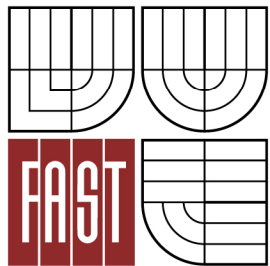


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV VODNÍCH STAVEB

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF WATER STRUCTURES

NÁVRH PPO NA ZVOLENÉ ČÁSTI TOKU

DESIGN OF FLOOD PROTECTION

DIPLOMOVÁ PRÁCE
DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

BC. DALIBOR RAJNOCH

VEDOUcí PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. DAVID DUCHAN, Ph.D.

BRNO 2015



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	N3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu	Navazující magisterský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3607T027 Vodní hospodářství a vodní stavby
Pracoviště	Ústav vodních staveb

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Diplomant	Bc. Dalibor Rajnoch
Název	Návrh PPO na zvolené části toku
Vedoucí diplomové práce	Ing. David Duchan, Ph.D.
Datum zadání diplomové práce	30. 9. 2014
Datum odevzdání diplomové práce	16. 1. 2015

V Brně dne 31. 3. 2014



prof. Ing. Jan Šulc, CSc.
Vedoucí ústavu



prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA
Děkan Fakulty stavební VUT

Podklady a literatura

Literatura:

ES 2007. Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2007/60/ES ze dne 23. října o vyhodnocování a zvládnání povodňových rizik.

MŽP ČR 2009. Metodika tvorby map povodňového nebezpečí a povodňových rizik. VÚV T.G. Masaryka v.v.i, Brno. Ministerstvo životního prostředí ČR, Praha.

Zákon 254/2001 Sb. o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon).

Studijní opora "Proudění v systémech říčních koryt" a "Projekt vodní stavby".

Podklady:

Digitální model terénu.

Výsledky hydraulických výpočtů proudění vody v záplavovém území zvolené lokality.

Zásady pro vypracování (zadání, cíle práce, požadované výstupy)

Na vybrané části toku bude provedeno modelování proudění povrchové vody při povodních Q5, Q20, Q100. Na základě hydraulických výsledků navrhnete v dané lokalitě protipovodňovou ochranu.

Požadované výstupy:

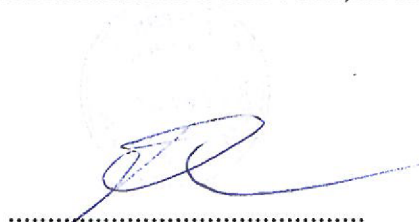
- 1) Technická zpráva
- 2) Tematické mapy

Struktura bakalářské/diplomové práce

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

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

3.



Ing. David Duchan, Ph.D.
Vedoucí diplomové práce

Abstrakt

Diplomová práce se zabývá posouzením stávajícího stavu a následným návrhem protipovodňových opatření na řece Dřevnici v lokalitě Zlín. Zhodnocení proběhlo hydraulickým výpočtem proudění vody s využitím 2D numerického modelu. Pro výpočet byl použit software SMS-TUFLOW. Na základě výsledků z numerického modelu se provedl návrh protipovodňových opatření a byla hodnocena jejich účinnost.

Klíčová slova

2D numerické modelování, protipovodňová ochrana, SMS-TUFLOW

Abstract

The diploma thesis copes with the evaluation of status quo and further proposal for a flood control arrangements for the river Dřevnice (Zlín district). The evaluation as such has been made by the hydraulic calculation of flow alongside 2D numeric model - SMS-TUFLOW software was used for these calculations and sub-calculations. Based on the results as evaluated by numerical model, the proposal for a flood control arrangements has been made and is further available within the document. Last not least, the utilization of the aforementioned arrangements was measured and described.

Keywords

2D numerical modelling, flood protection, SMS-TUFLOW

Bibliografická citace VŠKP

Bc. Dalibor Rajnoch *Návrh PPO na zvolené části toku*. Brno, 2015. 54 s., 124 s. příl.
Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodních staveb.
Vedoucí práce Ing. David Duchan, Ph.D.

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 16.1.2015

.....
podpis autora
Bc. Dalibor Rajnoch

Poděkování:

Rád bych poděkoval Ing. Davidu Duchanovi Ph.D., vedoucímu mé diplomové práce za odborné vedení, vstřícný přístup, praktické rady, připomínky a za jeho pomoc a čas při zpracovávání této práce.

OBSAH

1.	ÚVOD.....	4
2.	CÍLE.....	5
3.	TEORIE.....	6
3.1	Jednorozměrný (1D) model.....	6
3.1.1	Rovnice kontinuity.....	6
3.1.2	Okrajové a počáteční podmínky.....	7
3.2	Dvojměrný (2D) model.....	8
3.2.1	Základní rovnice.....	8
3.2.2	Okrajové a počáteční podmínky.....	9
3.2.3	Metoda řešení.....	10
4.	PODKLADY.....	11
4.1	Mapové a projektové.....	11
4.2	Zprávy, studie, dokumenty.....	11
4.3	Legislativní.....	12
5.	POPIS ÚZEMÍ.....	13
5.1	Popis povodí toku Dřevnice.....	13
5.2	Průběhy historických povodní.....	14
5.2.1	Povodně v roce 1987.....	14
5.2.2	Povodně v roce 1997.....	15
5.2.3	Povodně v roce 2006.....	15
5.2.4	Povodně v roce 2010.....	15
5.3	Popis zájmového území.....	16
5.4	Popis objektů na řešeném úseku.....	17
5.4.1	Mosty a lávky.....	17
5.4.2	Jezy a stupně.....	18

6.	ZPŮSOB ŘEŠENÍ.....	19
6.1	Použité softwarové vybavení	19
6.2	Vytvoření modelu	19
6.2.1	2D Model.....	19
6.2.2	1D Model.....	20
6.2.3	Materiály.....	21
6.2.4	Okrajové a počáteční podmínky	22
6.2.5	Objekty v modelu.....	23
7.	KALIBRACE	26
7.1	Data pro kalibraci	26
7.2	Kalibrace drsností	27
7.3	Kalibrace objektů	27
7.4	Výsledky kalibrace	27
7.5	Odchyly kalibrace	28
8.	VÝSLEDKY.....	29
8.1	Hloubky vody.....	29
8.2	Rychlosti vody.....	29
8.3	Hranice rozlivů	30
8.4	Zhodnocení nepřesností výsledků	30
8.4.1	Porovnání hranic rozlivů.....	30
8.4.2	Nepřesné výsledky v místech břehových hran.....	32
9.	PROTIPOVODŇOVÁ OPATŘENÍ	34
9.1	Strukturální opatření.....	34
9.1.1	Zvýšení kapacity koryta.....	34
9.1.2	Ochranné hráze	35
9.1.3	Povodňové zdi	36
9.1.4	Umělé retenční prostory.....	38
9.1.5	Zvýšení retenční schopnosti krajiny – opatření v povodí	38

9.2	Nestrukturální opatření	39
9.3	Stávající protipovodňová opatření.....	39
9.4	Zhodnocení stávající kapacity koryta.....	39
9.5	Návrh PPO	41
9.5.1	SO-01– Stabilní železobetonová zeď, km 8,400 – 9,057	41
9.5.2	SO-02 – Stabilní železobetonová zeď, km 9,850 – 12,350	43
9.5.3	SO-03 – Stabilní železobetonová zeď, km 9,460 – 12,350	43
9.5.4	SO-04 – Mobilní hliníková zeď, km 12,350 – 14,900	44
9.5.5	SO-05 – Mobilní hliníková zeď, km 12,350 – 13,900	44
9.5.6	SO-06 – Mobilní hliníková zeď, km 13,950 – 14,900	44
9.6	Zhodnocení návrhů PPO	46
10.	ZÁVĚR.....	47
11.	POUŽITÁ LITERATURA	49
	SEZNAM TABULEK	50
	SEZNAM OBRÁZKŮ	51
	SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ	52
	SEZNAM PŘÍLOH.....	54

1. ÚVOD

Povodně jsou takový stav vody, při kterém dochází k přechodnému vybřežení vody z koryta toku a zaplavení okolního území mimo koryto toku. Takto vybřežená voda může způsobovat škody jak na pozemcích a majetku, tak i na lidských životech. Povodně jsou dvojího druhu: povodně přirozené a zvláštní. Přirozené povodně jsou způsobeny přírodními jevy, zejména dešťovými srážkami, táním nebo ledochodem. Povodně zvláštní jsou povodně způsobené haváriemi na vodních dílech.

Pro snižování nepříznivých vlivů povodní se budují protipovodňová opatření, která dělíme na technická a netechnická. Technická jsou např.: ochranné hráze, retenční nádrže, zkapacitnění koryt, jejich stabilizace (opevňování), inženýrská a inženýrskogeologická opatření ke snížení eroze a zvýšení retence povodí. Do netechnických patří zejména definování záplavových zón, předpovědní a varovné systémy a výchova veřejnosti k odpovědnému chování při povodňových situacích. [1]

Pro stanovení rozsahu povodní se musí zpracovat hydraulické výpočty. Na základě těchto výpočtů se provede vytvoření předběžného vyhodnocení povodňových rizik, mapy povodňových rizik a plány povodňových rizik. [C1] Podle těchto map se vyberou oblasti s nejvyšším rizikem a na těchto oblastech dojde k návrhu PPO. Součástí návrhu by mělo být i hydraulické posouzení těchto návrhů.

2. . CÍLE

Cílem práce je vytvoření 2D modelu pro výpočet proudění vody na toku Dřevnice v km 3,378 -16,030. Na vytvořeném modelu budou provedeny simulace průtoků Q_5 , Q_{20} , Q_{100} a Q_{500} . Pro jednotlivé průtoky budou vytvořeny mapy rozlivů, hloubek a rychlostí vody. Na základě těchto vypracovaných map se na vybraných místech provede návrh protipovodňových opatření na Q_{100} . Po návrhu PPO se provede simulace průtoku Q_{100} a následně se vytvoří map rozlivů, hloubek a rychlostí, a zhodnotí se účinnost PPO.

Simulace se provede pomocí programu SMS-TUFLOW. Výpočet bude proveden na kombinaci jednorozměrného a dvojrozměrného modelu, 1D model bude použit pro samotné koryto toku a 2D model pro oblasti mimo koryto. Výpočet bude proveden stacionárně neboli ustáleně. Stacionární výpočet oproti nestacionárnímu nezohledňuje transformaci povodňové vlny, což může vést k mírnému zkreslení výsledků. Nestacionární model nebyl zvolen z důvodu větší časové náročnosti výpočtů, které jsou i u stacionárního modelu poměrně velké.

Cíle práce:

- Vytvoření modelu pro simulaci proudění povrchové vody na zvolené oblasti.
- Simulace průtoků Q_5, Q_{20}, Q_{100} a Q_{500} .
- Zpracování map rozlivů, hloubek a rychlostí vody.
- Návrh protipovodňových opatření.
- Zhodnocení účinnosti navržených opatření.

3. TEORIE

Proudění vody v otevřených korytech je možné počítat jednorozměrně (1D), dvojrozměrně (2D) a trojrozměrně (3D). Dále je možné proudění řešit jako stacionární (ustálené) a nestacionární (neustálené). Stacionární proudění je takové, kdy je průtok v čase konstantní a nestacionární je, když se průtok mění v čase (u povodňových situací). Zájmová oblast v této práci bude řešena jako kombinace 1D a 2D modelu a se stacionárním režimem proudění.

3.1 JEDNOROZMĚRNÝ (1D) MODEL

Používá se především pro samotná koryta toků bez inundačních území, všechny rychlosti v příčném profilu nahrazujeme jedinou hodnotou, průřezovou rychlostí. Poskytuje informace o podélném sklonu hladiny, prostorovém rozlivu a úrovních hladiny v jednotlivých profilech. Tento model je nejméně náročný na vstupní data, sestavení modelu a samotnou dobu zpracování výsledků.

3.1.1 Rovnice kontinuity

U 1D modelu proudění vody se přijímají předpoklady, že je proudění charakterizováno průměrnou profilovou rychlostí $v_p(x,t)$, průtočnou plochou $A(x,t)$, hloubkou vody $h(x,t)$ a průtokem vody $Q(x,t)$, přitom existuje jednoznačná vazba mezi hloubkou vody a průtočnou plochou $A(h)$, kde $h = f(x,t)$, a mezi průtokem, průměrnou profilovou rychlostí a průtočnou plochou.

$$Q(x, t) = v_p(x, t) \cdot A(x, t) \quad (3.1)$$

Pro odvození rovnice kontinuity se využívá zákon zachování hmotnosti kapaliny při průchodu kontrolním objemem. [2]

Základní rovnice pro výpočet

Rovnice kontinuity pro 1D:

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0 \quad (3.2)$$

kde A je průtočná plocha [m^2], t je čas [s], Q průtok [m^3/s] a x vzdálenost ve směru osy s [m]

Pohybová rovnice:

$$\frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{Q}{A} \right) + \frac{Q}{A} \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{Q}{A} \right) + g \cdot \frac{\partial h}{\partial x} = g \cdot (J_d - J_e) \quad (3.3)$$

kde A je průtočná plocha [m^2], t je čas [s], Q průtok [m^3/s], x vzdálenost ve směru osy s [m], h hloubka vody v profilu [m], g gravitační zrychlení [m/s^2], J_d sklon dna [-] a J_E sklon čáry energie [-]

Průtočná plocha:

$$A = f(h) \quad (3.4)$$

kde A je průtočná plocha [m^2] a h hloubka vody v profilu [m]

Sklon čáry energie:

$$J_E = \frac{v|v|}{C^2 \cdot R} \quad (3.6)$$

kde J_E je sklon čáry energie [-], v průřezová rychlost [m/s], C Chezyho rychlostní součinitel [$\text{m}^{0.5}/\text{s}$] a R hydraulický poloměr [m]. [3]

3.1.2 Okrajové a počáteční podmínky

Počáteční podmínky vyjadřují stav na počátku řešení, vyjadřují známé zadané hodnoty $Q_0(x)$, $h_0(x)$, $A(x)$ a $v(x)$ ve výpočetních bodech sítě v počátečním čase $t_0=0$.

$$Q(x, t_0) = Q_0(x)$$

$$h(x, t_0) = h_0(x)$$

$$A(x, t_0) = A_0(x)$$

$$v(x, t_0) = v_0(x)$$

Okrajové podmínky mají v případě stacionárního proudění tvar:

$$Q(x_0, t) = Q'_0(t), \quad A(x_0, t) = A'_0(t)$$

$$Q(x_L, t) = Q'_L(t), \quad A(x_L, t) = A'_L(t)$$

kde Q'_0 a A'_0 jsou předepsané časové průběhy průtoku a průtočné plochy v počátečním profilu s prostorovou souřadnicí $x=x_0$. Veličiny s indexem L se vztahují k závěrovému profilu toku v místě $x=x_L$. [2]

Je potřeba najít neznáme funkce A , Q , v , h a J_E takové, které splňují počáteční a okrajové podmínky a zároveň vyhovují rovnicím (3.2) – (3.6). Tyto rovnice jsou řešeny pomocí metody konečných diferencí.

3.2 DVOJROZMĚRNÝ (2D) MODEL

2D modely se používají převážně k výpočtům proudění v inundačních územích, ve kterých jsou různé rychlosti a hloubky vody. 2D modely poskytují informace o plošném rozdělení hloubek a rychlostí v celém záplavovém území. Tyto modely poskytují přesnější výsledky, a tudíž jsou náročnější na vstupní data, sestavení modelu a dobu trvání výpočtu.

Neznámými funkcemi v případě proudění ve 2D jsou: 2 funkce složek vektoru svislicové rychlosti $v_{xs}(x,y,z)$ a $v_{ys}(x,y,z)$, 1 funkce hloubky vody $h(x,y,t)$ a jedna funkce turbulentní viskozity $\mu_t(x,y,z)$. [3]

3.2.1 Základní rovnice

Rovnice kontinuity:

$$\frac{\partial H}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} (h \cdot v_{xs}) + \frac{\partial}{\partial y} (h \cdot v_{ys}) = 0, \quad (3.7)$$

Pohybová rovnice ve směru osy x:

$$\begin{aligned} \frac{\partial(hv_{xs})}{\partial t} + \frac{\partial(hv_{ys})}{\partial x_x} + \frac{\partial(hv_{xs}v_{ys})}{\partial y} - f \cdot h \cdot v_{ys} = \frac{\partial(hT_{xx})}{\partial x} + \\ \frac{\partial(hT_{xy})}{\partial y} + \tau_x^{hlad} - \tau_x^{dno} \end{aligned} \quad (3.8)$$

Pohybová rovnice ve směru osy y:

$$\begin{aligned} \frac{\partial(hv_{ys})}{\partial t} + \frac{\partial(hv_{xs})}{\partial x_x} + \frac{\partial(hv_{xs}v_{ys})}{\partial y} - f \cdot h \cdot v_{xs} = \frac{\partial(hT_{xy})}{\partial x} + \\ \frac{\partial(hT_{yy})}{\partial x} + \tau_y^{hlad} - \tau_y^{dno} \end{aligned} \quad (3.9)$$

Rovnice Smagorinského turbulentního modelu:

$$\mu_t = \alpha \cdot \Delta x \cdot \Delta y \cdot \sqrt{\left(\frac{\partial v_{xs}}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial v_{ys}}{\partial y}\right)^2 + \frac{1}{2} \left(\frac{\partial v_{xs}}{\partial x} + \frac{\partial v_{ys}}{\partial y}\right)^2}$$

(3.10)

Ve vztazích (3.7) až (3.10) je H poloha hladiny (m), t čas (s), h hloubka vody v profilu (m), v_x a v_y složky vektoru rychlosti ve směru osy x a y (m/s), x a y vzdálenost ve směru osy x a y (m), f Coriolisův parametr (-), T turbulentní smyková napětí (Pa), τ smyková napětí na dně (Pa), α je bezrozměrný koeficient ($0,01 \leq \alpha \leq 0,5$), Δx a Δy jsou rozměry buňky výpočtové sítě. [3]

3.2.2 Okrajové a počáteční podmínky

Počáteční podmínky vyjadřují známé (zadané) průběhy funkcí $v_{xs0}(x,y)$, $v_{ys0}(x,y)$, $h_0(x,y,t)$ a μ_{t0} ve všech bodech oblasti Ω v čase $t=0$:

$$v_{xs}(x,y,0) = v_{xs0}(x,y) \quad \text{na } \Omega \cup \Gamma,$$

$$v_{ys}(x,y,0) = v_{ys0}(x,y) \quad \text{na } \Omega \cup \Gamma,$$

$$h(x,y,0) = h_0(x,y) \quad \text{na } \Omega \cup \Gamma,$$

$$\mu_t(x,y,0) = \mu_{t0}(x,y) \quad \text{na } \Omega \cup \Gamma.$$

Okrajové podmínky vyjadřují průběhy funkcí na hranicích náhradní oblasti Ω :

1. Na horní hranici Γ_1 :

$$v_{xs}(x,y,t) = v_{xs}(t) / \Gamma_1,$$

$$v_{ys}(x,y,t) = v_{ys}(t) / \Gamma_1,$$

$$\mu_t(x,y,t) = \mu_t(t) / \Gamma_1;$$

2. Na dolní hranici Γ_2 :

$$h(x,y,t) = h(t) / \Gamma_2,$$

kde $v_{xs}(t) / \Gamma_1$, $v_{ys}(t) / \Gamma_1$ a $\mu_t(t) / \Gamma_1$ jsou zadané hodnoty složek vektoru složek svislicové rychlosti a turbulentní viskozity na Γ_1 a $h(t) / \Gamma_2$ je zadaná hloubka na Γ_2 .

Úkolem je nalézt neznámé funkce v_{xs} , v_{ys} a h , které splňují počáteční a okrajové podmínky a vyhovují rovnicím (3.7), (3.8), (3.9) a (3.10). [3]

3.2.3 Metoda řešení

Uvedené rovnice (3.7), (3.8), (3.9) a (3.10) s danými okrajovými a počátečními podmínkami je možné řešit pomocí různých numerických metod: metoda konečných diferencí, metoda konečných prvků. V modulu TUFLOW probíhá řešení pomocí metody konečných diferencí. [3]

4. PODKLADY

4.1 MAPOVÉ A PROJEKTOVÉ

- [A1] Geoportál ČÚZK, ortofotomapa ČR, mapová služba. Server:
http://geoportal.cuzk.cz/WMS_ORTOFOTO_PUB/WMSservice.aspx
- [A2] Geoportál ČÚZK, Základní mapa ČR 1:10 000, mapová služba. Server:
http://geoportal.cuzk.cz/WMS_ZM10_PUB/WMSservice.aspx
- [A3] Geoportál ČÚZK, Základní mapa ČR 1:50 000, mapová služba. Server:
http://geoportal.cuzk.cz/WMS_ZM50_PUB/WMSservice.aspx
- [A4] Vrstvy využití území, ve formát *.shp, ZABAGED
- [A5] Vrstvy vodní toky, kilometráž vodních toků, záplavová území, ve formát *.shp, Výzkumný ústav vodohospodářský-DIBAVOD
- [A5] Příčné profily Dřevnice km 0,000-16,186, formát *.g01, Tvorba map povodňového nebezpečí a povodňových rizik v oblasti povodí Moravy a v oblasti povodí Dyje (Dílčí povodí Dřevnice), 2013
- [A6] Příčné profily Fryštácký potok km 0,000-1,107 formát *.g01, Tvorba map povodňového nebezpečí a povodňových rizik v oblasti povodí Moravy a v oblasti povodí Dyje (Dílčí povodí Dřevnice), 2013
- [A7] Digitální model terénu, formát *.adf,
- [A8] Vrstva povodňových značek, povodeň 1997 Dřevnice, ve formátu *.shp
- [A9] Vrstva oblastí rozlivů, povodeň 1997 Dřevnice, ve formátu *.shp

4.2 ZPRÁVY, STUDIE, DOKUMENTY

- [B1] Povodí Moravy, s.p., Tvorba map povodňového nebezpečí a povodňových rizik v oblasti povodí Moravy a v oblasti povodí Dyje , 2013
- [B2] Vyhodnocení jarní povodně na území České republiky, ČHMU, 2006
- [B3] Souhrnná zpráva o povodňové situaci v povodí Moravy a Dyje květen – červen 2010, Povodí Moravy s.p., 8/2010
- [B4] Aktualizace záplavového území Dřevnice pod VD Slušovice, po realizaci I. etapy PPO (TPE km 0,000 – km 29,167), a území Moravy v úseku km PB 131,643, LB 133,013 – PB 186,800, LB 196,200 Povodí Moravy, s.p., 2007

- [B5] Povodňový plán statutárního města Zlína, 2014, dostupný z: http://gate.muzlin.cz:2222/dpp/pub_585068/index.html
- [B6] Evidenční list hlásného profilu č. 344 – stanice Zlín, ČHMÚ, Praha
- [B7] Manipulační řád jez Příluky, Povodí Moravy, Brno, 2011
- [B8] Studie ochrany před povodněmi na území Zlínského kraje, 2007, dostupná z: http://www.kr-zlinsky.cz/ppo/soubory_html/uvod.html
- [B9] Fotografie povodně na řece Dřevnici, dostupná z: <http://www.luzkovice.cz/clanek.php?id=21>
- [B10] Software SMS-TUFLOW, verze 11,0, dostupný z: <http://www.aquaveo.com/downloads>
- [B11] TUFLOW User Manual, uživatelský manuál dodávaný k instalaci programu SMS, AQUAVEO, 2010
- [B12] TUFLOW User Manual, uživatelský manuál dodávaný k instalaci programu SMS, AQUAVEO, 2007
- [B13] TUFLOW Tutorial Module, vzorové příklady, AQUAVEO, 2010
- [B13] Studie odtokových poměrů na řece Dřevnici v km 3,550 – 20,578, Ústav vodních staveb VUT FAST Brno a Urbanistické středisko Brno, duben 1998
- [B14] Metodiky tvorby map povodňového nebezpečí a povodňových rizik, červen 2011
- [B15] Fotografie betonové protipovodňové zdi, Vít Matějka, dostupná z: [http://ovjiznimesto.webnode.cz/news/proc-jsou-betonove-protipovodnove-zdi-kolem-rek-osklive-/](http://ovjiznimesto.webnode.cz/news/proc-jsou-betonove-protipovodnove-zdi-kolem-rek-osklive/)
- [B16] Fotografie mobilní protipovodňové zdi, dostupná z: <http://www.vhtres.cz/index.php?nid=8069&lid=cs&oid=1492607>
- [B17] Fotografie suchého poldru, dostupná z: <http://www.la-ma.cz/ksz/najdi-zarizeni/zobraz/201>

4.3 LEGISLATIVNÍ

- [C1] Směrnice Evropského parlamentu a rady 2007/600/ES o vyhodnocování a zvládnutím povodňových rizik
- [C2] Předpis č. 254/2001 Sb.. Zákon o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon)
- [C3] Metodika tvorby map povodňového nebezpečí a povodňových rizik

5. POPIS ÚZEMÍ

5.1 POPIS POVODÍ TOKU DŘEVNICE

Povodí Dřevnice (Obr. 5.1) leží v oblasti Beskydsko-karpatské na jižních svazích Hostýnských vrchů, které směřují směrem k jihu až k Hornomoravskému úvalu. Na východě sousedí s povodím Váhu a Bečvy a na severu s povodím Bečvy. Povodí Dřevnice geologicky náleží ke Karpatskému flyši, tato oblast má podobnou morfologii i charakter jako beskydská část. Údolní náplavy jsou v nižších polohách převážně štěrkové, blíže k povrchu přibývá písčitých vrstev s malými vrstvy jílu a písčitých jílu. Nížinná část toku je zahloubena v mladších aluviálních náplavách, které jsou vyvinuty i v údolích větších přítoků např. Fryštáckého potoka nebo Vidovky. [B4]

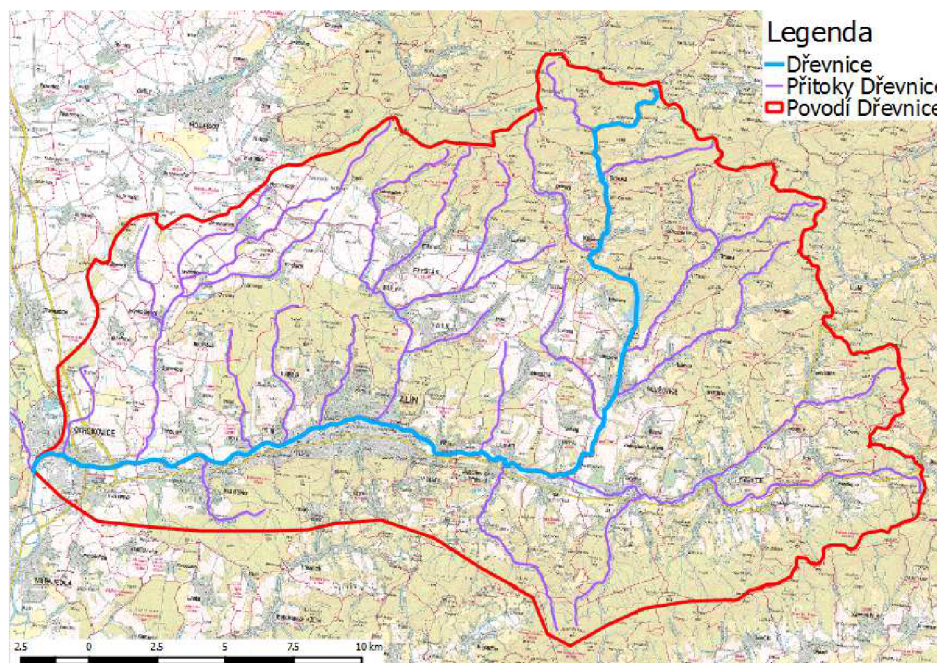


Obr. 5.1 Mapa ČR s vyznačeným povodím Dřevnice [A5], [A3]

Dřevnice pramení v Hostýnských vrších na jižním svahu Holého vrchu v nadmořské výšce 551 m n.m. Teče jižním směrem až do obce Slušovice, po níž se stáčí k západu kde protéká městem Zlín a v Otrokovicích se vléva do řeky Moravy. Délka toku je 43 km a plocha povodí 434,6 km². Levostranné přítoky jsou Držkový potok, Trnávka, Všemínka, Lipský potok, Vidovka, Jaroslavnický potok, Kudlovský potok, Slanický potok a Baláš. Pravostranné jsou Červenka, Kameňák, Ostratka, Prštenský potok, Chlumský potok, Hostišovský potok, Raková a Buňovský potok. Samotný tok Dřevnice je levostranným přítokem řeky Moravy. [B4]

Tvar povodí je vějířovitý a rozšiřuje se severním směrem (Obr. 5.2). Oblast je z výškového hlediska značně rozmanitá. Nejvyšším bodem v povodí je Holý vrch (720 m n. m.) a nejnižším na soutoku s Moravou (182 m n. m.). Koryto Dřevnice se od

pramene po ústí do Moravy nachází na katastrálním území měst a obcí Držková, Kašava, Hrobice na Moravě, Trnava, Březová, Veselá, Slušovice, Zádveřice, Lípa nad Dřevnicí, Klečůvka, Želechovice, Lužkovice, Příluky, Zlín, Prštné, Louky, Malenovice, Tečovice, Vítkovice a Otrokovice. [B4]



Obr. 5.2 Mapa povodí Dřevnice [A5], [A3]

Na území povodí Dřevnice se nachází dvě významnější vodní díla, přehrada Fryšták a vodárenská nádrž Slušovice, které provozuje Povodí Morava, s. p. VD Slušovice leží na řece Dřevnici nad obcí Slušovice. Nádrž byla uvedena do provozu roku 1978 a slouží především jako akumulace vody pro vodárenský odběr, dále pro snížení povodňových průtoků a snížení účinků povodní a také pro výrobu elektrické energie. Přehrada Fryšták leží na Fryštáckém potoce jižně od obce Fryšták, asi 4 km nad soutokem Fryštáckého potoka s Dřevnicí. Přehrada Fryšták slouží také hlavně k vodárenským odběrům, snížení průtoků na Fryštáckém potoku a zmírnění účinků povodní. [B5]

5.2 PRŮBĚHY HISTORICKÝCH POVODNÍ

Největší povodně na dané lokalitě byly v letech 1987, 1997, 2006 a 2010.

5.2.1 Povodně v roce 1987

Největší zaznamenaná povodeň na toku Dřevnice ve Zlíně byla 27.6.1987. Hloubka vody tehdy dosáhla v profilu Zlín hodnoty 550 cm (Obr. 5.3). Jednalo se o letní povodeň způsobenou krátkodobými srážkami velké intenzity. [B6]



Obr. 5.3 Povodeň na Dřevnici roku 1987 [B9]

5.2.2 Povodně v roce 1997

Velmi intenzivní srážky ve dnech: 4.-8.7. 1997, které několikanásobně přesahovaly průměrné měsíční hodnoty, způsobily překročení stoletého průtoku na celém toku řek Moravy a Bečvy. V povodí řeky Dřevnice dosahoval průtok téměř $Q_{100}=290 \text{ m}^3/\text{s}$, kdy kulminace v profilu Zlína dosáhla $282 \text{ m}^3/\text{s}$. Měsíční úhrn srážek zde dosahoval 323 mm. Mimo menší rozlivy v celém údolí Dřevnice došlo k většímu rozlivu v prostoru mezi Malenovicemi a Otrokovicemi, kde zátopa sahala až ke Slušovicím. [B4]

5.2.3 Povodně v roce 2006

V březnu 2006 byl na Dřevnici a Fryštáckém potoce vyhlášen II. SPA. Q5 byl v horním toku Dřevnice v Kašavě ($17,2 \text{ m}^3/\text{s}$) a Q2 na Dřevnici ve Zlíně ($95,1 \text{ m}^3/\text{s}$), a na Fryštáckém potoce ($10,8 \text{ m}^3/\text{s}$) [B2]

5.2.4 Povodně v roce 2010

V červnu 2010 bylo na Dřevnici ve Zlíně dosaženo III. SPA a průtok ($162,0 \text{ m}^3/\text{s}$) tak přesáhl Q10, na Dřevnici v Kašavě pak průtok ($13,8 \text{ m}^3/\text{s}$) dosáhl Q5. [3]

5.3 POPIS ZÁJMOVÉHO ÚZEMÍ

Pro tuto práci byl vybrán úsek řeky Dřevnice od dálničního mostu v km 3,378, do profilu pod jezem Příluky v ř. km 16,125 (Obr. 5.4). Jako další úsek byl vybrán Fryštácký potok, jako největší přítok do toku Dřevnice v ř. km 0,000 – 0,612. Délka úseku je tedy 13,387 km. Úsek zasahuje do obcí Otrokovice, Malenovice, Louky nad Dřevnicí, Prštné, Zlín a Příluky.



Obr. 5.4 Mapa řešeného úseku [A5], [A3]

5.4 POPIS OBJEKTŮ NA ŘEŠENÉM ÚSEKU

V této kapitole jsou popsány objekty na řešeném úseku toku Dřevnice a Fryštáckého potoka, které mohou ovlivňovat odtokové poměry. Jde především o mosty a lávky (Kap. 5.4.1), a o jezy a stupně (Kap. 5.4.2).

5.4.1 Mosty a lávky

Na řešeném úseku se nachází celkem 11 silničních mostů, 1 železniční most a 11 lávek. Podrobný výpis objektů se staničením je v (Tab. 5.1) a (Tab. 5.2)

Tab. 5.1 Výpis Mostů a lávek na toku Dřevnice[B1], [B4]

Staničení (km)	Objekt	Lokalita
3,378	Dálniční most	Otrokovice
4,128	Lávka + plynovod	Malenovice
5,486	Silniční most u ČOV	Malenovice
6,825	Silniční most Malenovice - Tečovice	Malenovice
7,375	Lávka	Louky nad Dřevnicí
9,057	Silniční most	Louky nad Dřevnicí
9,649	Lávka	Prštné - Zlín
9,946	Lávka + potrubí	Prštné - Zlín
10,493	Silniční most Prštné	Prštné - Zlín
10,717	Železniční vlečkový most	Prštné - Zlín
11,198	Silniční most	Zlín
11,678	Lávka	Zlín
11,704	Silniční most	Zlín
11,934	Potrubní most + parovod	Zlín
12,350	Silniční most Čepkovský	Zlín
12,664	Lávka	Zlín
13,133	Silniční most	Zlín
13,291	Lávka + parovod	Zlín
13,613	Lávka	Zlín
14,082	Silniční most Zalesná	Zlín
14,544	Lávka	Zlín
14,809	Silniční most	Zlín
15,992	Lávka	Příluky

Tab. 5.2 Výpis Mostů a lávek na toku Fryštácký potok[B1], [B4]

Staničení (km)	Objekt	Lokalita
0,079	Silniční most	Zlín
0,342	Silniční most	Zlín

5.4.2 Jezy a stupně

Na úseku se nachází 10 stupňů a prahů a 4 jezy. Výpis objektů s jejich staničením je uveden v (Tab. 5.3).

Tab. 5.3 Výpis Jezů a stupňů na toku Dřevnice [B1], [B4]

Staničení (km)	Objekt	Lokalita
3,553	Stupeň Kvitkovic - Tečlovice	Otrokovice
6,362	Betonový stupeň Tečlovice - Malenovice	Malenovice
6,981	Práh ve dně	Louky nad Dřevnicí
7,629	Betonový stupeň	Louky nad Dřevnicí
8,482	Práh ve dně	Louky nad Dřevnicí
9,197	Stupeň	Louky nad Dřevnicí
9,398	Jez	Louky nad Dřevnicí
10,951	Betonový stupeň	Zlín
11,726	Jez Svit	Zlín
13,690	Betonový stupeň	Zlín
14,127	Jez Podvesná	Zlín
15,151	Stupeň nad Jaroslav. Potokem	Zlín
15,693	Stupeň	Zlín
16,125	Jez Příluky	Příluky

6. ZPŮSOB ŘEŠENÍ

Řešení bude prováděno v programu SMS-TUFLOW, ve kterém bude vytvořen model pro výpočet. Do modelu budou zpracovány informace o terénu, drsnostech území, objektech na toku a dále zadány okrajové a počáteční podmínky.

6.1 POUŽITÉ SOFTWARE VYBAVENÍ

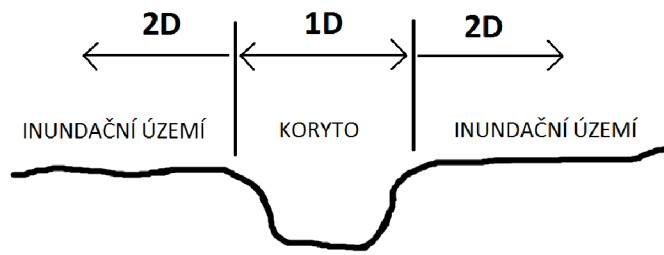
Pro výpočet byl použit software SMS, který vyvíjí a poskytuje společnost Aquaveo [B10]. Konkrétně byl pro výpočet použit numerický model TUFLOW. Tento modul umožňuje výpočet proudění vody v otevřených korytech a inundačních územích. Výpočet může být prováděn na 1D nebo 2D modelech, dále na spřažených modelech 1D/2D a také na více spojených 2D modelech. Výpočetní modul SMS-TUFLOW pracuje na metodě konečných diferencí. Na základě manuálů [B11] [B12] a vzorových příkladů [B13], které jsou součástí instalační složky, proběhlo seznámení s programem.

6.2 VYTVOŘENÍ MODELU

Vzhledem k rozsáhlosti řešeného území bylo rozhodnuto, že se pro výpočet použije kombinace 1D a 2D modelu, kde podklad pro 2D model bude digitální model terénu a pro 1D model to budou zaměřené příčné profily. 1D model bude použit pro koryto toku a pro inundační území bude použit 2D model (Obr. 6.1). Výpočet bude proveden jako stacionární, respektive s ustáleným prouděním.

6.2.1 2D Model

Pro tuto práci byla k dispozici bodová síť oblasti Moravy a větší části Dřevnice [A7]. Hustota této sítě bodů je po deseti metrech. Pro potřeby této práce byly provedena filtrace bodů zájmového území. Z těchto bodů byl vytvořen digitální model terénu ve formátu *.dem. Tento DMT byl poté nahrán do programu SMS. Pro zájmové území byla vytvořena náhradní oblast pomocí gridu určité velikosti buňky. Velikost buňky se určuje podle velikosti celé oblasti, na které bude prováděn výpočet, dále podle přesnosti DMT a také podle požadované přesnosti výsledků. Menší velikost buňky zajišťuje přesnější výsledky, ale zvyšuje množství strojového času na výpočet. Velikost buňky byla pro tuto práci zvolena 6x6 m (Obr. 6.2). Každá buňka ve vytvořeném gridu obsahuje hodnotu nadmořské výšky, kterou si převzala z daného digitálního modelu terénu a hodnoty drsnosti, kterou si převzala z mapové vrstvy materiálů. Na tomto vytvořeném gridu bude probíhat výpočet pro 2D. Velikost oblasti, která je 17.94 km² a její tvar byl zvolen z ohledem na velikost záplavového území pro N-letý průtok Q_{500} , tj. největší průtok se kterým se bude počítat.



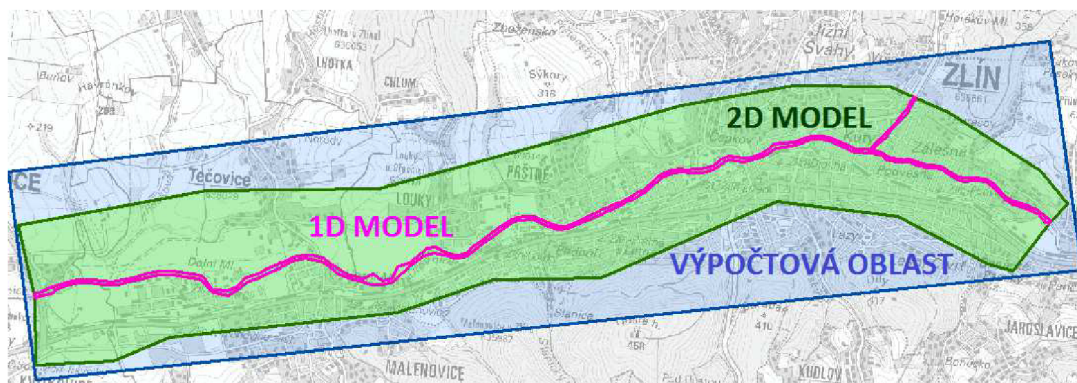
Obr. 6.1 Oblasti 1D a 2D modelu



Obr. 6.2 Výpočtová síť (GRID) o velikost buňky 6x6m, podklad ortofotomapa [A1]

6.2.2 1D Model

Pro vytvoření 1D modelu byly použity zaměřené příčné profily, které postihují oblast koryta mnohem přesněji než digitální model terénu. Tyto profily byly dodány jako geometrie programu HEC-RAS a polygony jednotlivých profilů ve formátu *.shp. [A5] [A6]. Tyto profily byly ručně upraveny do požadované podoby a to ořezáním na šířku koryta, došlo k ořezání i jednotlivých délek polygonů příčných profilů v situaci na odpovídající rozměry. Program SMS umožňuje načítání geometrických dat z programu HEC-RAS, tyto data byla poté ručně přiřazena k daným polygonům. Břehy příčných profilů tvoří ohraničení pro výpočtovou oblast 1D modelu. Na (Obr. 6.3) je patrné rozdělení oblastí na 1D, 2D a celkové výpočtové oblasti.



Obr. 6.3 Oblasti jednotlivých modelů 1D (ružově), 2D (zeleně) a oblast výpočtová (modře)

6.2.3 Materiály

Pro zadání materiálových vlastností do výpočtového modelu byly použity ZABAGED data [A4] ve formátu *.shp, konkrétně vrstvy budovy, intravilán, les, louky a pastviny, okrasné zahrady, orná půda, ovocné sady a zahrady, parkoviště, účelová zástavba, železnice, vodní plochy a koryta toků (Obr. 6.4).

Těmto jednotlivým druhům povrchu byly dle odborné literatury (4) a odborným odhadem přiděleny rozsahy hodnot Manningova součinitele drsnosti n , které jsou pro jednotlivé povrchy uvedeny v (Tab. 6.1)

Tab. 6.1 Hodnoty drsností pro jednotlivé povrchy [4]

Druh území	n	n (zvolené)
budovy	0,100	0,100
koryto	0,300-0,045	0,350
intravilán	0,020-0,030	0,025
les	0,035-0,900	0,050
louka, pastvina	0,035-0,050	0,040
okrasná zahrada	0,030-0,080	0,045
orná půda	0,020-0,050	0,030
ovocný sad, zahrada	0,030-0,045	0,040
parkoviště	0,020-0,030	0,025
účelová zástavba	0,030-0,040	0,035
železnice	0,025-0,030	0,025
vodní plocha	0,025	0,025



Obr. 6.4. Hranice jednotlivých druhů povrchů s hodnotou jejich drsnosti

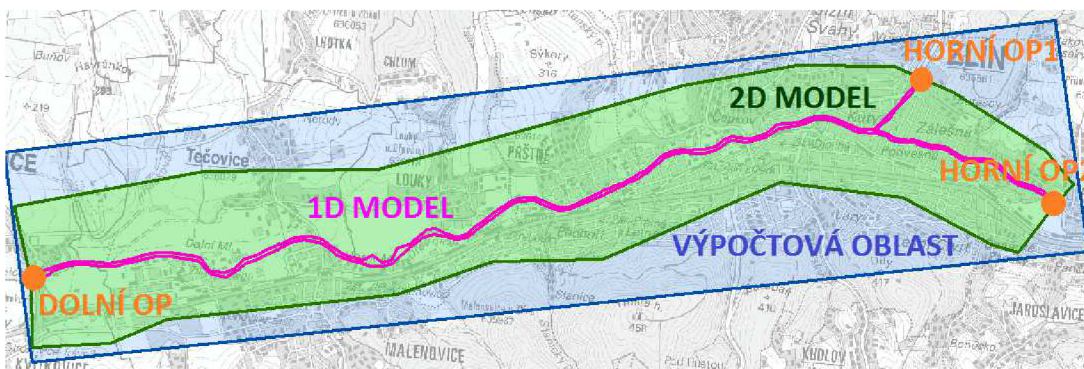
6.2.4 Okrajové a počáteční podmínky

Počáteční podmínka (PP) je stav na začátku výpočtu, v tomto případě jde o úroveň hladiny v čase $t_0=0$ na celé zájmové oblasti. Program SMS-TUFLOW má dvě možnosti, jak tuto počáteční úroveň hladiny zadat.

První možností je zadání známé nadmořské výšky hladiny na dané oblasti. Výhodou této možnosti je zrychlení výpočtu, výpočet probíhá už na zaplavené oblasti, takže nemusíme čekat, až se oblast zaplní vodou a dojde k vyrovnání hladin. Nevýhoda je nutnost přesného zadání výšky hladiny, při nepřesném zadání může výpočet vyhodnotit model jako nestabilní. Při tomto zadání OP může dojít ke zkreslení modelu, tedy že se zaplaví oblasti, které by zaplaveny být neměly, ale leží pod zadanou hodnotou nadmořské výšky a vytvoří tedy osamocené zaplavené oblasti.

Druhou možností je zadání PP nulové, tedy v čase $t_0=0$ je hladina na úrovni 0,00 m n.m. Tímto zadáním se prodlužuje výpočetní čas, voda vtéká do prázdného koryta, a nějaký čas trvá, než se koryto zaplní vodou. Pro tuto práci budeme uvažovat PP druhé varianty a to nulovou výšku úrovně hladiny.

Okrajové podmínky (OP) jsou podmínky na hranicích oblasti, čili v prvním a posledním příčném profilu úseku. Umístění horních a dolních OP je patrné na (Obr. 6.5). Na horním profilu Dřevnice (QP1) a Fryštáckého potoka (OP2) byly zadány jako OP N-leté průtoky Q_5 , Q_{20} , Q_{100} a Q_{500} vždy konstantní v čase a jako dolní OP byly zadány výšky hladin v posledním profilu pro jednotlivé N-leté průtoky také konstantní v čase (Tab. 6.2) a (Tab. 6.3). Tyto výšky hladin byly převzaty z výpočtu v 1D modelu. [B1] [B7]



Obr. 6.5 Umístění horní (Q/t) a dolní (H/t) okrajové podmínky

Tab. 6.2 Hodnoty OP pro jednotlivé N-letosti Dřevnice a Fryštácký potok

Q_N	5	20	100	500
OP1 (m^3/s) [B7]	97,8	166,5	271,0	398,0
OP2 (m^3/s) [B7]	15,5	30,2	59,0	105,1
OP (m n.m) [B1]	188,2	188,9	190,4	192,6

6.2.5 Objekty v modelu

Z uvedených objektů na toku (Tab. 5.1, 5.2 a 5.3) byly vybrány objekty, které ovlivňují odtokové poměry, tyto objekty jsou uvedeny v (Tab. 6.3, 6.4 a 6.5). U objektů typu mosty a lávky jsou uvedeny N-leté průtoky, při kterých dochází k ovlivnění odtokových poměrů v místech těchto objektů. Tyto informace byly převzaty z 1D výpočtů [A5].

Mosty a lávky

Mosty a lávky se do modelu zadávají jako 1D objekty, do modelu se zadávají pomocí kóty horní a dolní mostovky a součinitele ztrátové výšky. V této práci tento způsob zadávání způsoboval častou nestabilitu výpočtu, proto se v místech těchto objektů lokálně zvedla drsnost a tím se dosáhlo požadované ztráty. V kapitole 7. Kalibrace je tento problém podrobněji popsán.

Tab. 6.3 Mosty a lávky ovlivňující odtokové poměry na toku Dřevnice [B1], [B4]

Staničení (km)	Objekt	Lokalita	Q _N			
			5	20	100	500
3,378	Dálniční most	Otrokovice				X
4,128	Lávka + plynovod	Malenovice				X
5,486	Silniční most u ČOV	Malenovice			X	X
7,375	Lávka	Louky nad Dřev.			X	X
9,057	Silniční most	Louky nad Dřev.			X	X
9,649	Lávka	Prštné - Zlín			X	X
9,946	Lávka + potrubí	Prštné - Zlín		X	X	X
10,493	Silniční most Prštné	Prštné - Zlín		X	X	X
10,717	Železniční vleč. most	Prštné - Zlín			X	X
11,198	Silniční most	Zlín			X	X
11,678	Lávka	Zlín			X	X
11,704	Silniční most	Zlín			X	X
11,934	Potrubní most	Zlín				X
12,350	Silniční most Čepkov.	Zlín			X	X
12,664	Lávka	Zlín			X	X
13,133	Silniční most	Zlín			X	X
13,291	Lávka + parovod	Zlín			X	X
13,613	Lávka	Zlín			X	X
14,082	Silniční most Zalesná	Zlín				X
14,544	Lávka	Zlín				X
14,809	Silniční most	Zlín			X	X
15,992	Lávka	Přiluky				X

Tab. 6.4 Mosty a lávky ovlivňující odtokové poměry na toku Fryštácký potok [B1], [B4]

Staničení (km)	Objekt	Lokalita	Q _N			
			5	20	100	500
0,079	Silniční most	Zlín		X	X	X

Jezy a stupně

Objekty typu jez a stupeň se do modelu zadávají jako 1D objekty. Program SMS-TUFLOW používá pro výpočet přepadového množství přes přeliv následující vztah:

$$Q = \mu \cdot b \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot g}{F}} \cdot h_i^{\frac{3}{2}}$$

kde Q je průtok [m^3/s], μ přepadový součinitel [-], b světlá šířka jezu [m], g gravitační zrychlení [m/s^2], F kalibrační součinitel [-] a h_i je přepadová výška [m] [32]. Pro hodnotu kalibračního součinitele $F = 1$ nabývá přepadový součinitel hodnoty $\mu = 0,57$ a součinitel přepadu $m = 0,38$. Hodnoty kalibračních součinitelů byly pro všechny jezy a stupně uvažovány $F = 1$. Jezy a stupně ovlivňující odtokové poměry jsou uvedeny v (Tab. 6.5).

Tab. 6.5 Jezy a stupně ovlivňující odtokové poměry na toku Dřevnice [B1], [B4]

Staničení (km)	Objekt	Lokalita	Q_N			
			5	20	100	500
3,553	Stupeň Kvitkovice - Tečlovice	Otrokovice	X	X	X	X
6,362	Betonový stupeň Tečlovice - Malenovice	Malenovice	X	X	X	X
9,398	Jez	Louky nad Dřevnicí	X	X	X	X
10,951	Betonový stupeň	Zlín	X	X	X	X
11,726	Jez Svit	Zlín	X	X	X	X
14,127	Jez Podvesná	Zlín	X	X	X	X

7. KALIBRACE

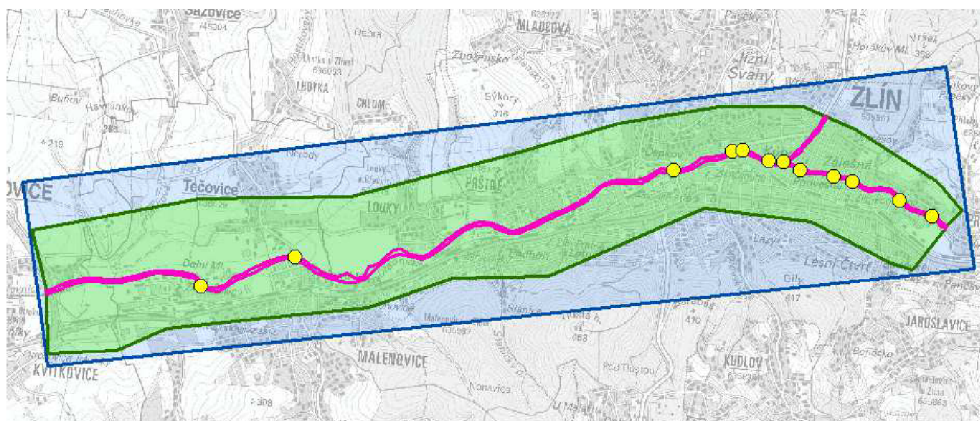
Kalibrace modelu spočívá v upravování vstupních parametrů modelu tak, aby bylo dosaženo přijatelné shody mezi reálnými naměřenými hodnotami a vypočtenými hodnotami sledovaných veličin (výšky hladin v určených místech na toku).

7.1 DATA PRO KALIBRACI

Pro kalibraci byly použity data z povodní v roce 1997, jednalo se o povodňové značky a oblasti rozlivů. [A8] [A9]. Hodnota kulminačního průtoku v místě limnigrafické stanice ve Zlíně tehdy dosahovala hodnoty $Q = 280,0 \text{ m}^3/\text{s}$. Z tohoto průtoku byly ve studii [B13] odvozeny průtoky pro profil jezu Příluky $Q = 227,0 \text{ m}^3/\text{s}$ a Fryštácký potok $Q = 53,0 \text{ m}^3/\text{s}$. V (Tab. 7.1) jsou uvedeny povodňové značky (kalibrační body), které byly použity pro kalibraci. Na (Obr. 7.1) je vidět umístění těchto bodů v situaci.

Tab. 7.1 Vybrané body pro kalibraci

Staničení (km)	Kóta hladiny (m n.m.)	Objekt
15,992	224,76	Lávka - Městské nivy
15,490	222,82	Lávka - Bartošova čtvrť
14,809	220,42	Silniční most u nemocnice
14,544	219,91	Lávka - Benešovo náměstí
14,082	218,08	Silniční most
13,780	217,11	Soutok s Fryštáckým potokem
13,613	216,35	Lávka pod bet. stupněm
13,291	215,88	Lávka limnigrafu
13,133	215,79	Silniční most - Fryšták
12,350	213,81	Silniční most u nádraží
10,493	209,08	Silniční most - Prštné
6,825	199,05	Silniční most - Malenovice



Obr. 7.1 Povodňové značky (žlutě) v situaci řešené oblasti

7.2 KALIBRACE DRSNOSTÍ

Hodnoty drsností jednotlivých ploch (Tab. 6.1), které byly stanoveny pro výpočet, se kalibrací nezměnily. Provedla se pouze změna drsnosti koryta. V intravilánu města se ponechala hodnota drsnosti $n = 0,035$ a v extravilánu se hodnota drsnosti zvýšila na $0,040$.

7.3 KALIBRACE OBJEKTŮ

Objekty typu mosty a lávky způsobovaly při standartním zadávání pomocí kóty horní a dolní mostovky a součinitele ztrátové výšky nestabilitu výpočtu. I přes velkou snahu zamezit tomuto stavu úpravou parametrů modelu se nakonec přistoupilo k nahrazení těchto objektů pouze zvýšenou drsností koryta v místech objektů. Zvýšená drsnost je tedy jakousi náhradou za součinitel ztrátové výšky jednotlivých objektů, díky které dojde v těchto místech ke zvýšení hladiny a následným rozlivům, které odpovídají přehlcení mostů a zahlcení její kapacity.

V (Tab. 6.3) a (Tab. 6.4) jsou uvedeny objekty, které ovlivňují průtok při určité N-letosti průtoku. Na základě těchto tabulek, byly zadány do modelu náhradní velikosti drsností pro jednotlivé N-leté průtoky.

7.4 VÝSLEDKY KALIBRACE

Výsledky kalibrace prokázaly poměrně malou shodu mezi naměřenými a vypočtenými úrovněmi hladiny vody v korytě toku. V (Tab. 7.2) jsou pro jednotlivé body uvedeny vypočtené úrovně hladin a rozdíly mezi naměřenými a vypočtenými výškami hladin.

Tab. 7.2 Vybrané body pro kalibraci a jejich srovnání s výpočtem

Staničení (km)	Úroveň hladiny NAMĚŘENÁ (m n.m.)	Úroveň hladiny VYPOČTENÁ (m n.m.)	Rozdíl (m)	Objekt
15,992	224,76	224,20	0,56	Lávka - Městské nivy
15,490	222,82	222,64	0,18	Lávka - Bartošova čtvrť
14,809	220,42	220,23	0,19	Silniční most u nemocnice
14,544	219,91	219,81	0,10	Lávka - Benešovo náměstí
14,082	218,08	217,54	0,54	Silniční most
13,780	217,11	216,74	0,37	Soutok s Fryšt. potokem
13,613	216,35	216,19	0,16	Lávka pod bet. stupněm
13,291	215,88	215,45	0,43	Lávka limnigrafu
13,133	215,79	215,61	0,18	Silniční most - Fryšták
12,350	213,81	213,47	0,34	Silniční most u nádraží
10,493	209,08	208,35	0,73	Silniční most - Prštné
6,825	199,05	198,24	0,81	Silniční most - Malenovice

7.5 ODCHYLKY KALIBRACE

Odchyly mezi naměřenými a vypočtenými úrovněmi hladin mohly být způsobeny některými z těchto skutečností:

- Změnou morfologie území, nebo změnami v samotném korytě toku (provedenými úpravami, objekty).
- Nepřesnostmi ve vstupních datech (zaměřeně příčné profily, digitální model terénu, přesnost naměřených úrovní hladin).
- Možným částečným ucpáním mostních profilů a zábradlí unášenými předměty (stromy, větve), což může vést k vzduť hladiny a případnému vybřežení. Ucpání může být způsobeno zejména u zahlcených mostů a lávek.
- Numerickou nepřesností výpočtového modelu
 - zavedení předpokladu drsností pro jednotlivé materiály, kdy například pro budovy byla zvolena drsnost $n=0,1$. Zato ve skutečnosti přes objekty neproudí žádná voda,
 - zavedením předpokladu kombinace jednorozměrného a dvojrozměrného proudění, kdy se voda v korytě chová jinak než v inundačním území,
 - zavedením předpokladu stacionarity, kdy počítáme průtok zcela ustálený oproti skutečnosti, kdy se průtok měnil v čase.

8. VÝSLEDKY

Při vyhodnocování výsledků byly zjištěny nepřesnosti mezi zaměřenými příčnými profily a digitálním modelem terénu. Za předpokladu správného zaměření digitálního modelu terénu bylo stanoveno, že je chyba v příčných profilech, respektive v umístění jejich osy. Osa byla v některých úsecích vychýlena i o několik metrů na jednu ze stran. Tato nepřesnost způsobovala chybné zobrazení hloubek vody v místech napojení příčných profilů na digitální model terénu (napojení 1D/2D oblastí výpočtu). Na základě těchto skutečností byla provedena ruční úprava (posunutí příčných řezů) v místech, ve kterých tyto skutečnosti nastaly. Ruční úprava ovšem není optimální řešení tohoto problému, chyby ve výsledcích se v menší míře i po této úpravě nadále projevují. Ideální řešení by bylo nové zaměření jak příčných profilů tak břehových linií a osy toku.

Program SMS-TUFLOW umožňuje výpočet výšek hladin, hloubek vody, rychlostí vody, směru proudění a dalších typů veličin. Hodnoty jednotlivých veličin zaznamenává do výpočtových buněk. Pro tuto práci byly vypočteny hloubky vody, rychlosti a výšky hladiny pro průtoky Q_5, Q_{20}, Q_{100} a Q_{500} . Tyto výsledky z programu ve formátu *.xmdf byly převedeny do rastrového formátu *.asc, se kterým se dá pracovat v softwarech GIS.

8.1 HLOUBKY VODY

Pro vytvořené rastry hloubek vody pro průtoky Q_5, Q_{20}, Q_{100} a Q_{500} se provedla klasifikace hloubek dle rozsahu a jejich barevné rozlišení dle metodiky [B14]. Z důvodů nepřesného umístění osy toku u příčných řezů jsou v některých místech u břehových linií hloubky vody zkreslené oproti skutečnosti (Obr. 8.3). Mapy hloubek vody pro jednotlivé průtoky jsou v přílohách č. 2.1, 3.1, 4.1, 5.1, a 6.1.

8.2 RYCHLOSTI VODY

Pro vytvořené rastry rychlostí vody pro průtoky Q_5, Q_{20}, Q_{100} a Q_{500} se také provedla klasifikace rychlostí a jejich barevné rozlišení dle metodiky [B14]. Tyto výsledky jsou také z důvodu nepřesného umístění osy toku mírně zkreslené (Obr.8.4). Mapy rychlostí vody pro jednotlivé průtoky jsou v přílohách č. 2.2, 3.2, 4.2, 5.2 a 6.2.

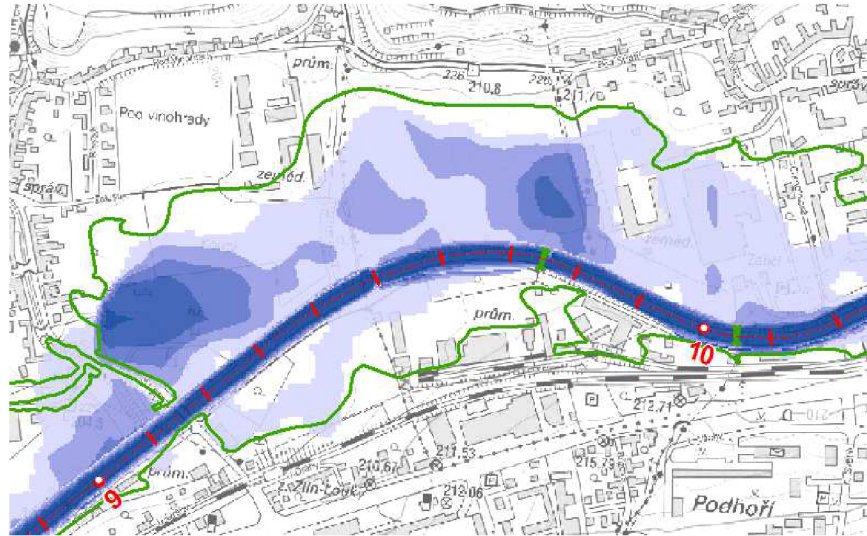
8.3 HRANICE ROZLIVŮ

Vytvořené rastry výšek hladin pro průtoky Q_5, Q_{20}, Q_{100} a Q_{500} se pomocí rastrové kalkulačky převedly na rastry s hodnotami (1,0), kde pro buňky, které měly hodnotu nějaké hloubky, byla zvolena hodnota 1 a pro buňky bez hodnot hloubky zvolena 0. Hranice jednotlivých rastrů pro dané průtoky byly vytvořeny převedením rastrů na polygony, tyto polygony tvoří obálku jednotlivých rastrů, čili hranice rozlivů. Tyto polygony byly barevně zobrazeny dle metodiky [B14]. Mapa rozlivů vody pro průtoky Q_5, Q_{20}, Q_{100} a Q_{500} je v příloze č. 7. Výsledné rozlivy byly porovnány s rozlivy z databáze DIBAVOD [A5]. Vypočtené rozlivy pro jednotlivé N-leté průtoky přibližně odpovídají těmto rozlivům, podrobnější popis v (Kap. 8.4.1 Porovnání hranic rozlivů)

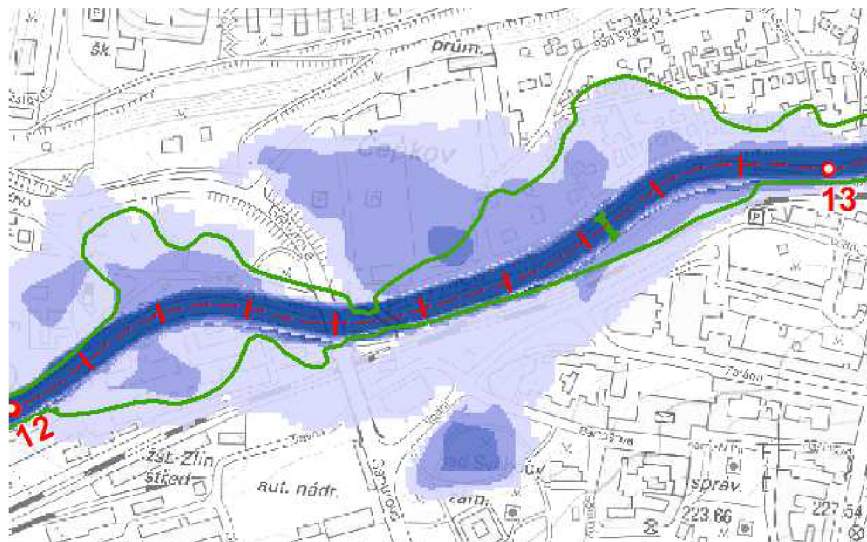
8.4 ZHODNOCENÍ NEPŘESNOSTÍ VÝSLEDKŮ

8.4.1 Porovnání hranic rozlivů

Rozlivy pro průtoky Q_5, Q_{20} a Q_{100} získané z výpočtu se porovnaly s rozlivy z databáze DIBAVOD [A5]. Při průtoku Q_5 vypočtené rozlivy odpovídají rozlivům z databáze. Na celém úseku nedochází k vybřežení vody mimo koryto toku. Při průtoku Q_{20} dochází u vypočtených rozlivů k rozlití pouze v jednom místě, a to kolem km 4,500. U rozlivů z databáze dochází k vybřežení vody na více místech výše po toku, všechny tyto rozlivy jsou do neobydlených území. Při průtoku Q_{100} dochází k rozlivům po celé délce řešeného úseku. Vypočtené rozlivy ve většině míst zhruba odpovídají rozlivům z databáze (Obr. 8.1). V některých místech extravilánu se rozlivy liší poměrně značně (Obr. 8.2). Rozdíly ve velikostech rozlivů mohly být způsobeny více faktory. První z nich je stanovení drsností jednotlivých typů území, tyto drsnosti mohly být odlišné oproti zvoleným drsnostem při výpočtu rozlivů z databáze. Dalším faktorem může být kvalita vstupních dat, tedy zaměření příčných profilů koryta, přesnost digitálního modelu terénu a hodnot okrajových podmínek. Dalším faktorem, který může z malé části ovlivnit hodnoty výsledků, by mohl být odlišný typ modelu, který byl zvolen. V práci byl vytvořen spřažený model 1D/2D, model použitý pro výpočet rozlivů v databázi byl nejspíš 1D.



Obr. 8.1 Hranice rozlivů Q100 DIBAVOD (zeleně), které odpovídají rozlivům vypočteným (modře)

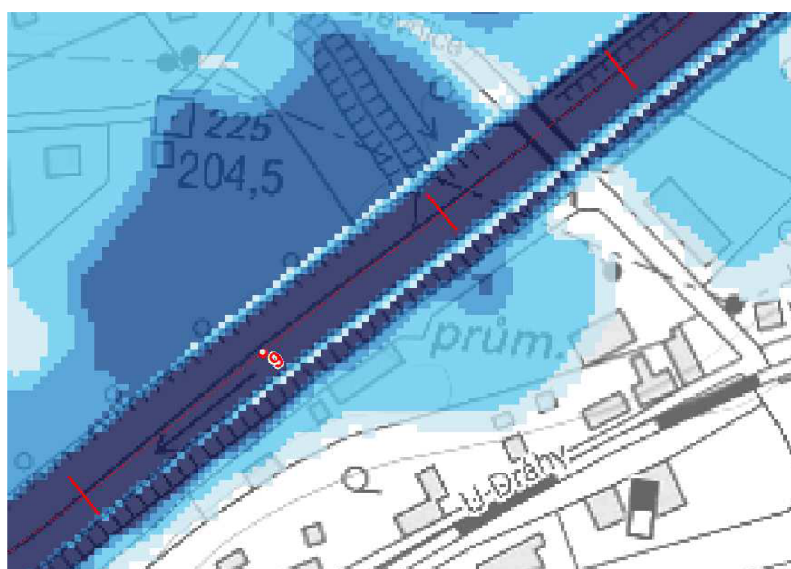


Obr. 8.2 Hranice rozlivů Q100 DIBAVOD (zeleně), které se značně liší od rozlivů vypočtených (modře)

8.4.2 Nepřesné výsledky v místech břehových hran

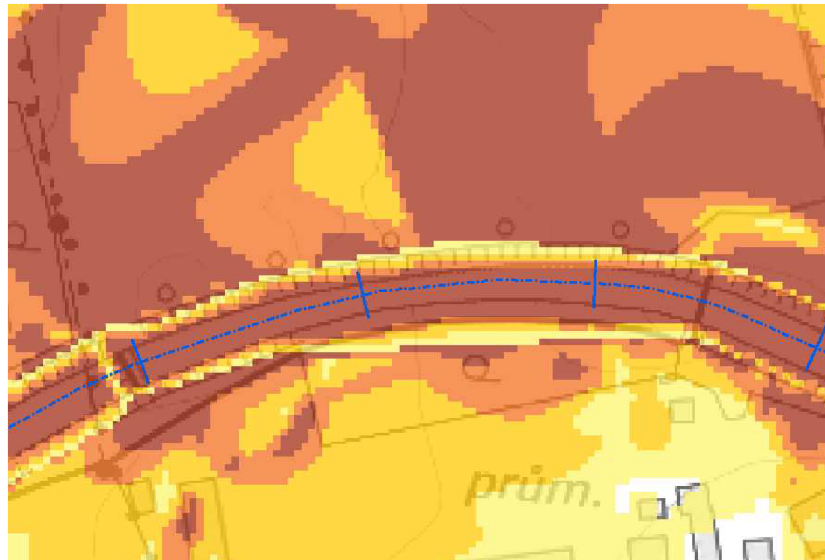
Jedná se o chybné, nepřesné, nereálné hodnoty hloubek a rychlostí v místech břehových hran. Tato místa jsou v místě napojení 1D modelu (příčných profilů) na model 2D (digitální model terénu). Tyto chyby byly způsobeny dvěma faktory.

Prvním z nich je nepřesné umístění osy toku, na které jsou umístěny příčné profily vůči korytu v digitálním modelu terénu. Tyto nepřesnosti způsobovaly že po vylití vody z koryta z 1D modelu se voda vylila do koryta 2D modelu, které bylo prostorově posunuto. Tato skutečnost způsobovala chybné zobrazení hloubek a rychlostí v těchto místech (Obr. 8.3) a (Obr. 8.4). Byla snaha upravit tyto nepřesnosti aby se dosáhlo minimalizace chyb ve výsledcích, ale pouhou ruční úpravou se nedosáhlo příliš velkého zlepšení. Pro dosažení kvalitnějších výsledků by bylo nutné provést nové zaměření příčných profilů, jejich břehových linií a osy toku.



Obr. 8.3 Nepřesné výsledky hloubek vody v místech břehových hran

Druhým faktorem, který způsobuje nepřesnosti ve výsledcích rychlosti v místech břehových linií je samotný model 1D/2D. Model proudění vody v korytě je řešen jako 1D, čili počítá rychlosti pouze v jednom směru a to po proudu. 2D model umí řešit rychlosti ve dvou směrech. Když tedy dojde k vybřežování vody mimo koryto toku, tak 1D model není schopen tuto skutečnost zaznamenat a rychlosti na břehových hranách jsou minimální. Po vybřežení vody začíná proudění počítat 2D model, který už odlišný směr proudění zaznamená a vypočte vyšší rychlost, která je skutečná. Vykreslení rychlosti proudění na břehových hranách je tedy značně zjednodušené a to ve směru proudění vody. Ovšem pro další použití těchto výsledků například pro vyhodnocení map povodňových rizik jsou důležité hlavně rychlosti a hloubky v inundačních územích.



Obr. 8.4 Nepřesné výsledky rychlostí vody v místech břehových hran

9. PROTIPOVODŇOVÁ OPATŘENÍ

Protipovodňová opatření slouží k eliminaci povodní a také k minimalizaci škod způsobených povodněmi. Jejich účelem je vodu za vysokých vodních stavů akumulovat mimo zastavěná území (vodní nádrže, retenční prostory), a v zastavěných oblastech vodu co nejrychleji odvést z těchto území.

Obecně se protipovodňová opatření dělí na dva druhy:

- Strukturální (technická) opatření.
- Nestrukturální opatření.

9.1 STRUKTURÁLNÍ OPATŘENÍ

Jde o opatření technická, která zahrnují zejména úpravy na vodních tocích a inundačních územích. Tato opatření mají zajišťovat dostatečnou kapacitu, stabilitu dna a břehů vodních toků, také zvýšení retenční schopnosti území budováním nádrží a poldrů. Strukturální opatření se dělí do těchto skupin:

- Zvýšení kapacity koryta.
- Ochranné hráze.
- Povodňové zdi.
- Umělé retenční prostory.
- Zvýšení retenční schopnosti krajiny – opatření v povodí.

Další skupinou jsou tzv. Opatření blízká přírodě, která zahrnují především úpravy pro zvýšení infiltrace a retenční schopnosti území. Převážně jde o biotechnická a lesotechnická opatření, která se zabývají skladbou porostů a konfigurací krajinných prvků a infiltračních území. [4]

9.1.1 Zvýšení kapacity koryta

Jde o úpravy v samotném korytu toku, může jít o zvětšení průtočného profilu, snížení sklonu dna a rozšíření koryta. Takto upravené koryto je potřeba ve většině případů udržovat, protože při větších průtocích se koryto může zanášet a tím dojde ke zmenšení jeho průtočné plochy. Z tohoto důvodu je potřeba provádět prohlídky toku po větších průtocích na toku. [4]

9.1.2 Ochranné hráze

Účelem ochranných hrází je soustředování vysokých průtoků do mezi-hrází a zabraňování zaplavování zastavěných území nebo území intenzivně využívaných. Tyto hráze se budují u koryt, které nejsou dostatečně kapacitní a při větších průtocích dochází k zaplavování zastavěných území. Těleso hráze může být z homogenního nebo nehomogenního materiálu. Většinou jde o hráze zemní, vhodnost materiálu pro stavbu doporučí inženýrsko-geologický průzkum. Zemní ochranné hráze jsou oproti jiným opatřením náchylnější k poruchám, které mohou vést až k protržení hráze. Poruchy mohou způsobit zvířata, rostliny i lidé. Například bobři, kteří si v těchto hrázích mohou budovat nory a tím tvořit privilegované cesty hrází, dále kořeny stromu mohou rozrušovat stabilitu hráze a také lidé svými nevědomými zásahy do tělesa hráze. Nevýhodou těchto hrází je velká náročnost na zábor území. Výhodou je usměrnění proudů do míst s nejnižším potenciálem škod a dobré estetické hledisko oproti ostatním opatřením. [4]



Obr. 9.1 Zemní ochranná hráz na toku Dřevnice v km 16,125

9.1.3 Povodňové zdi

Účel povodňových zdí je stejný jako u ochranných hrází, tedy soustředování vysokých průtoků do prostoru mezi zdmi. Toto opatření se buduje v místech, kde jsou stísněné podmínky zástavby, podél komunikací, apod. Mohou také působit i jako částečné protihlukové opatření.

Povodňové zdi se dělí na:

- Stabilní
- Mobilní
- Kombinované

Stabilní

Jde převážně o betonové konstrukce, které jsou vetknuté do podloží v břehové linii. Zdi je nutné zajistit proti účinkům prosakující vody. To se provádí vertikálními prvky, např. štetovou stěnou nebo vibrovanou tenkou stěnou. Výhodou je možnost stavět tato opatření ve stísněných podmínkách a nevýhodou je estetické hledisko a zabránění přístupu k vodě. [4]



Obr. 9.2 Stabilní betonová zeď [B15]

Mobilní

Tyto opatření se navrhují na místech, kde je nutné zajistit průchod nebo průjezd ochrannou protipovodňovou linií, nebo z důvodu estetického hlediska. Tyto zdi jsou převážně založeny na betonovém podkladu v úrovni terénu. Jako nosný systém zde slouží ocelová konstrukce, která je ze svislých nosníků s drážkami a hradidly. Hradidla mohou být z různých materiálů, například nerezová ocel nebo hliník. Výhodou je možná mechanizace, opětovné použití, nenarušení estetiky města. Nevýhodami jsou velké pořizovací náklady, zajištění skladovacího prostoru, údržba a taky potřeba času na jejich postavení. [4]



Obr. 9.3 Mobilní hliníková zeď [B16]

Kombinované

Jsou kombinací stabilních a mobilních zdí, mobilní zdi se vybudují v místech, kde je potřeba umožnit přístup. Výhody a nevýhody jsou obdobné se stabilními a mobilními zdmi. [4]

9.1.4 Umělé retenční prostory

Jde o uměle vytvořené nádrže a suché poldry, které vytvářejí prostor pro akumulaci vody při větších průtocích. Objemy mohou být ovladatelné a neovladatelné. Transformační účinek návrhové povodně a způsob manipulace na vodním díle je určován manipulačním řádem, nebo také operativním řízením. [4]



Obr. 9.4 Suchý poldr [B1]

9.1.5 Zvýšení retenční schopnosti krajiny – opatření v povodí

Tyto opatření mají retenční účinek zejména u menších povodní (Q10-Q20). Účinek těchto opatření má význam z hlediska péče o krajinu, krajiny tvorby a pro protierozní ochranu. Opatření jsou organizační (tvary a velikosti pozemků, zatravněné, rozmístování prodlin, směry výsadby), agrotechnická (hrázkování a důlkování povrchu půdy, mulčování), a biotechnická (protierozní meze a průlehy, zasakovací pásy, terasování). [4]

9.2 NESTRUKTURÁLNÍ OPATŘENÍ

Tato opatření především zahrnují operativní organizování služeb při havarijních případech. Jde především o hydrologické předpovědi povodňových situací, hlásná a předpovědní povodňová služba, organizace evakuačních a záchranných prací atd. Patří sem také územní plánování. [4]

Opatření jsou vymezena vodním zákonem 254/2001 [C2] a dělí se na:

- Přípravná opatření a opatření při nebezpečí
- Opatření za povodně

9.3 STÁVAJÍCÍ PROTIPOVODŇOVÁ OPATŘENÍ

Po povodni v roce 1997 byly provedeny opravné a odstraňovací práce toku v oblastech Zlína a Otrokovic. Koryto ve městě Zlín je z větší části kapacitní pro průtoky Q_5 a Q_{20} , pro větší průtoky už ovšem ne.

V lokalitě Louky byla vybudována zemní ochranná hráz v km (9,200 - 9,500), další zemní hráz je v lokalitě Příluky v ř.km (16,500) a dále v lokalitě Příluky je zemní hráz a zeď v km (16,300 - 17,000). Dále byly vybudovány hradítka na kanalizacích ústících do Dřevnice, aby nedocházelo ke zpětnému vzduť vody do kanalizace a zatápění sklepů. [B8]

9.4 ZHODNOCENÍ STÁVAJÍCÍ KAPACITY KORYTA

Kapacita koryta toku Dřevnice v km 3,378 – 16,125 byla stanovena na dílčích úsecích, které jsou vymezeny významnými objekty na toku. V celém úseku je koryto kapacitní na průtok $Q_5 = 113,3 \text{ m}^3/\text{s}$.

- **km 3,378 – 5,586** - úsek mezi dálničním mostem a silničním mostem u ČOV. Při průtoku $Q_{20} = 196,7 \text{ m}^3/\text{s}$ a při větších průtocích dochází k vybřežení na pravém břehu mezi km 4,300 – 4,800. Při průtoku $Q_{100} = 330,0 \text{ m}^3/\text{s}$ dochází k vybřežení pouze do oblastí polí. Na tomto úseku proto není potřeba navrhovat protipovodňovou ochranu na průtok Q_{100} .
- **km 5,586 – 6,825** – úsek mezi silničním mostem u ČOV a silničním mostem Malenovice. Celý úsek je kapacitní na průtok Q_{20} , při průtoku Q_{100} dochází k vybřežení na částech levého břehu úseku, k vybřežení na pravém břehu nedochází. Rozlivy při průtoku Q_{100} jsou minimální a výrazně nezasahují do žádné zástavby, kterou by bylo potřeba chránit.
- **km 6,825 – 9,057** – úsek mezi silničním mostem Malenovice a silničním mostem. Koryto v tomto úseku je kapacitní na průtok Q_{20} , při průtoku Q_{100} dochází v km 8,400 – 9,057 k vybřežení na pravém břehu

do průmyslové zástavby. Průmyslovou oblast zasaženou rozlivem na pravém břehu by bylo vhodné ochránit.

- **km 9,057 – 10,493** – úsek mezi silničním mostem a silničním mostem Prštné. Při průtoku Q_{20} nedochází na tomto úseku k vybřežení z koryta. Při průtoku Q_{100} dochází k vybřežení na pravém břehu v celé délce úseku do průmyslové zástavby. Na levém břehu dochází k menším rozlivům do průmyslové zástavby. Bylo by vhodné na tomto úseku vybudovat ochranu těchto průmyslových zástav.
- **km 10,493 – 12,350** – úsek mezi silničním mostem Prštné a silničním mostem Čepkovského. Úsek je po celé délce kapacitní na průtok Q_{20} , při průtoku Q_{100} dochází v km 12,000 – 12,350 k vybřežení na obou březích do průmyslové zástav. Mezi km 10,493 – 11,600 dochází k menším rozlivům po obou březích do průmyslových oblastí. Pro tyto zasažené oblasti by bylo vhodné vypracovat návrh PPO.
- **km 12,350 – 13,133** – úsek mezi silničním mostem Čepkovského a silničním mostem. Tento úsek je kapacitní po celé délce a po obou březích na průtok Q_{20} . Při průtoku Q_{100} dochází k vybřežení na obou březích do obytných zástav. Na tomto úseku by bylo vhodné navrhnout PPO na ochranu objektů v záplavové zóně.
- **km 13,133 – 14,082** – úsek mezi silničním mostem a silničním mostem Zálesná. Celý úsek je kapacitní na průtok Q_{20} . Při průtoku Q_{100} dochází mezi km 13,133 a soutokem s Fryštáckým potokem k mírným rozlivům do obytné zástavby. V tomto úseku by bylo vhodné navrhnout PPO. Nad soutokem s Fryštáckým potokem po km 14,082 nedochází k rozlivům, ale doporučuje se zde také návrh PPO s ohledem na rozlivy v úseku výš proti proudu.
- **km 14,082 – 14,809** – úsek mezi silničním mostem Zálesná a silničním mostem. Tento úsek je kapacitní na průtok Q_{20} . Při průtoku Q_{100} dochází k vybřežení na obou březích do obytné zástavby. V tomto úseku je vhodné navrhnout PPO.
- **km 14,809 – 16,125** – úsek mezi silničním mostem a jezem Příluky. Úsek je kapacitní na průtok Q_{20} , při průtoku Q_{100} dochází k malým vybřežením z koryta. Zde není nutné budovat PPO.

9.5 NÁVRH PPO

Návrh protipovodňových opatření se provedl na stoletý průtok $Q_{100} = 330 \text{ m}^3/\text{s}$. Na základě map rozlivů vody pro Q_{100} a map využití území se určila místa pro návrh PPO. V místech ve kterých řeka Dřevnice protéká obytnou a průmyslovou částí Zlína, jsou velmi stísněné podmínky. Tyto stísněné podmínky jsou způsobeny hustou zástavbou v okolí toku. Z tohoto důvodu budou v průmyslové zástavbě navrhnuty v úseku v km 9,500 – 12,350 po obou stranách stabilní železobetonové zdi SO-02 a SO-03. Tyto zdi se v km 12,350 napojují na mobilní hliníkové zdi SO-04, SO-05, SO-06, které jsou navrženy v obytné části města Zlína v km 12,400 – 14,920. Dále bude v úseku 8,400 – 9,570 bude navržena železobetonová zeď SO-01 na ochranu průmyslové zástavby. Situace umístění PPO je v příloze č. 8.

Stavební objekty PPO:

SO-01 – Stabilní železobetonová zeď, km 8,400 – 9,057

SO-02 – Stabilní železobetonová zeď, km 9,850 – 12,350

SO-03 – Stabilní železobetonová zeď, km 9,460 – 12,350

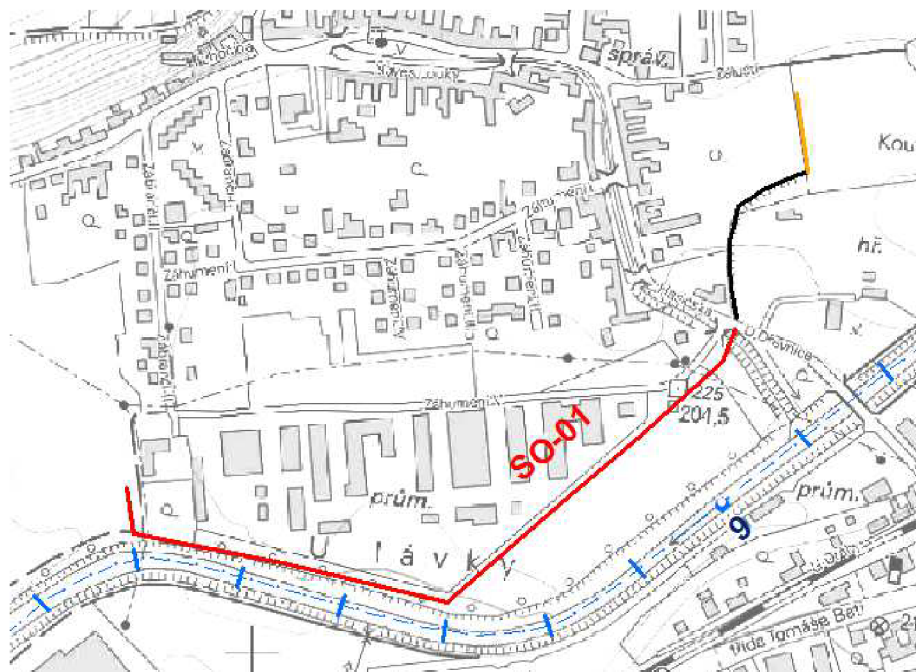
SO-04 – Mobilní hliníková zeď, km 12,350 – 13,900

SO-05 – Mobilní hliníková zeď, km 12,350 – 16,225

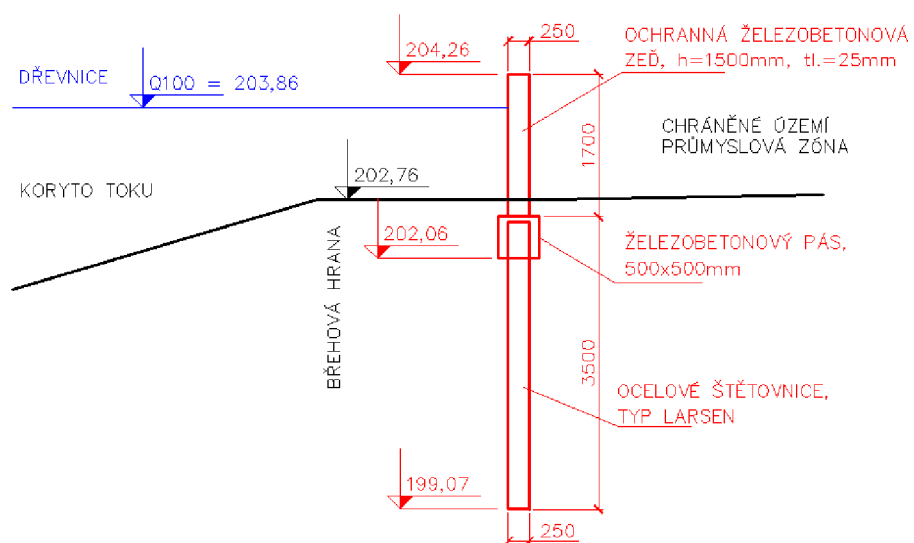
SO-06 – Mobilní hliníková zeď, km 13,950 – 14,900

9.5.1 SO-01– Stabilní železobetonová zeď, km 8,400 – 9,057

V průmyslové části obce Louky nad Dřevnicí v km 8,400 – 9,057 na pravém břehu navrhuji vybudování stabilní železobetonové zdi na ochranu tohoto areálu. Zeď bude vybudována po obvodu areálu ze tří stran (Obr. 9.5). Délka zdi bude 930 m, výška 1,5 m, šířka 0,25 m (Obr. 9.6). V km 9,057 v místě silniční komunikace bude na tuto zeď navázána mobilní zeď přes tuto komunikaci. Za komunikací se nachází stávající hrázka (zvýšení terénu), která se prodlouží o 80 m, tak aby zabránila vylití vody za stávající hrázku.



Obr. 9.5 Návrh umístění stabilní železobetonové zdi SO-01 (červeně), stávající hrázka (černě) a návrh prodloužení hrázky (hnědě) v km 8,400 – 9,350



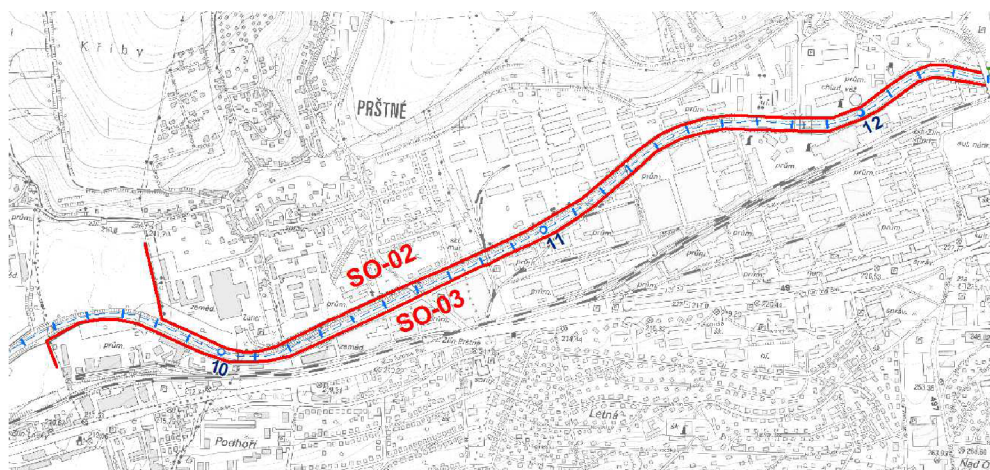
Obr. 9.6 Vzorový příčný řez ochrannou železobetonovou zdí SO-01 v km 8,472

9.5.2 SO-02 – Stabilní železobetonová zeď, km 9,850 – 12,350

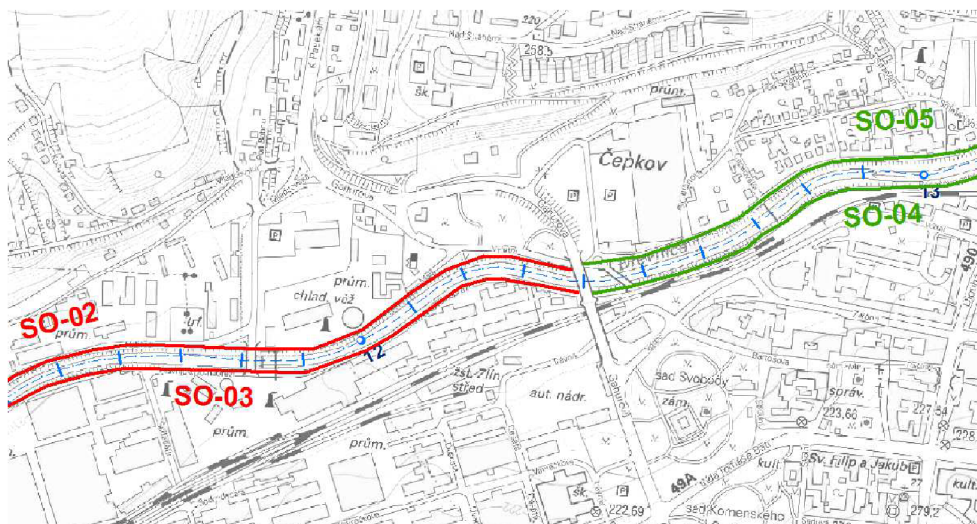
Od počátku intravilánu města Zlín v průmyslové oblasti v km 9,850 – 12,350 po začátek obytné oblasti je na pravém břehu navržena železobetonová zeď délky 2820 m, výšky 2 m a šířky 0,5 m (Obr. 9.7). V km 9,850 je zeď zavázána okolo hrany průmyslové oblasti do okolního terénu, délka zavázání je 260 m. V km 10,490 se nachází silniční most, který není kapacitní na průtok Q_{100} . V místě křížení s mostem se provede výstavba mobilní hliníkové zdi. V km 10,717 kříží tok železniční vlečkový most, který není kapacitní na průtok Q_{100} , pokud se most stále používá, by zde byla provedena instalace mobilních zdí, v případě, že se nevyužívá, byl by zazděný železobetonovou zdí. V místě křížení s mostem v km 11,704, který je na průtok Q_{100} kapacitní by byly zdi zavázány z obou stran do mostních pilířů. V km 12,350 pod silničním mostem Čepkovského se provede napojení železobetonové zdi SO-02 na mobilní hliníkovou zeď SO-05 (Obr. 9.8).

9.5.3 SO-03 – Stabilní železobetonová zeď, km 9,460 – 12,350

Tato železobetonová zeď je na levém břehu ve stejném úseku jako zeď SO-02, jen začíná na km 9,460 na začátku průmyslové oblasti (Obr. 9.7). Délka zdi je 3100 m, výšky 2 m a šířky 0,5 m. V místech objektů na toku (mostů) by se tato zeď řešila stejně jako zeď SO-02. V místě Čepkovského mostu v km 12,350 se provede napojení této zdi na mobilní hliníkovou zeď SO-04 (Obr. 9.8).



Obr. 9.7 Stabilní železobetonové zdi SO-02 a SO-03 v km 9,460 – 12,350



Obr. 9.8 Napojení stabilních zdí SO-02 a SO-03 na zdi mobilní SO-05 a SO-04 v km 12,350 pod Čepkovským mostem

9.5.4 SO-04 – Mobilní hliníková zeď, km 12,350 – 14,900

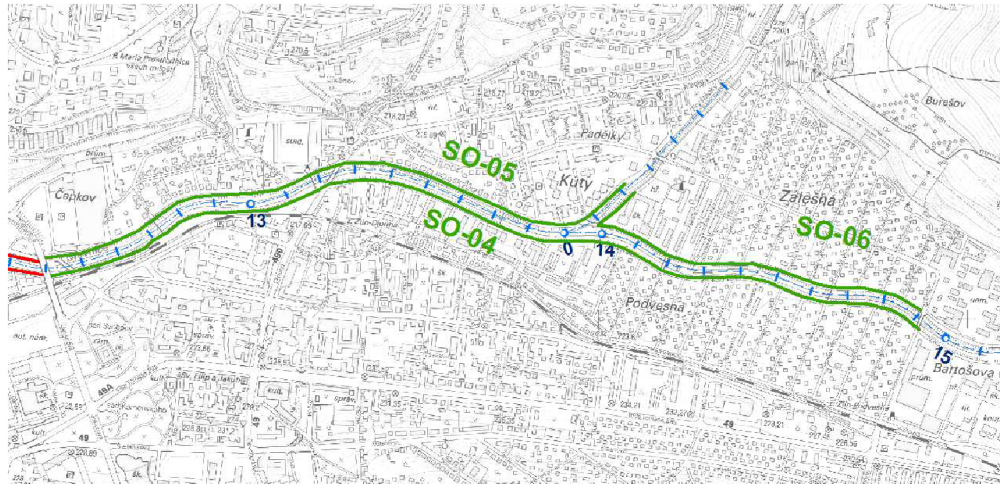
Zeď je navržena na levém břehu řeky, v km 12,350 je napojena na SO-03 železobetonovou zeď (Obr. 9.8), a pokračuje proti proudu až do km 14,900 (Obr. 9.9). Zeď je dlouhá 2550 m, výška zdi je 1,5 m nad terénem a šířku má 0,08 m.

9.5.5 SO-05 – Mobilní hliníková zeď, km 12,350 – 13,900

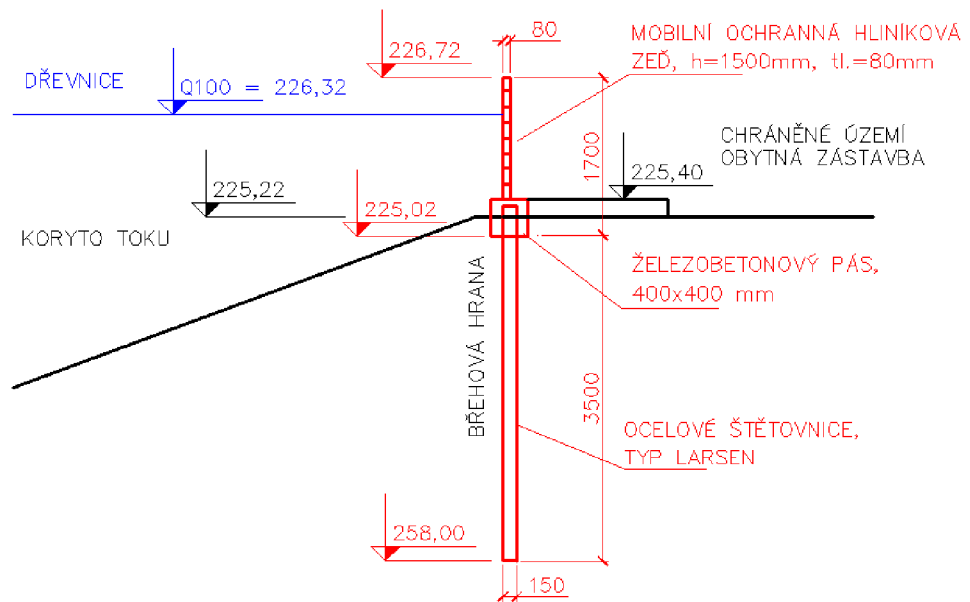
Tato mobilní hliníková zeď je navržena na pravém břehu v km 12,350 – 13,900 (Obr. 9.9). V km 12,350 je napojena na SO-02 – stabilní železobetonovou zeď (Obr. 9.8), a pokračuje až po soutok s Fryštáckým potokem, kolem kterého pokračuje do km 0,220. Mobilní hliníková zeď bude dlouhá 1700 m, vysoká 1,5 m a šířky 0,08 m.

9.5.6 SO-06 – Mobilní hliníková zeď, km 13,950 – 14,900

Zeď je navržena na pravém břehu v km 13,950 – 14,900, její začátek je na 0,220 km Fryštáckého potoka a pokračuje směrem k soutoku, proti proudu Dřevnice na km 14,900 (Obr. 9.9). Délka zdi je 1160 m, výška 1,5 m a šířka 0,08 m. Na (Obr. 9.10) je vidět vzorový příčný řez touto zdí.



Obr. 9.9 Mobilní hliníkové zdi SO-04 (km 12,350 – 14,900), SO-05 (km 12,350 – 13,950) a SO-06 (km 13,950 – 14,900)



Obr. 9.10 Vzorový příčný řez mobilní ochrannou hliníkovou zdí SO-06 v km 14,500

9.6 ZHODNOCENÍ NÁVRHŮ PPO

Technické návrhy PPO a jejich umístění je v této práci pouze ideové a zjednodušené. Přesné umístění návrhů protipovodňových opatření by bylo nutné navrhnout na základě aktuální UPD a v jednání s majiteli dotčených pozemků. V místech umístění by bylo nutné provést geologický průzkum a výpočty proudění podzemní vody. Navržené zdi by bylo nutné staticky posoudit a vyřešit jejich založení do podloží. U mobilních zdí by musely být vymezeny chráněné prostory pro jejich uskladnění, pokud možno v blízkosti jejich umístění. V práci je vyhodnocena účinnost jejich ochrany, která je dostačující. Zhodnocení účinnosti bylo provedeno hydraulickým výpočtem a výsledky jsou uvedeny v příloze č. 6.1 a 6.2. Vzhledem k parametrům navržené ochrany (délka, výška) nebude tento návrh nejvhodnějším řešením ochrany tohoto úseku jak z hlediska ekonomického, tak z hlediska estetického. Vhodnější by bylo navrhnout protipovodňová opatření výše po toku, mimo tento řešený úsek. Opatření by měla být taková, aby snížila velikost povodňové vlny. Například nuceným rozlivem do nezastavěných území nebo vybudování retenční stavby (suchého poldru) na vhodném místě.

10. ZÁVĚR

Na úseku toku Dřevnice v km 3,378 – 16,125 v lokalitě města Zlín byly provedeny hydraulické výpočty proudění vody s využitím kombinace 1D a 2D numerického modelu. Na vytvořeném modelu se provedly simulace průtoků Q_5 , Q_{20} , Q_{100} a Q_{500} . Z výsledků simulací byly zpracovány mapy hloubek, rychlostí a rozlivů vody v dané oblasti. Na základě těchto map se zhodnotila stávající kapacita koryta v tomto úseku. Byly vybrány místa, ve kterých docházelo k vyběžení vody z koryta a zaplavení obytné nebo průmyslové zástavby. V těchto místech se provedly ideové návrhy protipovodňových opatření, které mají za úkol chránit tyto zástavby.

Po vytvoření modelu a provedení prvních simulací byly zjištěny značné nepřesnosti ve vstupních datech. Byla zjištěna chyba v datech zaměření příčných profilů, konkrétně tedy prostorového umístění osy toku, na které tyto profily leží. Umístění osy příčných profilů neodpovídalo v některých místech pomyslné ose toku digitálního modelu terénu, to znamená, že příčné profily koryta byly vychýleny oproti korytu v digitálním modelu terénu. Tyto nepřesnosti se projevíly ve výsledcích jako nereálné hodnoty hloubek vody a rychlostí proudění v místech břehových hran. V místech těchto chyb se provedla oprava umístění osy toku a posunutí jednotlivých příčných profilů. Touto opravou se dosáhlo zmenšení těchto nepřesností, ale nevymizely úplně. Výsledky jsou tedy těmito chybami negativně ovlivněny. Pro dosažení kvalitních výsledků by bylo potřeba provést nové zaměření příčných profilů, jejich břehových hran a osy toku.

Na řešeném úseku byla poté navržena protipovodňová opatření na ochranu obytné a průmyslové zástavby. Z důvodů stísněného prostoru v intravilánu města Zlín se přistoupilo k návrhu protipovodňových zdí, které mají malé prostorové nároky. Objekty ochrany SO-01, SO-02 a SO-03 jsou stabilní železobetonové zdi, které jsou navrženy v místech průmyslové zástavby a objekty SO-04, SO-05 a SO-06 jsou mobilní hliníkové zdi, které jsou navrženy v místech obytné zástavby. Návrhy těchto opatření byly zhodnoceny hydraulickým výpočtem a projevíly se jako dostačující ochrana proti povodni při průtoku Q_{100} . Práce se detailně nezabývala místem umístění a technickým řešením těchto opatření. Pro přesnější návrh by bylo potřeba provést umístění těchto objektů na základě aktuální UPD. Také by bylo nutné provést v místech umístění geologický a hydrogeologický průzkum, na základě kterých by se provedlo jejich statické posouzení a výpočet proudění podzemní vody. Pro mobilní zdi by bylo potřeba najít vhodné místo k bezpečnému uložení, a vzhledem k délce těchto zdí by bylo potřeba zvážit i rychlost s jakou se dají postavit. Z těchto důvodů by bylo vhodné zvážit jiné varianty ochrany této lokality. Možným řešením by bylo například

vybudování retenčních objektů výše po toku, nebo vytvoření nucených rozlivů mimo zastavěná území.

11. POUŽITÁ LITERATURA

- [1] ČAMROVÁ, L a JÍLKOVÁ, J. *Povodňové škody a nástroje k jejich snížení*. Praha : Institut pro ekonomickou a ekologickou politiku při FNH VŠE, 2006. ISBN 80-86684-35-0.
- [2] JANDORA, J, *Matematické modelování ve vodním hospodářství*. Brno : studijní opora, 2008.
- [3] ŘÍHA, J. a kol. *Jakost vody v povrchových vodních tocích a její matematické modelování*. Brno : NOEL 2000, 2002. ISBN 80-86020-31-2.
- [4] CHOW, Ven te. *Open-Channel Hydraulics*. McGraw-Hill Kogakusha Tokyo : International student edition, 1959.
- [5] Dráb, A. a Říha, J. *Protipovodňová ochrana modul M01*. Brno : studijní opory pro studijní programy s kombinovanou formou studia, 2010.

SEZNAM TABULEK

Tab. 5.1 Výpis Mostů a lávek na toku Dřevnice

Tab. 5.2 Výpis Mostů a lávek na toku Fryštácký potok

Tab. 5.3 Výpis Jezů a stupňů na toku Dřevnice

Tab. 6.1 Hodnoty drsností pro jednotlivé povrchy

Tab. 6.2 Hodnoty OP pro jednotlivé N-letosti Dřevnice a Fryštácký potok

Tab. 6.3 Mosty a lávky ovlivňující odtokové poměry na toku Dřevnice

Tab. 6.4 Mosty a lávky ovlivňující odtokové poměry na toku Fryštácký potok

Tab. 6.5 Jezy a stupně ovlivňující odtokové poměry na toku Dřevnice

Tab. 7.1 Vybrané body pro kalibraci

Tab. 7.2 Vybrané body pro kalibraci a jejich srovnání s výpočtem

SEZNAM OBRÁZKŮ

- Obr. 5.1 *Mapa ČR s vyznačeným povodím Dřevnice*
- Obr. 5.2 *Mapa povodí Dřevnice*
- Obr. 5.3 *Povodeň na Dřevnici roku 1987*
- Obr. 5.4 *Mapa řešeného úseku*
- Obr. 6.1 *Oblasti 1D a 2D modelu*
- Obr. 6.2 *Výpočtová síť (GRID) o velikost buňky 6x6m, podložená ortofotomapou*
- Obr. 6.3 *Oblasti jednotlivých modelů 1D (ružově), 2D (zeleně) a oblast výpočtová (modře)*
- Obr. 6.4. *Hranice jednotlivých druhů povrchů s hodnotou jejich drsnosti*
- Obr. 6.5 *Umístění horní (Q/t) a dolní (H/t) okrajové podmínky*
- Obr. 7.1 *Povodňové značky (žlutě) v situaci řešené oblasti*
- Obr. 8.1 *Hranice rozlivů Q100 DIBAVOD (zeleně), které odpovídají rozlivům vypočteným (modře)*
- Obr. 8.2 *Hranice rozlivů Q100 DIBAVOD (zeleně), které se značně liší od rozlivů vypočtených (modře)*
- Obr. 8.3 *Nepřesné výsledky hloubek vody v místech břehových hran*
- Obr. 8.4 *Nepřesné výsledky rychlostí vody v místech břehových hran*
- Obr. 11.1 *Zemní ochranná hráz na toku Dřevnice v km 16,125*
- Obr. 9.2 *Stabilní betonová zeď*
- Obr. 9.3 *Mobilní hliníková zeď*
- Obr. 9.4 *Suchý poldr*
- Obr. 9.5 *Návrh umístění stabilní železobetonové zdi SO-01 okolo průmyslové zástavby v obci Malenovice v km 6,470 – 7,500*
- Obr. 9.6 *Návrh umístění stabilní železobetonové zdi SO-02.1 (červeně), stávající hrázka (černě) a návrh zemní hráze SO-02.2 (hnědě) v km 8,400 – 9,350*
- Obr. 9.7 *Vzorový příčný řez Ochrannou železobetonovou zdí SO-02.1 v km 8,472*
- Obr. 9.8 *Stabilní železobetonové zdi SO-03 a SO-04 v km 9,460 – 12,350*
- Obr. 9.9 *Napojení stabilních zdí SO-03 a SO-04 na zdi mobilní SO-05 a SO-06 v km 12,350 pod Čepkovským mostem*
- Obr. 9.10 *Mobilní hliníkové zdi SO-05 (km 12,350 – 13,900), SO-06 (km 12,350 – 16,225) a SO-07(km 13,95 – 14,900)*
- Obr. 9.11 *Vzorový příčný řez mobilní ochrannou hliníkovou zdí SO-06 v km 14,500*
- Obr. 9.12 *Mobilní hliníková zeď SO-08 v km 15,600 – 16,225*

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

1D	jednorozměrný
2D	dvojměrný
3D	trojměrný
PPO	protipovodňová ochrana
PP	počáteční podmínka
OP	okrajová podmínka
DMT	digitální model terénu
Q_5	pětiletý průtok [m^3/s]
Q_{20}	dvacetiletý průtok [m^3/s]
Q_{100}	stoletý průtok [m^3/s]
Q_{500}	pětisetletý průtok [m^3/s]
A	průtočná plocha [m^2]
h	hloubka vody [m]
Q	průtok [m^3/s]
v_p	průměrná profilová rychlost [m/s]
t	čas [s]
x	vzdálenost ve směru osy x [m]
y	vzdálenost ve směru osy y [m]
g	gravitační zrychlení [m/s^2]
J	sklon dna [-]
J_E	sklon čáry energie [-]
v	průřezová rychlost [m/s]
C	Chezyho rychlostní součinitel [$m^{0.5}/s$]
R	hydraulický poloměr [m]
Q'_0	předepsaný časový průběh průtoku [m^3/s]
A'_0	předepsaný časový průběh průtočné plochy [m^2]
μ_t	turbulentní viskozita [-]
H	poloha hladiny (m)
v_x	složka vektoru rychlosti ve směru x [m/s]
v_y	složka vektoru rychlosti ve směru y [m/s]
f	Coriolisův parametr [-]
T	turbulentní smykové napětí [Pa]
τ	smyková napětí na dně [Pa]

Δx	rozměry buňky výpočtové sítě v ose x [m]
Δy	rozměry buňky výpočtové sítě v ose y [m]
μ	přepadový součinitel [-]
b	světlná šířka jezu [m]
F	kalibrační součinitel [-]
h_i	přepadová výška [m]
m	součinitel přepadu [-]

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha č.1	– Situace širších vztahů	
Příloha č.2.1	- Mapa hloubek vody pro Q ₅	(1:10 000)
Příloha č.2.2	- Mapa rychlostí vody pro Q ₅	(1:10 000)
Příloha č.3.1	- Mapa hloubek vody pro Q ₂₀	(1:10 000)
Příloha č.3.2	- Mapa rychlostí vody pro Q ₂₀	(1:10 000)
Příloha č.4.1	- Mapa hloubek vody pro Q ₁₀₀	(1:10 000)
Příloha č.4.2	- Mapa rychlostí vody pro Q ₁₀₀	(1:10 000)
Příloha č.5.1	- Mapa hloubek vody pro Q ₅₀₀	(1:10 000)
Příloha č.5.2	- Mapa rychlostí vody pro Q ₅₀₀	(1:10 000)
Příloha č.6.1	- Mapa hloubek vody s návrhem PPO pro Q ₁₀₀	(1:10 000)
Příloha č.6.2	- Mapa rychlostí vody s návrhem PPO pro Q ₁₀₀	(1:10 000)
Příloha č.7	- Mapa rozlivů vody	(1:10 000)
Příloha č.8.1	- Situace návrhů PPO	(1:10 000)
Příloha č.8.2	- Situace zhodnocení PPO	(1:10 000)
Příloha č.9	- Fotodokumentace	