbok a rýchlostí pre stávajúci stav a následnej pre stav po návrhu protipovodňových opatrení.

2 CIEĽ PRÁCE

Cieľom tejto diplomovej práce je hydraulické overenie stávajúcej lokality na toku Dřevnice v r. km 2,358 – 9,050. Následnou súčasťou práce bude návrh protipovodňových opatrení (PPO) najmä v zastavaných oblastiach, či už obytných alebo priemyselných.

Po návrhu PPO bude územie znovu hydraulicky overené a bude vyhodnotený stav po návrhu opatrení, ktoré majú zabrániť nežiaducim rozlivom vody mimo koryto a škodám.

Hlavným predmetom tejto práce je ako prvý hydraulický výpočet s vyhodnotením súčasného stavu rozlivov do okolitého územia. Výpočet bude zhotovený pre prietok Q_{100} . Na základe hydraulických výpočtov a rozlivov vody bude v riešenej oblasti navrhovaná protipovodňová ochrana, ktorej cieľom je ochrániť územie pred rozlivmi vody a pred škodami spôsobenými prekročením kapacity koryta.

V rámci tejto práce bol pre hydraulické výpočty použitý voľne dostupný software HEC-RAS 6.3.1, ktorý umožňuje riešenie 1D a 2D modelu ustáleného alebo neustáleného prúdenia vody v otvorených korytách.

Výstupy z hydraulických výpočtov boli spracované do príloh uvedených v kapitole 18 .

3 TYPY PRÚDENIA VODY V OTVORENÝCH KORYTÁCH

Všeobecne sa dá prúdenie vody v otvorených korytách rozdeliť podľa veľkého množstva kritérií. Hlavnými kritériami pre výber simulačného modelu rozlivov vodných tokov sú [18] [19]:

- časový priebeh a veľkosť zmien prietoku v danej oblasti;
- zmena charakteru koryta po dĺžke (jedná sa najmä o zmenu sklonu dna a zmenu tvaru prietočného profilu, ktoré majú priamy vplyv na rovnomernosť prúdenia).

3.1 ROVNOMERNÉ A NEROVNOMERNÉ PRÚDENIE VODY

Rovnomerné prúdenie vody je také prúdenie, pri ktorom v riešenej oblasti nedochádza k zmene tvaru prietočného profilu a sklon dna je v danom úseku konštantný. V tomto prípade je zhodný sklon dna koryta, hladiny a čiary energie. [18]

V praxi sa s prípadom rovnomerného prúdenia stretávame len pri prizmatických korytách, čo môžu byť napr. žľaby vo vodohospodárskych laboratóriách. [18]

V prípade, že v danej riešenej oblasti dochádza ku zmene sklonu dna alebo zmene tvaru prietočného profilu, môžeme konštatovať, že sa jedná o nerovnomerné prúdenie. [18]

3.2 STACIONÁRNE A NESTACIONÁRNE PRÚDENIE VODY

Najjednoduchší popisateľný typ prúdenia z hľadiska stacionarity prietokov je stacionárne prúdenie vody. Pri tomto type prúdenia je prietok riešenou oblasťou v čase nemenný, mení sa len v priestore. Hydrogram takéhoto prúdenia by bol znázornený ako priamka, ktorá by bola rovnobežná s časovou osou hydrogramu. [18] [19]

Opačným prípadom, teda prípadom, keď je prietok riešenou oblasťou v čase premenlivý, tak sa jedná o nestacionárne prúdenie vody. Pri tomto type prúdenia je podoba hydrogramu ovplyvnená mnohými faktormi. Ide napr. o usporiadanie riečnej siete, plošný odtok v danej oblasti, klimatické podmienky atď. [18] [19]

Pri nestacionárnom prúdení vody je hydrogram daný objemom povodňovej vlny [m^3] a objemom povodne [m^3], kulminačným prietokom povodne [m^3/s], vzostupnou a zostupnou vetvou a tvarom hydrogramu. [18] [19]

4 PRÚDENIE VODY V OTVORENÝCH KORYTÁCH – 1D MODEL

Voľba použitia 1D modelu prúdenia je vhodná v takom prípade, keď nedochádza k rozlivu vody mimo koryto a detailné informácie a údaje o rozdieloch úrovne hladiny v prietochnom profile alebo hodnoty bodových rýchlostí v prietochnom profile nie sú potrebné. [19]

Všeobecné rovnice pre prúdenie vody v otvorených korytách a rovnice pre 1D prúdenie budú podrobnejšie popísané v ďalších kapitolách.

Pre všetky neznáme, ktoré sú uvedené nižšie platí, že sú funkciou priestorovej polohy prietochného profilu x [m] a funkciou času t [s] v prípade nestacionárnej úlohy. [19]

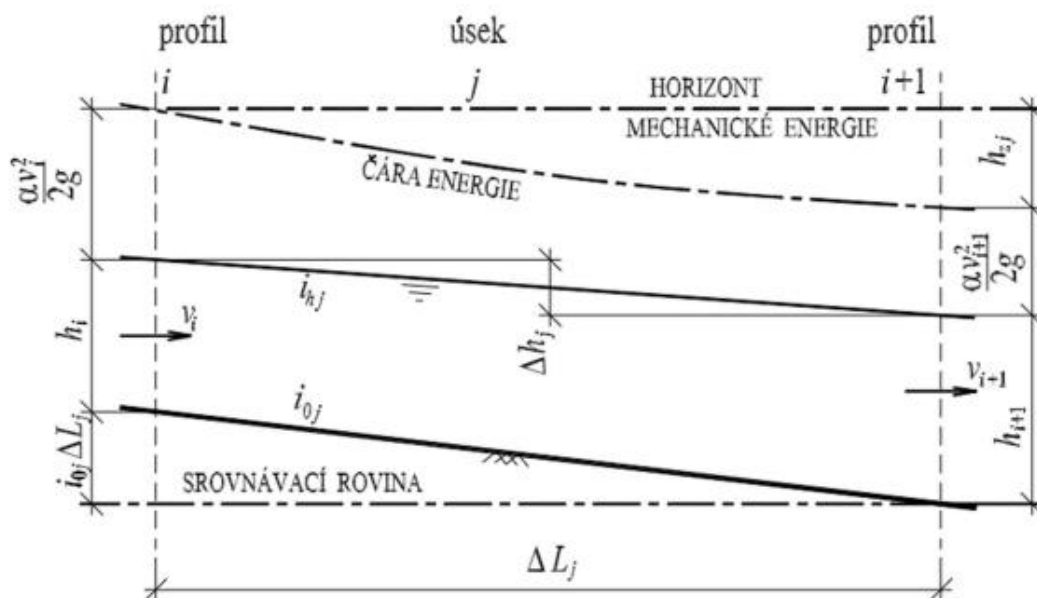
Prípád 1D prúdenia vody je popísaný piatimi neznámymi, ktoré zahŕňajú veličiny [19]:

- prietochná plocha S [m²];
- objemový prietok Q [m³/s];
- hĺbka vody v prietochnom profile h [m];
- prierezová rýchlosť v [m/s];
- sklon čiary energie J_E [-].

4.1 METÓDA PO ÚSEKoch

Metóda po úsekoch vychádza z riešenia schémy metódy po úsekoch, ktorá je uvedená na Obr. 1. Riešenie schémy je podľa Bernoulliho rovnice [18]:

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



Obr. 1 Schéma metódy po úsekoch [18]

kde i_{0j} znázorňuje sklon dna medzi jednotlivými profilmi i a $i+1$, rôzny od sklonu čiary energie a od sklonu hladiny [-], ΔL_j značí horizontálnu vzdialenosť medzi jednotlivými profilmi i a $i+1$ a je zároveň dĺžkou výpočetného kroku [m], α znázorňuje Coriolisovo číslo [-], v_i a v_{i+1} značia

stredné rýchlosti prúdenia pre daný profil i [m/s], h_i a h_{i+1} znázorňujú úroveň hladiny pre jednotlivý profil i [m] a h_{zj} je stratovou výškou medzi jednotlivými profilmi i a $i+1$ [m].

Výpočtový software HEC-RAS rieši 1D model prúdenia vody v otvorených korytách práve pomocou metódy po úsekoch. Vychádza pri tom zo zákona zachovania energie a hmotnosti. V prípade napr. prepadu cez preliv alebo v prípade nestacionárneho prúdenia nemožno pomocou metódou po úsekoch popísať 1D prúdenie v otvorených korytách, dochádza k využitiu 1D Saint-Venantovej rovnice alebo k využitiu empirických vzorcov. [20]

Pokiaľ dôjde k nesplneniu podmienky, že úrovne hladiny neprekročia brehové čiary prietochného profilu, môže dôjsť k zníženiu efektívnosti a vypovedajúcej hodnoty modelu. V takom prípade by sa vo výpočte mohli vyskytnúť zvlnené úrovne hladiny v pozdĺžnom profile toku, ktoré sú nezmyselné alebo by mohlo dôjsť k zamedzeniu prietoku v inundačných územiach. K takémuto stavu dochádza najmä v prípadoch, keď je vodný tok obklopený členitým terénom a reliéfom. Pre riešenie tohoto problému ponúka software HEC-RAS funkciu levees. V niektorých prípadoch použitia tejto funkcie však dochádza k ovplyvneniu prietoku v jednotlivých inundáciách a preto v mnoho prípadoch nie je možné nastavenie modelu tak, aby bolo výsledky reprezentatívne. [20] [21] [22]

Nutnosťou je tiež spomenúť, že spomínaná funkcia levees je veľmi subjektívna. Snahou softwaru obmedziť práve takéto typy subjektívnych rozhodnutí a ovplyvnení je využitie kombinovaného 1D a 2D modelovania, poprípade využitiu čistého 2D modelovania, kde funkciu typu levees užívateľ už nepoužíva. [20] [21] [22]

4.2 ZÁKON ZACHOVANIA HMOTNOSTI

Stanovením zákona zachovania hmotnosti je, že rozdiel hmotnosti kvapaliny, ktorá do elementu pritečie a odtéčie za určitý stanovený časový úsek sa rovná časovej zmene hmotnosti kvapaliny elementu. Z hľadiska hydrodynamiky je zákon zachovania hmotnosti zväčša uvádzaný ako rovnica kontinuity, viď *rovnica 4.2*. V rovnici ρ vyjadruje hustotu kvapaliny [kg/m³], t znázorňuje čas [s] a v_i značí zložky jednotlivých vektorov rýchlostí v príslušných smeroch [m/s]. Tento nižšie uvedený zápis platí len pre konštantnú teplotu. [19] [24]

$$\frac{\partial(\rho v_x)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v_y)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho v_z)}{\partial z} + \frac{\partial \rho}{\partial t} = 0 \quad (4.2)$$

4.3 VETA O ZMENE HYBNOSTI

Druhý Newtonov zákon uvádza, že zmena hybnosti telesa za stanovený časový úsek je úmerná silám, ktoré pôsobia na teleso a má s nimi zhodný smer. Z tohoto zákona vychádza veta o zmene hybnosti. V nižšie uvedenej *rovnici 4.3* vyjadruje F_i zložky vektoru síl v príslušných smeroch [N], D značí substanciálnu deriváciu, ktorú možno rozpísať v tvare uvedeným v *rovnici 4.4* a m je hmotnosť telesa, ktorá je v rámci rovnice považovaná za konštantu [kg]. [19] [24]

$$F_i - m \frac{Dv_i}{Dt} = 0 \quad (4.3)$$

$$\frac{Dv_i}{Dt} = \frac{\partial v_i}{\partial t} + v_j \frac{\partial v_i}{\partial x_j} \quad (4.4)$$

V rámci *rovnice 4.4* značí prvý člen pravej strany rovnice lokálnu zložku zrýchlenia a druhý člen pravej strany rovnice značí konvektívnu zložku zrýchlenia. Index j následne označuje príslušné smery pre konvektívnu zložku zrýchlenia. [19] [24]

4.4 SAINT-VENANTOVE ROVNICE PRE 1D

Nestacionárna rovnica kontinuity pre konštantnú hustotu kvapaliny ρ je prvou Saint-Venantovou rovnicou, vid' rovnica 4.5. V tejto rovnici znázorňuje S prietočnú plochu [m^2] a veličina Q značí objemový prietok [m^3/s]. [19]

$$\frac{\partial S}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0 \quad (4.5)$$

Z vety o zmene hybnosti vychádza druhá Saint-Venantova rovnica, ktorá je často označovaná aj ako pohybová rovnica a môže byť zapísaná v troch rôznych tvaroch [19] [20] [23]:

- 1) *dynamická vlna* – berie v úvahu obidve zložky zrýchlenia – lokálnu aj konvektívnu. V rovnici značí g tiažové zrýchlenie [m/s^2], i_0 znázorňuje sklon dna [-], i_E je sklon čiary energie [-] a h znázorňuje hĺbku vody v prietočnom profile [m].

$$\frac{\partial S}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0 \quad (4.6)$$

- 2) *difúzna vlna* – ak sú veľkosti zmien úrovní hladín a rýchlostí pozvoľné pre riešené prietóčné profily a dominantnými zložkami, ktoré ovplyvňujú prúdenie sú gravitačné, tlakové a odporové sily, možno previesť druhú Saint-Venantovu rovnicu na tvar uvedený nižšie, ktorý neuvažuje konvektívnu zložku zrýchlenia:

$$g \frac{h}{x} + gi_E = gi_0 \quad (4.7)$$

- 3) *kinematická vlna* – pokiaľ nastane prípad, že zložkami, ktoré dominantne ovplyvňujú prúdenie sú odporové a gravitačné sily, možno druhú Saint-Venantovu vetu previesť na tvar, ktorý je uvedený nižšie:

$$gi_E = gi_0 \quad (4.8)$$

5 PRÚDENIE VODY V OTVORENÝCH KORYTÁCH – 2D MODEL

Ochrana pred povodňami je typickým a najčastejším prípadom využitia 2D modelu. Tento typ modelu sa používa najmä pri takých úlohách, ktorých cieľom je namodelovať rozlivy vody vo vybranom území. Jeho využitie sa často spája s návrhmi určitých technických riešení protipovodňovej ochrany v území alebo s rizikovými analýzami. [22] [25]

Z hľadiska použitého softwaru HEC-RAS sa ku 2D simulácií využíva algoritmus, ktorý je založený na Navier-Stokesových rovniciach. Tieto rovnice vychádzajú zo zákona zachovania hmotnosti a pohybových rovníc a v tomto prípade sú upravené do tvaru tzv. plytkého prúdu. [19] [20] [24]

Pre dosiahnutie požadovaného výsledku úlohy plytkého prúdu sa hľadajú výsledné hodnoty troch neznámych, do ktorých patrí hĺbka h [m], vektor zvislicových rýchlostí $v_{s,x}$ [m/s] a vektor zvislicových rýchlostí $v_{s,y}$ [m/s]. [19]

Výsledný tvar rovníc plytkého prúdu môžeme po použití vhodných matematických úprav zapísať tromi rôznymi spôsobmi [19] [24]:

- *Rovnica kontinuity plytkého prúdu:*

$$\frac{\partial H}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(hv_{s,x}) + \frac{\partial}{\partial y}(hv_{s,y}) + q = 0 \quad (5.1)$$

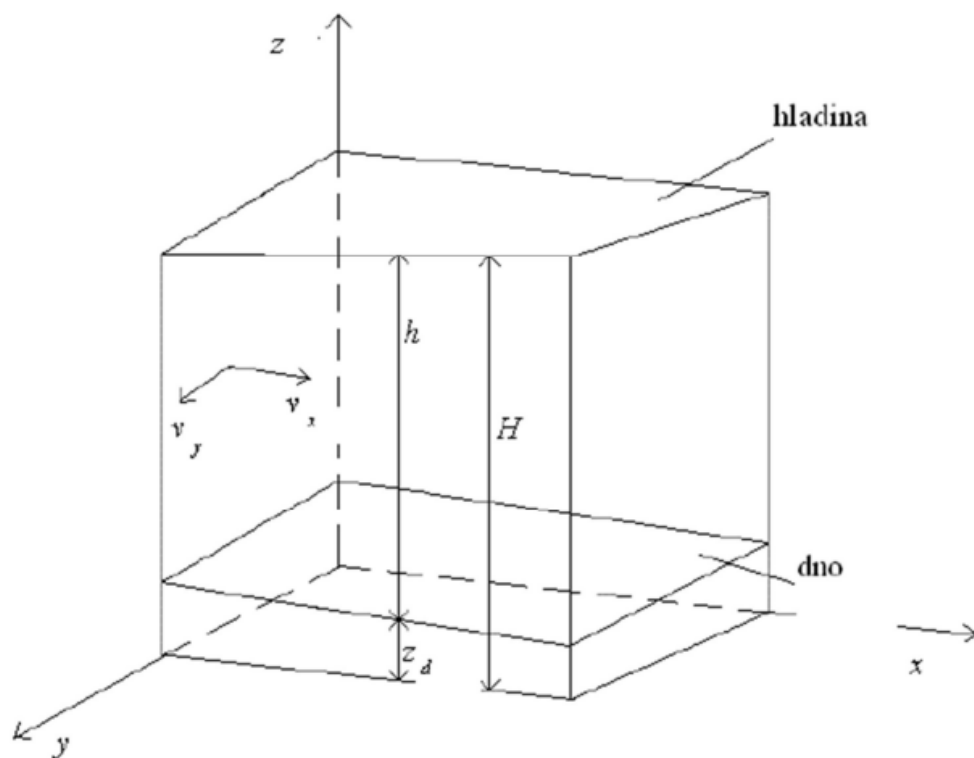
kde veličina H označuje polohu hladiny [m], $v_{s,x}$ a $v_{s,y}$ značí priemerné zvislicové rýchlosti pre príslušné smery [m/s] a q je odber alebo zdroj [m^3/s].

- *Pohybové rovnice plytkého prúdu:*

$$\frac{\partial(hv_{s,x})}{\partial t} + \frac{\partial(hv_{s,x}^2)}{\partial x_x} + \frac{\partial(hv_{s,x}v_{s,y})}{\partial y} - f_x(hv_{s,y}) = \frac{\partial(hT_{x,x})}{\partial x} + \frac{\partial(hT_{x,y})}{\partial y} + \tau_x^h - \tau_x^d \quad (5.2)$$

$$\frac{\partial(hv_{s,y})}{\partial t} + \frac{\partial(hv_{s,y}^2)}{\partial x_x} + \frac{\partial(hv_{s,y}v_{s,x})}{\partial y} - f_y(hv_{s,x}) = \frac{\partial(hT_{y,y})}{\partial y} + \frac{\partial(hT_{x,y})}{\partial x} + \tau_y^h - \tau_y^d \quad (5.3)$$

V rovnici 5.2 a 5.3 vyjadruje f_x a f_y vektory objemového zaťaženia, ktoré sa vzťahujú na jednotku hmotnosti v jednotlivých príslušných smeroch [m/s^2], τ_x^h a τ_y^h značí šmykové napätia na hladine v jednotlivých príslušných smeroch [Pa], τ_x^d a τ_y^d značia šmykové napätia na dne v príslušných smeroch [Pa] a $T_{x,x}$, $T_{x,y}$ a $T_{y,y}$ sú šmykové napätia, ktoré sú vyvolané turbulenciami v príslušných rovinách [Pa]. Tvar rovnice 5.2 je uvedený pre smer x a tvar rovnice 5.3 je pre smer y .



Obr. 2 Výrez prúdu - grafické zobrazenie [19]

Pri prúdení vody v 2D oblasti využíva software HEC-RAS pre riešenie prúdenia nasledujúce dva druhy vln [19] [20] [23]:

- 1) *difúzne vlny* – rovnice plytkého prúdu sú bez konvektívnej zložky zrýchlenia;
- 2) *dynamické vlny* – proti difúznym vlnám vyžaduje výpočet v tomto prípade menší časový krok a rovnice plytkého prúdu sú v plnom tvare.

6 PROTIPOVODŇOVÁ OCHRANA

Stavba, sústava stavieb, zariadení alebo terénnych úprav, ktorej úlohou je v prípade výskytu zvýšených prietokov, tzv. povodní zabrániť prieniku týchto prietokov do chránených území sa nazýva protipovodňová ochrana (PPO). Cieľom týchto PPO je zabránenie zvýšeným prietokom napáchať škody či už na ľudskom zdraví, majetku, objektoch alebo životnom prostredí. Lokality, ktoré sa vyskytujú v záplavových územiach sú často chránené určitým typom protipovodňovej ochrany, aby sa predišlo negatívnym vplyvom a účinkom povodne v danej oblasti. [1]

Základným predpokladom pre kvalitný návrh protipovodňových opatrení je dostupnosť dostatočného množstva informácií o vybranom záplavovom území. Ďalším veľmi dôležitým aspektom pri procese návrhu PPO je prevencia. V dôsledku prevencie dochádza v prípade výskytu a vzniku zvýšených prietokov značné zníženie rizika, že by mohlo dôjsť k zaplaveniu alebo ohrozeniu stavieb a objektov v danom území. [1]

Zadržiavanie povodní a zvýšených prietokov je zabezpečované taktiež pomocou schopnosti krajiny zadržiavať vodu. V následku dopadov vodnej erózie je však táto schopnosť značne ovplyvňovaná a znižovaná a z tohoto dôvodu je prioritou snaha navrhovať a realizovať také návrhy protipovodňových opatrení, ktoré sa v čo najväčšej možnej miere približujú a sú blízke prírodnému charakteru a patria do systému protipovodňovej ochrany technickej. Takéto typy protipovodňovej ochrany sa nazývajú prírode blízкими protipovodňovými opatreniami (PBPO). [2]

Kombinácia technických protipovodňových opatrení a revitalizačných prvkov, ktorá sa pri návrhu PBPO využíva, súvisí aj s možným vznikom prirodzeného rozlivu vody do údolnej nivy. Vďaka týmto opatreniam môže dochádzať aj k zadržaniu vody v miestach, ktoré sa nachádzajú v okolí vodného toku so záplavovým územím. [2] [3]

V prípade, že je cieľom dosiahnutie čo najviac ekologického stavu vodného toku a jeho okolia, využívajú sa k tomu revitalizácie vodných tokov. Revitalizácia vodného toku je základom pre návrh PBPO, ktorá v značnej miere zohľadňuje protipovodňové funkcie vodného toku a efektívnosť protipovodňovej ochrany. [3]

6.1 TECHNICKÉ ÚPRAVY KORÝT

Pod pojmom technickej úpravy koryta sa rozumie zásah do koryta toku, ktorého výsledkom je značná úprava alebo zmena jeho prirodzeného charakteru. Vo väčšine prípadov sa úprava navrhuje ako prizmatické koryto, kde často dochádza aj ku zmene trasy pôvodného koryta. Koryto sa taktiež môže navrhovať s opevneným dnom, opevnenými stenami a priečny profil býva zväčša pravidelného tvaru, vid' Obr. 3. [7]

Umelé korytá, ktoré sú vybudované pomocou technických úprav majú pomerne veľkú kapacitu, ale proti pôvodným prírodným korytám, ktoré nahradili, sú podstatne menej členité.

Pri ich navrhovaní je potreba brať zreteľný ohľad na negatívne účinky a nepriaznivé vplyvy, ktorými tieto opatrenia môžu zhoršovať podmienky v krajine. Ide najmä o rýchlejšie odvedenie vody z územia pomocou umelého novovybudovaného koryta a tým pádom by sa mal brať zreteľ na podporovanie opatrení voči dopadu sucha v danej oblasti. [9]



Obr. 3 Príklad technickej úpravy koryta [8]

6.1.1 Protipovodňové ochranné steny

V prípade zvýšených prietokov a povodňových stavov je hlavnou úlohou a funkciou protipovodňových ochranných stien zadržiavanie vody a zabránenie rozlivu vody do okolitého územia. K použitiu a návrhu protipovodňových ochranných stien dochádza najmä v intravilánoch obcí a v zastavaných územiach, kde panujú stiesnené podmienky a nie je v nich možný návrh iného protipovodňového opatrenia, ktoré má väčšie priestorové nároky. Úlohou týchto protipovodňových opatrení je ochránenie územia pred prípadným rozlivmi vody z vodného toku, ktoré by mohli viesť ku nežiaducim škodám, či už ekonomickým alebo na ľudskom zdraví. [4]

Rozdelenie protipovodňových ochranných stien: [4]

- stabilné ochranné steny;
- mobilné ochranné steny.

Stabilné protipovodňové ochranné steny sú najpoužívanejším a najčastejším typom tohoto protipovodňového opatrenia. Vo väčšine prípadov sú konštruované z vodotesného betónu a na základe požadujúcej statickej rovnováhy sú votknuté do podložia, vid' *Obr. 4.* [4]



Obr. 4 Stabilná ochranná protipovodňová stena [5]

Mobilné protipovodňové ochranné steny, vid' *Obr. 5*, sa využívajú hlavne vtedy, ak z určitých dôvodov nie je vhodný návrh stabilných protipovodňových ochranných stien alebo je potreba mimo obdobia zvýšených prietokov a povodní umožniť voľný priechod. [4]

Tieto steny sú demontovateľné a väčšinou sú tvorené oceľovou konštrukciou. Používajú sa v období povodňových stavov a zvýšených prietokov. [4]



Obr. 5 Mobilná ochranná protipovodňová stena [6]

6.1.2 Protipovodňové ochranné hrádze

Úlohou protipovodňových ochranných hrádzi je zabrániť zaplaveniu územia do určitého návrhového prietoku, na ktorý boli hrádze navrhnuté, a sústrediť zvýšený prietok alebo povodeň do medzihrádzia.

Jedná sa o jedno z vôbec najstarších vodohospodárskych diel vôbec. Tieto ochranné hrádze plnia ochrannú funkciu zastavaných oblastí a sídiel a sú budované zväčša pozdĺž vodných tokov. [4]

Práve z dôvodu budovania pozdĺž vodných tokov sú protipovodňové ochranné hrádze líniovou ochranou územia, nemusia však tvoriť súvislý pás ak plnia funkciu ochrany dôležitých objektov na toku. [10]

Priečny profil ochranných hrádzí býva vo väčšine prípadov lichobežníkového tvaru, kde je sklon svahov navrhovaný v rozmedzí 1:2 až 1:4. Hrádze sú vo väčšine prípadov budované z homogénnych materiálov, ale môže dôjsť aj k prípadu, že sa hrádze budujú so stredným alebo návodným tesnením v kombinácii s priepustnými materiálmi. V takom prípade sa už jedná o nehomogénne hrádze. [10]

Z dôvodu vhodnejšieho začlenenia ochranných hrádzí do okolitej krajiny je možnosť návrhu a budovania prírodných valov z prírodných materiálov s následným osadením vegetácie, vid' *Obr. 6*. V tomto prípade však bývajú nevýhodou zvýšené priestorové nároky pre umiestnenie týchto ochranných prvkov z dôvodu menších sklonov svahov, ktoré sa pohybujú zväčša v rozmedzí od 1:5 až 1:10. [10]



Obr. 6 Protipovodňová ochranná hrádza [11]

6.1.3 Návrh priečného profilu

Hodnota návrhového prietoku Q_N je hlavným údajom, ktorý sa využíva pri návrhu a následnej úprave koryta toku. Návrh priečného tvaru koryta je výsledkom zhodnotenia veľkosti koryta, miestnych podmienok a tvaru pôvodného koryta. Následne sa navrhnutý priečny profil posudzuje hydraulickým výpočtom spoločne s posúdením stability koryta. Novonavrhnutý priečny tvar koryta by mal spĺňať taký stav, aby v mieste dna a svahov nedochádzalo k neprípustným a nadmerným deformáciám. [12]

Návrh opevnenia koryta sa robí z dôvodu, aby nedochádzalo vplyvom prúdenia vody k porušovaniu koryta. Na základne hydraulického výpočtu sa pristupuje k návrhu opevnenia dna koryta, päty svahov a samotných svahov koryta. Najpoužívanejším a najčastejším opevnením dna bývajú priečne prahy v dne, ktoré sú zhotovené z kameňa. K opevneniu päty svahov sa najčastejšie používajú kamenné záhozové pätky alebo betónové pätky. Z dôvodu ochrany svahov voči vplyvom prúdenia vody v koryte sa svahy ochraňujú kamennými dlažbami, ktoré môžu byť pokladané do betónu alebo na sucho. Ďalšou možnosťou opevnenia svahov je aj použitie vhodného typu prefabrikovaných tvárnic. [12]

6.2 REVITALIZÁCIA VODNÝCH TOKOV

Pod pojmom revitalizácie možno rozumieť súbor vhodných opatrení, ktorých efektom je náprava alebo obnovenie prirodzenej funkcie ekosystémov, spoločenstiev alebo biotopov, ktoré môžu byť poškodené určitým typom ľudskej činnosti a zásahu do prírody alebo iným spôsobom. [13]

Pri umiestňovaní revitalizácie je nutnosť brať ohľad na to, či sa riešený úsek nachádza vo voľnej krajine alebo v oblasti intravilánu. Revitalizáciou môže byť vybudovanie nového koryta alebo vhodná prestavba koryta, ktoré bolo upravené technicky, aby bol výsledný stav čo najviac blízky prírodnému stavu. [7]



Obr. 7 Príklad revitalizácie vodného toku [14]

Princípy revitalizácie vodných tokov [17]:

- iniciácia vývoja koryta;
- zvýšenie stanoviskovej pestrosti;
- zvýšenie hladiny podzemnej vody;
- priblíženie prírode blízkeho stavu;
- spomalenie odtoku vody z povodia;

- zvýšenie retencie vôd v krajine.

6.2.1 PBPO v intraviláne obcí

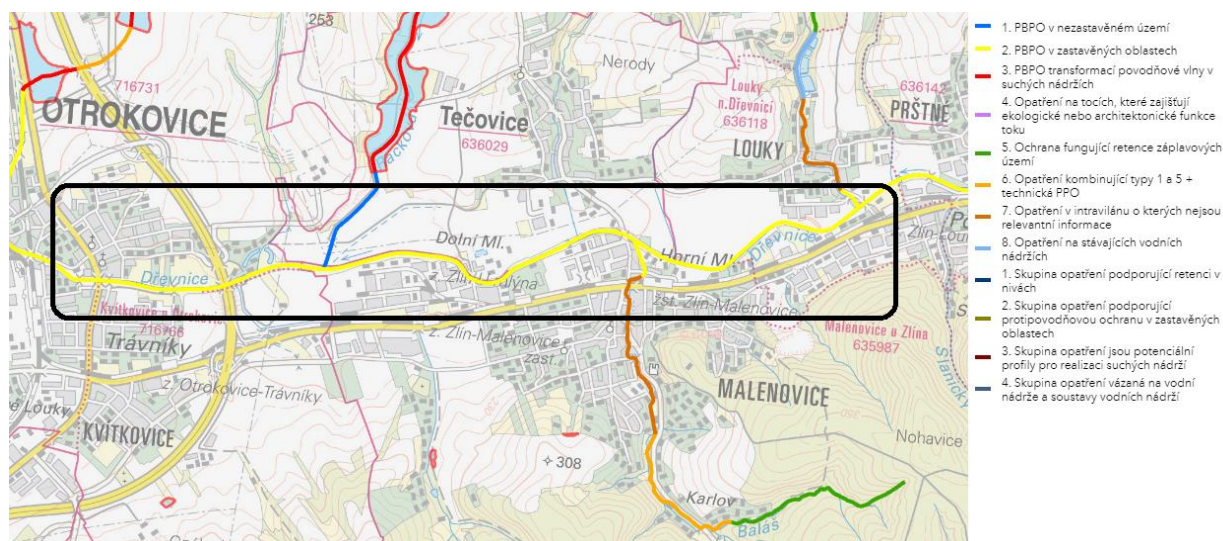
Maximálna prietočná kapacita a stabilita koryta sú najhlavnejším faktorom pri procese návrhu a budovania protipovodňových opatrení v zastavaných územiach. V dôsledku správneho a efektívneho návrhu by malo koryto zabezpečiť a zaistiť prirodzený vzhľad vodného toku, jeho ekologickú úroveň a má byť dostatočne veľké. Z dôvodu ohrozenia majetku a jednotlivých objektov v oblastiach intravilánu preto nemožno navrhovať a vytvárať korytá, ktoré by boli nedostatočné z hľadiska kapacity a umožňovali by rozlivy vody do okolia. [15]

Jednou z možností ochrany zastavaného územia je vybudovanie nového koryta, ktoré je svojim vzhľadom a charakterom blízke prírode. Takéto korytá sa umiestňujú mimo zastavaného územia a splňujú účel obtokového koryta. Takto navrhnuté obtokové koryto slúži k odvedeniu povodní a zvýšených prietokov do nezastavaného územia s následnou možnosťou rozvoľnenia a umožneniu rozlivu vody do oblasti, kde nespôsobí škody alebo slúži k odvedeniu vody do suchých poldrov. [7]

Pokiaľ z nejakého dôvodu nie je možné zachovať prírodný profil koryta, vyskytuje sa možnosť rozčlenenia dna, ktoré môže byť realizované buď pomocou zapustených kameňov do dna alebo voľne uloženými kameňmi, poprípade môže byť použitý zához z lomového kameňa alebo kamenná rovnanina. Dodatočnou možnosťou je návrh opatrení pre zabezpečenie brehov. Takýto návrh však musí prihliadať na sklonové pomery a miestne podmienky a môže byť realizovaný pomocou kamenných stien, gabiónových stien alebo formou kyklopského muriva z rovnaniny. [15]

6.3 PBPO VO VYBRANOM ÚZEMÍ TOKU DŘEVNICE

V mieste záujmového územia a vybranom území tejto diplomovej práce sú navrhované PBPO v nezastavanom území, PBPO v zastavaných oblastiach a opatrenia v intraviláne, o ktorých nie sú relevantné informácie, viď *Obr. 8*. [16]



Obr. 8 Typy PBPO vo vybranej oblasti [16]

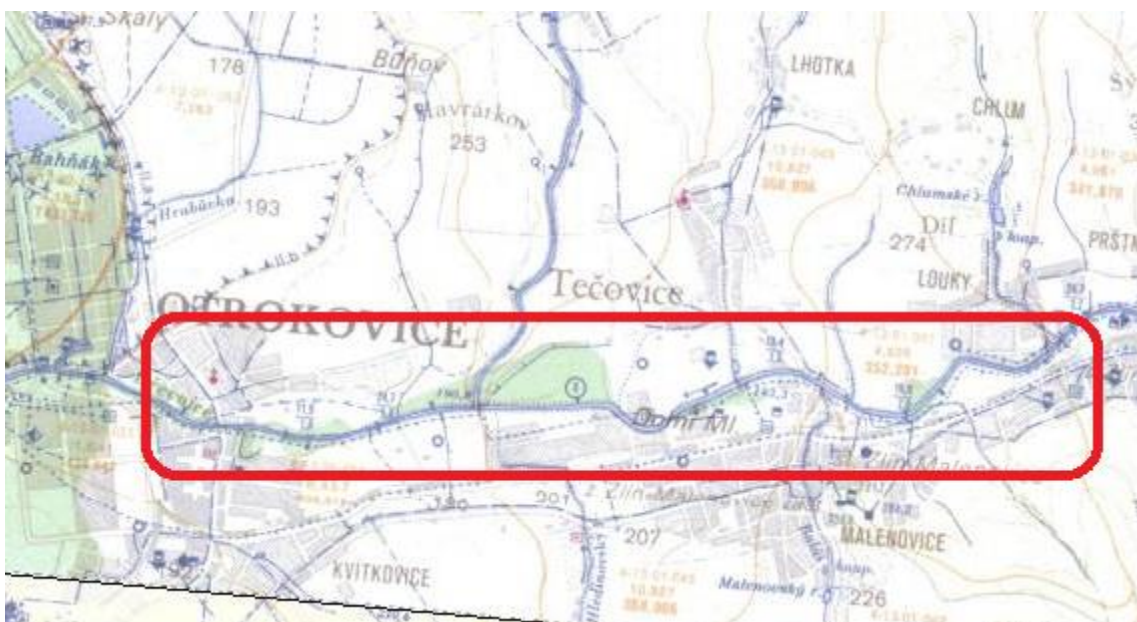
Úlohou týchto PBPO je zabezpečenie požadovanej úrovne povodňovej ochrany tak, aby boli splnené aj ekosystémové požiadavky. [17]

- 1) *PBPO v nezastavanom území* – jedná sa o návrh revitalizácie nad obcou, ktorá je doplnená o určité účinné a efektívne technické opatrenia; [17]
- 2) *PBPO v zastavaných oblastiach* – hlavnou snahou v zastavaných oblastiach je najmä zvýšenie kapacity koryta. Bezpečné prevedenie a odvedenie vody z oblasti je primárnym účelom tohto opatrenia. [17]

7 ZÁKLADNÉ INFORMÁCIE

7.1 SPRÁVNE ÚDAJE

Názov toku:	Dřevnice
Dĺžka toku:	42,3 km [26]
Rozloha povodia:	434,6 km ² [26]
Obce:	Otrokovice, Tečovice, Zlín
Katastrálne územie:	k.ú. Kvítkovice u Otrokovic, k.ú. Otrokovice, k.ú. Tečovice, k.ú. Malenovice u Zlína, k.ú. Louky nad Dřevnicí
Kraj:	Zlínsky kraj [26]
Správa toku:	Povodí Moravy, s.p., Dřevařská 11, 602 00 Brno, Závod Střední Morava, Moravní náměstí 766, 686 11 Uherské Hradiště [27]
Číslo vodohospodárskej mapy:	25-31 [28]
Číslo hydrologického poradia:	4-13-01-004 [27]



Obr. 9 Vodohospodárska mapa - záujmový úsek [28]

7.2 VYMEDZENIE A CHARAKTERISTIKA ZÁUJMOVÉHO ÚZEMIA

Vybraná záujmová lokalita sa nachádza v Zlínskom kraji a zasahuje do územia mesta Zlín a Otrokovice a ich lokálnych častí, menovite Otrokovice, Kvítkovice, Malenovice, Tečovice a Louky.

Cez zájmové územie preteká rieka Dřevnice, ktorá bude v rámci tejto diplomovej práce riešená v r. km 2,358 – 9,050.

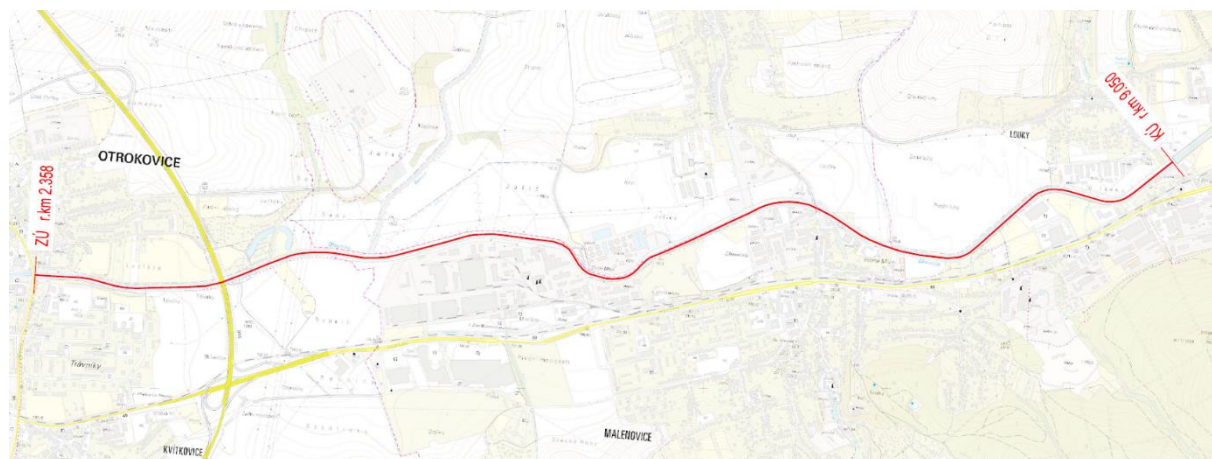
Tok Dřevnice je ľavostranným prítokom rieky Moravy. Prameň toku sa nachádza približne 3 km severne od neďalekej obce Držková, ktorá sa nachádza na juhu Hostýnskych vrchov v nadmorskej výške 551 m n.m. Rieka Dřevnice sa vlieva do toku Morava v nadmorskej výške 182 m n.m. pri meste Otrokovice, ktorým preteká. [26]

V zájmovej oblasti je tok striedavo ohraničený zastavaným územím aj voľnými poľnohospodárskymi oblasťami. Medzi vyššie uvedenými r.km sa dohromady nachádza 15 objektov, z toho sa jedná o 4 lávky, 2 silničné mosty, 1 diaľničný most, 5 stupňov a 3 priečne prahy.

Tab. 1 Základné informácie o riešenej časti toku Dřevnice [27] [29]

Tok	IDVT	r.km, začiatok - koniec	ČHP
Dřevnice	10100089	2,358 - 9,050	4-13-01-004

Riešená časť toku začína na r. km 2,358 za cestným mostom v obci Otrokovice a končí v r. km 9,050 pred cestným mostom v mestskej časti Zlína, Louky, vid' Obr. 10. Celková dĺžka riešeného úseku činí 6,692 km.



Obr. 10 Situácia zájmového územia

7.3 ÚDAJE O POVODÍ

Riešený vodný tok Dřevnice spadá do oblasti povodia Moravy, ktoré je štvrtým najväčším povodím na území Českej republiky. Správcom celej oblasti povodia Moravy je Povodí moravy s.p. [30]

Tab. 2 Zemepisná poloha oblasti povodia Moravy [30]

Svetová strana	Najbližšia obec	Severná šírka	Východná dĺžka
sever	Staré Město	50°14'	16°58'
juh	Lanžhot	48°37'	16°56'
východ	Velké Karlovice	49°22'	18°25'
západ	Třebovice	49°52'	16°30'

Oblasť povodia Moravy je čiastkovým povodím, ktoré patrí do hydrologického povodia Moravy a z hľadiska medzinárodnej oblasti povodia Dunaja tvorí táto oblasť českú časť. [30]



Obr. 11 Oblast' povodia Moravy – vymedzenie oblasti [31]

Vyššie spomínaná oblasť povodia Moravy zasahuje na území Českej republiky celkovo do piatich krajov. Menovite sa jedná o kraj Olomoucký, ktorý zastupuje najvyšší podiel danej oblasti, Zlínský kraj, ktorý tvorí necelých 39% oblasti, Jihomoravský kraj, kraj Pardubický a Moravskoslezský kraj. [30]

Konkrétne Zlínsky kraj zaberá vo vyššie spomínanej oblasti plochu takmer 3939 km² a v rámci tohoto kraja zasahuje do oblasti povodia Moravy 13 obcí s rozšírenou pôsobnosťou. [30]



Obr. 12 Správne členenie oblasti povodia Moravy [31]

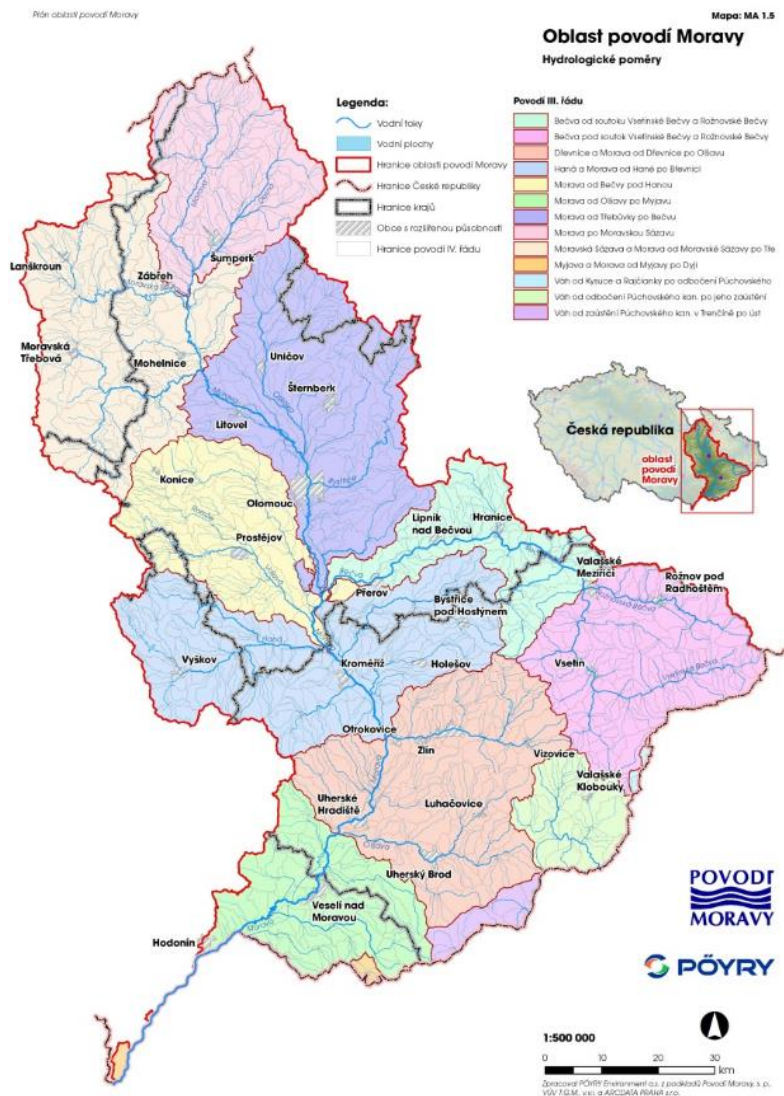
Na základe vyššie uvedeného obrázka možno tvrdiť, že záujmová oblasť tejto diplomovej práce spadá do hydrogeologického rajónu flyš v povodí Moravy – severná časť.

7.6 HYDROLOGICKÉ POMERY

Záujmové územie oblasti povodia Moravy sa nachádza v juhovýchodnej časti Českej republiky. Na severe a západe územia tvorí jeho hranicu rozvodnica rieky Moravy, na východe a na juhu tvorí jeho hranicu štátna hranica medzi Slovenskou republikou a Českou republikou. [30]

Hlavným tokom v danej oblasti je rieka Morava. Z hydrologického hľadiska patrí táto oblasť k úmoriu Čierneho mora a vodu zo svojho územia odvádza prostredníctvom rieky Morava do Dunaja. [30]

Hlavnú pramennú oblasť predstavujú v tomto prípade hory, ktoré sa nachádzajú v severovýchodnej časti povodia. Jedná sa o Jeseníky, Beskydy a Biele Karpaty. [30]



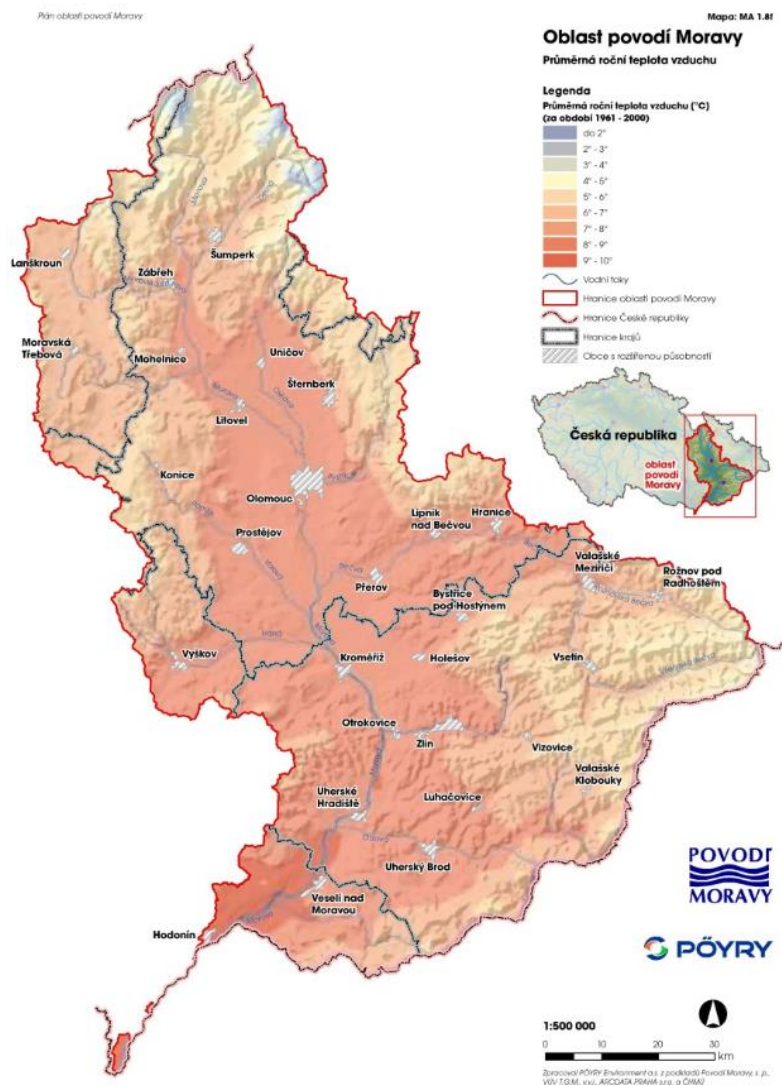
Obr. 14 Hydrologické pomery oblasti povodia Moravy [30]

7.7 KLIMATICKÉ POMERY

V záujmovom území sú klimatické pomery dané jeho polohou, ktorá sa nachádza v miernom pásme so striedaním štyroch ročných období a s kombináciou vplyvov kontinentálneho a oceánskeho podnebia. [30]

Vychádzajúc z máp, pre ktoré bol podkladom Atlas podnebí Česka (Praha – Olomouc 2007), ktorý spracováva jednotlivé klimatické prvky v obdobiach v rokoch 1961 – 2000, je priemerný ročný úhrn zrážok v záujmovom území v rozmedzí 600 – 650 mm. [30]

Priemerná ročná teplota v záujmovej lokalite sa pohybuje v rozmedzí 6°C - 7°C, vid' Obr. 15. [30]



Obr. 15 Priemerná ročná teplota vzduchu v oblasti povodia Moravy [30]

7.8 HYDROLOGICKÉ ÚDAJE

V rámci hydrologických údajov boli pre jednotlivé výpočty používané *N*-ročné prietoky, ktoré sú dostupné z technickej správy, ktorá sa zaoberá hydrodynamickými modelmi a mapami povodňového nebezpečenstva pre toky Dřevnice v r. km 0,000 – 16,186 a Fryštácký potok v r.

km 0,000 – 1,107. Táto technická správa je súčasťou programu *Tvorba máp povodňového nebezpečenstva a povodňových rizík v oblasti povodia Moravy a v oblasti povodia Dyje*, ktorá je dostupná v centrálnom dátovom sklade na webových stránkach Ministerstva životného prostredia. [32]

Tab. 3 Jednotlivé N-ročné prietoky [32]

Q_N	Prietok [m^3/s]
Q_5	116,9
Q_{20}	200,4
Q_{100}	327,0

V rámci tejto diplomovej práce bol uvažovaný prietok $Q_{100} = 327,00 m^3/s$. [32]

V záujmovom území rieky Dřevnice sa nenachádza žiadna merná stanica. Najbližšia stanica, ktorá hlási stav hladiny sa nachádza na r. km 13,34. Jedná sa o hlásny profil č. 344, stanica Zlín. Prevádzkovateľom tejto stanice je ČHMÚ Brno, VHD Povodí Moravy Brno. Tento hlásny profil patrí do kategórie A a číslo hydrologického poradia je 4-13-01-0351-0-00. Nulová úroveň vodočtu sa v tomto prípade nachádza v nadmorskej výške 211,12 m n.m. a priemerný ročný stav hladiny vody činí 35 cm a priemerný ročný prietok dosahuje hodnotu $1,88 m^3/s$. [33]

Jednou z dostupných informácií v evidenčnom liste tohto hlásneho profilu aj prietok Q_{100} , ktorý tu dosahuje hodnotu $320,00 m^3/s$. Tento prietok pre výpočet nebude uvažovaný, ale bude použitý prietok $Q_{100} = 327,00 m^3/s$, ktorý je dostupný z technickej správy, ktorá bola spomenutá na začiatku tejto kapitoly.

Limity pre stupne povodňovej aktivity z daného profilu sú podrobnejšie zhrnuté v tabuľke, ktorá je uvedená nižšie.

Tab. 4 Limity pre stupne povodňovej aktivity - Dřevnice [33]

Stupeň povodňovej aktivity	Vodný stav [cm]	Prietok [m^3/s]
1. SPA (bdeľosť)	170	64,431
2. SPA (pohotovosť)	200	83,350
3. SPA (ohrozenie)	260	122,836

7.9 OBJEKTY NA VODNOM TOKU DŘEVNICE

V rámci riešenej lokality sa na vybranom vodnom toku nachádza celkovo 15 objektov, ktoré ho križujú. Bližší popis objektov, ich označenie v rámci diplomovej práce a staničenie sú uvedené v tabuľkách nižšie.

Uvedené objekty na vodnom toku vrátane ich staničenia a nadmorských výšok sú uvedené na základe poskytnutého zamerania oblasti podnikom Povodí Moravy s.p., ktoré je jedným z hlavných podkladov pre vypracovanie danej práce.

Tab. 5 Objekty na vodnom toku v záujmovej oblasti - premostenia

Číslo	Označ.	Objekt	Staničenie	Nadm. výška spodnej hrany mostovky [m n.m.]
1	L1	lávka	2,413	188,79
2	L2	lávka	2,960	189,50
3	DM1	most - diaľničný	3,378	193,20
4	SM1	most - cestný	5,486	196,00
5	SM2	most - cestný	6,825	200,18
6	L3	lávka	7,374	201,00
7	L4	lávka	8,340	202,00

Tab. 6 Objekty na vodnom toku v záujmovej oblasti - stupne, priečne prahy

Číslo	Označ.	Objekt	Staničenie	Nadm. výška prelivnej hrany [m n.m.]
1	S1	stupeň	2,858	185,19
2	S2	stupeň	3,550	189,90
3	S3	stupeň	6,362	194,62
4	S4	stupeň	6,980	195,06
5	P1	prah	7,268	194,90
6	S5	stupeň	7,629	197,62
7	P2	prah	8,169	197,73
8	P3	prah	8,490	197,90

8.3 QGIS DESKTOP 3.22.4

Voľne dostupný software QGIS v rámci diplomovej práce slúžil najmä na úpravu a spájanie vektorových a rastrových vstupov, ktoré boli následne využité pri ďalšom spracovaní práce. Taktiež boli pomocou tohto programu spracované niektoré mapové výstupy.

8.4 MICROSOFT OFFICE EXCEL

Jedná sa o tabuľkový software, ktorý umožňuje analýzu a vizualizáciu jednotlivých dát. Software bol využitý hlavne na spracovanie určitých geodetických dát a vo veľkej miere aj ako pomocný nástroj pre spracovanie diplomovej práce.

9 SPRACOVANIE MODELU POMOCOU SOFTWARE HEC-RAS

Ako už bolo spomínané v predošlých kapitolách, tak ku hlavnému spracovaniu modelu bol použitý program HEC-RAS 6.3.1. Po zhotovení hydraulických výpočtov týmto softwarom došlo k návrhu určitých protipovodňových opatrení, aby bolo ochránené vybrané územie pred negatívnymi účinkami zvýšených a povodňových prietokov.

V rámci modelovania bol použitý 1D aj 2D model.

9.1 NEISTOTY VSTUPNÝCH DÁT

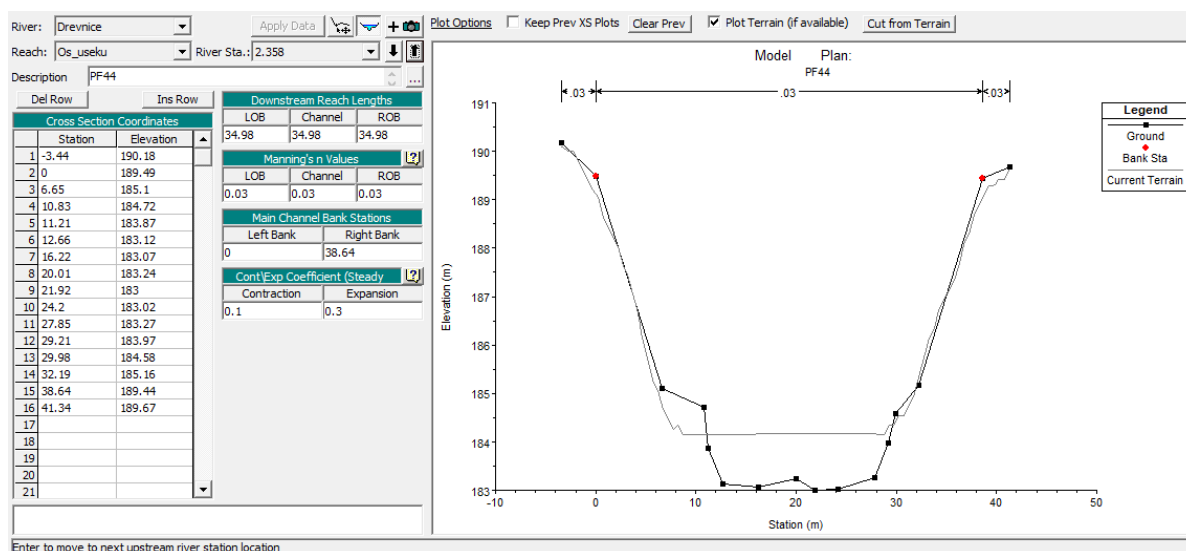
Pri modeloch, ktoré zobrazujú skutočnosť zjednodušene dochádza vždy k určitým odchýlkam v porovnaní so skutočným stavom. Môže sa jednať o nepresnosť v rámci zadávania geometrie toku, voľba jednotlivých drsnostných súčiniteľov, zvolenie veľkosti elementu výpočtovej siete alebo o nepresnosti v hydrologických údajoch.

Z hľadiska nepresností týkajúcich sa morfológie terénu môžu byť tieto neistoty spôsobené podrobnosťou a presnosťou dostupného digitálneho modelu reliéfu. [38]

9.2 1D MODEL

Keďže jedným z dôležitých podkladov pre zhotovenie modelu bolo zameranie priečných profilov daného úseku od podniku Povodí Moravy s.p., bolo v rámci 1D modelovania zhotovené tzv. vyhladené koryto toku.

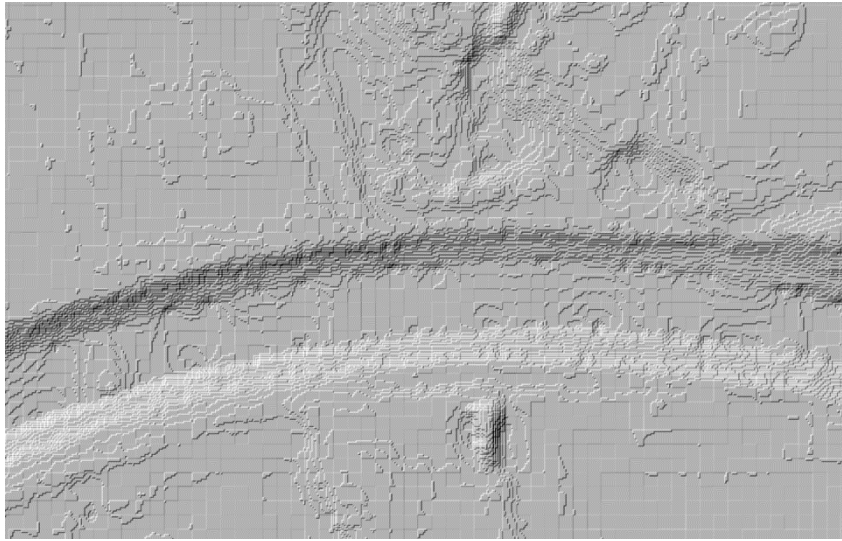
V program HEC-RAS bolo v 1D prostredí vymodelované koryto toku, do ktorého spadala os koryta a zameraných 80 priečných profilov. Následne boli do tohto modelu povkladané jednotlivé objekty na toku, do ktorých spadá 7 premostení, 5 spádových stupňov a 3 priečne prahy.



Obr. 17 Prostredie softwaru HEC-RAS - zadávanie priečných profilov

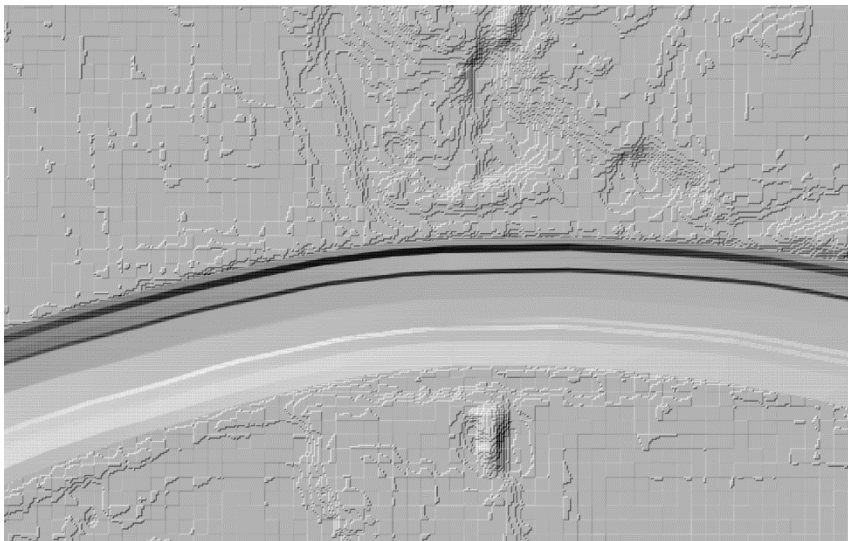
Ako okrajové podmienky boli v tomto prípade použité prietok $Q_{100} = 327,00 \text{ m}^3/\text{s}$, ktorý je dostupný z technickej správy popísanej v kapitole 7.8. Druhou okrajovou podmienkou bola v tomto prípade známa výška hladiny tesne nad mostným profilom, ktorý sa nachádza na začiatku úseku pred priečnym profilom PF44. Hodnota tejto známej výšky hladiny pre Q_{100} je 190,36 m n.m. [36]

Výsledkom zhotoveného 1D modelu je vyhladené koryto toku, ktoré bolo následnej pomocou programu QGIS spojené s digitálnym modelom reliéfu a následne využité pri procese modelovania v 2D prostredí.



Obr. 18 Koryto toku z DMR

Toto spojenie vyhladeného koryta s digitálnym modelom reliéfu má za cieľ dosiahnutie vymodelovania presnejšieho stavu koryta, keďže sa počíta s tým, že zameranie jednotlivých priečnych profilov je presnejšie než ich zameranie v celkovom digitálnom modeli reliéfu.



Obr. 19 Vyhladené koryto toku spojené s DMR

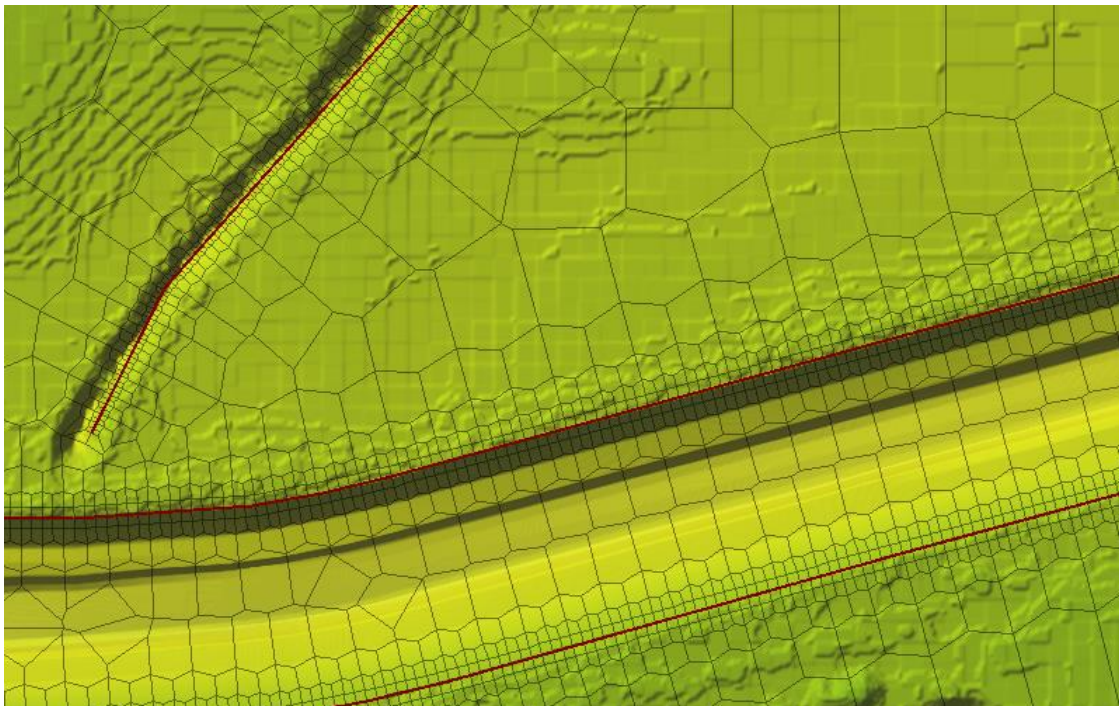
9.3 2D MODEL

V rámci modelovania v 2D prostredí bolo cieľom vytvoriť výpočetnú sieť, ktorej obsahom sú informácie o území a výškovom usporiadaní a priestorovom rozložení jednotlivých bodov v danej záujmovej oblasti. Ako hlavným podkladom bol v tomto prípade použitý digitálny model reliéfu s vyhladeným korytom, ktorého časť je zobrazená na *Obr. 19*.

Ako už bolo spomenuté vyššie, pomocou programu QGIS bolo spojené vyhladené koryto s DMR a vložené ako terén do prostredia softwaru HEC-RAS. V module Ras Mapper bol následne zvolený súradnicový systém Křovák EPSG: 5514.

V ďalšom kroku bola do HEC-RASu nahraná vrstva záplavových území pre storočnú vodu [37], na základe ktorej boli určené hranice pre 2D plochu a ktorá v následných krokoch vstupovala do výpočtu. V nastaveniach pre 2D plochu sa zvolili parametre výpočtovej siete, kde bola veľkosť elementu určená na 20x20 m.

V miestach mostných konštrukcií, spádových stupňov, priečných prahov a miest, kde by mohlo dochádzať k nesprávnemu prúdeniu vody boli použité prvky tzv. *break lines*, vďaka ktorým bolo možné vo vybraných miestach zjemniť veľkosť jednotlivých elementov vo výpočtovej sieti. Veľkosť týchto elementov bola v rámci výpočtu stanovená na 1x1 m.



Obr. 20 Ukážka výpočtovej siete vrátane *break lines* a zjemnenia siete v ich okolí

Ako horná okrajová podmienka bol v rámci tohto výpočtu zvolený prietok $Q_{100} = 327,00 \text{ m}^3/\text{s}$ a dolnou okrajovou podmienkou bola známa výška hladiny pred priečnym profilom PF44 (r. km 2,358), ktorá dosahuje hodnotu 190,36 m n.m [36]. Pre výpočet Q_{20} bol hornou okrajovou podmienkou prietok $200,40 \text{ m}^3/\text{s}$ a dolnou okrajovou podmienkou známa výška hladiny s hodnotou 187,76 m n.m [36].

Ďalším krokom bolo priradenie drsnosti povrchu k výpočtovej sieti. Ako podklad slúžila *.shp vrstva s rozdelením daného územia podľa jednotlivého využitia plôch. Táto vrstva bola následne importovaná cez modul *Ras Mapper* a tvorila vrstvu *Land Cover*. Pomocou nastavení tejto vrstvy bola každej ploche nastavená hodnota drsnosti podľa Manninga, vid' Tab. 7. Jednotlivé drsnosti boli stanovené s prihliadnutím na tabuľky hodnoty súčiniteľa drsnosti n pre otvorené korytá podľa Chowa. [41]



Obr. 21 Ukážka rozdelenia plôch pre jednotlivé drsnosti

Tab. 7 Hodnoty drsností pre 2D oblasť podľa Manninga

Index	Druh povrchu	Drsnosť n
1	Orná pôda	0,030
2	Záhrada	0,080
3	Zatrávnená plocha	0,030
4	Ostatné plochy	0,040
5	Ťažba	0,040
6	Les	0,120
7	Koľajisko	0,025
8	Účelová zástavba	0,150
9	Cintorín	0,080
10	Železnica - areál	0,120
11	Elektráreň	0,050
12	Rozvodňa	0,050
13	Cesta	0,018
14	Parkovisko	0,018
15	Budovy	0,500
16	Kôľňa	0,100
17	Vodná plocha	0,036 - 0,043

9.3.1 Zobrazenie výstupov

Výsledkom hydraulického výpočtu v 2D prostredí boli rastrové súbory, ktoré uchovávajú určité informácie o hĺbkach, rýchlostiach a rozlivoch vody v záplavovom území. Na základe týchto súborov boli následne vypracované jednotlivé mapové výstupy spomenuté v kapitole 18 .

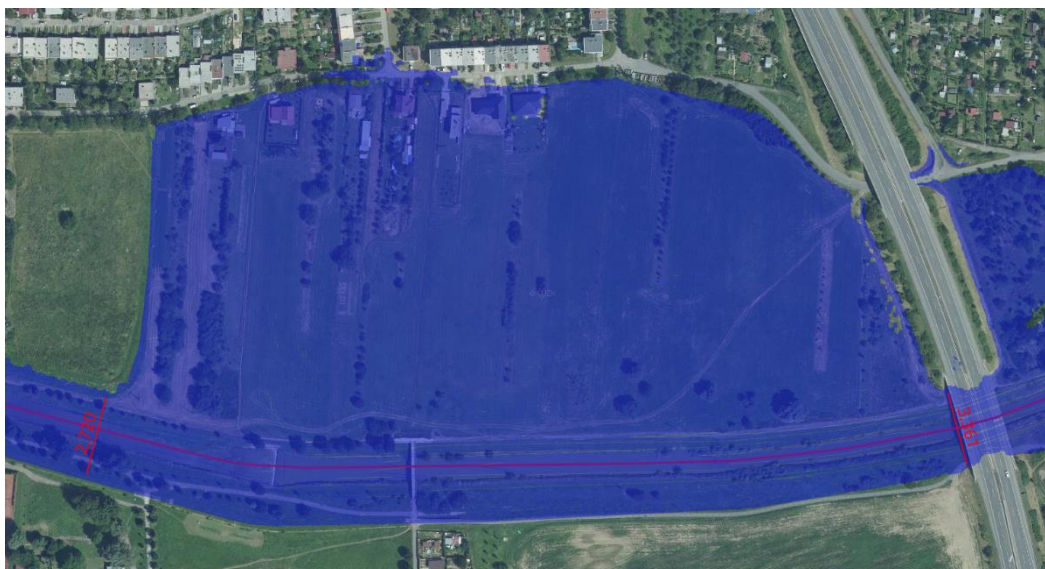
10 VYHODNOTENIE VÝPOČTU – STÁVAJÚCI STAV

Výsledky jednotlivých hydraulických výpočtov boli spracované ako mapové výstupy, v ktorých sú zahrnuté informácie a údaje o hĺbkach a rozlivoch vody.

Stávajúci stav územia je hodnotený v nasledujúcich kapitolách samostatne pre pravý a pre ľavý breh pre prietok $Q_{100} = 327,00 \text{ m}^3/\text{s}$.

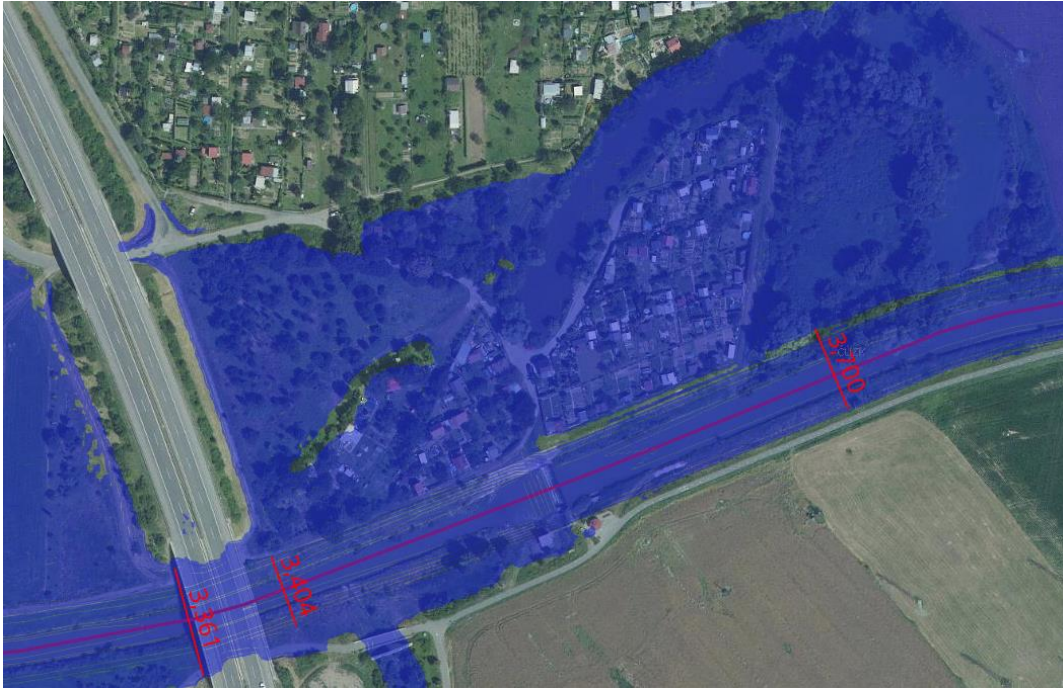
10.1 PRAVÝ BREH

V rámci rozlivov vody do okolitého územia dochádza na pravom brehu k prvému rozlivu v úseku r. km 2,720 – 3,361. V nižšej časti uvedenej kilometráže ohraničuje rozliv vody už stávajúce protipovodňové opatrenie. Pozdĺžne s korytom toku vedie na pravom brehu protipovodňová stena, ktorá je následne zaviazaná do vyvýšeného terénu. Táto vyvýšenina je od toku ďalej ťahaná na severnú stranu až po ulicu Čechova. V tejto oblasti dochádza k zaplaveniu z väčšej časti zatravnenej plochy a v severnej časti sa rozliv dotýka šiestich objektov. Približne v r. km 3,361 dochádza k obmedzeniu rozlivov vďaka zvýšenému terénu, na ktorom sa nachádza komunikácia D55.



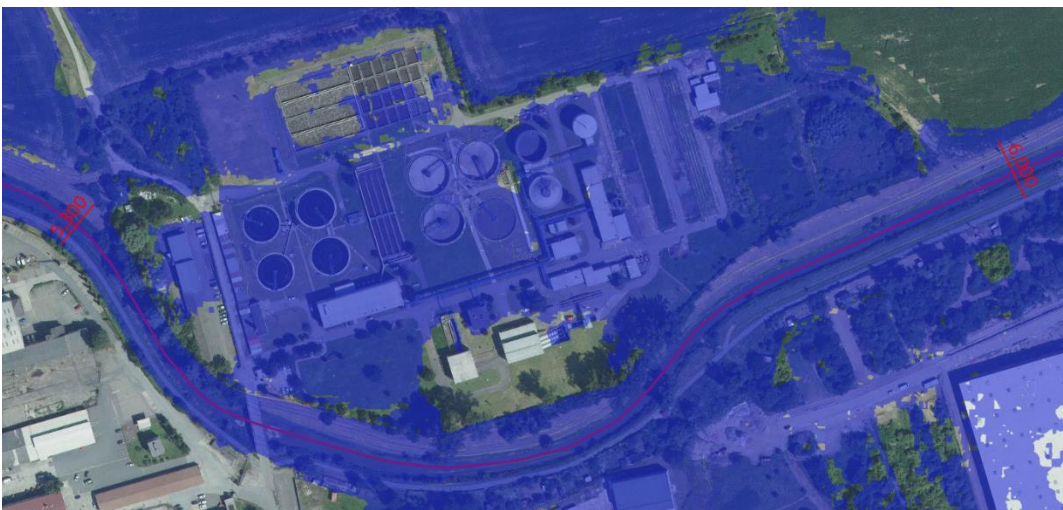
Obr. 22 Rozliv vody v r.km 2,720 - 3,361

V úseku r. km 3,404 – 3,700 dochádza vo veľkom rozsahu k zaplaveniu záhradkárskej oblasti. Tento pravobrežný rozliv pokračuje takmer bez prerušenia až do r. km 5,300. V tomto území zaplavuje z najväčšej časti poľnohospodársku pôdu.



Obr. 23 Rozliv vody v r.km 3,404 - 3,700

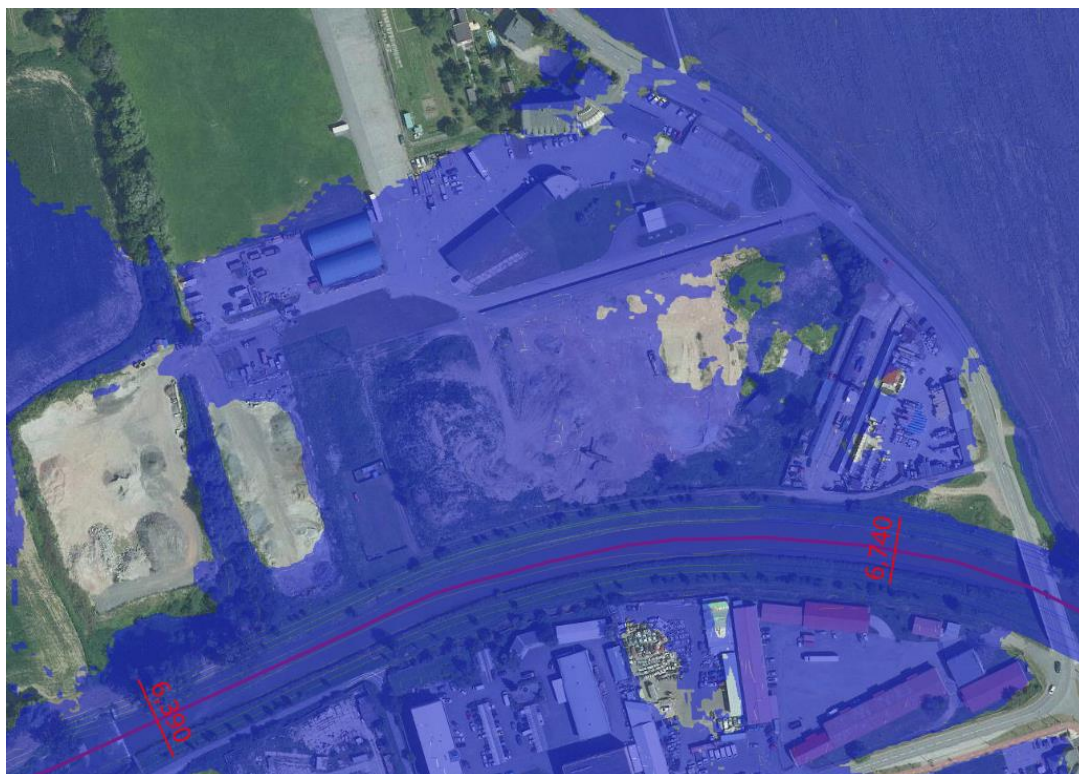
Približne v úseku r. km 5,300 – 6,000 dochádza k zaplaveniu územia, v ktorom sa nachádza čistiareň odpadových vôd Malenovice. Severne nad areálom ČOV Malenovice dochádza k ďalšiemu rozlivu, tentokrát ide ale o zaplavenie poľnohospodárskej pôdy.



Obr. 24 Rozliv vody v r.km 5,300 - 6,000

V úseku r. km 6,000 – 6,390 dochádza na pravom brehu len k minimálnym rozlivom, ktoré v tomto prípade neohrozujú žiadnu zástavbu.

K menšiemu rozlivu dochádza aj v úseku r. km 6,390 – 6,740, kde dochádza k zaplaveniu priemyselnej oblasti. Táto priemyselná oblasť je však v značnej miere zaplavená rozlivom, ku ktorému dochádza vyššie na toku.



Obr. 25 Rozliv vody v r.km 6,390 - 6,740

Ďalší úsek, ktorý je na pravom brehu zaplavený vo väčšej miere siaha od r. km 6,835 – 8,320. V tomto prípade sa jedná o rozliv vody, ktorý zasahuje najmä poľnohospodársku pôdu. V návaznosti na konfiguráciu terénu sa však tento rozliv v nižšej časti prelieva cez cestnú komunikáciu približne v r. km 6,800 a následne zaplavuje priemyselnú oblasť, ktorá bola spomínaná v predchádzajúcom odstavci.

K ďalším rozlivom dochádza v úseku r. km 8,320 – 8,890, kde dochádza k zaplaveniu priemyselnej oblasti v zlínskej časti Louky.



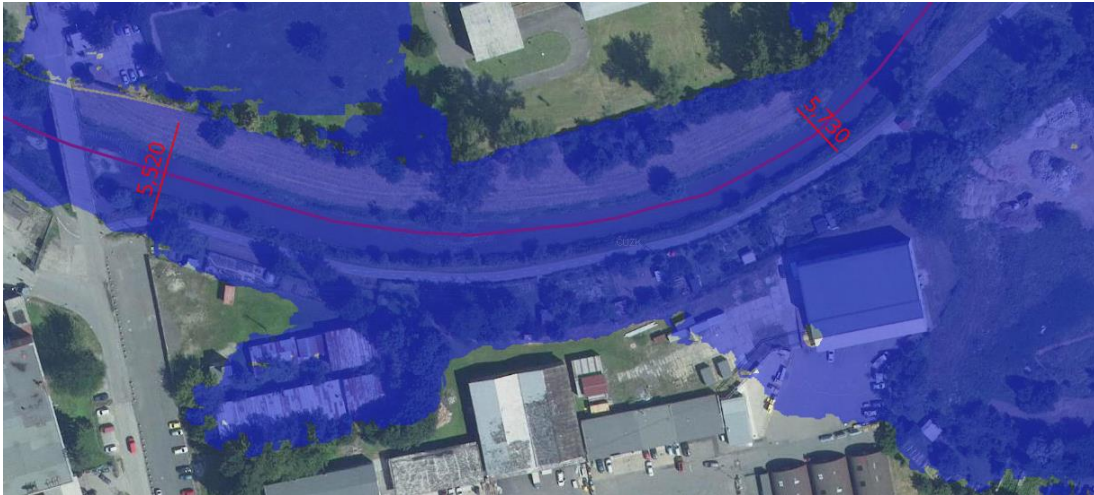
Obr. 26 Rozliv vody v r.km 8,320 - 8,890

V úseku r. km 8,890 – 9,050 dochádza taktiež k rozlivu, ktorý však zasahuje do oblasti poľnohospodárskej pôdy a nedochádza tu k zaplaveniu zástavby.

Celkovo by sa dalo povedať, že k rozlivom vody na pravom brehu dochádza takmer v celej záujmovej oblasti. Väčšina rozlivov, ktoré sú popísané vyššie, zasahujú do poľnohospodárskej pôdy, avšak niektoré ohrozujú aj obytnú zástavbu, čistiareň odpadových vôd Malenovice a priemyselnú oblasť.

10.2 ĽAVÝ BREH

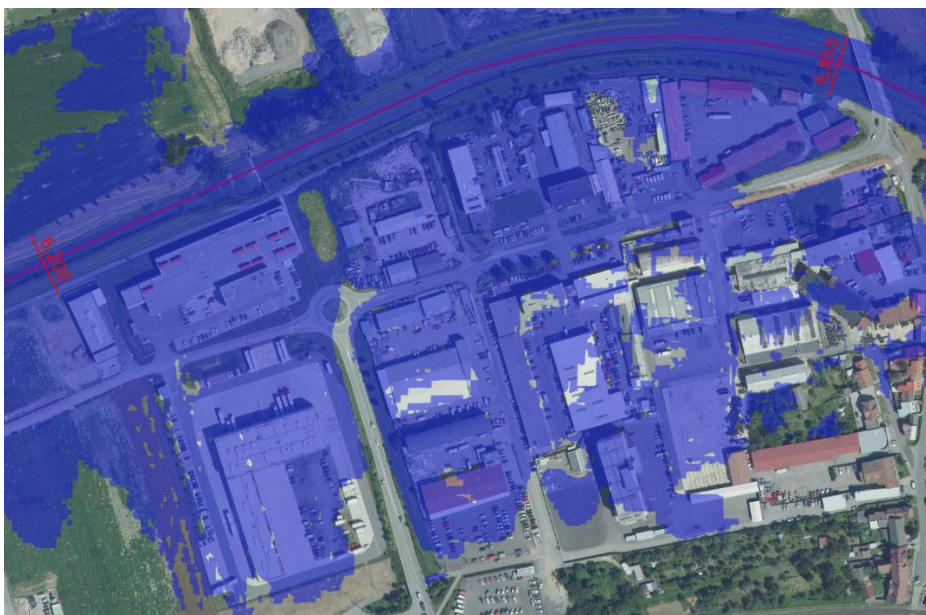
K rozlivom vody na ľavom brehu toku dochádza v r. km 5,520 – 5,730, kde dochádza k zaplaveniu niekoľkých záhradok, niekoľkých starých halových objektov a jednej priemyselnej haly.



Obr. 27 Rozliv vody v r.km 5,520 - 5,730

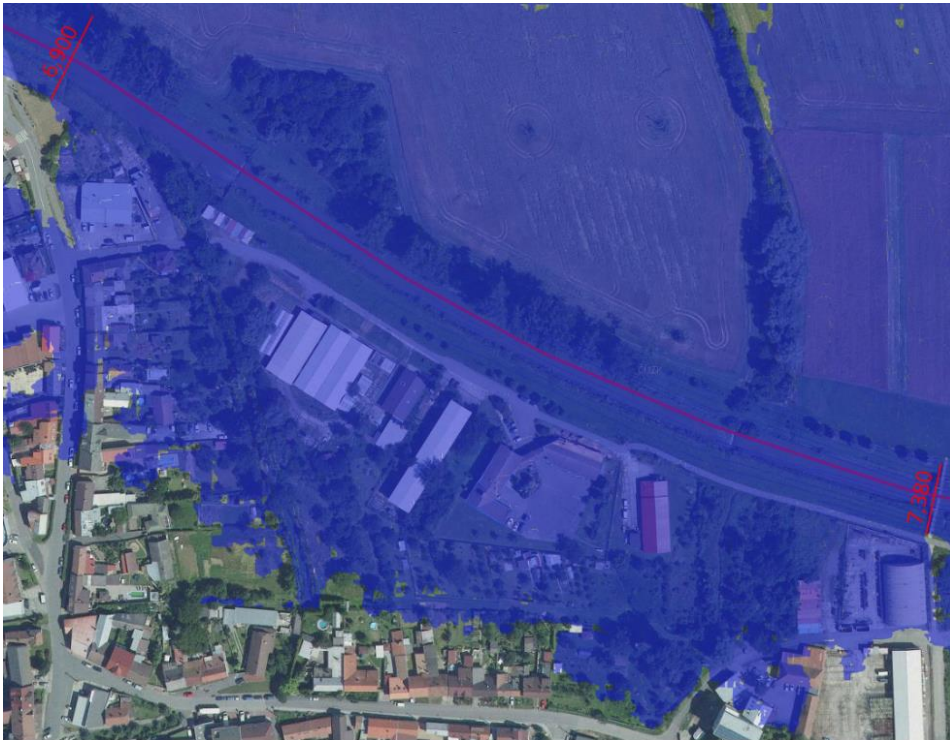
Nad touto priemyselnou halou, v r. km 5,730 – 6,200 dochádza k rozlivom, ktoré sú čiastočne v nezastavanej oblasti, ale postihujú aj nedávno vybudované priemyselné areály.

Ďalšie zasiahnutie priemyselných areálov je takmer nepretržite v r. km 6,200 – 6,810. Dochádza tu k zaplaveniu priemyselných plôch a v niektorých oblastiach siahajú rozlivy aj na komunikácie, ktoré sa nachádzajú južne od týchto priemyselných objektov.



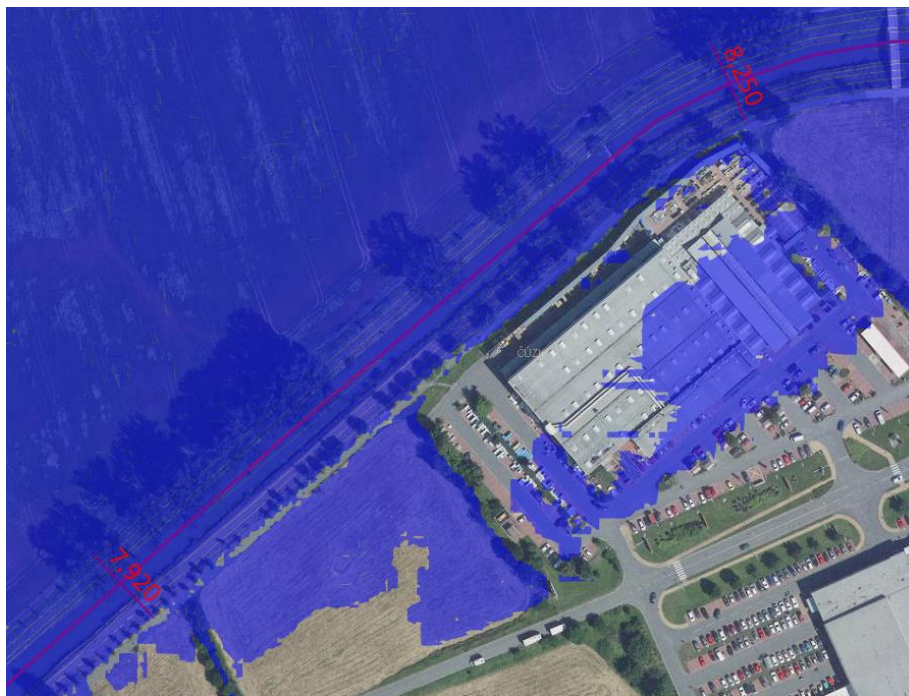
Obr. 28 Rozliv vody v r.km 6,200 - 6,810

V zlínskej časti Malenovice dochádza v r. km 6,900 – 7,380 k ďalším rozlivom, ktoré kombinovane zasahujú do priemyselných častí a taktiež sa dotýkajú niekoľkých záhrad rodinných domov. V rámci tohto rozlivu dochádza aj k preliatiu vody cez komunikáciu a následnému zaplaveniu priemyselnej oblasti a niekoľkých parkovísk.



Obr. 29 Rozliv vody v r.km 6,900 - 7,380

K menšiemu rozlivu dochádza aj v r. km 7,920 – 8,250. Tento rozliv čiastočne zasahuje na zatravnenu plochu a aj do areálu UNI HOBBY Market Zlín.



Obr. 30 Rozliv vody v r.km 7,920 - 8,250

K poslednému ľavobrežnému rozlivu dochádza v r. km 8,250 – 8,650 kde dochádza k zaplaveniu poľnohospodárskej pôdy a v jednom úseku dôjde aj k čiastočnému zaplaveniu a preliatiu miestnej komunikácie.

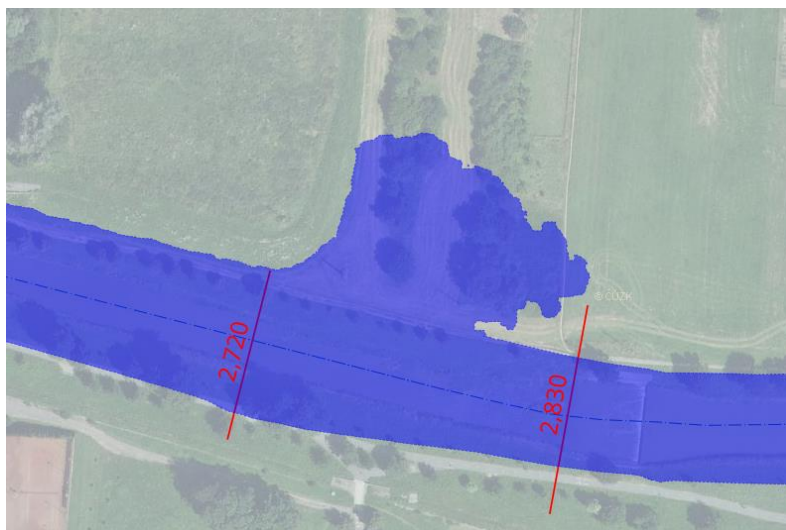


Obr. 31 Rozliv vody v r.km 8,250 - 8,650

10.3 VÝSLEDNÉ ZHODNOTENIE AKTUÁLNEHO STAVU

V rámci riešeného úseku toku Dřevnice dochádza pri stávajúcom stave k rozlivom vody na oboch brehoch. Pravý breh je v tomto prípade postihnutý rozlivmi takmer v celej dĺžke úseku pri prietoku Q_{100} , no vo veľkej časti dochádza len k rozlivom vody na poľnohospodársku pôdu, v ktorej nedochádza k ohrozeniu stavebných objektov. Podstatné rozlivy týkajúce sa ľavého brehu začínajú približne v r. km 5,520 a takmer nepretržite pokračujú až do r. km 7,620. V tomto úseku dochádza k zaplaveniu zväčša priemyselných oblastí, ale dochádza tu aj k zaplaveniu niekoľkých rodinných domov a aj následnému zaplaveniu komunikácie. K zaplaveniu komunikácie dochádza na ľavom brehu taktiež približne v r. km 8,360 – 8,650.

Prietok Q_5 dokáže koryto toku previesť bez problémov v celom úseku, mimo menšieho rozlivu v r. km 2,720 – 2,830 na pravom brehu, vid' Obr. 32. Tento rozliv vody zasiahne len poľnohospodársku pôdu a nie sú ním ohrozené žiadne objekty.



Obr. 32 Rozliv vody pri Q_5 , r.km 2,720 - 2,830

Z hľadiska kapacity mostných profilov a ich minimálneho prevýšenia nad úroveň hladiny vody 0,5 m podľa požiadaviek normy ČSN 73 6201 – *Projektování mostních konstrukcí* dochádza v rámci vybraného úseku k splneniu tejto podmienky pri diaľničnom moste v r. km 3,378 a pri cestnom moste v r. km 6,825. K preliatiu mostov dochádza vo všetkých ostatných prípadoch okrem oceľovej lávky v r. km 7,374, kde je prevýšenie spodnej hrany mostovky nad hladinu Q_{100} len necelých 0,4 m.

11 NÁVRH PROTIPOVODŇOVÝCH OPATRENÍ

V rámci návrhu protipovodňových opatrení boli na riešenom úseku navrhnuté stabilné protipovodňové steny, mobilné protipovodňové steny, protipovodňové hrádze a navýšenie terénu.

Tieto opatrenia boli navrhované pre prietok Q_{100} na základe územných plánov a prílohy A.5.1, ktorá nám zobrazuje rozlivy vody na stávajúcom území.

Hlavným cieľom bolo zabránenie nežiaducim rozlivom vody do zastavaných území, kde by tieto zvýšené prietoky mohli spôsobiť škody na majetkoch, objektoch, či na ľudskom zdraví.

Všetky navrhnuté PPO siahajú min. 0,3 m nad hladinu Q_{100} , vo väčšine prípadov však presahujú túto hladinu až o hodnotu 0,5 m z dôvodu výpočtových neistôt. Návrh bol zhotovený s prihliadnutím k využitiu územia a súčasnej UPD.

11.1 PRAVÝ BREH

V r. km 2,720 – 3,361 bola navrhnutá protipovodňová hrádzka SO01, ktorej úlohou bude ochrániť pred rozlivmi vody rodinné domy, ktoré ležia severne od toku. Spolu s rodinnými domami budú v návaznosti na miestny územný plán ochránené aj časti pôdy, ktoré ležia južne a juhovýchodne od týchto rodinných domov.

Novonavrhnúť ochranná hrádza bude v r. km 2,720 zviazaná do existujúcej ochrannej hrádzky a v r. km 3,361 bude zviazaná do terénu násypu diaľničnej komunikácie.



Obr. 33 PPO - ochranná hrádza SO01, r.km 2,720 - 3,361

Približne v r. km 5,250 – 5,950 bude navrhnutá protipovodňová ochrana, ktorá zabezpečí celý areál ČOV Malenovice pred povodňovými prietokmi. Južná časť areálu bude ochránená pomocou betónovej protipovodňovej steny SO02, ktorej návrh bol realizovaný aj vzhľadom na stiesnené priestorové pomery v danej oblasti. Zo severnej strany bola navrhnutá protipovodňová hrádza SO03, do ktorej bude plynule napojená z oboch koncov

protipovodňová stena SO02. Aby bol tento areál ochránený po celom obvode, je nutný návrh mobilnej protipovodňovej ochrany na príjazdovom moste k ČOV a na ceste, ktorá pokračuje severozápadne od areálu ČOV.



Obr. 34 PPO - ochranná stena SO02, ochranná hrádzka SO03, r.km 5,250 - 5,950

V r. km 6,350 – 6,810 je navrhnutá protipovodňová stena SO04, ktorej úlohou je ochrániť priemyselnú oblasť ležiacu severne od navrhutej PPO. V r. km 6,393 sa nachádza pravostranný prítok Bunišovský potok a z tohoto dôvodu bude nutné v tomto mieste použiť žabiú klapku. Od mosta v r. km 6,825 je na pravom brehu navrhnutá protipovodňová hrádzka SO05, ktorá bude pozdĺžne kopírovať a zároveň aj chrániť cestnú komunikáciu a bude zabráňovať rozlivom vody z vyššie sa nachádzajúcej poľnohospodárskej pôdy.



Obr. 35 PPO - ochranná stena SO04, ochranná hrádzka SO05, r.km 6,350 - 6,810

Najvyššie položená časť riešeného úseku, ktorá sa nachádza v r. km 8,310 – 9,050 bude opatrená protipovodňovou hrádzkou SO06, ktorá pred nežiaducimi rozlivmi vody zabezpečí priemyselnú oblasť nachádzajúcu sa severne od toku Dřevnice. V r. km 9,050 bude táto hrádzka plynule naviazaná na existujúci terén, ktorý v tomto prípade tvorí vyvýšenina pod cestnou komunikáciou.



Obr. 36 PPO - ochranná hrádzka SO06, r.km 8,310 - 9,050

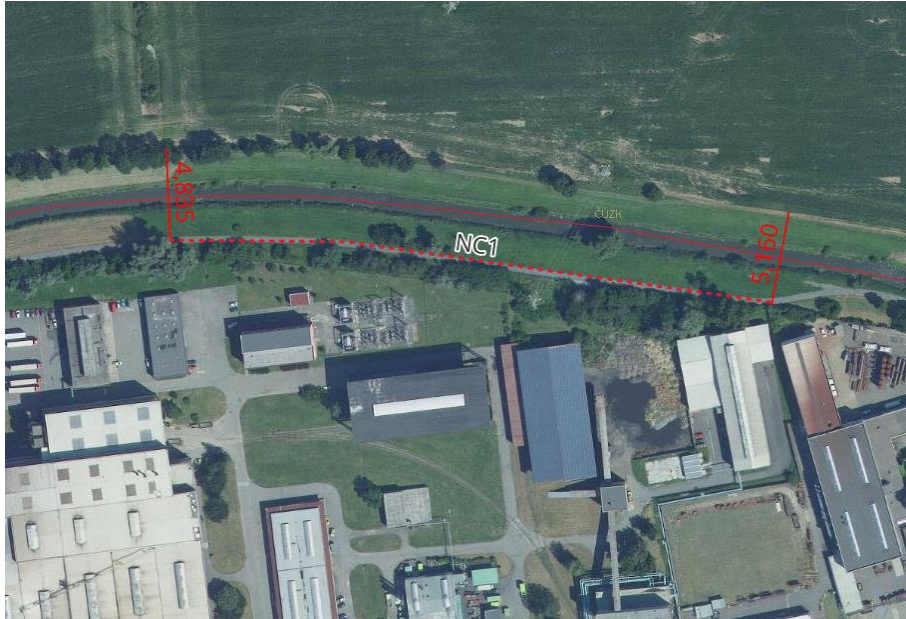
11.2 ĽAVÝ BREH

Prvé protipovodňové opatrenie na ľavom brehu siaha od r. km 2,415 – 3,361. Nebude sa jednáť o nový stavebný objekt, ale o navýšenie existujúcej cyklotrasy.



Obr. 37 PPO - navýšenie cyklotrasy NC0, r.km 2,415 - 3,361

Ako jedno z ďalších protipovodňových opatrení bolo navrhované zvýšenie terénu, v tomto prípade existujúcej cyklotrasy v r. km 4,830 – 5,174. Toto navýšenie cyklotrasy NC1 je nutné z dôvodu okolitej konfigurácie terénu a v podstate bude z existujúcej cyklotrasy vytvorená ochranná hrádzka. Toto navýšenie bude potrebné v danej kilometráži o hodnotu 0,4 m.



Obr. 38 PPO - navýšenie cyklotrasy NC1, r.km 4,830 - 5,174

Južne pod areálom ČOV Malenovice bude nad mostnou konštrukciou nutné navýšenie cyklotrasy. Navýšenie cyklotrasy s označením NC2 bude nutné v r. km 5,490 – 6,496 a to približne o hodnotu 1,4 m. V r. km 6,500 bude na vyvýšeninu cyklotrasy napojená ochranná hrádzka SO07, ktorá bude pokračovať až do r. km 6,820. Úlohou kombinácie týchto protipovodňových opatrení je ochrana priemyselnej oblasti južne od týchto opatrení, ktorá je v stávajúcom stave ohrozovaná rozlivom vody pre Q_{100} .



Obr. 39 PPO - navýšenie cyklotrasy NC2, ochranná hrádzka SO07, r.km 5,510 - 6,820

Ochrana ľavého brehu v r. km 6,900 – 7,890 je navrhnutá kombináciou troch rozdielnych opatrení. V r. km 6,900 – 7,222 je navrhnutá betónová protipovodňová stena SO08, ktorej návrh bol nutný vzhľadom na konfiguráciu terénu a stiesnené priestorové pomery. Táto protipovodňová stena bude v r. km 7,222 plynule napojená do vyvýšeniny cyklotrasy. Toto vyvýšenie cyklotrasy NC3 bude nutné realizovať v r. km 7,222 – 7,790 o približne 0,7 m. Následne bude tento súbor PPO ukončený pomocou protipovodňovej hrádzky SO09, ktorá bude plynule naviazaná na vyvýšenú cyklotrasu v r. km 7,790 a bude ukončená v r. km 7,890 vedľa spevnenej odstavnej plochy.



Obr. 40 PPO - ochranná stena SO08, navýšenie cyklotrasy NC3, ochranná hrádzka SO09, r.km 6,900 - 7,890

Posledným súborom protipovodňových opatrení na ľavom brehu je kombinácia protipovodňovej hrádzky a navýšenia cyklotrasy. V r. km 8,240 – 8,575 je navrhnutá protipovodňová hrádzka SO10, ktorá ochraňuje miestnu komunikáciu a areál UNI HOBBY Market Zlín. Plynule na túto ochrannú hrádzku bude v r. km 8,575 napojená cyklotrasa. Od tohoto r. km bude treba realizovať navýšenie existujúcej cyklotrasy NC4 o približne 0,9 m. Toto navýšenie bude siahť až po koniec riešeného úseku, teda do r. km 9,050 kde bude napojené na terénnu vyvýšeninu komunikácie.



11.3 NAVRHNUTÉ PROTIPOVODŇOVÉ OPATRENIA

Celkovo boli v riešenom území toku Dřevnice navrhované rôzne typy protipovodňových opatrení. Jedná sa celkovo o 10 stavebných objektov (7 navrhnutých protipovodňových hrádzok, 3 protipovodňové steny), 2 mobilné protipovodňové ochrany a zvýšenie existujúcich cyklotrás v piatich rôznych miestach.

Všetky tieto navrhnuté PPO sú v návaznosti na vyhlášku č. 590/2002 Sb. §11 navrhnuté s minimálnym prevýšením 0,3 m nad hladinu Q_{100} , vo všetkých prípadoch je však prevýšenie približne 0,5 m z dôvodu neistôt.

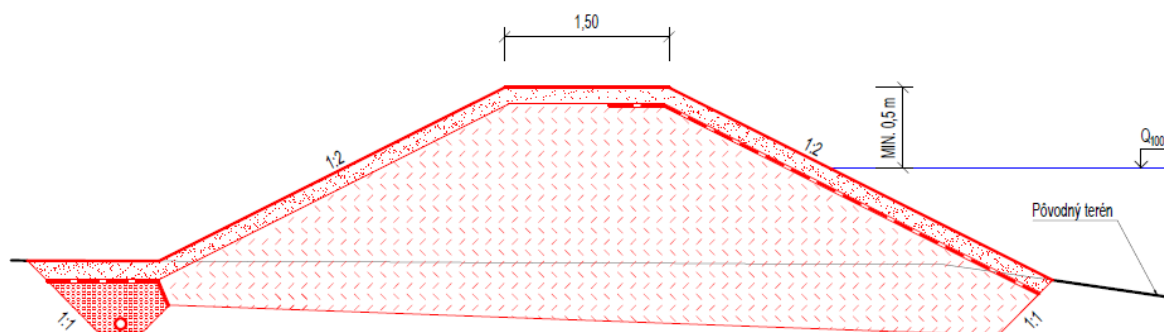
Navrhnuté protipovodňové opatrenia budú taktiež v určitých miestach zabraňovať rozlivom vody pri prietoku Q_{20} , avšak nebudú mať takmer žiadny vplyv na rozliv vody pri prietoku Q_5 ,

V r. km 5,486 bude nutné opatriť mostnú konštrukciu na pravom brehu v okolí areálu ČOV Malenovice mobilným protipovodňovým opatrením. Systém tohto PPO bude nachystaný v blízkosti areálu a kotevné miesta budú zabezpečené v mieste prerušenia protipovodňovej steny SO02, ktorá z južnej časti chráni areál ČOV.

11.3.2 Ochranné protipovodňové hrádzky

Navrhnuté protipovodňové hrádzky bude tvoriť násyp z homogénneho ílovitého materiálu. Koruny hrádzok budú s pevnou šírkou 1,5 m a budú ohumusované a osiate trávnu zmesou. Sklony svahov budú aj na návodnom aj na vzdušnom líci 1:2. Na návodnom svahu budú použité protierózne georochože pre zlepšenie vlastností svahov hrádzky a svahy budú osiate trávnu zmesou. Podrobnejšiemu popisu hrádzok sa venuje príloha A.7.2.

Navrhnuté PPO sú vo väčšine prípadov vedené po hraniciach pozemkov, no v prípade, že by nebolo možné odkúpiť časti niektorých súkromných pozemkov, boli by tieto hrádzky nahradené protipovodňovými stenami z dôvodu ušetrenia priestorových nárokov.



Obr. 42 Schéma navrhnutých protipovodňových hrádzok

11.3.3 Navýšenie cyklotrás

Z dôvodu ochrany okolitého územia pred nežiadaným rozlivom vody bolo nutnosťou aj zvyšovanie určitých častí existujúcich chodníkov pre cyklistov.

V tomto prípade boli vo všetkých prípadoch zachované rozmery spevnených plôch cyklotrás a neboli nijakým spôsobom zmenšované. Všetky navýšenia boli navrhované tak, aby nedošlo k odobratiu priestoru pre používateľov týchto chodníkov. Návrhy zahŕňali navýšenie násypu (zvýšenie terénu) pod spevnenou časťou cyklotrasy. Celkovo k takejto úprave došlo v piatich miestach, a to v r. km 2,415 – 3,361; 4,830 – 5,174; 5,490 – 6,496; 7,222 – 7,790 a v r. km 8,575 – 9,050.

12 VYHODNOTENIE VÝPOČTU – NÁVRHOVÝ STAV

Po návrhu súboru protipovodňových opatrení, ktoré zahŕňali protipovodňové steny (stabilné aj mobilné), protipovodňové hrádzky a navyšovanie cyklotrás, ktoré sú popísané v kapitole 11 došlo k zamedzeniu nežiaducim rozlivom vody do okolitého územia v riešenej časti toku Dřevnice.

Tieto opatrenia boli navrhnuté tak, aby zapadli do stávajúcej krajiny a zároveň zabezpečili ochranu ľudského zdravia, životov, majetkov a objektov pred možnými škodami, ktoré by mohli byť spôsobené pri zvýšených prietokoch v toku.

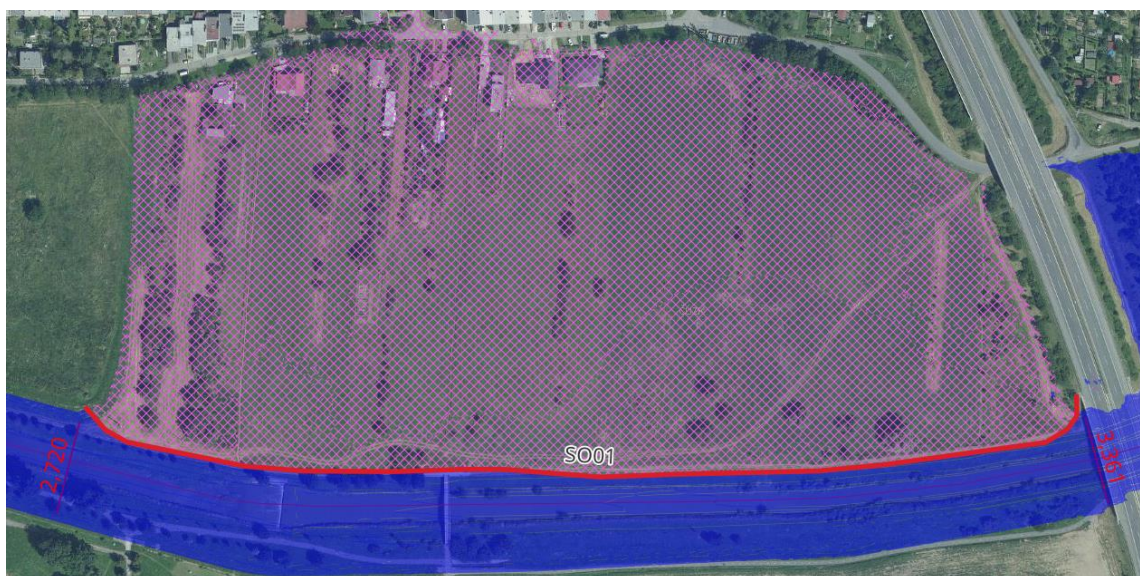
V kapitole 10 bol popísaný stav, ktorý sa pri povodňovom prietoku Q_{100} vyskytuje pri stávajúcom stave protipovodňových opatrení a opatrení v okolí toku. Cieľom návrhu PPO bola práve eliminácia týchto nežiaducich rozlivov vody.

Na základe prílohy A.5.2, ktorá zobrazuje mapu rozlivov v návrhovom stave, možno tvrdiť, že pomocou navrhnutého súboru jednotlivých protipovodňových opatrení sa podarilo dosiahnuť a zabezpečiť ochranu vybraných miest a častí v okolí toku.

V nasledujúcich kapitolách budú samostatne pre pravý a ľavý breh zobrazené na obrázkoch rozlivy vody po hydraulickom výpočte s navrhnutými protipovodňovými opatreniami. Ružovým šrafovacím vzorom budú znázornené rozlivy, ktoré sa podarilo vďaka navrhnutým PPO odstrániť oproti stávajúcemu stavu.

12.1 PRAVÝ BREH

Na pravom brehu toku bolo vo vybranom území navrhnutých šesť protipovodňových opatrení pre obmedzenie rozlivov vody. Ružový šrafovací vzor znázorňuje pôvodné rozlivy vody a modrý znázorňuje rozliv vody po návrhu PPO.



Obr. 43 SO01 (ochranná hrádzka), r.km 2,720 - 3,361



Obr. 44 SO02 (ochranná stena), SO03 (ochranná hrádzka), r.km 5,250 - 5,950



Obr. 45 SO04 (ochranná stena), SO05 (ochranná hrádzka), r.km 6,350 - 6,810



Obr. 46 SO06 (ochranná hrádzka), r. km 8,310 - 9,050

12.2 LAVÝ BREH

Ľavý breh bol v riešenej časti úseku opatrený deviatimi rôznymi protipovodňovými opatreniami. Návrh zahŕňa protipovodňové steny, hrádzky a navýšenie existujúcich cyklotrás. Rovnako ako v predchádzajúcej kapitole, ružový šrafovací vzor znázorňuje pôvodné rozlivy vody a modrý znázorňuje rozliv vody po návrhu PPO.



Obr. 47 NC1 (navýšenie cyklotrasy), r.km 4,835 - 5,160



Obr. 48 NC2 (navýšenie cyklotrasy), SO07 (ochranná hrádzka), r.km 5,510 - 6,820



Obr. 49 SO08 (ochranná stena), NC3 (navýšenie cyklotrasy), SO09 (ochranná hrádzka), r.km 6,900 - 7,890



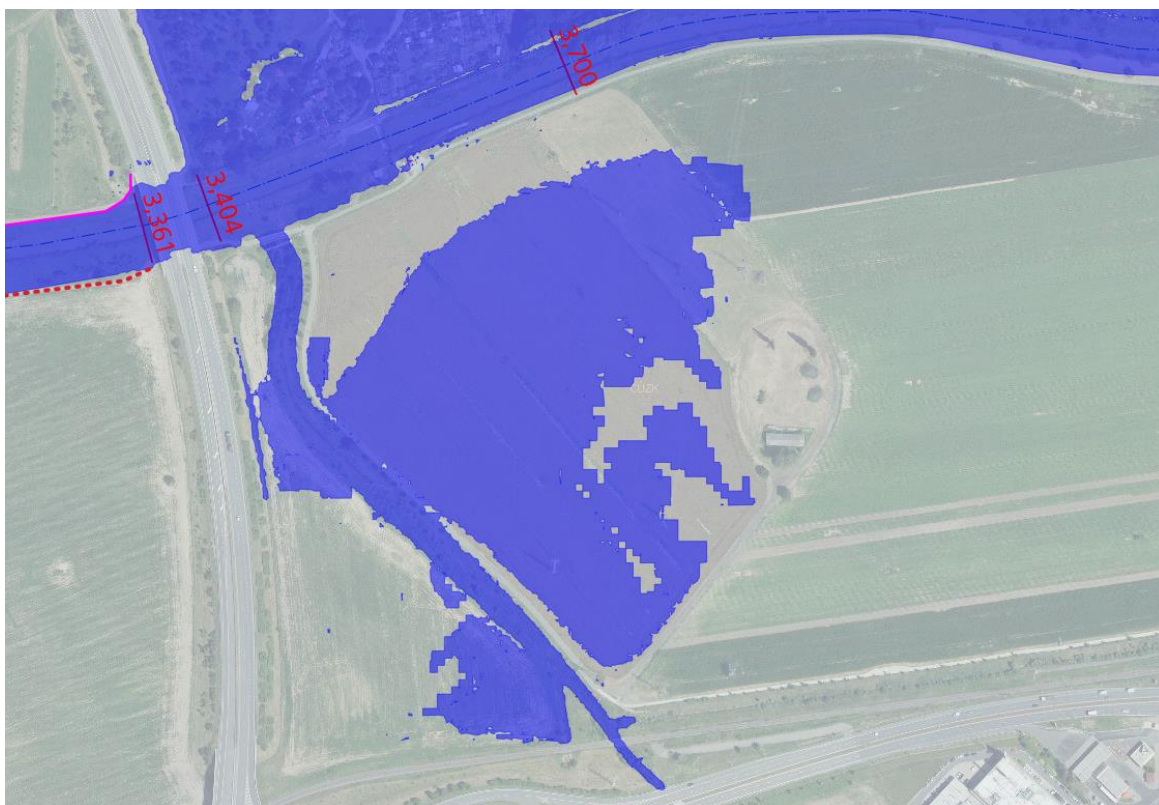
Obr. 50 SO10 (ochranná hrádzka), NC4 (navýšenie cyklotrasy), r.km 8,240-9,050

12.3 ZHRNUTIE

Riešená oblasť na toku Dřevnice je v stávajúcom stave vo veľkej časti zaplavená pri prietoku Q_{100} . Pomocou vyššie popísaných protipovodňových opatrení došlo k obmedzeniu týchto rozlivov v určitých častiach toku a tak aj zamedzeniu vzniku nežiaducich škôd na zdraví alebo majetku spôsobených rozlivmi vody.

Možné voľné rozlivy boli ponechané v častiach, kde neohrozujú zástavbu, či už obytnú alebo priemyselnú, a to väčšinou na voľnej poľnohospodárskej pôde.

Po návrhu jednotlivých protipovodňových opatrení došlo v návrhovom stave ku vzniku rozlivu vody, ktorý sa v stávajúcom stave nevyskytoval. Ide o rozliv vody na ľavom brehu v mieste prítoku približne v r. km 3,442, viď *Obr. 51*. V tomto mieste je pri návrhovom stave hladina vody približne o 0,25 m vyššie než pri stávajúcom stave a tým pádom dôjde k preliatiu spevnenej cesty na pravom brehu tohto prítoku. Tento rozliv však zasahuje len poľnohospodársku pôdu a nedochádza pri ňom k ohrozeniu žiadnej zástavby. S prihliadnutím na tento fakt a spoločne s popisom z územného plánu nebude v tomto mieste navrhovaná protipovodňová ochrana. V prípade nutnosti ochrany tohto územia by bolo riešením vyvýšenie spevnenej cesty, ktorá sa nachádza na pravom brehu prítoku, z ktorého dochádza k rozlivom vody do tejto oblasti. K rozlivu vody cez túto spevnenú cestu dochádza v úseku dlhom približne 100 m a výška vodnej hladiny v tomto mieste prevyšuje spevnenú komunikáciu približne o hodnotu 0,10 – 0,15 m.



Obr. 51 Rozliv v návrhovom stave, ľavý breh, r.km 3,442

Keďže primárnym zámerom návrhu bola protipovodňová ochrana jednotlivých častí obcí pred zvýšenými prítokmi, najmä pred prítokom Q_{100} , nebola v rámci návrhu zhotovená revitalizácia vodného toku. Ďalšími faktormi, kvôli ktorým nebola navrhovaná revitalizácia vodného toku je aj fakt, že vo veľkej časti vybraného úseku by to nedovoľovali priestorové

nároky a taktiež je väčšina pozemkov, ktoré vedú pozdĺž vodného toku a v jeho najbližšom okolí v súkromnom vlastníctve, čo by mohlo viesť k problémom s vysporiadaním týchto pozemkov, do ktorých by navrhnutá revitalizácia zasahovala.

V prípade, že by v budúcnosti mohlo dôjsť k návrhu určitého typu revitalizácie v danej oblasti, boli v rámci vyhodnotenia vytipované miesta, v ktorých by takýto návrh bol možný a vhodný. Jedná sa o úsek na ľavom brehu približne v r. km 3,180 – 3,361, kde by mohlo dôjsť k rozvoľneniu toku s možným odstupňovaním terénu smerom do toku, poprípade s možným návrhom sústavy menších tóní, vid' schematický *Obr. 52*. Spoločne s takýmto návrhom by bol opodstatnený taktiež návrh a výsadba vhodného a pestrého vegetačného pásma v okolí odstupňovania a tóní, aby došlo vo veľkej miere k zachovaniu prírodného charakteru, poprípade jeho zlepšeniu.



Obr. 52 Schematický náčrt možnosti revitalizácie, r.km 3,180 - 3,361

Ďalšia možnosť určitého typu revitalizácie by mohla byť navrhnutá na prítoku na ľavom brehu v r. km 3,442. V tomto prípade by mohol návrh zahŕňať návrh meandrov, prípadné rozšírenie prítoku s možným návrhom niekoľkých vyvýšení v toku a s možným odstupňovaním terénu a vytvorenie stupňov z brehu smerom do toku. Tento návrh by mohol byť skombinovaný so zvýšením spevnenej cesty na pravom brehu tohto prítoku, čo by malo za následok aj zamedzenie rozlivu vody, ktorý vzniká pri návrhovom stave a je zobrazený na *Obr. 51*. Schematický náčrt na *Obr. 53* znázorňuje prípadnú variantu možného návrhu meandrovania koryta v kombinácii s menšími tónami. Samozrejmosťou by mal byť v prípade takéhoto návrhu aj správny návrh vegetačného pásma, ktorý by zabezpečoval ekologicky stabilnejší celok, ktorý by zvýšil biologickú rozmanitosť rastlinných aj živočíšnych druhov v krajine a taktiež by danému úseku zlepšil estetickú stránku, ktorá by sa viac približovala prirodzenému prostrediu.



Obr. 53 Schematický náčrt možnosti revitalizácie prítoku v r.km 3,442

V úseku medzi r. km 8,464 - 8,554 by taktiež bola možnosť návrhu podobnej úpravy s miernym rozšírením koryta a návrhom menších tóní, poprípade jazierok na ľavom brehu, vid' *Obr. 54*. Podobne ako v predchádzajúcom prípade by bol dôležitý návrh vhodného vegetačného pásma pre zlepšenie stavu prírodného charakteru. V náväznosti na fakt, že tento úsek sa nachádza vedľa cyklotrasy, tak by mohol byť návrh vnímaný aj ako vytvorenie odpočinkovej zóny s možným návrhom určitého typu posedenia.

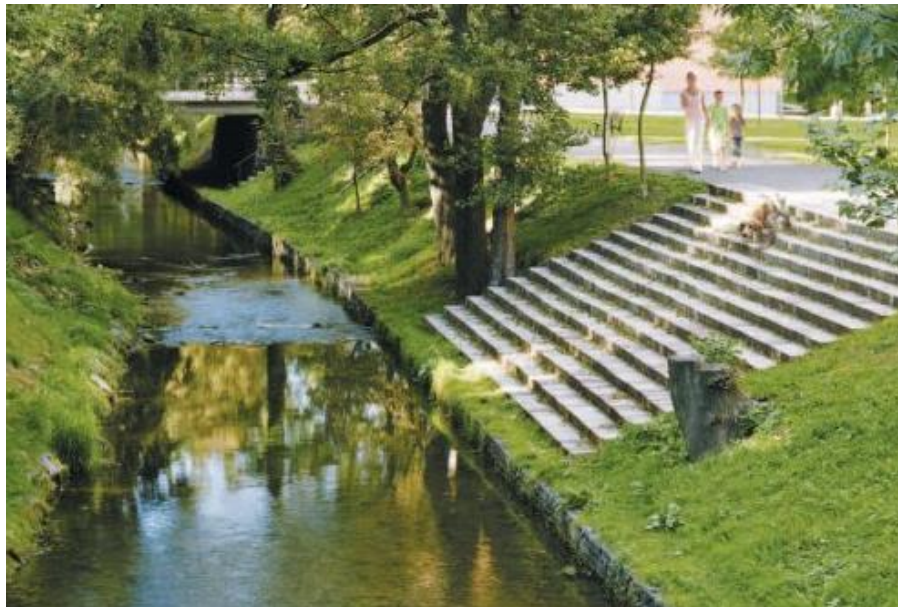


Obr. 54 Schematický náčrt možnosti revitalizácie, r.km 8,464 - 8,554

S prihliadnutím na požiadavku, aby bol výsledný návrh v čo najväčšej možnej miere blízky prírode, bude v navrhnutých protipovodňových opatreniach, najmä v navrhnutých protipovodňových hrádzkach a miestach, kde boli zvyšované existujúce cyklotrasy určitým spôsobom zachovaný prístup z brehu do vodného toku. Tento prístup bude zabezpečený pomocou schodov smerom do vodného toku, poprípade odstupňovaním jednotlivých svahov. V ideálnom prípade by mali byť pre tento typ návrhu používané v čo najväčšej miere prírodné materiály alebo také materiály a riešenia, ktoré by len minimálne ovplyvňovali prirodzený vzhľad a charakter krajiny a okolia, poprípade ho zlepšovali.



Obr. 55 Kamenné schody do toku [39]



Obr. 56 Schody z kamennej dlažby [40]

Obr. 55 a *Obr. 56* znázorňujú možnú úpravu častí svahov navrhnutých protipovodňových opatrení, ktoré zabezpečia prístup z brehov k vodnému toku.

Z hľadiska návrhu vegetačného doprovodu a vegetačného pásma v okolí navrhnutých protipovodňových opatrení je vhodné rozdeliť tento návrh na jednotlivé pásma, na pásmo stromové, kríkové a bylinné. V stromovom pásme budú navrhované najmä olše lepkavé a vrbí biele, v kríkovom pásme sa bude jednať najmä o liesku obyčajnú, vrbu trojtyčinkovú a čremchu obyčajnú. Bylinné pásmo bude ponechané voľnému vývoju a nebudú v ňom navrhované žiadne konkrétne rastliny a byliny.

13 ZÁVER

V rámci tejto diplomovej práce bolo hlavnou úlohou hydraulické posúdenie stávajúceho stavu vodného toku Dřevnice, následné vyhodnotenie tohto hydraulického výpočtu a na jeho základe bol zhotovený návrh určitých protipovodňových opatrení, vďaka ktorým má byť zabezpečené okolie vodného toku pred zvýšenými prietokmi vody v koryte, ktoré by po prekročení kapacity koryta mohli spôsobiť nežiaduce škody na majetkoch alebo ľudskom zdraví. Posudzovaný úsek sa nachádza medzi riečnym kilometrom 2,358 – 9,050.

Na základe zhodnotenia výsledkov po vymodelovaní stávajúceho stavu pomocou softwaru HEC-RAS 6.3.1 bolo možné konštatovať, že aktuálne protipovodňové opatrenia v danej lokalite nie sú dostačujúce na neškodné prevedenie návrhového prietoku $Q_N = Q_{100}$ a takmer v celej dĺžke riešeného úseku toku dochádza k rozlivom vody do okolia, či už sa jedná o neškodné rozlivy na poľnohospodárskej pôde alebo o rozlivy v zastavaných častiach jednotlivých obcí.

Ako náväznosť na túto skutočnosť bol realizovaný návrh protipovodňových opatrení, ktorého úlohou bolo zamedziť nežiaducemu rozlivu vody z väčšej časti do priemyselných oblastí alebo do oblastí s obytnou zástavbou. Snahou bolo v čo najväčšej možnej miere navrhovať také opatrenia, aby svojim charakterom čo najmenej ovplyvňovali prirodzený vzhľad krajiny. Práve preto bolo snahou navrhovať hlavne protipovodňové hrádzky, ktorých svahy budú zatravnené. V miestach, kde nebolo možné hrádzky navrhnuť z hľadiska priestorových pomerov, boli navrhované betónové protipovodňové steny. V okolí navrhutej PPO bolo snahou v čo najväčšej miere zasadiť do prostredia vhodný a pestrý vegetačný doprovod, ktorý napomáha zachovať si upravenému okoliu toku prirodzený charakter. Z hľadiska návrhu protipovodňových opatrení bolo celkovo v piatich miestach realizované aj navýšenie častí existujúcej cyklotrasy, ktoré v konečnom dôsledku tiež slúži ako protipovodňová hrádzka a zväčšuje tak kapacitu koryta.

Po následnom vymodelovaní stavu s navrhnutými protipovodňovými opatreniami a vyhodnotením tohto výpočtu možno tvrdiť, že pomocou novonavrhnutých opatrení sa v riešenom úseku podarilo zamedziť rozlivom vody pre návrhový prietok $Q_N = Q_{100}$ a taktiež aj pre prietok Q_{20} v priemyselných a obytných oblastiach. Stav po návrhu PPO teda dokazuje, že koryto toku Dřevnice by malo byť v súčinnosti s novonavrhnutou protipovodňovou ochranou schopné zabezpečiť neškodný odtok vody pri návrhovom prietoku Q_{100} , prietoku Q_{20} a aj pri prietoku Q_5 v riešenom území.

14 POUŽITÉ ZDROJE

14.1 ZDROJE – INTERNET

- [1] *Protipovodňové opatření (PPO)* [online]. [cit. 2022-11-10]. Dostupné z: <http://www.hgpartner.cz/sluzby/povodnove-opatreni/>
- [5] *FLOOD PREVENTION WALL* [online]. [cit. 2022-12-11]. Dostupné z: <https://tha.sika.com/en/project-reference/local-references/joint-sealing-flood-prevention-wall.html>
- [6] *Perimeter Wall* [online]. [cit. 2022-12-11]. Dostupné z: <https://floodcontrolam.com/portfolio/holman-field-st-paul-downtown-airport/>
- [8] *Řeky a voda ve městech* [online]. [cit. 2022-12-11]. Dostupné z: <http://www.koaliceproreky.cz/temata/reky-a-voda-ve-mestech/>
- [9] *Technické úpravy vodních toků* [online]. [cit. 2022-12-11]. Dostupné z: <https://strednicechy.ochranaprirody.cz/pece-o-vodni-rezim-krajiny/technicke-upravy-vodnich-toku/>
- [11] *Protipovodňová ochrana města Beroun* [online]. [cit. 2022-12-11]. Dostupné z: <https://www.ckait.cz/content/protipovodnova-ochrana-mesta-beroun>
- [12] *Péče o vodní režim krajiny* [online]. [cit. 2022-12-11]. Dostupné z: <https://strednicechy.ochranaprirody.cz/pece-o-vodni-rezim-krajiny>
- [13] *ANTROPICKÉ VPLYVY A REVITALIZÁCIA TOKOV* [online]. [cit. 2022-12-11]. Dostupné z: https://fns.uniba.sk/fileadmin/prif/biol/kek/hydrobio/Vplyvy_revitalizacia.pdf
- [14] *Revitalizace povodí* [online]. [cit. 2022-12-11]. Dostupné z: https://storm.fsv.cvut.cz/data/files/p%C5%99edm%C4%9Bty/YHYS/YHYS_08_RVD_T.pdf
- [15] *Revitalizace vodních toků* [online]. [cit. 2022-12-11]. Dostupné z: <https://strednicechy.ochranaprirody.cz/pece-o-vodni-rezim-krajiny/revitalizace-vodnich-toku>
- [16] *Mapové kompozice* [online]. [cit. 2022-12-11]. Dostupné z: <http://www.vodavkrajine.cz/mapove-kompozice>
- [20] *BRUNNER, Gary W. US ARMY CORPS OF ENGINEERS. HEC-RAS, River Analysis System Hydraulic Reference Manual* [online]. Únor 2016. 547 s. [online]. [cit. 2022-12-11]. Dostupné z: <https://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/>
- [21] *BRUNNER, Gary W. a CEIWR-HEC. US ARMY CORPS OF ENGINEERS. HEC-RAS River Analysis System User's Manual: Version 5.0* [online]. [cit. 2022-12-11]. Dostupné z: <https://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/>
- [22] *RAS News Feed – Kleinschmidt* [online]. [cit. 2022-12-11]. Dostupné z: <https://www.kleinschmidtgroup.com/ras-post/>
- [23] *BRUNNER, Gary W. a CEIWR-HEC. US ARMY CORPS OF ENGINEERS. HEC-RAS River Analysis System, 2D Modeling User's Manual: Version 5.0* [online]. [cit. 2022-12-11]. Dostupné z: <https://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/>

- [26] *Hydrologické údaje* [online]. [cit. 2022-12-11]. Dostupné z: https://www.edpp.cz/orpvz_hydrologicke-udaje/
- [27] *Správci vodních toků* [online]. [cit. 2022-12-11]. Dostupné z: https://www.edpp.cz/orpvz_spravci-vodnich-toku/
- [28] *Základní vodohospodářská mapa ČR 1:50000* [online]. [cit. 2022-12-11]. Dostupné z: <https://heis.vuv.cz/>
- [29] *Mapy povodňového nebezpečí, ohrožení a povodňových rizik* [online]. [cit. 2022-12-11]. Dostupné z: https://www.mzp.cz/mapy_povodnove_ohrozeni_rizika/index.html
- [30] *Popis oblasti povodí* [online]. [cit. 2022-12-11]. Dostupné z: <http://www.pmo.cz/pop/2009/Morava/End/a-popis/a-1.html>
- [31] *Plán oblasti povodí Moravy* [online]. [cit. 2022-12-11]. Dostupné z: <http://www.pmo.cz/pop/2009/Morava/End/a-popis/a-popis.html>
- [32] *TVORBA MAP POVODŇOVÉHO NEBEZPEČÍ A POVODŇOVÝCH RIZIK V OBLASTI POVODÍ MORAVY A V OBLASTI POVODÍ DYJE* [online]. [cit. 2022-12-11]. Dostupné z: <https://cde.mzp.cz/stretches/pdf/288?version=1&type=B>
- [33] *Hlásná a předpovědní povodňová služba* [online]. [cit. 2022-12-11]. Dostupné z: https://hydro.chmi.cz/hpps/popup_hpps_prfdyn.php?seq=307366
- [34] *Hydrologic Engineering Center* [online]. [cit. 2022-12-11]. Dostupné z: <https://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/>
- [35] *Autodesk Civil 3D* [online]. [cit. 2022-12-11]. Dostupné z: <https://www.arkance-systems.cz/produkty/infrastruktura-a-mapovani/autodesk-civil-3d>
- [36] *Mapy povodňového nebezpečí, ohrožení a povodňových rizik - Mapa - CDS 2* [online]. [cit. 2022-12-11]. Dostupné z: https://cde.mzp.cz/map/detail/MOV_03_02?version=2&type=mpn_100&reset=0
- [37] *Oddělení geografických informačních systémů a kartografie* [online]. [cit. 2022-12-11]. Dostupné z: <https://www.dibavod.cz/index.php?id=27>
- [38] *Prohlížeč služba WMS - DMR 5G (Stínovaný model reliéfu)* [online]. [cit. 2022-12-11]. Dostupné z: [https://geoportal.cuzk.cz/\(S\(bpi5eozxwrwa4wskzn0m1uot\)\)/Default.aspx?mode=Text&Meta&side=wms.verejne&metadataID=CZ-CUZK-WMS-DMR5G&metadataXSL=metadata.sluzba&head_tab=sekce-03-gp&menu=3130](https://geoportal.cuzk.cz/(S(bpi5eozxwrwa4wskzn0m1uot))/Default.aspx?mode=Text&Meta&side=wms.verejne&metadataID=CZ-CUZK-WMS-DMR5G&metadataXSL=metadata.sluzba&head_tab=sekce-03-gp&menu=3130)
- [39] *Schody do toku* [online]. [cit. 2023-01-10]. Dostupné z: https://www.mimibazar.cz/rodinne_foto.php?id=3995705
- [40] *Příklady dobré praxe - Revitalizace Staré Ponávky - Brno* [online]. [cit. 2023-01-10]. Dostupné z: <https://www.yumpu.com/xx/document/view/49521238/priklady-dobre-praxe-revitalizace-stare-ponavky-brno>
- [41] *Tabulka drsností podla Chowa* [online]. [cit. 2023-01-10]. Dostupné z: http://hydraulika.fsv.cvut.cz/Toky/Predmety/YRIM/Seminarni_prace+prezentace/2017/seminarni_%20prace/MA%C5%87%C3%81K_sou%C4%8Dinitel_n.pdf

14.2 ZDROJE – LITERATÚRA

- [2] MŽP: *Zvýšení protipovodňové ochrany v povodí – přírodě blízká protipovodňová a protierozní opatření*. [Praha]: Ministerstvo životního prostředí, 2010. ISBN 978-80-254-6828-9.
- [3] ČSKI: *Podklady pro aktualizaci metodiky pro navrhování PBPO*. Česká společnost krajinných inženýrů
- [4] ŘÍHA, Jaromír. *Ochranné hráze na vodních tocích*. Praha: Grada, 2010. ISBN 978-80-247-3570-2.
- [7] JUST, Tomáš. *Vodohospodářské revitalizace a jejich uplatnění v ochraně před povodněmi*. [Praha]: Český svaz ochránců přírody, 2005. ISBN 80-239-6351-1.
- [10] MALEŇÁK, Jaroslav, Miloslav ŠLEZINGR a Otto PODSEDNÍK. *Vodní stavby I: úpravy toků, jezy, vodní cesty a plavba*. Brno: CERM, 2002. ISBN 80-214-2165-7.
- [17] VOKURKA, Adam, *Představení nové metodiky Ministerstva životního prostředí pro navrhování přírodě blízkých protipovodňových opatření aneb Revitalizace VT není vždy příroděblízká povodňová ochrana*. Česká společnost krajinných inženýrů
- [18] JANDORA, Jan a Jan ŠULC. *Hydraulika: modul 01*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2007. Studijní opory pro studijní programy s kombinovanou formou studia. ISBN 978-80-7204-512-9.
- [19] JANDORA, Jan. *Matematické modelování ve vodním hospodářství: modul 01*. Fakulta stavební VUT, 2008.
- [24] ŘÍHA, Jaromír. *Matematické modelování hydrodynamických a disperzních jevů*. Brno: Vysoké učení technické, 1997. ISBN 80-214-0827-8.
- [25] Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, v.v.i., Praha, Ústav vodních staveb, FAST, Vysoké učení technické, Brno, Katedra hydrotechniky, FSv, České vysoké učení 70 technické v Praze, Geografický ústav, PřF, Masarykova univerzita, Brno. *Metodika tvorby map povodňového nebezpečí a povodňových rizik*. 2011. Poslední aktualizace 13.3.2012.

15 ZOZNAM TABULIEK

Tab. 1 Základné informácie o riešenej časti toku Dřevnice [27] [29].....	27
Tab. 2 Zemepisná poloha oblasti povodia Moravy [30]	27
Tab. 3 Jednotlivé <i>N</i> -ročné prietoky [32]	32
Tab. 4 Limity pre stupne povodňovej aktivity - Dřevnice [33]	32
Tab. 5 Objekty na vodnom toku v záujmovej oblasti - premostenia.....	33
Tab. 6 Objekty na vodnom toku v záujmovej oblasti - stupne, priečne prahy.....	33
Tab. 7 Hodnoty drsností pre 2D oblasť podľa Manninga	39
Tab. 8 Zoznam navrhnutých stavebných objektov.....	52

16 ZOZNAM OBRÁZKOV

Obr. 1 Schéma metódy po úsekoch [18]	14
Obr. 2 Výrez prúdu - grafické zobrazenie [19]	18
Obr. 3 Príklad technickej úpravy koryta [8].....	20
Obr. 4 Stabilná ochranná protipovodňová stena [5].....	21
Obr. 5 Mobilná ochranná protipovodňová stena [6]	21
Obr. 6 Protipovodňová ochranná hrádza [11]	22
Obr. 7 Príklad revitalizácie vodného toku [14].....	23
Obr. 8 Typy PBPO vo vybranej oblasti [16].....	24
Obr. 9 Vodohospodárska mapa - záujmový úsek [28].....	26
Obr. 10 Situácia záujmového územia.....	27
Obr. 11 Oblasť povodia Moravy – vymedzenie oblasti [31]	28
Obr. 12 Správne členenie oblasti povodia Moravy [31]	28
Obr. 13 Hydrogeologické pomery oblasti povodia Moravy [30].....	29
Obr. 14 Hydrologické pomery oblasti povodia Moravy [30].....	30
Obr. 15 Priemerná ročná teplota vzduchu v oblasti povodia Moravy [30].....	31
Obr. 16 Prostredie softwaru HEC-RAS 6.3.1	34
Obr. 17 Prostredie softwaru HEC-RAS - zadávanie priečných profilov	36
Obr. 18 Koryto toku z DMR	37
Obr. 19 Vyhladené koryto toku spojené s DMR.....	37
Obr. 20 Ukážka výpočtovej siete vrátane break lines a zjemnenia siete v ich okolí	38
Obr. 21 Ukážka rozdelenia plôch pre jednotlivé drsnosti	39
Obr. 22 Rozliv vody v r.km 2,720 - 3,361	40
Obr. 23 Rozliv vody v r.km 3,404 - 3,700	41
Obr. 24 Rozliv vody v r.km 5,300 - 6,000	41
Obr. 25 Rozliv vody v r.km 6,390 - 6,740	42
Obr. 26 Rozliv vody v r.km 8,320 - 8,890	42
Obr. 27 Rozliv vody v r.km 5,520 - 5,730	43
Obr. 28 Rozliv vody v r.km 6,200 - 6,810	43
Obr. 29 Rozliv vody v r.km 6,900 - 7,380	44
Obr. 30 Rozliv vody v r.km 7,920 - 8,250	44
Obr. 31 Rozliv vody v r.km 8,250 - 8,650	45
Obr. 32 Rozliv vody pri Q_5 , r.km 2,720 - 2,830.....	45

Obr. 33 PPO - ochranná hrádzka SO01, r.km 2,720 - 3,361	47
Obr. 34 PPO - ochranná stena SO02, ochranná hrádzka SO03, r.km 5,250 - 5,950.....	48
Obr. 35 PPO - ochranná stena SO04, ochranná hrádzka SO05, r.km 6,350 - 6,810.....	48
Obr. 36 PPO - ochranná hrádzka SO06, r.km 8,310 - 9,050.....	49
Obr. 37 PPO - navýšenie cyklotrasy NC0, r.km 2,415 - 3,361	49
Obr. 38 PPO - navýšenie cyklotrasy NC1, r.km 4,830 - 5,174	50
Obr. 39 PPO - navýšenie cyklotrasy NC2, ochranná hrádzka SO07, r.km 5,510 - 6,820.....	50
Obr. 40 PPO - ochranná stena SO08, navýšenie cyklotrasy NC3, ochranná hrádzka SO09, r.km 6,900 - 7,890.....	51
Obr. 41 Schéma navrhnutých protipovodňových stien	52
Obr. 42 Schéma navrhnutých protipovodňových hrádzok.....	53
Obr. 43 SO01 (ochranná hrádzka), r.km 2,720 - 3,361	54
Obr. 44 SO02 (ochranná stena), SO03 (ochranná hrádzka), r.km 5,250 - 5,950	55
Obr. 45 SO04 (ochranná stena), SO05 (ochranná hrádzka), r.km 6,350 - 6,810	55
Obr. 46 SO06 (ochranná hrádzka), r. km 8,310 - 9,050.....	56
Obr. 47 NC1 (navýšenie cyklotrasy), r.km 4,835 - 5,160.....	56
Obr. 48 NC2 (navýšenie cyklotrasy), SO07 (ochranná hrádzka), r.km 5,510 - 6,820.....	57
Obr. 49 SO08 (ochranná stena), NC3 (navýšenie cyklotrasy), SO09 (ochranná hrádzka),	57
Obr. 50 SO10 (ochranná hrádzka), NC4 (navýšenie cyklotrasy), r.km 8,240-9,050.....	57
Obr. 51 Rozlív v návrhovom stave, ľavý breh, r.km 3,442.....	58
Obr. 52 Schematický náčrt možnosti revitalizácie, r.km 3,180 - 3,361	59
Obr. 53 Schematický náčrt možnosti revitalizácie prítoku v r.km 3,442.....	60
Obr. 54 Schematický náčrt možnosti revitalizácie, r.km 8,464 - 8,554.....	60
Obr. 55 Kamenné schody do toku [39]	61
Obr. 56 Schody z kamennej dlažby [40]	61

17 ZOZNAM POUŽITÝCH SKRATIEK A SYMBOLOV

Q _N	N-ročný prietok, ktorý je v dlhodobom priemere dosiahnutý alebo prekročený jedenkrát za N rokov
Q ₅	päťročná voda, ktorá je v dlhodobom priemere dosiahnutá alebo prekročená jedenkrát za 5 rokov
Q ₂₀	dvadsaťročná voda, ktorá je v dlhodobom priemere dosiahnutá alebo prekročená jedenkrát za 20 rokov
Q ₁₀₀	storočná voda, ktorá je v dlhodobom priemere dosiahnutá alebo prekročená jedenkrát za 100 rokov
r. km	riečny kilometer
PPO	protipovodňové opatrenie
PBPO	prírode blízke protipovodňové opatrenie
ČOV	čistiareň odpadových vôd
ZÚ	začiatok úseku
KÚ	koniec úseku
PF	priečny profil
k.ú.	katastrálne územie
ČHMÚ	Český hydrometeorologický ústav
SPA	stupeň povodňovej aktivity
DMR	digitálny model reliéfu
HEC-RAS	Hydrologic Engineering Center – River Analysis System
1D	jednorozmerný model
1D/2D	model, ktorý využíva pre výpočet prúdenia vody o voľnej hladine 1D aj 2D prvky
2D	dvojrozmerný model
UPD	územno-plánovacia dokumentácia

18 ZOZNAM PRÍLOH

Výkresová časť:

- A.1 Situácia širších vzťahov, M 1:50 000
- A.2 Celková situácia stavby, M 1:11 000
- A.3.1.1 Podrobný pozdĺžny profil r. km 2,358 – 4,231 – stávajúci stav, M 1:2000/100
- A.3.1.2 Podrobný pozdĺžny profil r. km 4,231 – 6,220 – stávajúci stav, M 1:2000/100
- A.3.1.3 Podrobný pozdĺžny profil r. km 6,220 – 8,200 – stávajúci stav, M 1:2000/100
- A.3.1.4 Podrobný pozdĺžny profil r. km 8,200 – 9,050 – stávajúci stav, M 1:2000/100
- A.3.2.1 Podrobný pozdĺžny profil r. km 2,358 – 4,231 – návrhový stav, M 1:2000/100
- A.3.2.2 Podrobný pozdĺžny profil r. km 4,231 – 6,220 – návrhový stav, M 1:2000/100
- A.3.2.3 Podrobný pozdĺžny profil r. km 6,220 – 8,200 – návrhový stav, M 1:2000/100
- A.3.2.4 Podrobný pozdĺžny profil r. km 8,200 – 9,050 – návrhový stav, M 1:2000/100
- A.4.1.1 Mapa hĺbok Q_{20} – stávajúci stav, M 1:11 000
- A.4.1.2 Mapa hĺbok Q_{100} – stávajúci stav, M 1:11 000
- A.4.2.1 Mapa hĺbok Q_{20} – návrhový stav, M 1:11 000
- A.4.2.2 Mapa hĺbok Q_{100} – návrhový stav, M 1:11 000
- A.4.3.1 Mapa rýchlostí Q_{20} – stávajúci stav, M 1:11 000
- A.4.3.2 Mapa rýchlostí Q_{100} – stávajúci stav, M 1:11 000
- A.4.4.1 Mapa rýchlostí Q_{20} – návrhový stav, M 1:11 000
- A.4.4.2 Mapa rýchlostí Q_{100} – návrhový stav, M 1:11 000
- A.5.1 Mapa rozlivov – stávajúci stav, M 1:11 000
- A.5.2 Mapa rozlivov – návrhový stav, M 1:11 000
- A.6 Mapa rozlivov – rozdielová mapa Q_{100} , M 1:11 000
- A.7.1 Vzorový rez protipovodňovou stenou SO08, M 1:50
- A.7.2 Vzorový rez protipovodňovou hrádzkou SO06, M 1:50