



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVENBÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV VODNÍCH STAVEB

INSTITUTE OF WATER STRUCTURES

SUCHÁ NÁDRŽ BLUČINA

DRY RESERVOIR BLUČINA

DIPLOMOVÁ PRÁCE

DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Dušan Vicena

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Zbyněk Zachoval, Ph.D.

BRNO 2022



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	N0732A260025 Stavební inženýrství – vodní hospodářství a vodní stavby
Typ studijního programu	Navazující magisterský studijní program s prezenční formou studia
Specializace	bez specializace
Pracoviště	Ústav vodních staveb

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Student	Bc. Dušan Vicena
Název	Suchá nádrž Blučina
Vedoucí práce	doc. Ing. Zbyněk Zachoval, Ph.D.
Datum zadání	31. 3. 2021
Datum odevzdání	14. 1. 2022

V Brně dne 31. 3. 2021

prof. Ing. Jan Šulc, CSc.
Vedoucí ústavu

prof. Ing. Miroslav Bajer, CSc.
Děkan Fakulty stavební VUT

PODKLADY A LITERATURA

Hydrologická data.

Sweco Hydroprojekt, 2013. Svratka II, Přírodě blízká protipovodňová opatření a obnova přirozené hydromorfologie a retenční kapacity toku a nivy v úseku ř. km 2,000 (delta ve VD Nové Mlýny) až 26,370 (Rajhrad – Holasice).

TNV 75 2415, 2013. Suché nádrže. Sweco Hydroprojekt.

Zachoval, Z., 2020. Vodohospodářské posouzení PPO Modřic, Rajhradic, Rebešovic a Opatovic. Brno, LVV ÚVST FAST VUT.

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

V soutokové oblasti Svratky a Litavy je rozsáhlé levobřežní inundační území Svratky, které se dlouhodobě plánuje pro výstavbu suché nádrže Blučina. Student provede posouzení stávajícího stavu transformačních schopností tohoto území a navrhne ve dvou variantách suchou nádrž Blučina, která zvětší transformační schopnost tohoto území. Posouzení a návrh bude proveden na základě simulace PV100 ve Svratce dvourozměrným numerickým modelem. Výsledkem bude kvantifikace změny transformační schopnosti území a návrh dvou variant suché nádrže.

STRUKTURA DIPLOMOVÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

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

doc. Ing. Zbyněk Zachoval, Ph.D.
Vedoucí diplomové práce

Abstrakt

Diplomová práca sa skladá z rešeršnej a návrhovej časti. Obsahom rešeršnej časti práce je popis teórie o suchých nádržiach a o 2D modelovaní. Návrhová časť práce sa zaoberá hydrotechnickou štúdiou možnosti výstavby suchej nádrže Blučina, vo dvoch variantách návrhu nádrže s príslušnými objektami. Návrh obsahuje simulácie 2D numerického modelu nádrže v programe SMS-SRH oboch navrhnutých variant. Výsledkom je zhodnotenie dvoch navrhnutých variant nádrže, a odporúčenie lepšej varianty pre možnú výstavbu v budúcnosti z hľadiska prevedenia storočnej povodňovej vlny.

Kľúčové slová

Suchá nádrž, polder, protipovodňové opatrenia, 2D numerický model, Blučina, povodeň, náпустný objekt

Abstract

The Diploma Thesis consists of research and design part. The content of research part is description of dry reservoirs and theory of 2D modelling. The design part of the work deals with the hydrotechnical study of possibility of building a dry reservoir Blučina in two variants of designs of reservoir with objects. The design contains simulations of 2D numerical model of reservoir made in program SMS-SRH of both designed variants. The result is evaluation of both designed variants and recommendation of better option for a possibility of construction in the future in terms of the transformation of the century-flood wave.

Key words

Dry reservoir, polder, flood protection measures, 2D numerical model, Blučina, flood, filling object

Bibliografická citácia VŠKP

Vicena Dušan, *Suchá nádrž Blučina*. Brno, 14. 1. 2022 s., Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodních staveb. Vedoucí práce doc. Ing. Zbyněk Zachoval, Ph.D.

Prehlásenie:

Prehlasujem, že som diplomovú prácu spracoval samostatne a že som uviedol všetky použité informačné zdroje.

V Brne, dňa 14. 1. 2022

.....

Dušan Vicena

Prehlásenie:

Prehlasujem, že elektronická forma odovzdanej práce je zhodná s odovzdanou papierovou formou.

V Brne, dňa 14. 1. 2022

.....

Dušan Vicena

Podakovanie:

V prvom rade by som chcel poďakovať vedúcemu práce pánovi doc. Ing. Zbyňku Zachovalovi, Ph.D., za rady pri vypracovaní práce a za čas strávený pri konzultáciách a taktiež ďakujem mojej rodine za podporu pri štúdiu.

OBSAH

1	Úvod.....	15
2	Cieľ práce.....	16
2.1	Metóda riešenia.....	16
3	Suché nádrže	17
3.1	Prehľad poldrov v Českej republike	17
4	Zájmové územie.....	19
4.1	Záplavové územie.....	20
4.2	Hydrológia	21
4.3	Povodne v zájmovom území.....	22
5	Modelovanie povodňových rozlivov	24
5.1	Numerické modelovanie.....	24
5.2	1D numerické modelovanie.....	24
5.3	2D numerické modelovanie.....	24
6	Popis modelu.....	27
6.1	Použité podklady	27
6.2	Rozsah modelu	27
6.3	Schematizácia modelu	27
6.4	Drsnosť povrchu terénu	28
6.5	Podmienky jednoznačnosti	29
6.6	Časový krok simulácie.....	33
6.7	Kalibrácia modelu.....	33
7	Postup riešenia	35
7.1	Práca v programe AutoCAD.....	35
7.2	Práca v programe SMS - SRH.....	35
8	Súčasný stav.....	36
9	Návrhový stav – Varianta I.....	42
10	Návrhový stav – Varianta II.....	52
11	Porovnanie Varianty I, II a SS	63
12	Záver a zhodnotenie	64
12.1	Záver.....	64
12.2	Zhodnotenie	64
13	Zoznamy	66
13.1	Zoznam použitej literatúry.....	66

13.2	Zoznam použitých obrázkov	67
13.3	Zoznam tabuliek	68
13.4	Zoznam grafov.....	69
13.5	Použité technické normy, právne predpisy a metodické pokyny	70
13.6	Zoznam veličín	71
13.7	Zoznam skratiek	72
14	Prílohy.....	73

1 Úvod

V nedávnej minulosti až do súčasnosti sa čoraz väčším problémom stávajú extrémne hydrometeorologické situácie na území Českej republiky a v zahraničí, či už ide o suchá alebo povodne. Príčinou povodní sú nielen extrémne zrážky a výkyvy počasia, ale aj nedostatočná protipovodňová ochrana, rozširujúca sa výstavba v záplavových územiach a v okolí tokov, nevhodné úpravy korýt tokov alebo zlé využitie poľnohospodárskej pôdy.

Protipovodňová ochrana v okolí Brna je plánovaná na prietok Q_{100} neovplyvnený. To znamená, že Brno a okolie by malo zvládnuť sto ročnú vodu. Avšak problém majú obce pod Brnom na sútoku riek Svratka a Litava. Na tomto území sa nachádzajú obce v bezprostrednej blízkosti toku Svratka, ktorým hrozí pri zvýšených zrážkach nebezpečenstvo povodne. Ide hlavne o obce Blučina, Židlochovice, Vojkovice, Opatovice, Hrušovany u Brna, Rajhrad, Rajhradice a Holasice. V minulosti sa na tomto území už vyskytli povodne spôsobené dlhotrvajúcimi zrážkami. Preto by bolo dobré na tomto území vytvoriť nové alebo zlepšiť existujúce protipovodňové opatrenia.

V meste Brno sa plánuje rozširovanie a výstavba nových protipovodňových opatrení dimenzovaných na prietok Q_{100} neovplyvnený. Následkom výstavby nových protipovodňových opatrení sa predpokladá zhoršenie ochrany obcí ležiacich južne pod Brnom, v dôsledku zmenšenia schopnosti transformácie povodňovej vlny inundačného územia.

Ako kompenzácia zhoršenia transformácie inundačného územia sa v tejto oblasti už dlhodobo plánuje výstavba protipovodňových opatrení. Ako prioritné by sa malo vybudovať opatrenie, ktoré by malo zachytiť nadbytočnú vodu z tokov Svratka, Litava, Dunávka a z inundačného územia nad obcou Židlochovice. Účelom plánovaného opatrenia je zlepšenie transformácie povodňovej vlny zachytením veľkého množstva vody v území.

Na tomto území je preto naplánovaná výstavba suchej nádrže Blučina. Suchá nádrž, inak nazývaná polder, je vodné dielo slúžiace k protipovodňovej ochrane [14]. Za bežných podmienok sa v suchej nádrži nebude vôbec nachádzať voda a priestor, inak zatopený za povodne, môže byť využívaný pre iné účely, zvyčajne pre poľnohospodársku výrobu.

Diplomová práca sa zaoberá návrhom suchej nádrže. V práci sa zvažuje suchá nádrž a objekty suchej nádrže – napúšťací objekt, bezpečnostný preliv a výpustné objekty, kríženia komunikácií s navrhnutou hrádzou, odpadná koryta. Budú navrhnuté dve odlišné varianty suchej nádrže Blučina, následne budú porovnané z hľadiska lepšej transformácie povodňovej vlny pri navrhovanom prietoku Q_{100} neovplyvnený.

Pri návrhu suchej nádrže a výbere lepšej varianty riešenia sa budem predovšetkým riadiť schopnosťou transformácie povodňovej vlny, ale aj rozsahom dotknutého územia, zmenami v krajine spôsobenými výstavbou suchej nádrže a ich možný dopad na poľnohospodárstvo v danom území alebo iné možné nepriaznivé dopady vzniknuté výstavbou opatrenia. Na finančné hľadisko nebude braný ohľad.

2 Cieľ práce

Cieľom práce je posúdenie stávajúceho stavu a navrhnutie vhodného riešenia suchej nádrže Blučina, ktorého účelom bude transformácia povodňovej vlny pri návrhovom prietoku Q_{100} neovplyvnený vodnými dielami Vír a Brno. Výsledkom bude mapa a grafy znázorňujúce transformačné schopnosti navrhutej suchej nádrže.

2.1 Metóda riešenia

Metóda riešenia spočíva vo vypracovaní návrhu suchej nádrže Blučina vo dvoch variantoch a následnej numerickej simulácii povodňovej vlny a jej vplyv na navrhnutú suchú nádrž.

Pre návrh suchej nádrže sa použije simulácia povodňovej vlny PV_{100} , simulovaná bude pomocou 2D numerického modelu vypracovaného v programe SMS – SRH. Je treba vhodne zvoliť umiestnenie hrádzí, aby bol čo najviac schopný transformovať povodňovú vlnu, ale treba zároveň brať aj ohľad na okolité územie a zástavbu. Počas simulácie taktiež treba stanoviť optimálne parametre napúšťacieho objektu a vypočítať parametre výpustného objektu na základe už vypočítanej simulácie.

3 Suché nádrže

Polder môže byť:

- suchá nádrž,
- polosuchá nádrž.

Suchá nádrž je typ poldru, v ktorom sa nachádza voda iba pri zvýšených prietokoch a povodniach. Na telese hrádze sa nachádza bočný preliv, cez ktorý voda začne prepadať do územia suchej nádrže až pri prekročení návrhových prietokov v toku a za nebezpečia vybreženia toku. Toto územie sa za normálnych podmienok väčšinou využíva k poľnohospodárskej činnosti.

Suché nádrže sú svojimi parametrami (objem nádrže a výška hrádze) podobné malým vodným nádržiam.

Polosuchá nádrž je typ poldru, v ktorom sa nachádzajú nejaké vodné plochy so stálym nadrzaním hladiny. Ide zväčša o objekty, ktoré slúžia na zachytenie vody v území. Nachádzajú sa tu predovšetkým rybníky a mokrade. [15]

3.1 Prehľad poldrov v Českej republike

Medzi najväčšie poldre v Českej republike patria (Tabuľka 1):

Lipkovský polder, polder Králiky, Hroška, polder na Kozojídce, Polder Bulhary – Břeclav, Soutok (Obrázok 1) – najväčší suchý polder v Českej republike (ČR) [2].

Tabuľka 1 Prehľad významných poldrov v ČR [2]

Názov	Typ hrádze	Kategória VD TBD	Zátopové územia (ha)	Vodný tok
Lipkovský polder	Z	IV	52.5	Lipkovský potok
Polder Králiky	Z	III	47.34	Tichá Orlice
Hroška	Z	III	49.8	Ještětický potok
Polder na Kozojídce	Z	III	100.07	Kozojídka
Polder Bulhary - Břeclav	-	IV	2000	Dyje
Soutok	Z	IV	8000	Dyje, Morava, Kyjovka



Obrázok 1 Polder Soutok za povodne [3]

4 Zájmové územie

Zájmové územie sa nachádza v Jihomoravskom kraji, v okrese Brno-Venkov.

Zájmovým územím sa rozumie oblasť vymedzená z juhu obcou Židlochovice, z východu tokom Litava, prípadne diaľnicou D2, zo západnej strany železnicou prechádzajúcou obcou Rajhrad a zo severu riekou Bobravou a jej sútokom so Svratkou.

V zájmovom území sa nachádzajú dva významne toky, Svratka a Litava, a dva menšie toky, Ivanovický potok a Dunávka.

Vodné toky patria do povodia Dyje.



Obrázok 2 Oblasť povodia Dyje [9]

Dotknuté katastrálne územia sú:

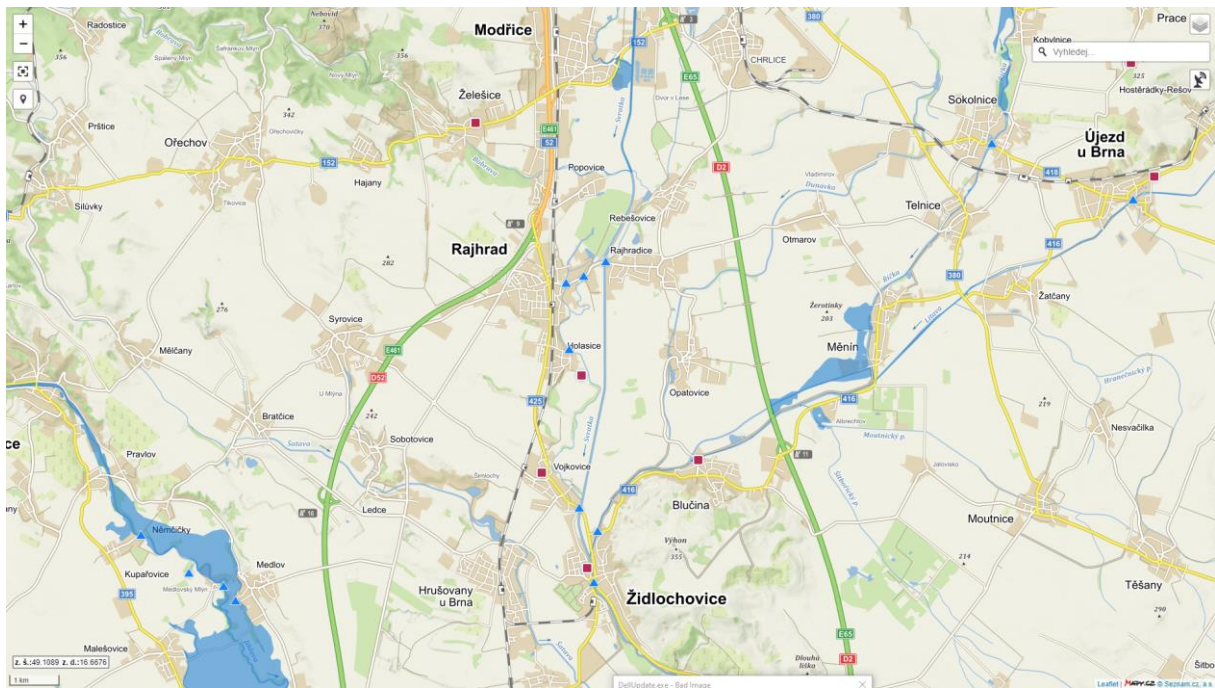
Blučina (605808),
 Holasice (640778),
 Hrušovany u Brna (648833),
 Opatovice u Rajhradu (711527),
 Rajhrad (738921),
 Rajhradice (738956),
 Vojkovice u Židlochovic (784567) a
 Židlochovice (796701). [10]

Koryto toku Svratka ma tvar jednoduchého aj zloženého lichobežníku. Pri povodni dochádza k vybrežení toku do oboch strán záplavového územia.

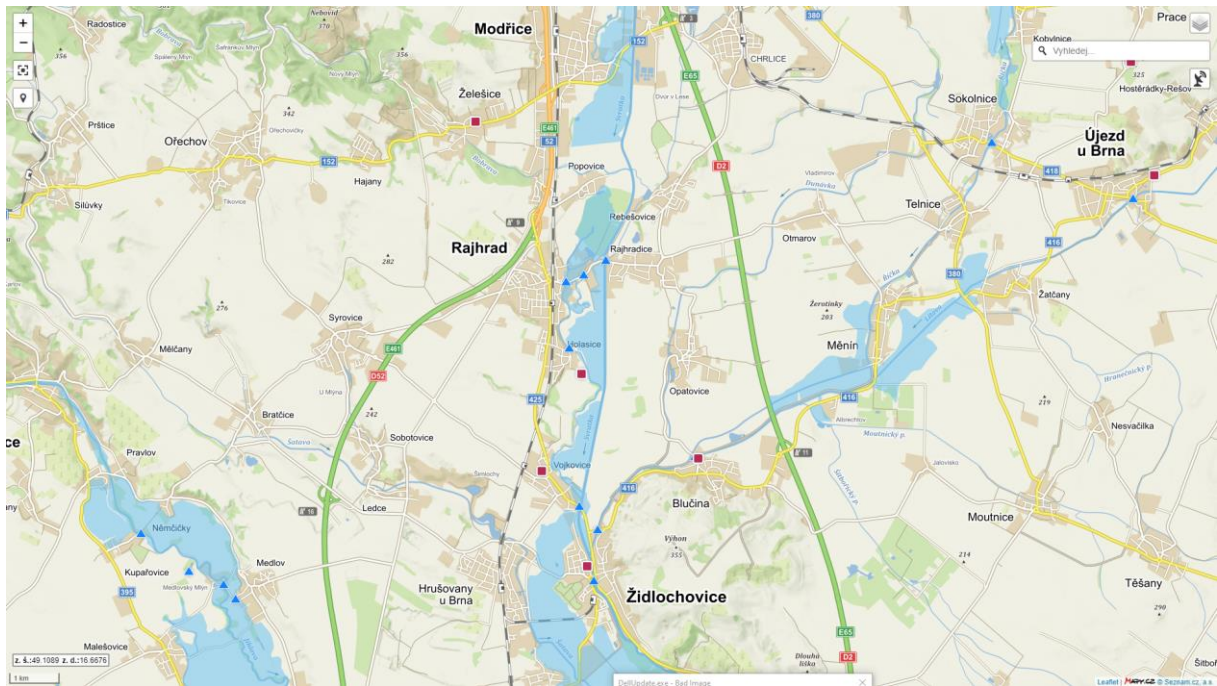
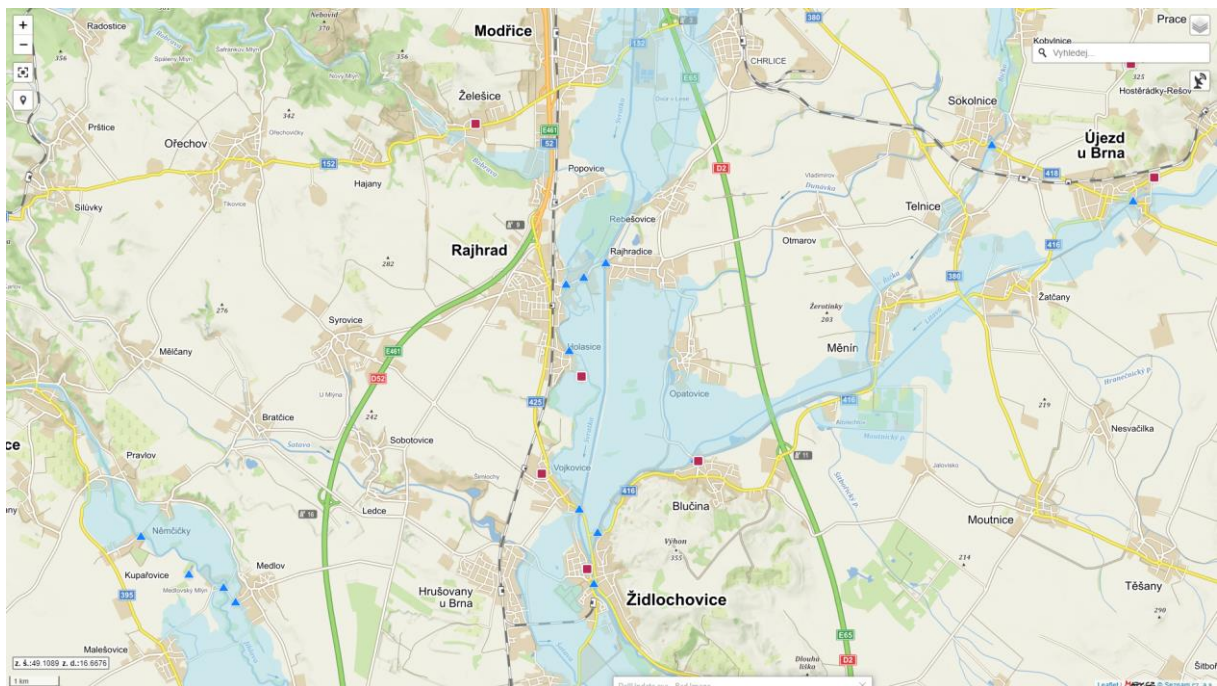
Pri obci Židlochovice je plánovaný obchvat. Na túto plánovanú komunikáciu sa berie ohľad v návrhu. V mieste budúcej komunikácie sa nebude navrhovať žiadne protipovodňové opatrenie a nebude sa táto plocha brať ani ako záplavové územie.

4.1 Záplavové územie

Pri prietoku Q_5 sa voda iba mierne rozlieva z koryta toku (Obrázok 3). Pri prietoku Q_{20} sa Svratka vylieva z koryta a začína zaplavovať obce Rajhrad a Rajhradice a taktiež časť obce Židlochovice (Obrázok 4). Na mape (Obrázok 5) je záplavové územie v záujmovom území pri Q_{100} . Pri Q_{100} sa voda vybreží aj do intravilánu okolitých obcí a poľnohospodársky využívaného územia. Voda do záplavového územia prúdi so severnej strany riekou Svratka a inundačným územím po prúde Svratky, ktorá zaplavuje predovšetkým obce Rajhrad a Rajhradice, ďalej voda do územia priteká tokmi Dunávka, ktorá sa vlieva do toku Litava. Litava pri povodni môže zaplaviť predovšetkým obec Blučina. Litava sa následne vlieva do Svratky na sútoku, ktorý sa nachádza pri obciach Židlochovice a Vojkovice.



Obrázok 3 Záplavové územie Q_5 [4]

Obrázok 4 Záplavové územie Q_{20} [4]Obrázok 5 Záplavové územie Q_{100} [4]

4.2 Hydrológia

V území sú dva významné toky Svatka a Litava a dva menej významné toky Dunávka a Ivanovický potok. Taktiež pri povodňovej vlny PV_{100} voda priteká z inundačného územia umiestneného po ľavej strane toku Stratka (po prúde) pri obciach Popovice a Rebešovice. N -ročné prietoky Svatky v profile limnigrafickej stanice (LS), Litavy a Ivanovického potoka sú v tabuľkách 3, 4, 5 a priemerný ročný prietok Dunávky je $0.3 \text{ m}^3/\text{s}$.

Tabuľka 2 N-ročné prietoky Svratka, merná stanica LS Židlochovice

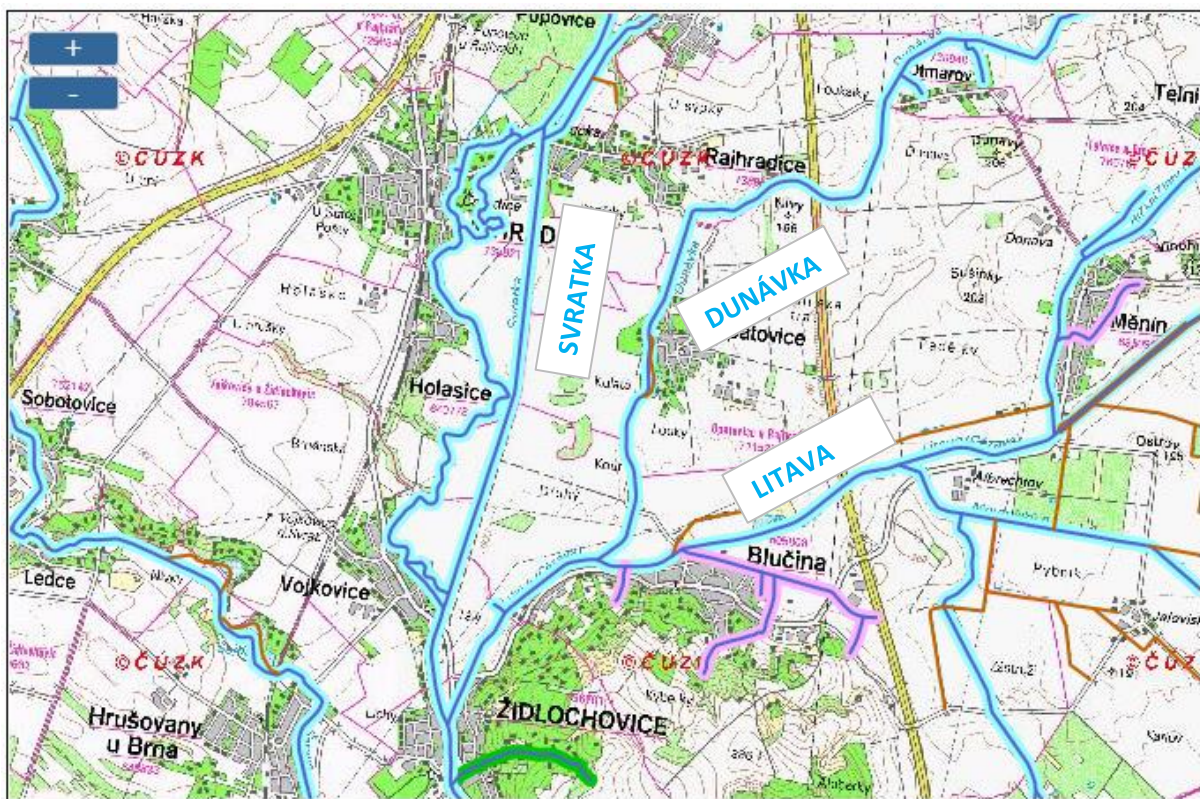
N-ročnosť	1	2	5	10	20	50	100
Prietok (m ³ /s)	81.7	111	160	203	252	326	389

Tabuľka 3 N-ročné prietoky Litava

N-ročnosť	1	2	5	10	20	50	100
Prietok (m ³ /s)	-	-	26	-	41	-	63

Tabuľka 4 N-ročné prietoky Ivanovický potok

N-ročnosť	1	2	5	10	20	50	100
Prietok (m ³ /s)	0.9	1.6	3	4.3	6.1	8.9	11.5



Obrázok 6 Toky v záujmovom území [13]

4.3 Povodne v záujmovom území

V území sa vyskytli v nedávnej dobe tri väčšie povodne spôsobené intenzívnymi dlhotrvajúcimi zrážkami a následným rozvodnením toku Litava a to v rokoch 2006, 2010 a 2013. Následok povodne bolo zatopenie poľnohospodárskych pozemkov (rok 2010 – cca 650 ha), zvýšenie hladiny podzemnej vody, zatopenie kanalizácie, zatopenie domov a pivníc okolitých domov. [6]



Obrázok 7 Povodeň v roku 2010 - Blučina [5]

5 Modelovanie povodňových rozlivov

5.1 Numerické modelovanie

V hydraulike sa pri numerickom modelovaní využívajú tri typy priestorovej schematizácie prúdenia:

- jednorozmerná (1D),
- dvojrozmerná (2D),
- trojrozmerná (3D) [7].

Delenie modelovania podľa časovej závislosti:

- Výsledok časovo nezávislej úlohy – stacionárnej, je schopný ukázať stav v momente, keď sa priebeh fyzikálneho deja ustálil natoľko, aby zmeny jednotlivých veličín neprekročili nastavenú presnosť výpočtu.
- Výsledok časovo závislej úlohy, nestacionárnej, výsledok ukazuje iba v jednotlivých časových úsekoch, ktoré odpovedajú predom nastavenému časovému kroku. Sleduje sa dynamický vývoj daného deja.

5.2 1D numerické modelovanie

1D numerický model sa používa najčastejšie pre prúdenie v otvorených korytách a v zovretých alebo úzkych územiach. Predpokladá sa, že v prietočnom profile je dostatočná aproximácia s konštantnou rýchlosťou a polohou hladiny.

Jednorozmerný model vychádza z Saint Venatových rovníc o zachovaní hmotnosti a hybnosti.

Pre 1D model sú nutné predpoklady:

- hydrostatické rozdelenie tlaku po zvislici,
- malý sklon dna,
- nestlačiteľné prúdiace médium,
- vektor rýchlosti je nahradený prierezovou rýchlosťou,
- zanedbáva sa zložka zrýchlenia vo vertikálnej rovine,
- aproximácia odporového súčiniteľa pre neustálené prúdenie Chézyho vzťahom.

Používané 1D softwary sú: AquaSea, FloodWorks, MIKE 11, HEC-RAS [16], [7].

5.3 2D numerické modelovanie

2D numerický model sa používa pri príkladoch, kde sú potrebné výsledky s plošným rozdelením rýchlostí a hĺbok na danom požadovanom území.

2D model je na rozdiel od 1D modelu výrazne náročnejší na požadované vstupné dáta, dobu spracovania a taktiež dobu výpočtu.

Najčastejšie využitie 2D modelov je pri rozľahlých inundačných územiach – pri povodniach alebo vyliatí toku z koryta. [7]

Pre 2D modely platia predpoklady:

- hĺbka vody je funkciou $h(x, y, t)$,

- zvislicová rýchlosť vody je funkciou $v_{xs}(x, y, t)$ a $v_{ys}(x, y, t)$.

Počiatkové podmienky v 2D modelovaní

$$v_{xs}(x, y, 0) = v_{xs0}(x, y), \quad (6.3.1)$$

$$v_{ys}(x, y, 0) = v_{ys0}(x, y), \quad (6.3.2)$$

$$h(x, y, 0) = h_0(x, y), \quad (6.3.3)$$

kde dolný index 0 značí rýchlosť alebo hĺbku vody v čase $t = 0$ s.

Okrajové podmienky v 2D modelovaní na hraniciach Γ sú zadané Dirichletovou (index 2) a Neumanovou (index 1) okrajovou podmienkou

$$v_{xs}(x, y, t) = v_{xs}(t) \mid \Gamma_1, \quad (6.3.4)$$

$$v_{ys}(x, y, t) = v_{ys}(t) \mid \Gamma_1, \quad (6.3.5)$$

$$h(x, y, t) = h(t) \mid \Gamma_2. \quad (6.3.6)$$

2D model je definovaný pomocou sústavy troch parciálnych diferenciálnych rovníc, ktoré vychádzajú zo zákona zachovania hmotnosti a zmene hybnosti

$$\frac{\partial H}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(h \cdot v_{xs}) + \frac{\partial}{\partial y}(h \cdot v_{ys}) = 0, \quad (6.3.7)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial(h \cdot v_{xs})}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(h \cdot v_{xs}^2) + \frac{\partial}{\partial y}(h \cdot v_{xs} \cdot v_{ys}) - f \cdot h \cdot v_{ys} + g \cdot h \cdot \frac{\partial a}{\partial x} - \frac{1}{\rho}(\tau_{hx} - \tau_{dx}) - \frac{1}{\rho} \cdot \\ \frac{\partial}{\partial x}(h \cdot T_{xx}) - \frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial}{\partial y}(h \cdot T_{xy}) = 0, \end{aligned} \quad (6.3.8)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial(h \cdot v_{ys})}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(h \cdot v_{ys}^2) + \frac{\partial}{\partial y}(h \cdot v_{xs} \cdot v_{ys}) - f \cdot h \cdot v_{xs} + g \cdot h \cdot \frac{\partial a}{\partial x} - \frac{1}{\rho}(\tau_{hy} - \tau_{dy}) - \frac{1}{\rho} \cdot \\ \frac{\partial}{\partial x}(h \cdot T_{xy}) - \frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial}{\partial y}(h \cdot T_{yy}) = 0, \end{aligned} \quad (6.3.9)$$

$$\tau_{dx} = \rho \cdot C_f \cdot v_{xs} \cdot (v_{xs}^2 + v_{ys}^2)^{1/2}, \quad (6.3.10)$$

$$\tau_{dy} = \rho \cdot C_f \cdot v_{ys} \cdot (v_{xs}^2 + v_{ys}^2)^{1/2}, \quad (6.3.11)$$

$$C_f = \frac{g \cdot n^2}{h^{1/3}}, \quad (6.3.12)$$

$$T_{xx} = 2 \cdot (v + v_t) \cdot \frac{\partial v_x}{\partial x}, \quad (6.3.13)$$

$$T_{xy} = 2 \cdot (v + v_t) \cdot \left(\frac{\partial v_x}{\partial x} + \frac{\partial v_y}{\partial x} \right), \quad (6.3.14)$$

$$T_{yy} = 2 \cdot (v + v_t) \cdot \frac{\partial v_y}{\partial y}, \quad (6.3.15)$$

kde

h je hĺbka vody, t je čas, x, y sú súradnice v súradnej sústave, T je turbulentné napätie, τ je šmykové napätie, f je Coriolisovo číslo, C_f je trecí súčiniteľ, n je súčiniteľ drsnosti, ν je kinematická viskozita, ν_t je turbulentná kinematická viskozita, C_t je súčiniteľ parabolického modelu turbulencie, u_* je trecia rýchlosť, g je gravitačné zrýchlenie

Pre 2D modelovanie sa používajú softwari: SMS – SRH, Hydrus – 2D, HEC – RAS 2D, RIVERFLOW 2D, Flowsquare [16].

V mojej práci som sa rozhodol pre software SMS – SRH, a to z dôvodu jeho vhodnosti použitia (modelovanie nielen v toku koryta ale aj v inundačnom území) a jeho dostupnosti.

6 Popis modelu

6.1 Použité podklady

Pre prípravu modelu boli použité nasledujúce podklady:

- Priečny a pozdĺžny profil vodného toku Svratka (Povodí Moravy, s.p.).
- Digitálny model reliéfu 5 generácie (ČZÚK).
- Hydrologické dáta (ČHMÚ, Zachoval – simulačný výpočet).
- Ortofoto mapa záujmového územia (ČZÚK).
- ZM10 záujmového územia (ČZÚK).

6.2 Rozsah modelu

Horná okrajová podmienka na toku Svratka bola zvolená pod sútokom Svratky s tokom Bobrava, prítokom z ľavého inundačného územia, prítokom toku Dunávka a Litava. Dolná okrajová podmienka bola zvolená na toku Svratka v mieste limnigrafickej stanice v Židlochoviciach a na južnej strane záujmového územia kopírujúca cestu 41619 (obrázok 10).

Rozsah modelu bol stanovený taktiež na základe mapy rozlivu Q_{100} (obrázok 5).

6.3 Schematizácia modelu

Prúdenie v inundačnom území a v tokoch Svratka, Dunávka a Litava bolo riešené 2D numerickým modelovaním. Bola vytvorená štruktúrovaná aj neštruktúrovaná sieť na základe polygónov. Polygóny a ich hranice boli zvolené aby kopírovali terén. Hranice polygónov pre určenie drsností boli zjednodušené a za podklad sa používali ortofoto mapy a OpenStreetMap. Neprietočné plochy neboli v sieti zahrnuté, ide o domy, piliere mostov a rozdeľovací pilier na hati.

Prúdenie mostami bolo počítané štruktúrovanou sieťou. Boli zohľadnené piliere mostov, zaviazanie mostov do terénu, prípadné prelievanie mostovky – v sieti boli zadané dolné hrany úrovne mostovky.

Riešené stavy:

- Súčasný stav (SS).
- Návrhový stav 1 (NS1).
- Návrhový stav 2 (NS2).

Výpočtová sieť bola pre každý stav jedinečná. Siete NS1 a NS2 sa od siete SS líšili pridaním navrhutej hrádze ako neprietočnej plochy.

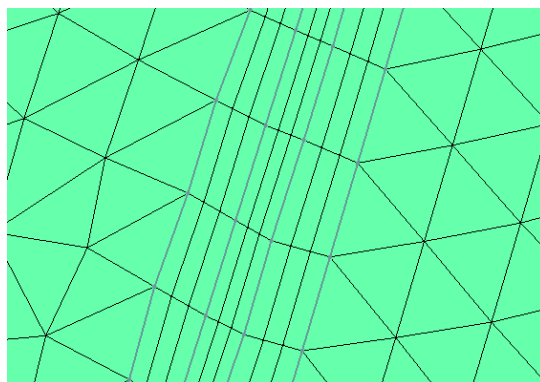
Pre NS1 aj NS2 boli vytvorené 3 varianty siete, jediným rozdielom v sieti bolo iné vymodelovanie vtokového objektu – dĺžka prelivnej hrany.

Celkový počet prvkov v sieťach bol približne 143 000.

Model terénu je zložený z polygónov. Tieto polygóny boli rozdelené na základe typu plochy – podľa topografie, vegetácie a drsnosti danej plochy.

Výpočtová oblasť (sieť) je tvorená elementami štvoruholníkového tvaru (koryto, svahy hrádze a koryta, líniové stavby) a trojuholníkového tvaru (zvyšné plocha – orná pôda, priestranstvá).

Presnosť simulácie sa odvíja od počtu jednotlivých elementov, veľkosti jednotlivých elementov a popisu vlastností jednotlivých elementov.



Obrázok 8 Trojuholníkové a štvoruholníkové prvky výpočtovej siete

6.4 Drsnosť povrchu terénu

V záplavovom území – v extraviláne aj v intraviláne sa podľa mapových podkladov (ortofoto mapa, mapa ZM10 a OpenStreetMap [11]) každému príslušnému územiu priradil súčiniteľ drsnosti n . Pre jednotlivé územia a materiály existuje tabuľka (Tabuľka 5) s doporučenými súčiniteľmi drsnosti, stanovená na základe predošlých meraní a skúseností, ktoré majú rozsah v závislosti na konkrétnom type. Pri stanovení hodnoty súčiniteľa drsnosti som si koryto toku rozdelil na viaceré úseky podľa typu koryta a priradil súčiniteľ podľa typu koryta a stavu zachovania koryta.

Tabuľka 5 Súčinitele drsností

Typ povrchu	Maninngov súčiniteľ drsnosti n [15]	Zvolený Maninngov súčiniteľ drsnosti n
koryto dno	0.035-0.05	0.048-0.56
koryto svah	0.03-0.5	0.15
les	0.1-0.16	0.12
lúka/pole	0.025-0.045	0.1
jez	0.035	0.035
cesta	0.035-0.04	0.035
voda	0.05	0.05
cesta - krajnica	0.1	0.1
zástavba	0.15	0.15
zastavaná plocha - nepriepustné	1	1
hrádzka - koruna	0.1	0.1
hrádzka - svah	0.02	0.02



Obrázok 9 Typy drsností povrchu

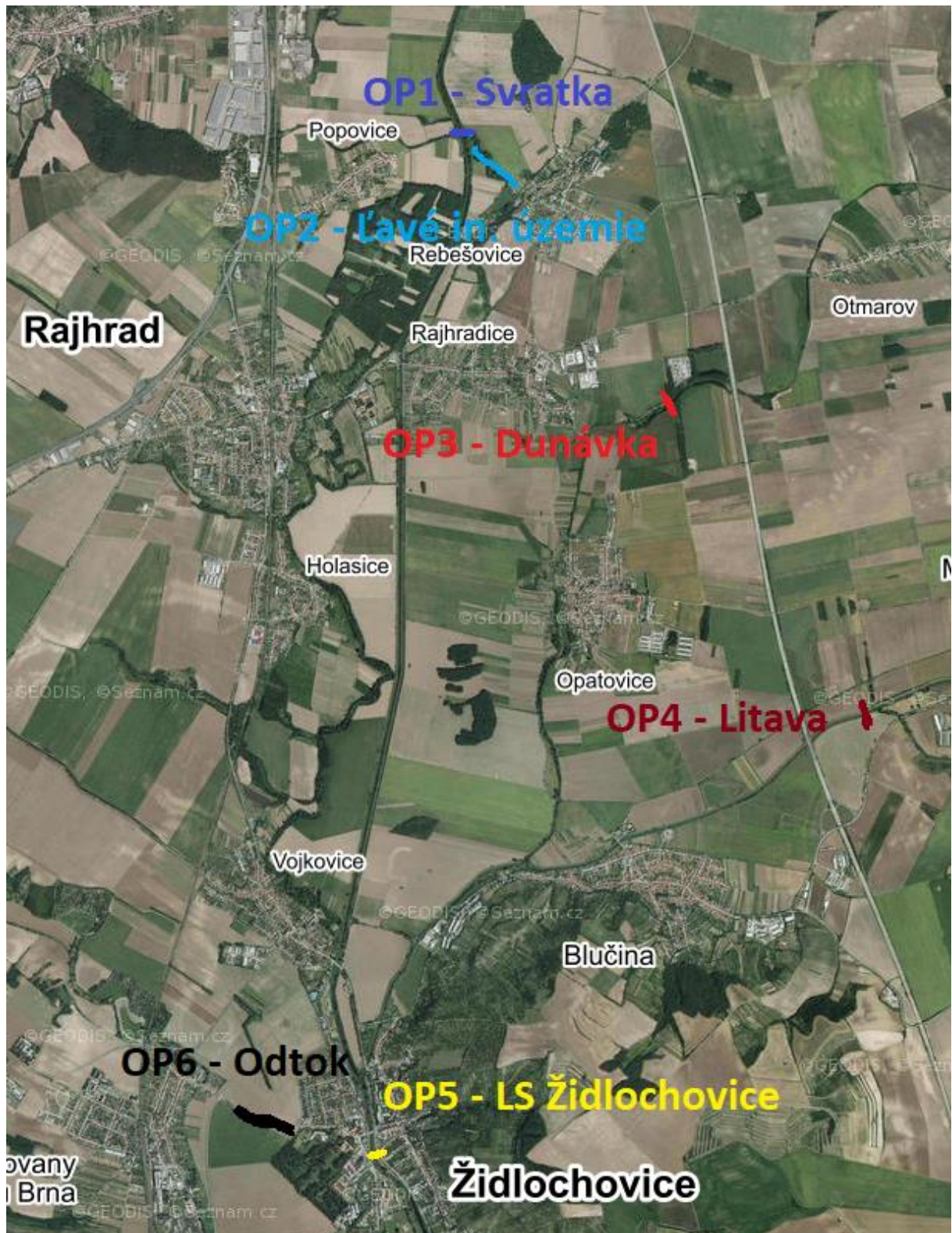
6.5 Podmienky jednoznačnosti

Počiatkové podmienky

Počiatková podmienka (PP) bola suché záujmové územie. V čase $t = 0$ hod sú známe funkcie zvislicových rýchlostí v_{xs} a v_{ys} a hĺbka h_0 . Všetky tieto funkcie sú rovné na začiatku simulácie nule.

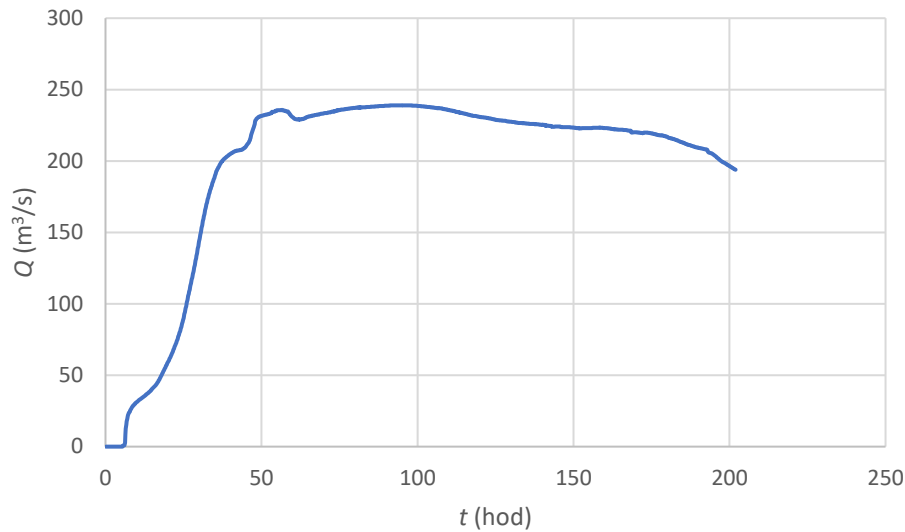
Okrajové podmienky

Pred výpočtom boli zadané horné a dolné okrajové podmienky (OP). Horné okrajové podmienky sú zadané ako podkritický prítok Q . Prítok Q bol zadaný v závislosti na čase. Funkcia $Q(t)$ je zadaná pre známe profily Svratky, ľavého inundačného územia, Dunávka a Litava.



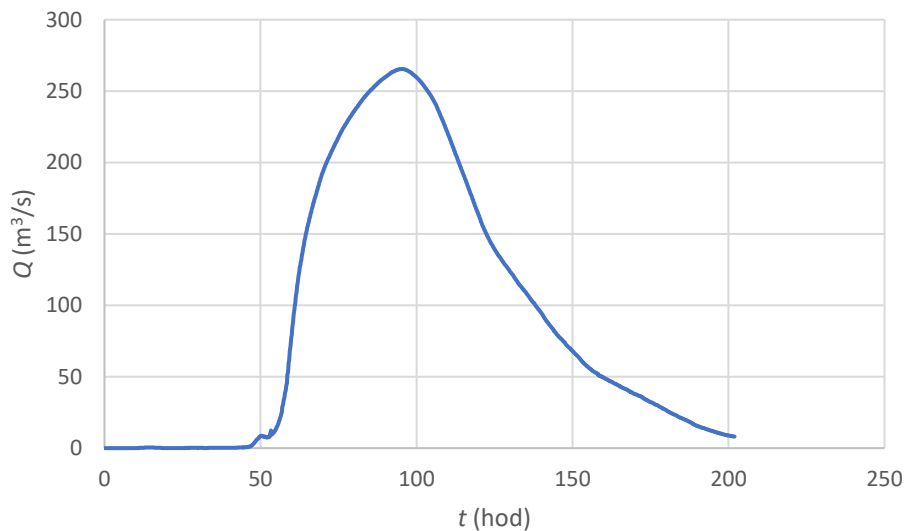
Obrázok 10 Okrajové podmienky

Horná okrajová podmienka pre Svratku (Graf 1) sa nachádza tesne pod sútokom Svratky a Bobravy (Obrázok 10 – OP1).



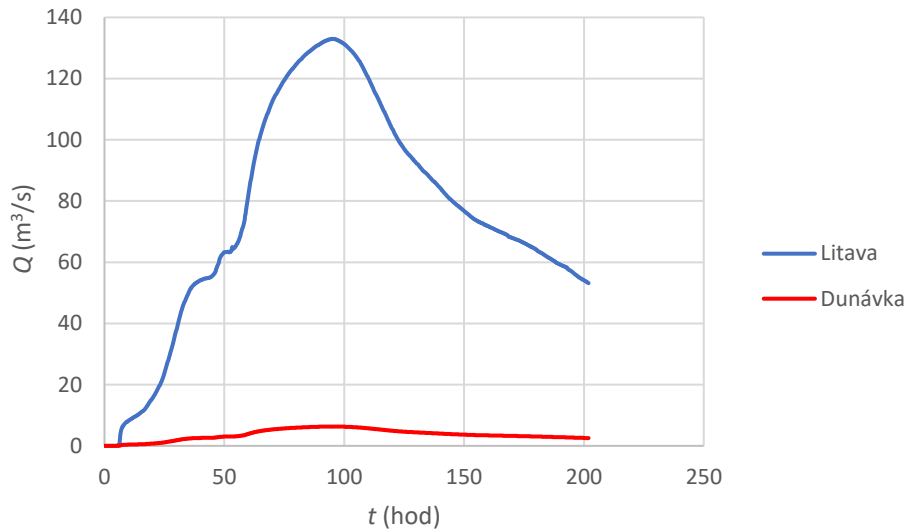
Graf 1 Okrajová podmienka, PV_{100} – koryto Svratky

Horná okrajová podmienka pre ľavé inundačné územie (Graf 2), z ktorého priteká povodňová vlna do záujmového územia, sa nachádza v oblasti sútoku Svratky a Bobravy a pretína Ivanovický potok (Obrázok 10 – OP2).



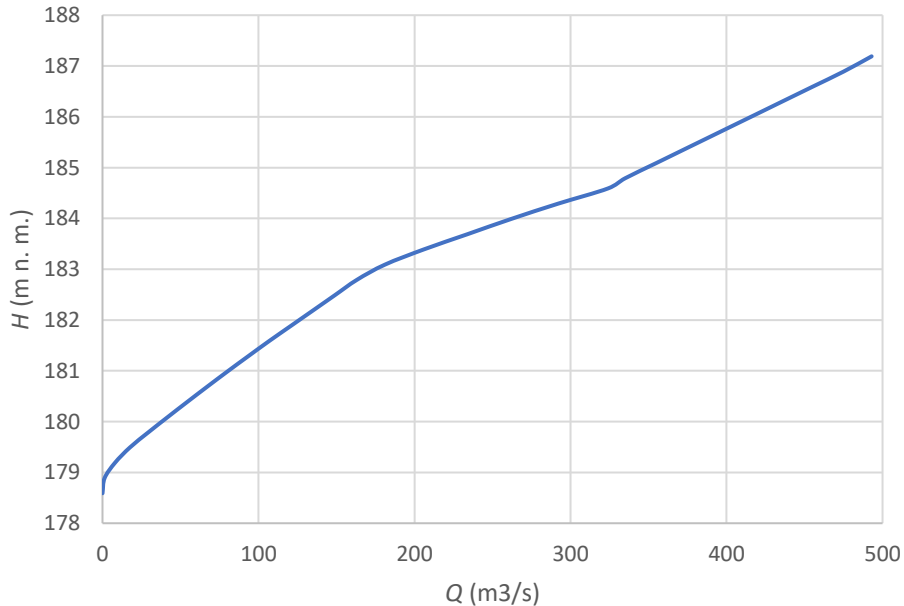
Graf 2 Okrajová podmienka, PV_{100} - Ľavé inundačné územie

Horné okrajové podmienky pre Dunávku a Litavu (Graf 3) boli zadané v mieste kríženia s komunikáciou E63 (Obrázok 10– OP3 a OP4). Krivky prietokov Litavy a Dunávky boli vypočítané na základe porovnania maximálneho prítoku Svratky. Maximálny prítok Svratky bol prenasobený súčiniteľom $C_{Dunávka}$ a C_{Litava} tak, aby krivky prítoku Dunávky a Litavy kopírovali tvar krivky Svratky a dosiahli pri kulminácii požadovaného prietoku (Q_{100} daného toku).



Graf 3 Okrajová podmienka, PV100 - Dunávka a Litava

Prvá dolná okrajová podmienka (Graf 4) bola stanovená v mieste limnigrafickej stanice v Židlochoviciach (Obrázok 10 – OP5). Ide o podkritické prúdenie. Bola zadaná ako závislosť medzi úrovňou hladiny a prietokom.



Graf 4 Okrajová podmienka, LS Židlochovice

Druhá dolná okrajová podmienka bola zadaná na západ od obce Židlochovice a kopíruje trasu cesty 41619 (Obrázok 10 – OP6). Ide o podkritické prúdenie. Bola zadaná pomocou konštantnej nadmorskej výšky 181,00 m n. m. úrovne hladiny pri odtoku.

6.6 Časový krok simulácie

Pri simulácii sa zadáva počiatočný čas, konečný čas a časový krok výpočtu. Časový krok výpočtu je závislý na veľkosti elementov vo výpočtovej sieti.

Časový krok simulácie d_t bol zvolený na základe stability výpočtu – splnenie Courantovho kritéria. Za vhodný časový krok d_t bol zvolený interval 5 s. Za počiatočný čas bol zvolený čas $t_0 = 0$ hod. Konečný čas $t_k = 202$ hod. Celková doba simulácie bola 202 hod. Doba simulácie bola zvolená na základe zadaných prítokov to Svratky a ľavého inundačného územia, dlhší nebola k dispozícii

6.7 Kalibrácia modelu

Kalibrácia modelu bola prevedená pre prietok Q_5 v toku Svratka.

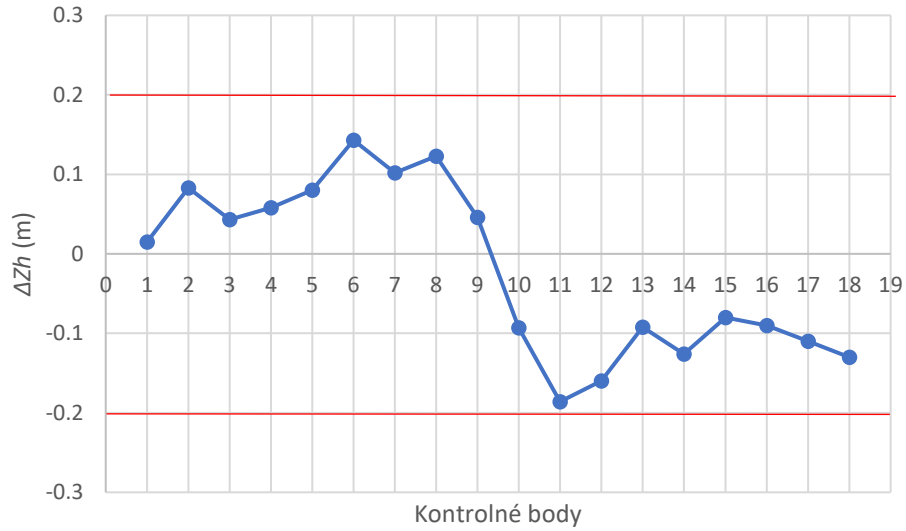
Na kalibráciu bolo použitých 18 kontrolných bodov (Obrázok 11), umiestnených v koryte toku Svratka. Hodnoty úrovne hladiny v kontrolných bodoch boli prevzaté v 1D modeli Povodia Moravy, s.p.



Obrázok 11 Umiestnenie kalibračných bodov

Cieľom kalibrácie bolo dosiahnuť čo najzhodnejšie výsledky medzi numerickým modelovaním a poskytnutými hodnotami (Graf 5), lebo neexistujú merané dáta. Kalibrovanie sa uskutočňovalo úpravou súčiniteľov drsností v koryte toku.

Snahou je dosiahnuť čo najmenšie odchýlky medzi úrovňami hladín medzi modelom a kontrolným podkladom. Ako prípustná odchýlka rozdielu hladín bola zvolená $\Delta Z_h = \pm 0,2$ m.



Graf 5 Odchýlky pri kalibrácii

Počas kalibrácie boli menené súčinitele drsností n a diskretizácia záujmovej oblasti až po dosiahnutie prijateľných odchýlok.

7 Postup riešenia

Pri riešení diplomovej práce bol použitý program SMS – SRH a AutoCAD.

7.1 Práca v programe AutoCAD

V programe AutoCAD bola vytvorená situácia navrhutej suchej nádrže, ktorá bola neskôr pripojená a použitá ako podklad v programe SMS - SRH.

Výstupom z programu AutoCAD sú výkresy situácie navrhutej suchej nádrže varianty I a II, vzorový priečny rez suchej nádrže, výkres bezpečnostného prelivu a výkres výtokového objektu.

7.2 Práca v programe SMS - SRH

V programe SMS – SRH som využil hydraulický model SRH-2D. Tento typ modelu umožňuje 2D simuláciu v tokoch a aj v inundačných územiach. Software SMS – SRH využíva výpočet pomocou metódy konečných objemov.

Výstupom u programu SMS – SRH sú mapy, ktoré obsahujú hĺbku vody, úroveň hladiny vody a zvislicovú rýchlosť pre súčasný stav, variantu I a II.

Postup práce:

1. Pripojenie všetkých dostupných podkladov.
2. Vytvorenie digitálneho modelu terénu.
3. Vytvorenie polygónov v záujmovom území podľa typológie povrchu.
4. Vytvorenie výpočtovej siete a potrebné zahustenie.
5. Stanovenie a zadanie OP.
6. Stanovenie a zadanie PP.
7. Stanovenie Manningovho súčiniteľa n pre rôzne povrchy v záujmovom území podľa už predom vytvorených polygónov.
8. Kalibrácia modelu pomocou zmeny súčiniteľa trenia.
9. Simulácia pre súčasný stav.
10. Pridanie navrhutej suchej nádrže Blučina do programu SRH a upravenie geometrie výpočtovej siete pre variantu I a II.
11. Výpočet návrhových stavov I a II.
12. Spracovanie, interpretácia a porovnanie výsledkov v podobe máp a grafov.

8 Súčasný stav

Popis súčasného stavu

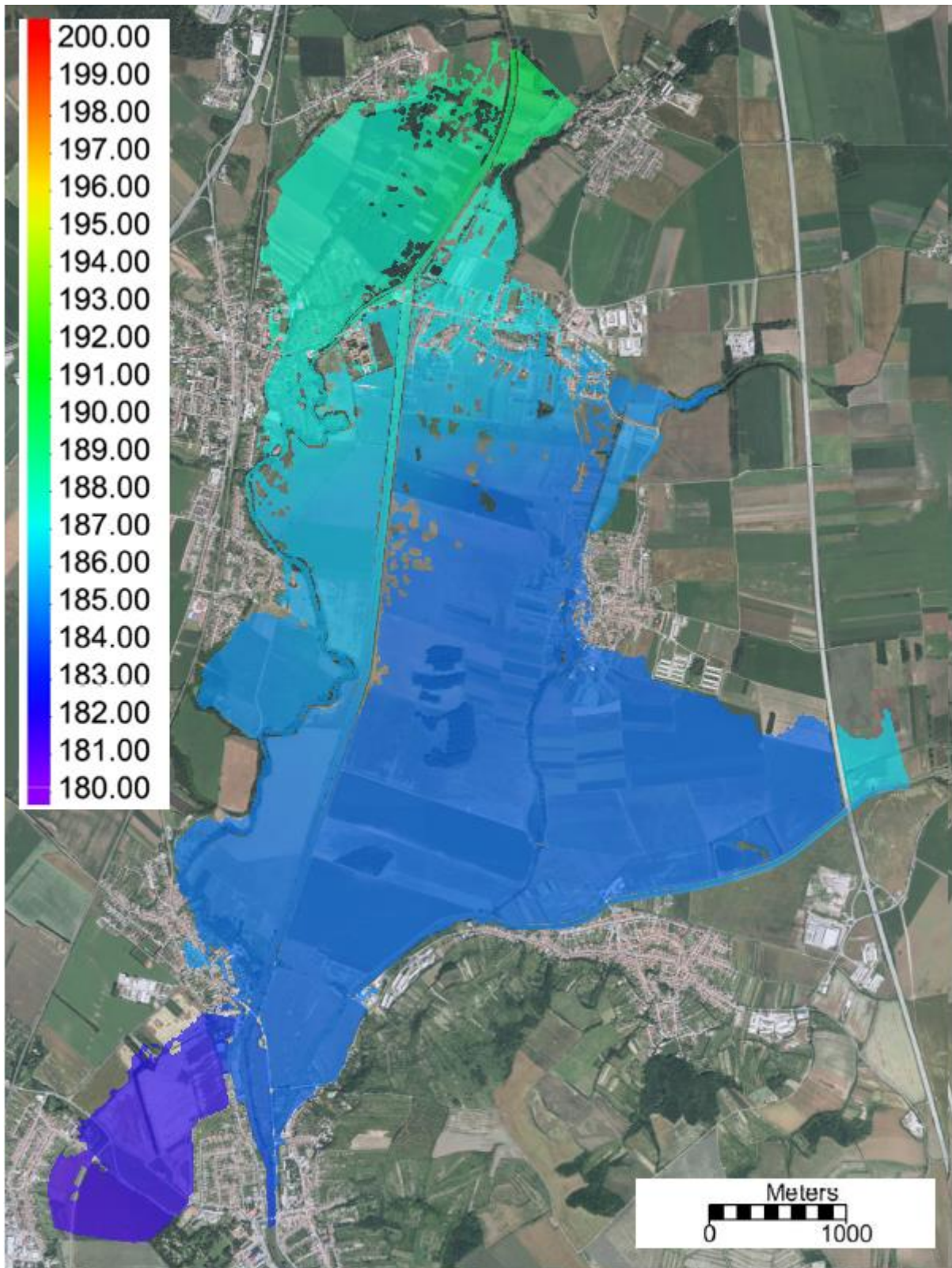
Ide o stav, pre ktorý bol zvolený prietokový stav Q_{100} z toku Svratka, ľavého inundačného územia, toku Dunávka a Litava (kapitola 7.7 – Podmienky jednoznačnosti). Jedná sa o najhorší možný stav, kedy sa stretnú storočné prietoky.

Výsledky

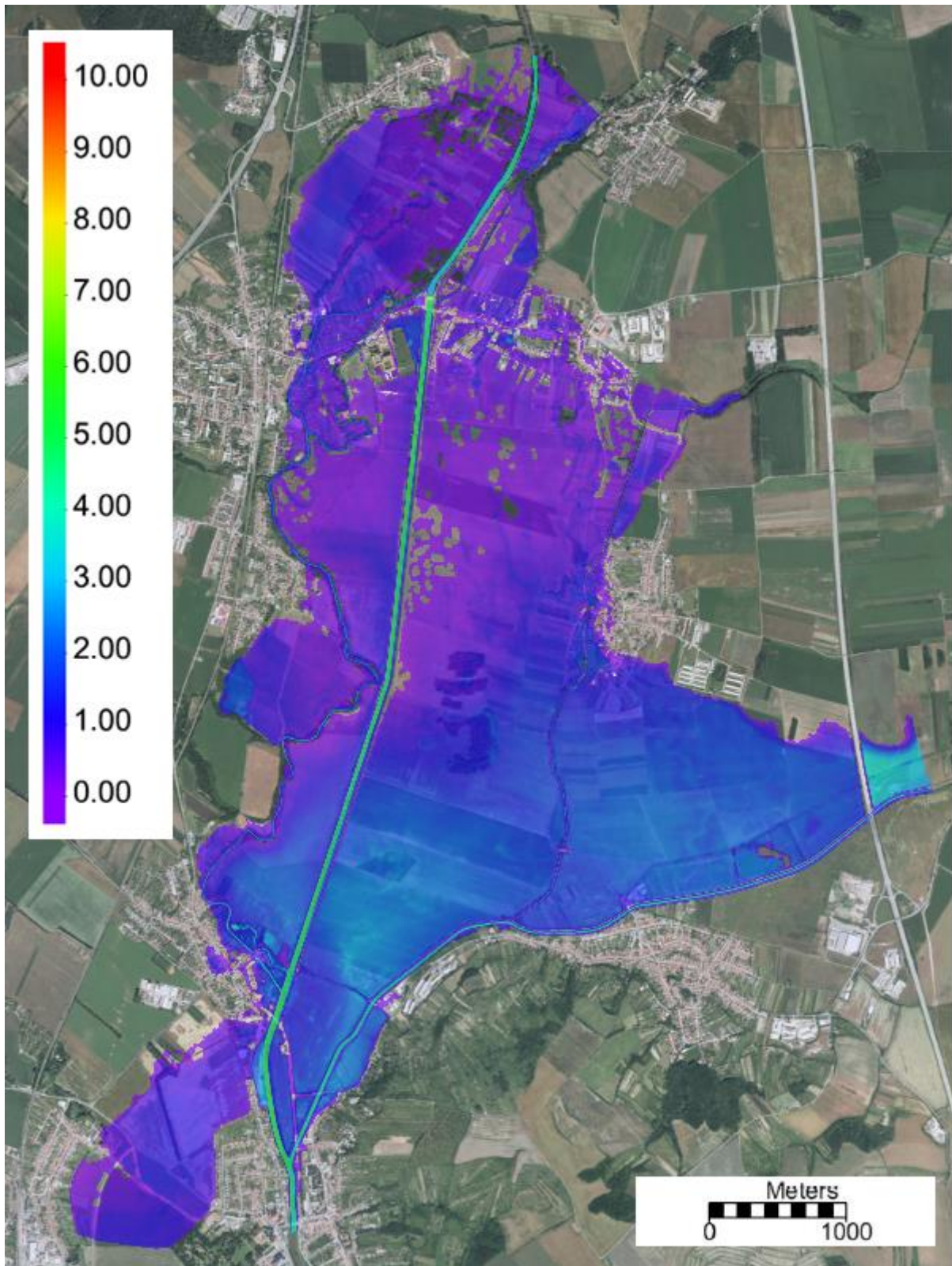
Voda do oblasti priteká zo severnej a východnej strany. Prekážkami v prúde sú prevažne násypy hrádzí toku, násypy komunikácií a budovy. Na toku Svratka sa nachádza hať Rajhrad, hať vzdúva vodu relatívne málo a ide o nedokonalý prepad.

V pravom inundačnom území Svratky dochádza k rozlivu, ktorý vzdúvajú násypy komunikácií a hať Rajhrad. Voda ďalej tečie a prepadá cez násypy až po obec Holasice, kde následne prepadá cez Vojkovický náhon. Voda je následne vzdúvaná až po protipovodňová opatrení (PPO) Židlochovic. Následne časť vody odteká naspäť do Svratky a väčšie množstvo odteká územím medzi obcami Židlochovice a Hrušovany u Brna (Obrázok 1211).

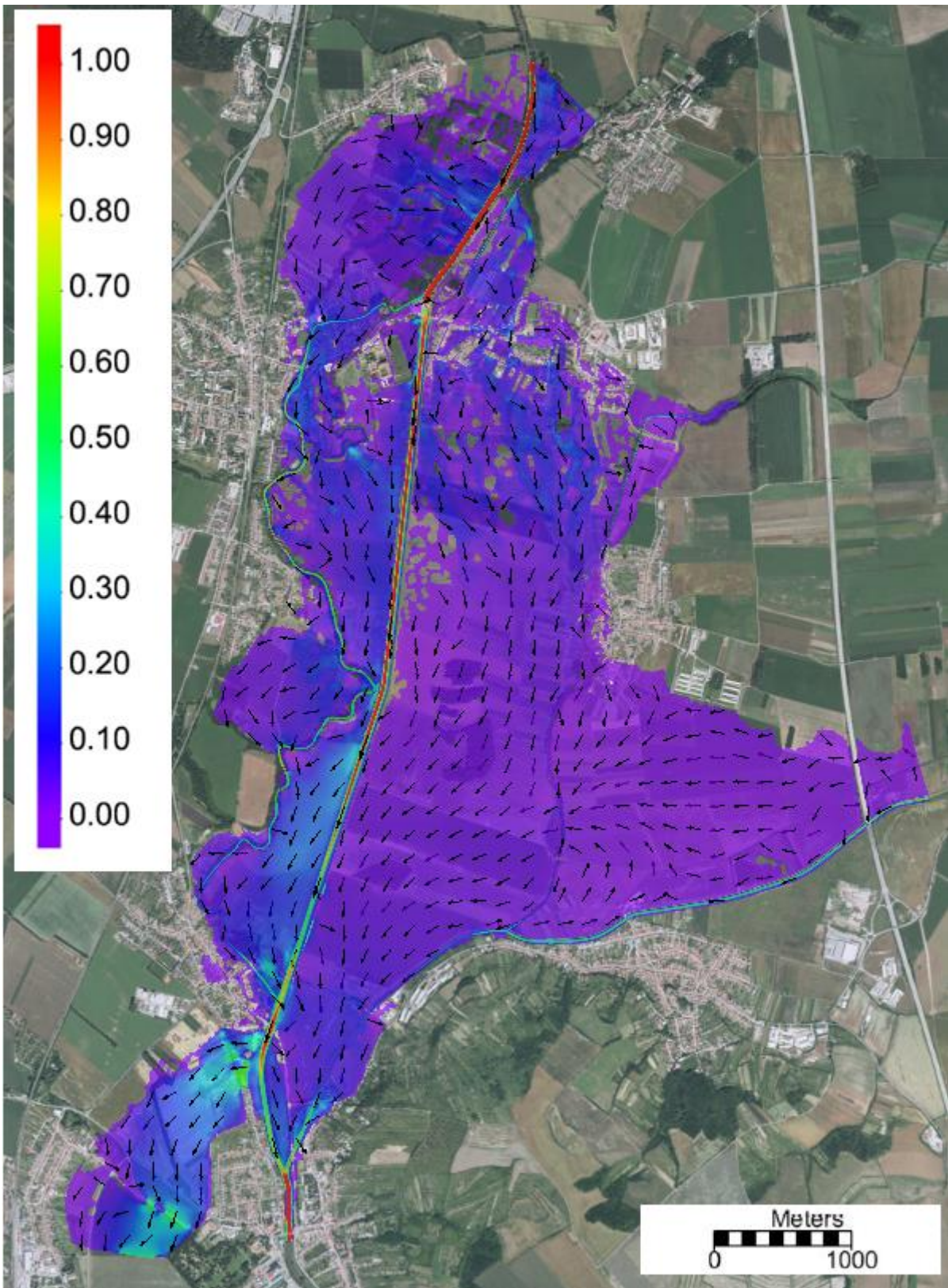
V ľavom inundačnom území je hladina vody vzdúvaná hrádzami Ivanovického potoka. Voda následne preteká obcou Rajhradice. Tok vody je oddelený od Svratky už jestvujúcou ochrannou hrádzou. Ďalej je voda vzdúvaná násypmi komunikácií a ochrannou hrádzou Litavy. Voda nezasahuje do obce Blučina, ale čiastočne zasahuje do obce Židlochovice. Rozliv je ukončený sútokom Svratky a Litavy (Obrázok 1211).



Obrázok 12 SS, Q_{100} , úroveň hladiny Z_h (m n. m.)

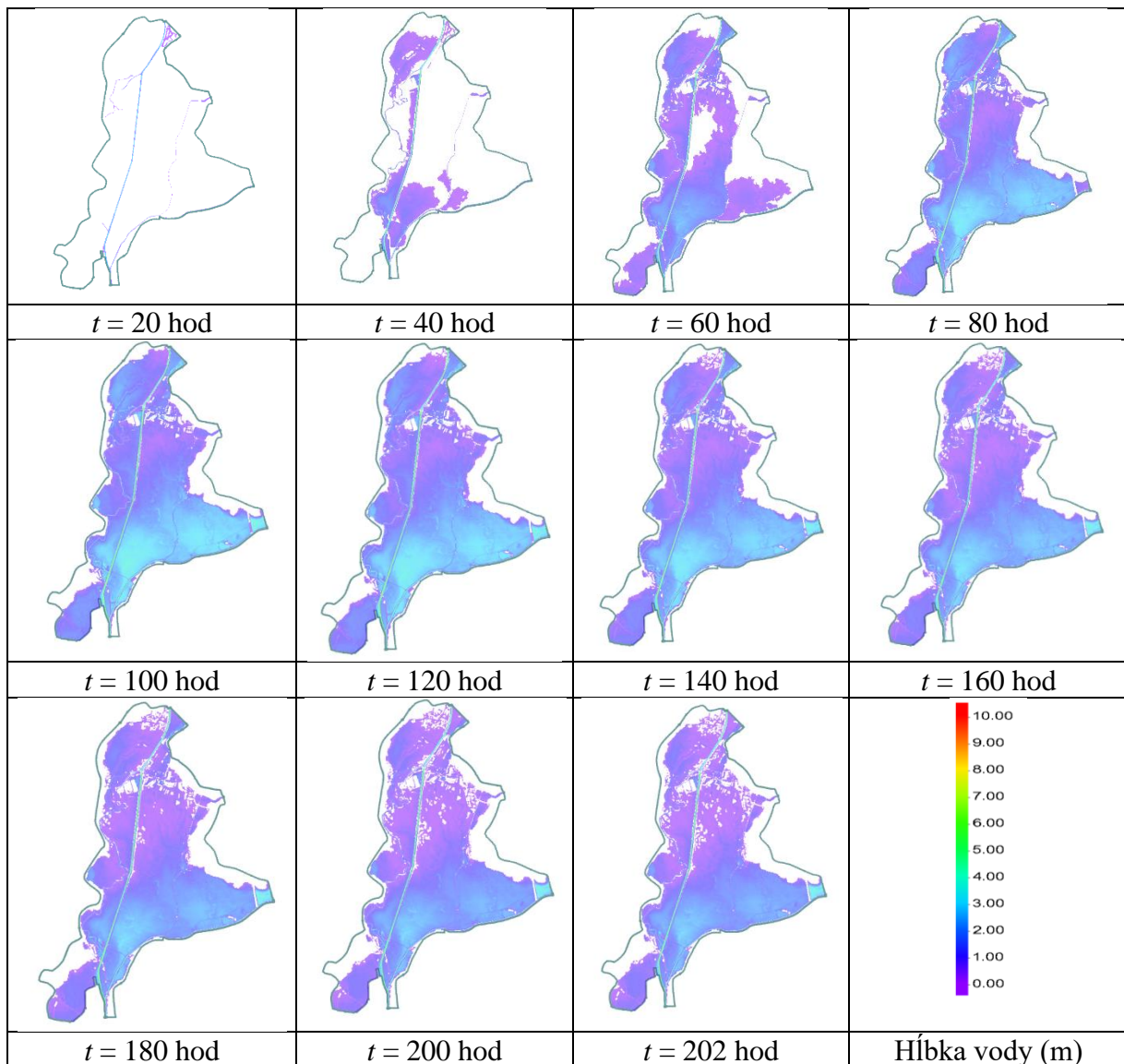


Obrázok 13 SS, Q_{100} , hĺbka vody h (m)

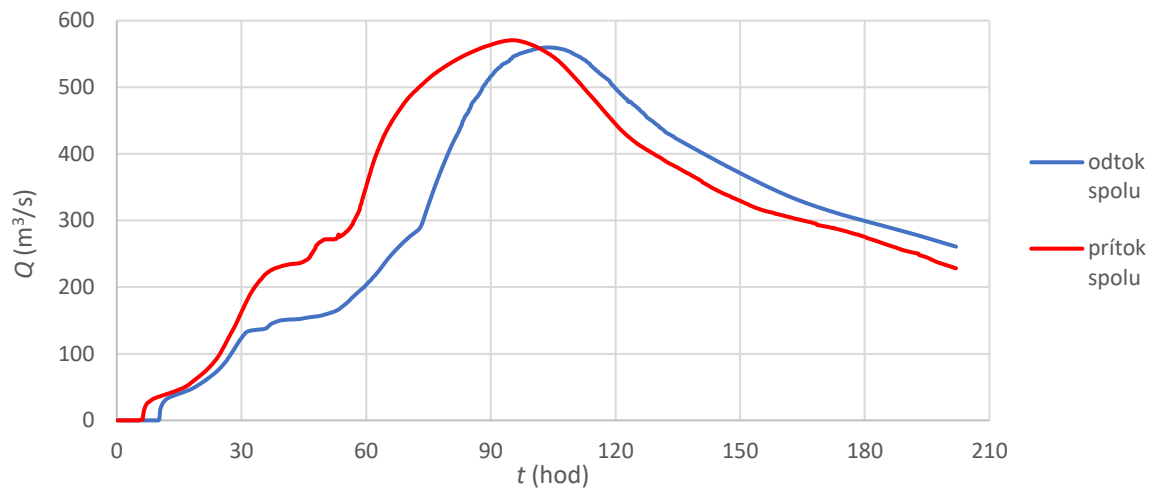


Obrázok 14 SS, Q_{100} , zvislicová rýchlosť (m/s)

Tabuľka 6 Mapa rozlivov v jednotlivých časových krokoch simulácie SS



Transformačná schopnosť záujmového územia je veľmi malá (Graf 6). Maximálny celkový prítok do územia je $570 \text{ m}^3/\text{s}$ v čase $t = 98 \text{ hod}$. Územie je schopné tento prítok transformovať na prítok $559 \text{ m}^3/\text{s}$ v čase $t = 116 \text{ hod}$. Najväčší rozdiel prítokov je $11 \text{ m}^3/\text{s}$ s časovým oneskorením 11 hod.



Graf 6 Transformačná schopnosť územia – SS

Takáto transformácia je relatívne malá, preto sa prišlo k návrhu suchej nádrže v tejto oblasti. Nakoľko pri PV_{100} dôjde k zaplaveniu zastavaných plôch a iných území, ktoré by sa nemali zaplavovať.

9 Návrhový stav – Varianta I

Popis varianty I

Varianta I bude využívať k zachyteniu povodňovej vlny plochu využívanej prevažne ako poľnohospodárska plocha o výmere 4,029645 mil. m².

Hrádza je navrhnutá lichobežníkového tvaru so šírkou koruny 3,5 m. Sklon návodného aj vzdušného líca je 1:3. Úroveň koruny hrádze je zadaná po celej trase v úrovni 187,80 m n. m. Ako povrchová úprava zemnej hrádze je navrhnuté ohumusovanie a zatrávenie. Zemná hrádza je navrhnutá ako pojazdná.

Na hrádzi pod Rajhradcami je navrhnutý nápusťný objekt. Ide o bočný preliv o troch skúšaných dĺžkach 200 m, 220 m a 240 m. Šírka prelivnej koruny je 3,5 m. Sklon návodnej aj vzdušnej strany prelivu je 1:3. Sklon zaviazania do hrádze je 1:6. Úroveň koruny prelivu je vo výške 186,60 m n. m., ktorá odpovedá úrovni hladiny vody v koryte pri Q_{20} . Je navrhnuté opevnenie prelivu pomocou kamennej dlažby.

Výpusťný objekt je navrhnutý ako tabuľové uzávery, plne manipulovateľné. Výpusťný objekt sa nachádza v hrádzi pri sútoku Svratky a Litavi pri obci Židlochovice.

Bezpečnostný preliv sa nachádza taktiež pri sútoku Svratky a Litavi pri obci Židlochovice. Koruna bezpečnostného prelivu sa nachádza vo výške 187,30 m n. m. Výška koruny bezpečnostného prelivu je daná podľa normy, a to tak že výška musí byť minimálne 0,05 m nižšia ako výška koruny hrádze.

Výpusťný objekt aj bezpečnostný preliv sú zaústené do novo vybudovaného koryta napojeného do toku Svratka.

Suchá nádrž Blučina križuje viaceré poľné cesty. Tieto prechody sú riešené rampami, ktoré sa zaväzujú do hrádze.

Celková dĺžka hrádze je 10,98 km. Niveleta koruny je vo výške 187,80 m n. m. Výška hrádze je v rozmedzí 2,5 – 5,5 m.

Hrádza začína približne 350 m južne pod obcou Rajhradice. Na začiatku sa nachádza nápusťný objekt dlhý v rozmedzí 252,20 – 292,20m v závislosti na dĺžke prelivnej hrany nápusťného objektu (200 – 240m prelivná hrana + 2 krát zaviazanie do hrádze v sklone 1:6 dlhé 27,6 m). Následne hrádza kopíruje koryto toku Svratka a to v dĺžke približne 3,8 km, v tomto úseku hrádza prechádza cez dve poľné cesty, ktoré boli napojené na poľnú cestu umiestnenú vedľa Svratky. Tieto poľné križovatky budú zrušené. Hrádza v tomto mieste križuje miestnu komunikáciu. Prechod je zabezpečený vybudovaním rampy. Hrádza ďalej kopíruje tok Svratky a to v dĺžke 380 m. Následne hrádza kopíruje komunikáciu 425 v dĺžke 200 m až po čerpaciu stanicu EurOil. V tomto mieste sa začína hrádza zatáčať smerom na severo východ. V tomto mieste sa nachádza bezpečnostný preliv s výpusťným objektom (združený objekt). Osa hrádze začína kopírovať tok Litava a to v dĺžke približne 500 m, kde sa nachádza ďalšie križenie s miestnou komunikáciou. Toto križenie je taktiež riešené pomocou rampy. Ďalej hrádza kopíruje Litavu a to v dĺžke 1,05 km až po sútok Litavy a Dunávky, kde sa nachádza ďalšie križenie s poľnou cestou, ktoré bude zachované a zriadené pomocou výstavby rampy. Následne hrádza kopíruje komunikáciu 41614 po dĺžke 2,3 km až po obec Opatovice, ktorú z západnej

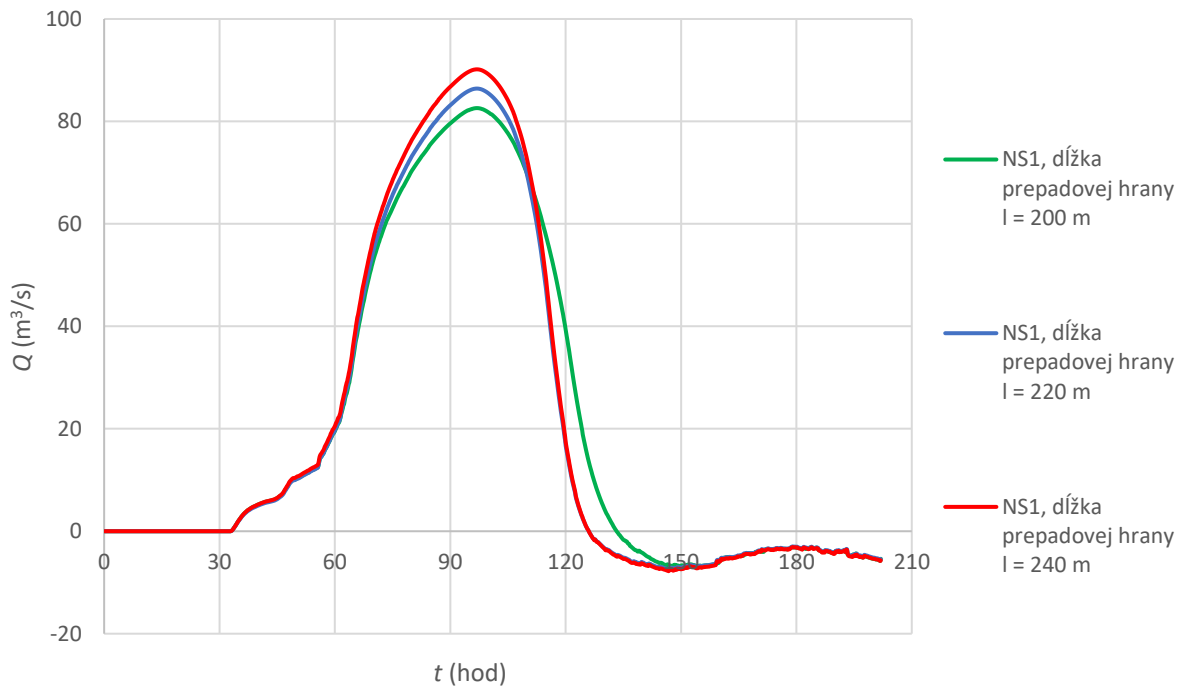
strany zahradí. Hrádza ďalej kopíruje poľnú cestu smerom na sever necelých 300 m pod Rajhradice. Nakoniec sa hrádza zatočí smerom na západ až po náпустný objekt.

Taktiež bude vybudovaná hrádza, ktorá bude začínať pri obci Rebešovice, následne bude križovať Ivanovický potok, na toto kríženie budú umiestnené manipulovateľné uzávery, ktoré budú za normálnych podmienok plne otvorené. Následne sa hrádza napojí na ľavostrannú hrádzu Svratky. Táto hrádza pokračuje až po suchú nádrž Blučina. Miesto zaviazania je pod obcou Rajhradice pri náпустnom objekte.

V celom návrhu sa berie ohľad na možnú výstavbu obchvatu Blučina. V miestach plánovanej trasy sa nenachádzajú žiadne PPO ani sa z týmto územím nepočíta ako so zaplavenou oblasťou pri povodni.

Výsledky

Porovnanie troch variant návrhu hrádze s totožnou trasou a výškou koruny, ale s troma rôznymi dĺžkami prelivu náпустného objektu je uvedené v Graf 77. Dĺžky prelivnej hrany som zvolil 200 m, 220 m a 240 m.

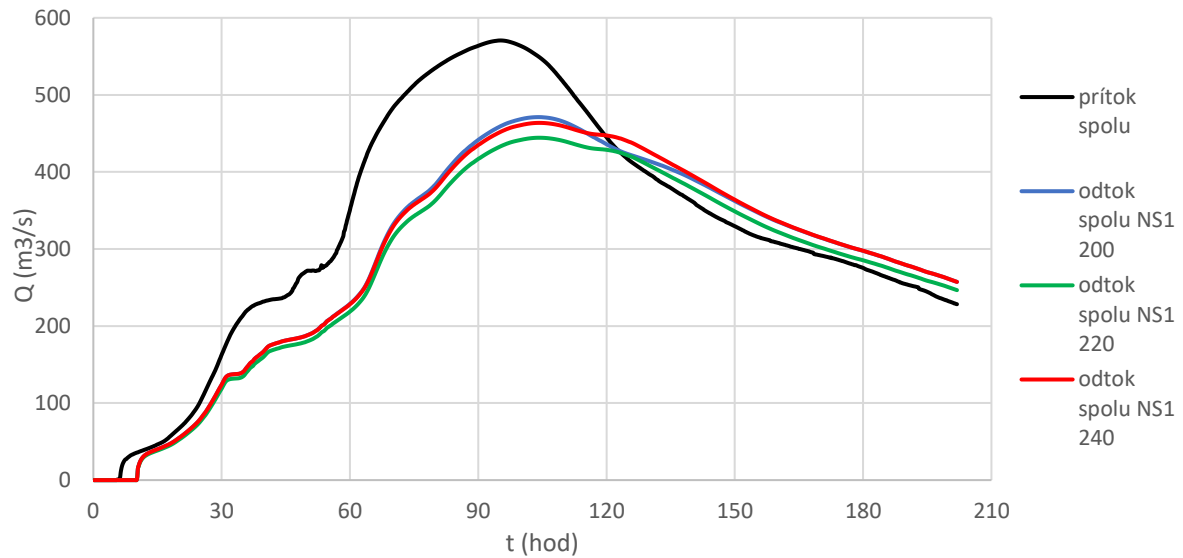


Graf 7 NS1, Porovnanie prietokov pri rôznych dĺžkach prelivnej hrany.

Náпустný objekt s prelivnou hranou dĺžky 200 m – zadržané množstvo vody v navrhnutom poldri je menšie ako s dĺžkou prelivnej hrany 220 a 240 m, ale nie je nutné v južnej časti poldru už navyšovať jestvujúcu ochrannú hrádzu Svratky.

Maximálny prietok cez prelivnú hranu pri rôznych dĺžkach prelivnej hrany náпустného objektu je:

- $L = 200$ m $Q = 82,60$ m³/s
- $L = 220$ m $Q = 86,42$ m³/s
- $L = 240$ m $Q = 90,17$ m³/s



Graf 8 NS1, Porovnanie transformačnej schopnosti poldru pri rôznych dĺžkach prelivnej hrany napúšťacieho objektu

Maximálny odtok pri rôznych dĺžkach prelivnej hrany nápuštného objektu je:

- $L = 200 \text{ m}$ $Q = 471,11 \text{ m}^3/\text{s}$
- $L = 220 \text{ m}$ $Q = 444,34 \text{ m}^3/\text{s}$
- $L = 240 \text{ m}$ $Q = 463,63 \text{ m}^3/\text{s}$

Objem zadržanej vody v poldri pri rôznych dĺžkach prelivnej hrany nápuštného objektu:

- $L = 200 \text{ m}$ $V = 14,322 \text{ mil. m}^3$
- $L = 220 \text{ m}$ $V = 14,396 \text{ mil. m}^3$
- $L = 240 \text{ m}$ $V = 14,428 \text{ mil. m}^3$

Maximálna hĺbka vody v poldri pri rôznych dĺžkach prelivnej hrany nápuštného objektu:

- $L = 200 \text{ m}$ $h = 5,48 \text{ m}$
- $L = 220 \text{ m}$ $h = 5,51 \text{ m}$
- $L = 240 \text{ m}$ $h = 5,55 \text{ m}$

Z grafu 7 je vidno že hladina medzi Svratkou a vodou v navrhnujej nádrži sa vyrovná v čase t pri rôznych dĺžkach prelivnej hrany nápuštného objektu:

- $L = 200 \text{ m}$ $t = 131 \text{ hod}$
- $L = 220 \text{ m}$ $t = 128 \text{ hod}$
- $L = 240 \text{ m}$ $t = 127 \text{ hod}$

Množstvo prepadnutej vody naspäť do koryta Svratky pri rôznych dĺžkach prelivnej hrany nápuštného objektu:

- $L = 200 \text{ m}$ $Q = 6,87 \text{ m}^3/\text{s}$

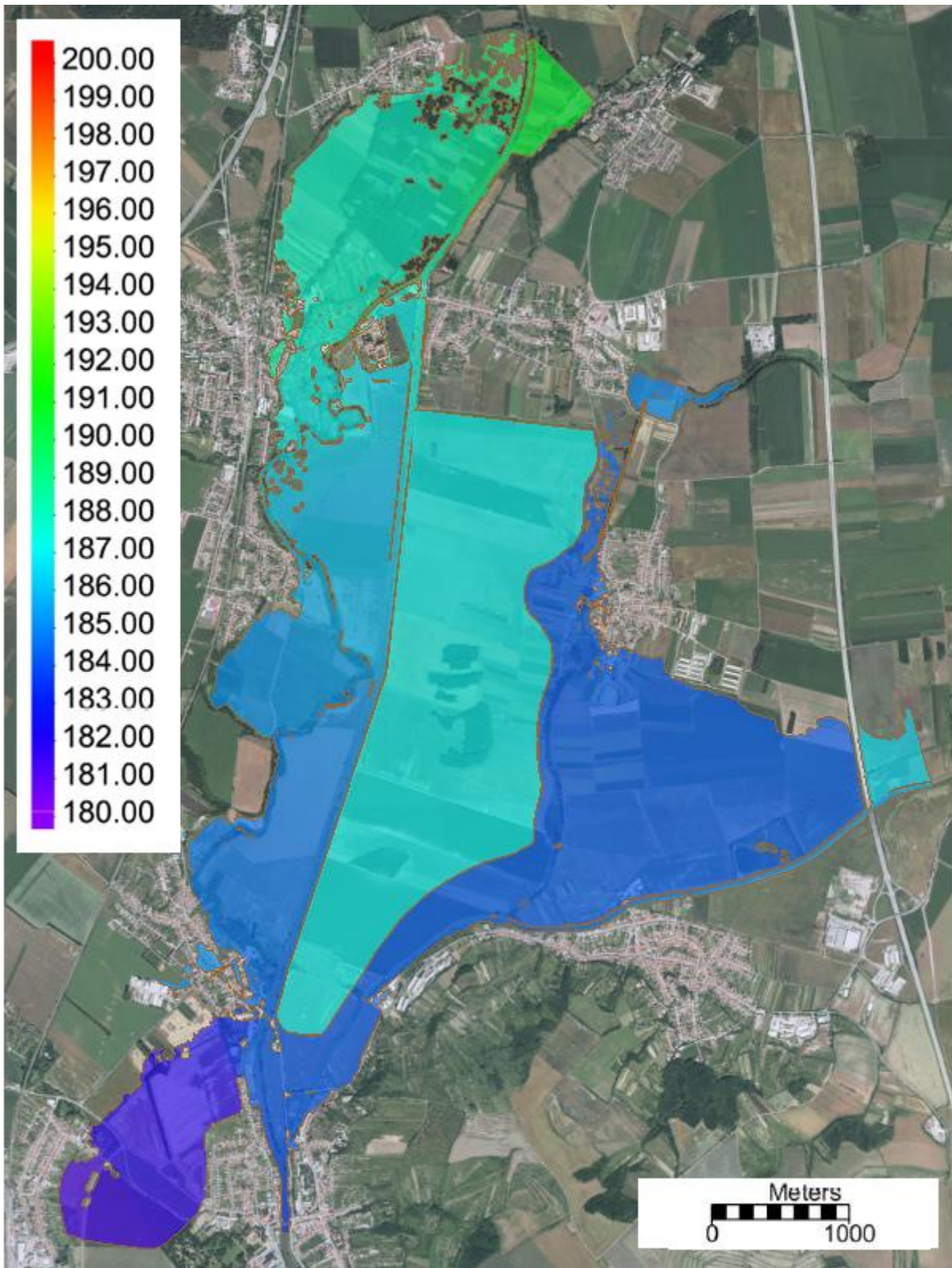
- $L = 220$ m
- $L = 240$ m

$$Q = 7,46 \text{ m}^3/\text{s}$$

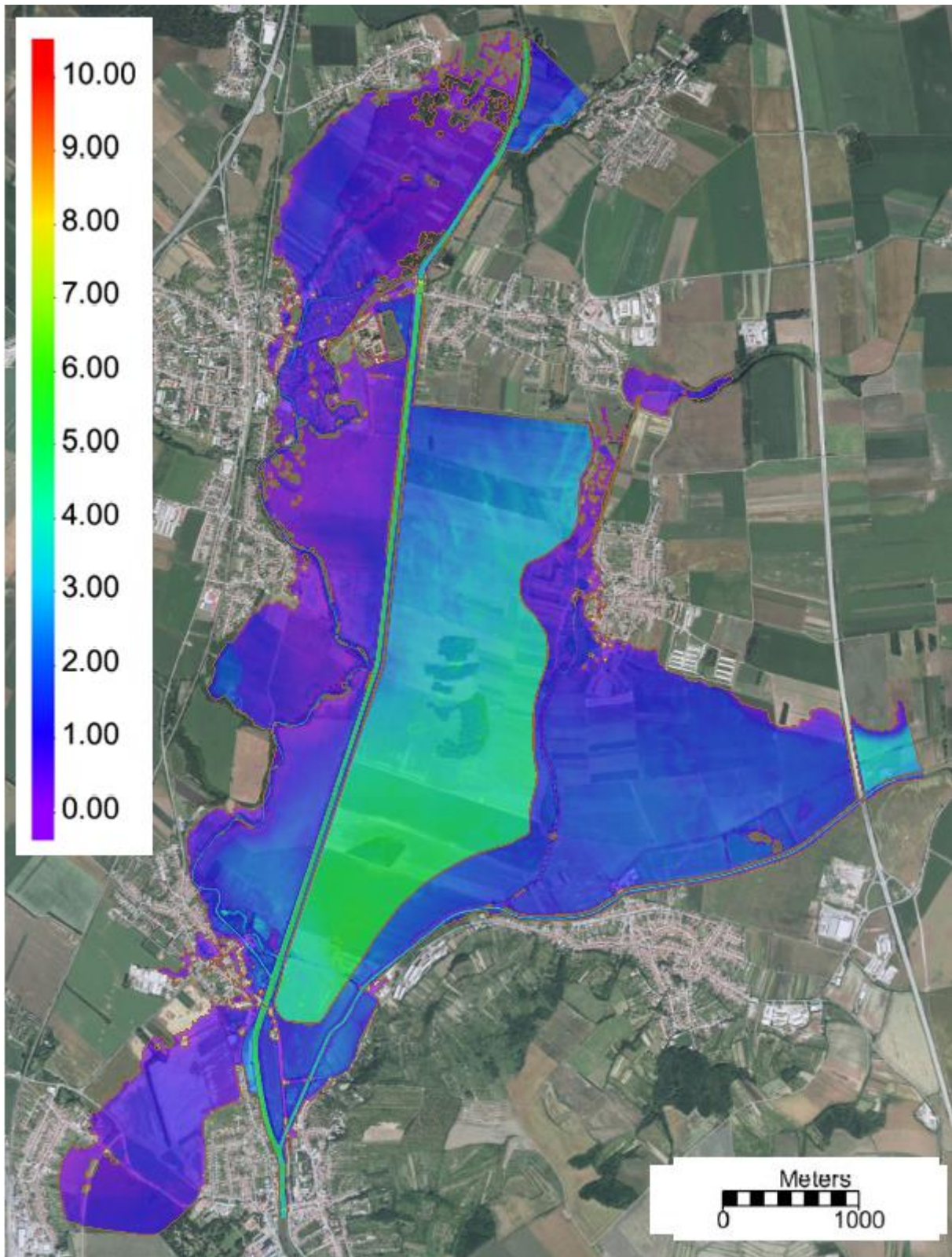
$$Q = 7,79 \text{ m}^3/\text{s}$$

K prepadu vody naspäť do koryta Svratky dôjde až na zostupnej vetve PV₁₀₀. To znamená že tento prietok prepadajúcu naspäť do koryta toku neovplyvňuje transformačnú schopnosť poldru.

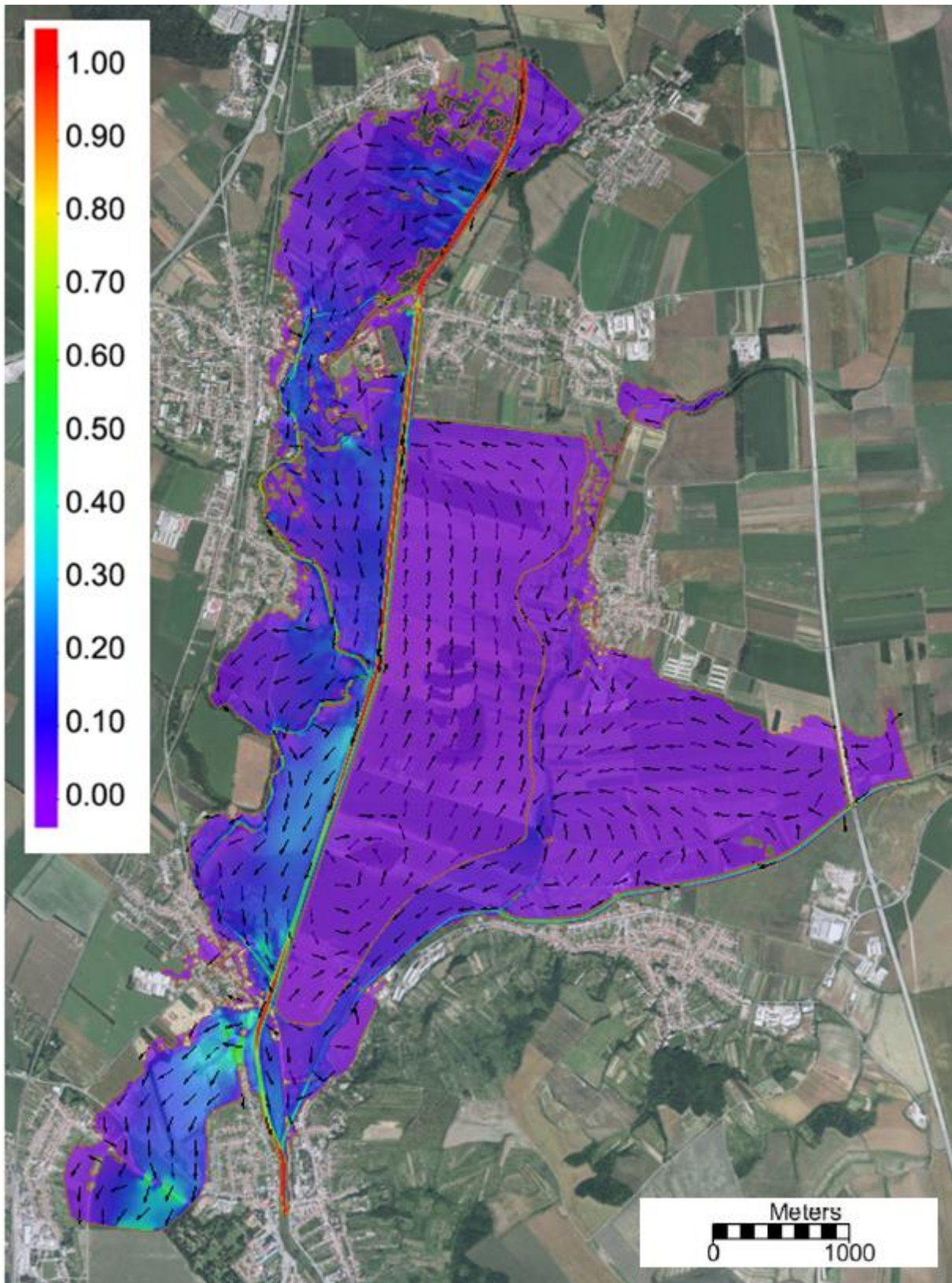
Na základe porovnaní grafu a máp rozlivu som sa rozhodol pre vtokový objekt s dĺžkou prelivnej hrany 200 m, z dôvodu že rozdiel zadržaného množstva vody oproti prelivu s najdlhšou hranou nie až také výrazné a nebude treba navyšovať už jestvujúce PPO.



Obrázok 15 NS1, Q_{100} , úroveň hladiny Z_h (m n. m.)

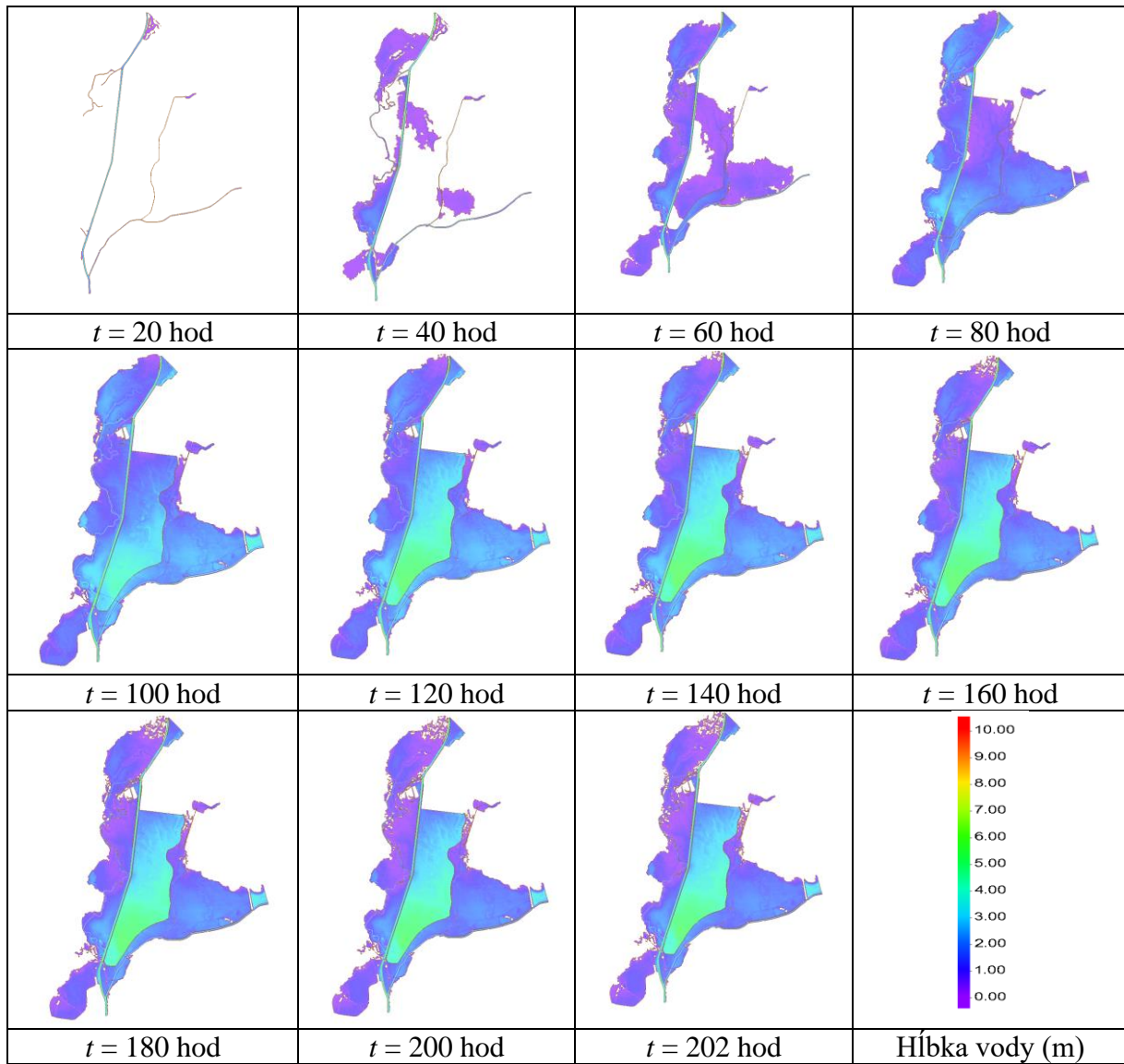


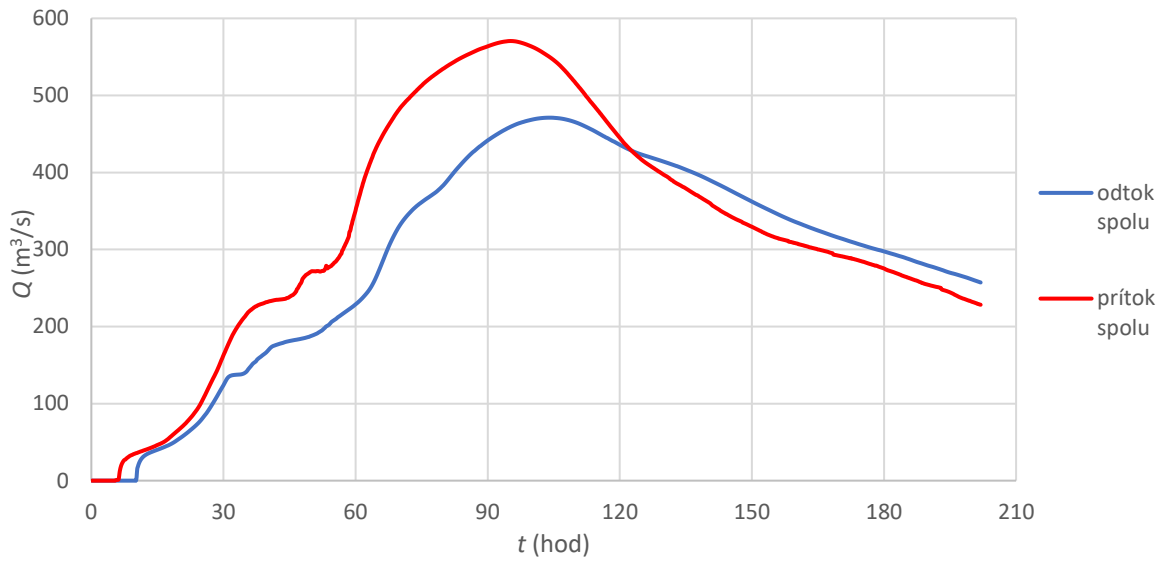
Obrázok 16 NS1, Q_{100} , úroveň hladiny h (m)



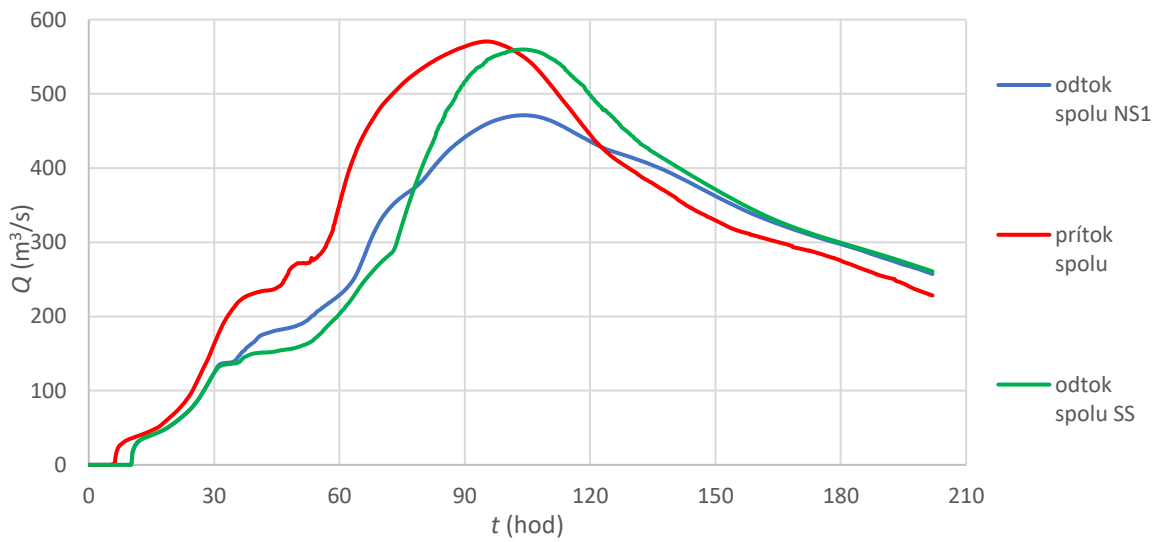
Obrázok 17 NS1, Q_{100} , zvislicová rýchlosť (m/s)

Tabuľka 7 Mapa rozlivov v jednotlivých časových krokoch simulácie NS1

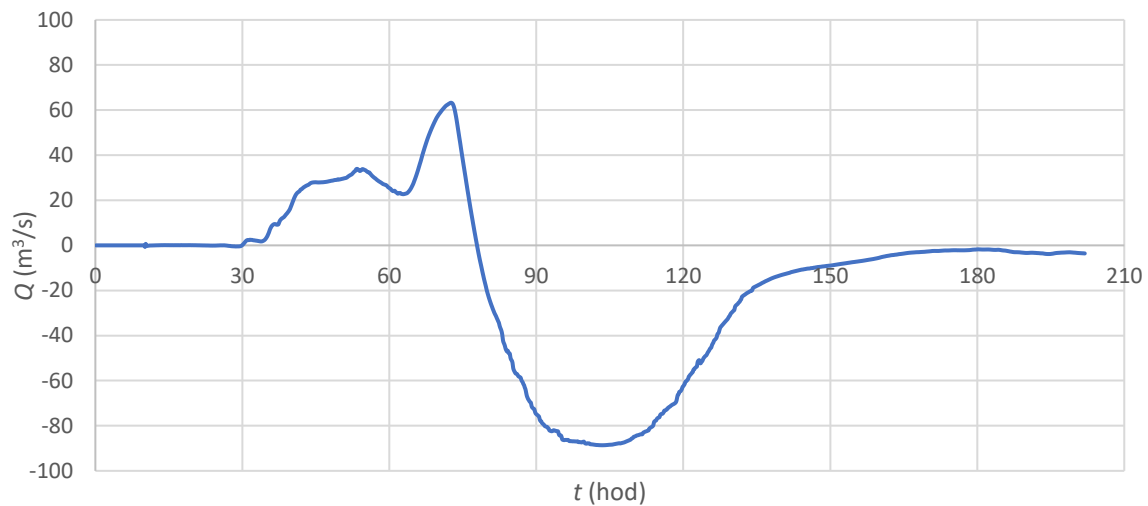




Graf 8 Transformačná schopnosť územia - NS1



Graf 9 Transformačná schopnosť územia – porovnanie NS1 a SS



Graf 9 Krivka rozdielu prietokov - porovnanie NS1 a SS

Na grafe 8 je možné vidieť zmenu retenčných vlastností daného územia. V čase $t = 80$ hod je pozorovateľný efekt prepadu vody z koryta Svatky do suchej nádrže cez nápuštný objekt. V čase $t = 105$ hod je rozdiel najväčší a to až $83 \text{ m}^3/\text{s}$.

Zhodnotenie

Vybudovaním suchej nádrže Blučina vo variante Ia následnou úpravou inundačného územia sa podarilo transformovať PV_{100} a zachytiť časť povodňového prietoku.

10 Návrhový stav – Varianta II

Popis varianty II

Varianta II sa od varianty I líši v ploche schopnej zadržať vodu pri povodňovej vlne.

Trasa plánovanej hrádze je až po tok Dunávka totožná (pravostranná hrádza po ose Dunávka), nachádza sa tu nápusťný objekt totožný s variantou I, výpusťný objekt totožný s variantou I a bezpečnostný preliv totožný s variantou I (všetky objekty na pravostrannej hrádzi).

Rozdiely oproti variante I:

Križenie toku Dunávka je vyriešené pomocou prehradenia toku, na prehradení sa nachádzajú uzávery, ktoré sú za normálnej prevádzky plne otvorené a umožňujú normálny prietok toku Dunávka.

Na ľavostrannej hrádzi sa nachádza taktiež bezpečnostný preliv a výpusťný objekt.

Varianta II bude využívať k zachyteniu povodňovej vlny plochu využívanej prevažne ako poľnohospodárska plocha o výmere 5,817654 mil. m².

Hrádza je navrhnutá lichobežníkového tvaru so šírkou koruny 3,5 m. Sklon návodného aj vzdušného líca je 1:3. Úroveň koruny hrádze je zadaná po trase v úrovni 187,80 m n. m.. Ako povrchová úprava zemnej hrádze je navrhnuté ohumusovanie a zatravnenie. Zemná hrádza je navrhnutá ako pojazdná.

Na hrádzi pod Rajhradcami je navrhnutý nápusťný objekt. Ide o bočný preliv dĺžky 220 m. Šírka prelivnej hrany je 3,5 m. Sklon návodnej aj vzdušnej strany prelivu je 1:3. Sklon zaviazania do hrádze je 1:6. Úroveň koruny prelivu je vo výške 186,60 m n. m., ktorá odpovedá úrovni hladiny vody v koryte pri Q_{20} . Je navrhnuté opevnenie prelivu pomocou kamennej dlažby.

Výpusťný objekt obsahuje tabuľové uzávery, ktoré sú plne manipulovateľné. Výpusťný objekt sa nachádza v hrádzi pri sútoku Svratky a Litavi pri obci Židlochovice (pravostranná hrádza).

Bezpečnostný preliv sa nachádza taktiež pri sútoku Svratky a Litavi pri obci Židlochovice. Koruna bezpečnostného prelivu sa nachádza vo výške 187,30 m n. m. (pravostranná hrádza).

Výpusťný objekt aj bezpečnostný preliv sú zaústené do novo vybudovaného koryta napojeného do toku Svratka (pravostranná hrádza).

Suchá nádrž Blučina križuje viaceré poľné cesty. Tieto prechody sú riešené rampami, ktoré sa zaväzujú do hrádze.

Celková dĺžka hrádze je 15,86 km. Niveleta koruny je vo výške 187,80 m n. m. a to v dĺžke 10,99 km, výška hrádze je v rozmedzí 2,5 – 5,5 m (pravostranná hrádza). Niveleta koruny je vo výške 186,3 m n. m. a to v dĺžke 4,87 km (ľavostranná hrádza).

Hrádza začína približne 350 m južne pod obcou Rajhradice. Na začiatku sa nachádza nápusťný objekt dlhý v rozmedzí 252,20 – 292,20m v závislosti na dĺžke prelivnej hrany

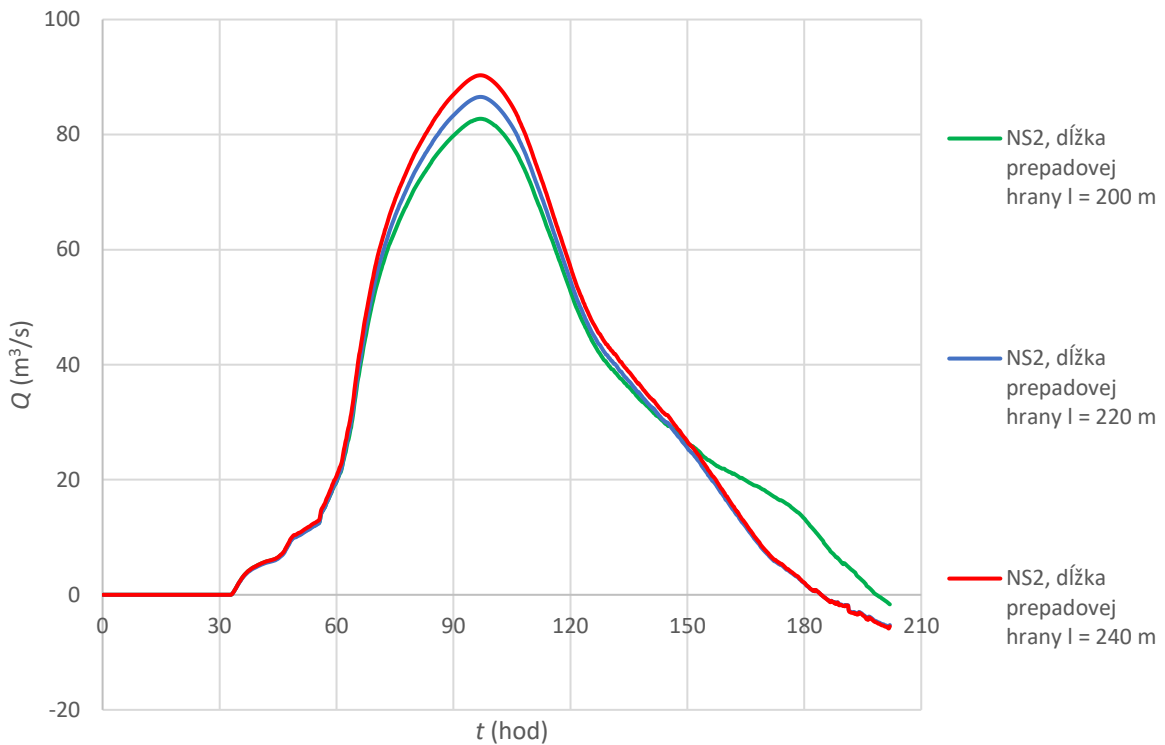
náпустného objektu (200 – 240m prelivná hrana + 2 krát zaviazanie do hrádze v sklone 1:6 dlhé 27,6 m). Následne hrádza kopíruje koryto toku Svratka a to v dĺžke približne 3,8 km, v tomto úseku hrádza prechádza cez dve poľné cesty, ktoré boli napojené na poľnú cestu umiestnenú vedľa Svratky. Tieto poľné križovatky budú zrušené. Hrádza v tomto mieste križuje miestnu komunikáciu. Prechod je zabezpečený vybudovaním rampy. Hrádza ďalej kopíruje tok Svratky a to v dĺžke 380 m. Následne hrádza kopíruje komunikáciu 425 v dĺžke 200 m až po čerpaciu stanicu EurOil. V tomto mieste sa začína hrádza zatáčať smerom na severo-východ. V tomto mieste sa nachádza bezpečnostný preliv s výpustným objektom. Osa hrádze začína kopírovať tok Litava a to v dĺžke približne 500 m, kde sa nachádza ďalšie križenie s miestnou komunikáciou. Toto križenie je taktiež riešené pomocou rampy. Ďalej hrádza kopíruje Litavu a to v dĺžke 1,05 km až po sútok Litavy a Dunávky, kde je Dunávka zahradená a na mieste hradenia sú umiestnené manipulovateľné hradiace prvky. Postupne sa úroveň koruny hrádze znižuje až na úroveň 186,30 m n. m. Následne osa hrádze križuje cestu a kopíruje poľnú cestu smerom na východ dĺžky 2,2 km. Až po komunikáciu E65, kde sa hrádza zatáča na sever a približne 300 m kopíruje cestu E65. Hrádza sa ďalej stáča smerom na západ v dĺžke 2,3 km a kopíruje obec Opatovice. Hrádza ďalej kopíruje tok Dunávka smerom na juh až po miesto križenia, kde sa koruna hrádze postupne zvyšuje až na výšku pravostrannej hrádze na úroveň 187,80 m n. m. Následne je Dunávka znova zahradená a taktiež sú tu umiestnené hradiace prvky. Od tohto miesta je trasa hrádze totožná s variantou I.

Taktiež bude vybudovaná hrádza, ktorá bude začínať pri obci Rebešovice, následne bude križovať Ivanovický potok, na toto križenie budú umiestnené manipulovateľné uzávery, ktoré budú za normálnych podmienok plne otvorené. Následne sa hrádza napojí na ľavostrannú hrádzu Svratky. Táto hrádza pokračuje až po suchú nádrž Blučina. Miesto zaviazania je pod obcou Rajhradice pri náпустnom objekte.

V miestach plánovanej trasy sa nenachádzajú žiadne PPO ani sa z týmto územím nepočíta ako odtokovým.

Výsledky

Pre náпустný objekt pre variantu II som uvažoval s rovnakými tromi návrhmi ako vo variante I a dospel som z hľadiska kulminácie prietoku prakticky k rovnakému záveru. Dĺžky prelivnej hrany som zvolil 200 m, 220 m a 240 m.

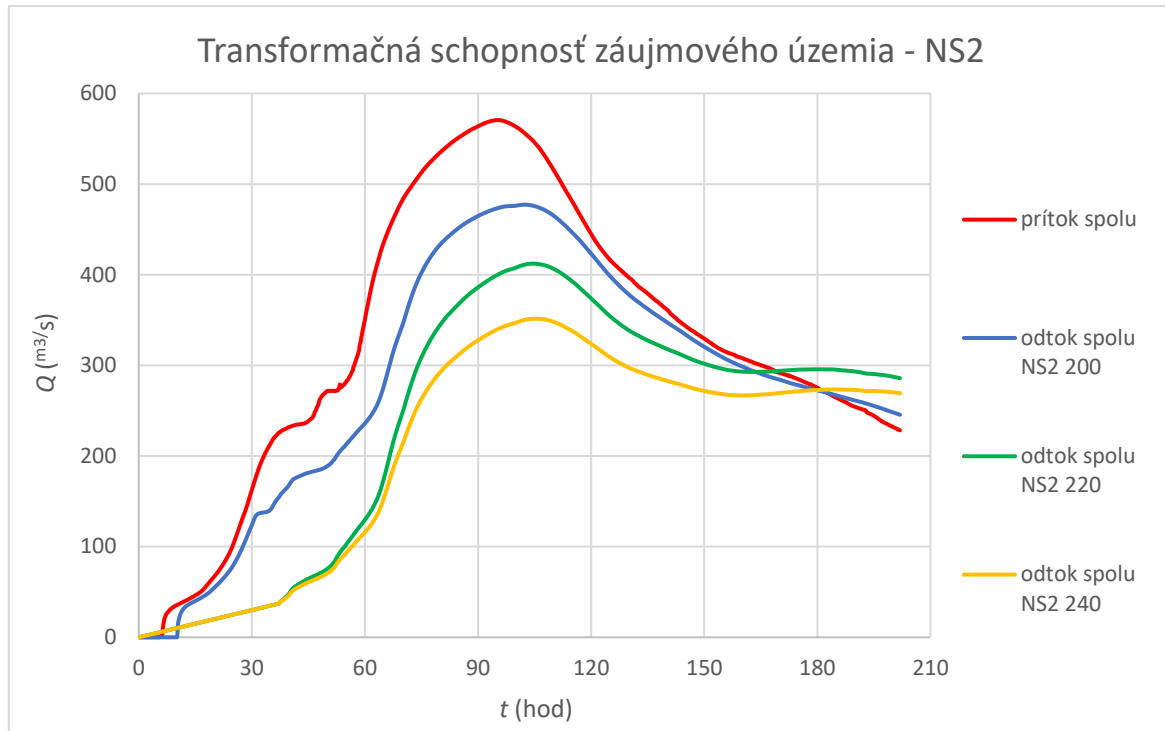


Graf 10 NS2, Porovnanie prietokov pri rôznych dĺžkach prelivnej hrany

Vtokový objekt s prelivnou hranou dĺžky 200 m – zadržané množstvo vody v navrhnutom poldri je menšie ako s dĺžkou prelivnej hrany 220 a 240 m, ale nie je nutné v južnej časti poldru už navyšovať jestvujúcu ochrannú hrádzu Svratky.

Maximálny prietok cez prelivnú hranu pri rôznych dĺžkach prelivnej hrany:

- $L = 200$ m $Q = 82,75 \text{ m}^3/\text{s}$
- $L = 220$ m $Q = 86,55 \text{ m}^3/\text{s}$
- $L = 240$ m $Q = 90,31 \text{ m}^3/\text{s}$



Graf 11 NS2, Porovnanie transformačnej schopnosti poldru pri rôznych dĺžkach prelivnej hrany napúšťacieho objektu

Maximálny odtok pri rôznych dĺžkach prelivnej hrany nápusťného objektu je:

- $L = 200 \text{ m}$ $Q = 477,23 \text{ m}^3/\text{s}$
- $L = 220 \text{ m}$ $Q = 412,17 \text{ m}^3/\text{s}$
- $L = 240 \text{ m}$ $Q = 351,54 \text{ m}^3/\text{s}$

Objem zadržanej vody v poldri pri rôznych dĺžkach prelivnej hrany nápusťného objektu:

- $L = 200 \text{ m}$ $V = 15,121 \text{ mil. m}^3$
- $L = 220 \text{ m}$ $V = 15,322 \text{ mil. m}^3$
- $L = 240 \text{ m}$ $V = 15,410 \text{ mil. m}^3$

Maximálna hĺbka vody v poldri pri rôznych dĺžkach prelivnej hrany nápusťného objektu:

- $L = 200 \text{ m}$ $h = 5,12 \text{ m}$
- $L = 220 \text{ m}$ $h = 5,14 \text{ m}$
- $L = 240 \text{ m}$ $h = 5,18 \text{ m}$

Z grafu 10 je vidno že hladina medzi Svratkou a vodou v navrhutej nádrži sa vyrovná v čase t pri rôznych dĺžkach prelivnej hrany nápusťného objektu:

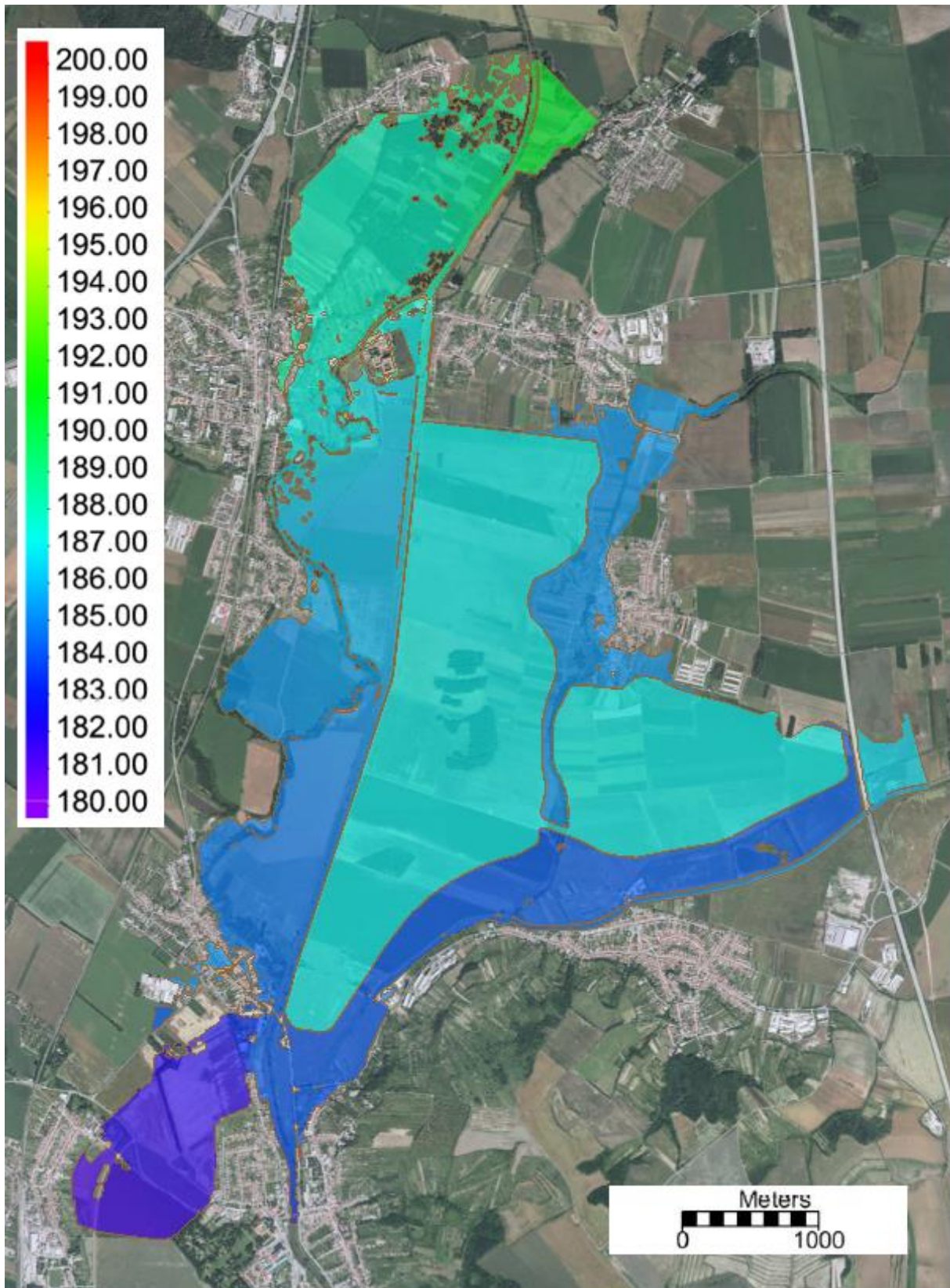
- $L = 200 \text{ m}$ $t = 199 \text{ hod}$
- $L = 220 \text{ m}$ $t = 187 \text{ hod}$
- $L = 240 \text{ m}$ $t = 186 \text{ hod}$

Množstvo prepadnutej vody naspäť do koryta Svratky pri rôznych dĺžkach prelivnej hrany nápusťného objektu:

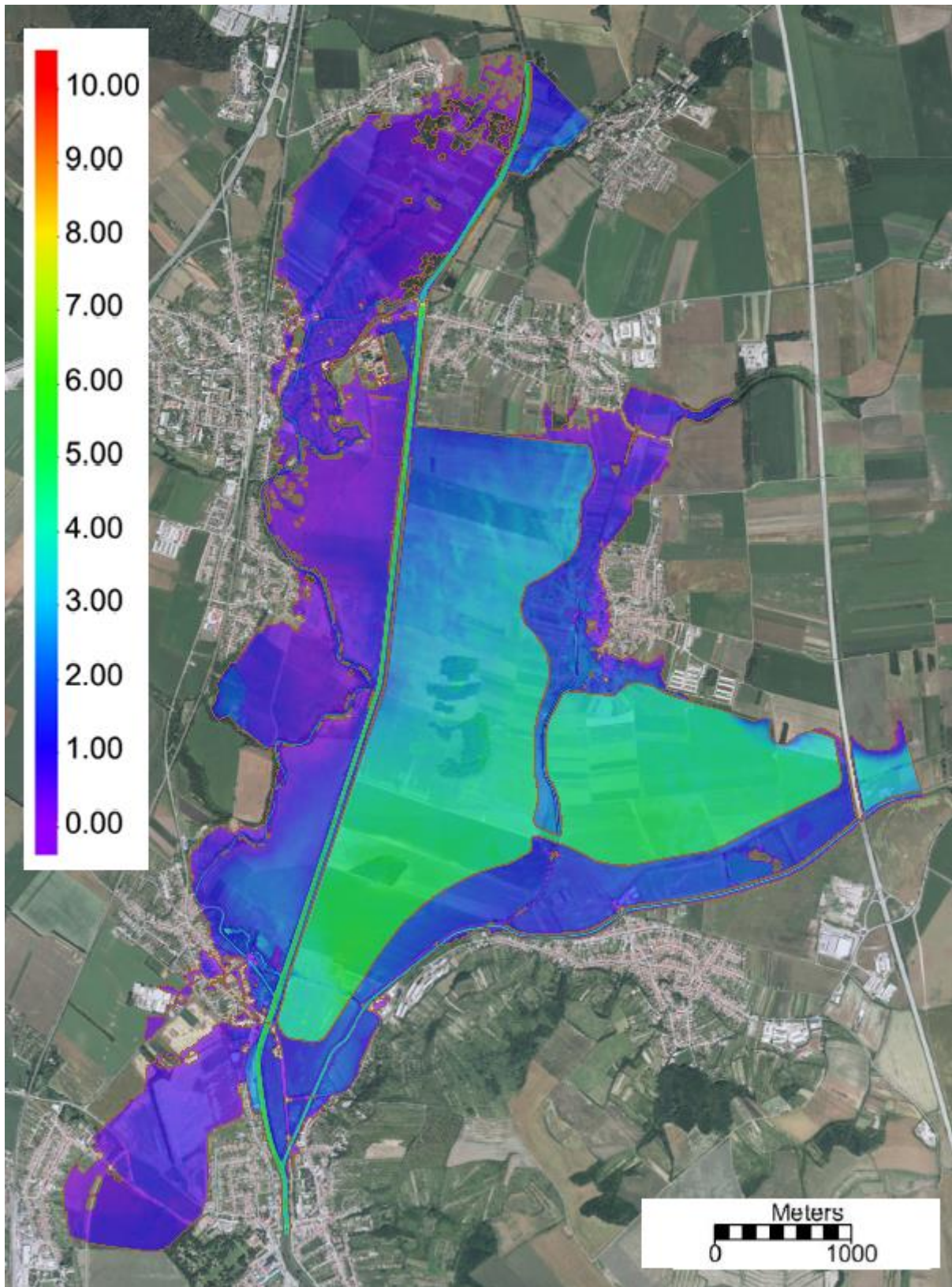
- $L = 200 \text{ m}$ $Q = 1,66 \text{ m}^3/\text{s}$
- $L = 220 \text{ m}$ $Q = 5,62 \text{ m}^3/\text{s}$
- $L = 240 \text{ m}$ $Q = 5,86 \text{ m}^3/\text{s}$

K prepadu vody naspäť do koryta Svratky dôjde až na zostupnej vetve PV₁₀₀. To znamená že tento prietok prepadajúcu naspäť do koryta toku neovplyvňuje transformačnú schopnosť poldru.

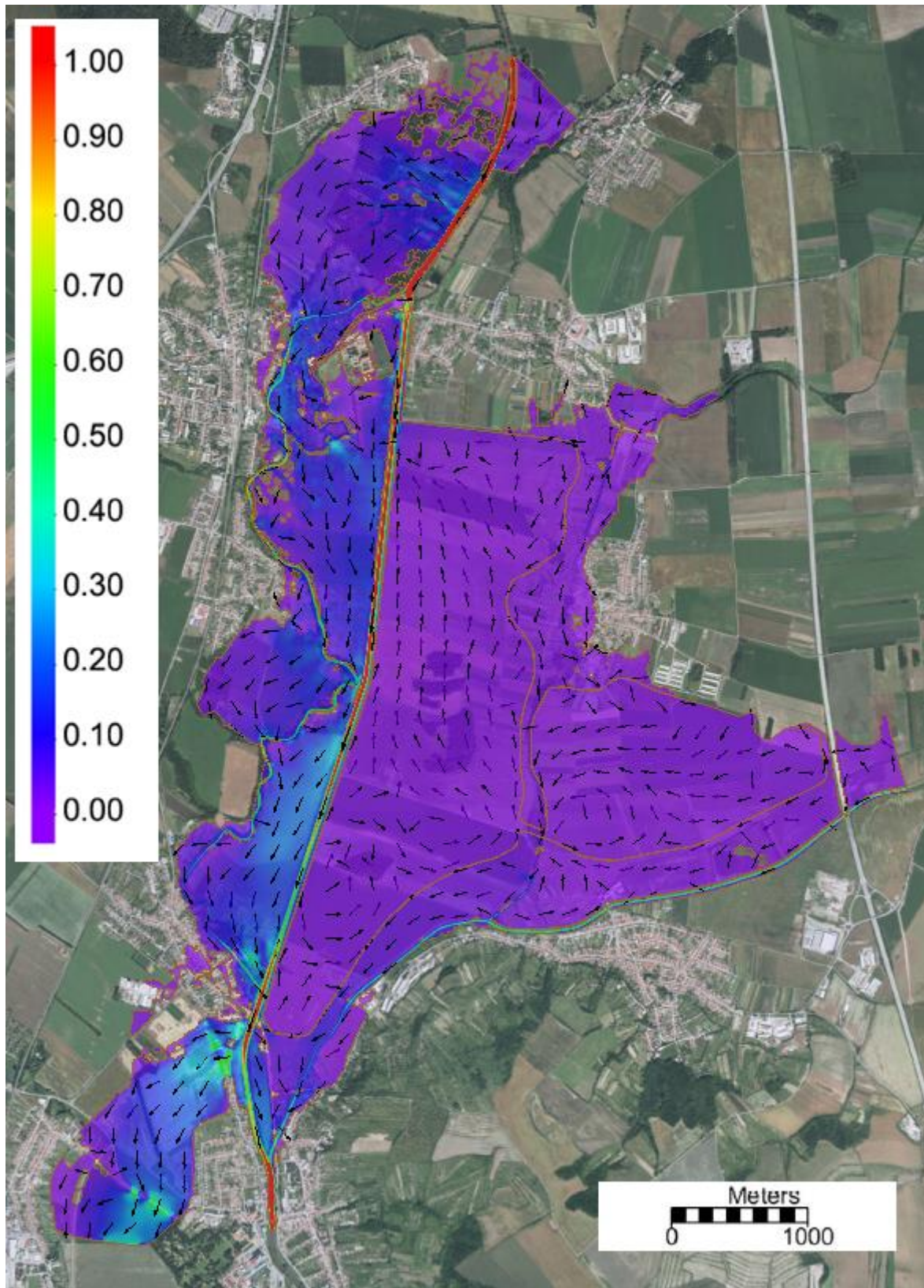
Na základe porovnaní grafu a máp rozlivu som sa rozhodol pre vtokový objekt s dĺžkou prelivnej hrany 200 m, z dôvodu že rozdiel zadržaného množstva vody oproti prelivu s najdlhšou hranou nie až také výrazné a nebude treba navyšovať už jestvujúce PPO.



Obrázok 18 NS2, Q_{100} , úroveň hladiny Z_h (m n. m.)

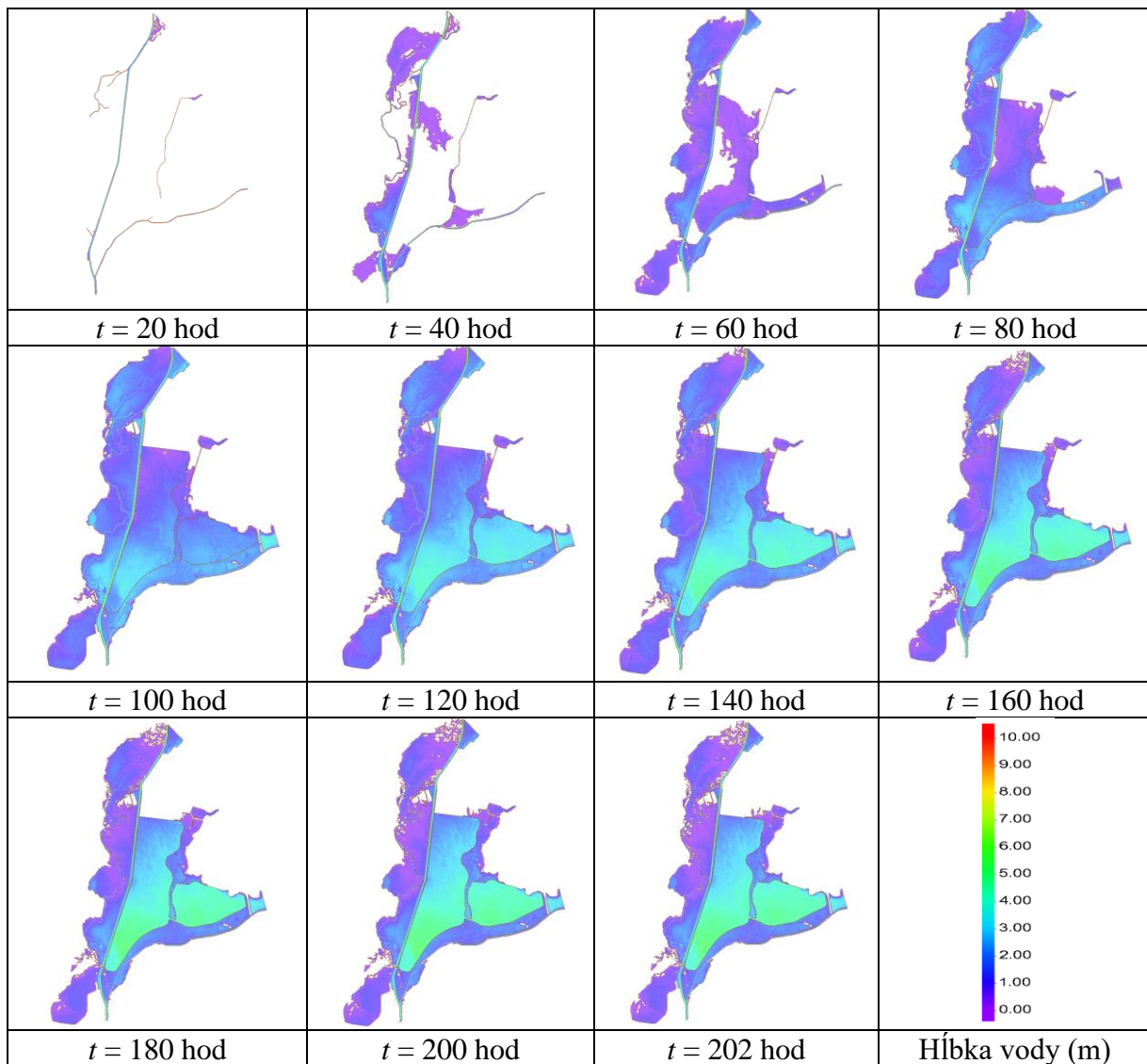


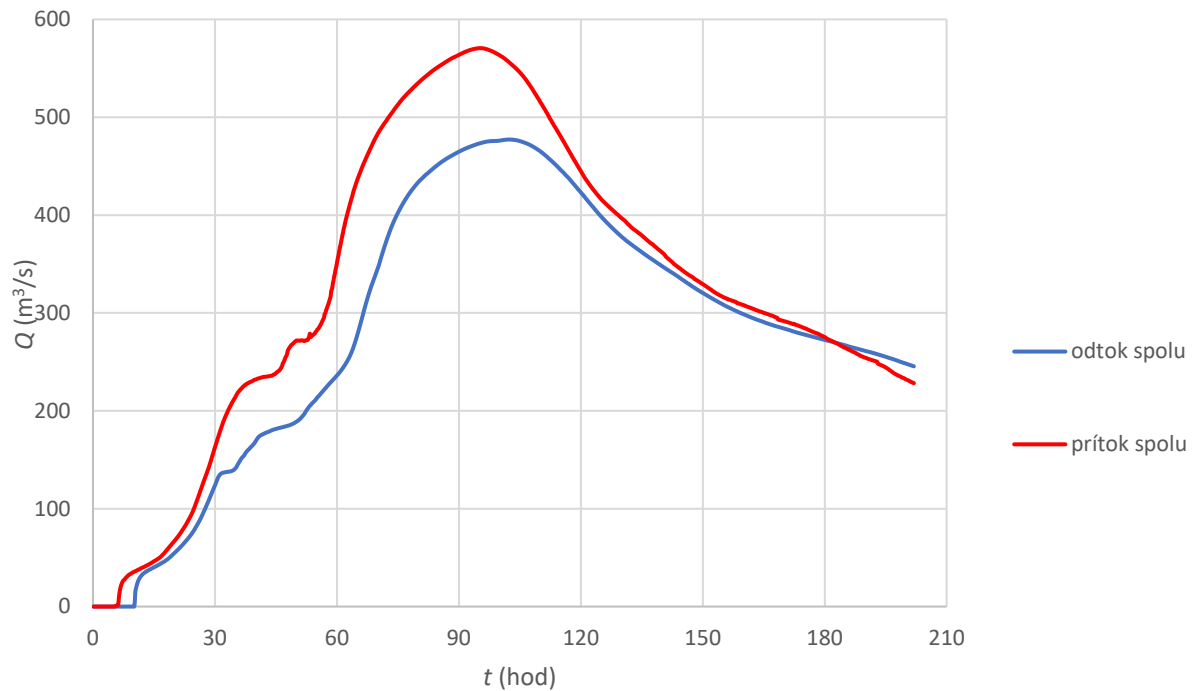
Obrázok 19 NS2, Q_{100} , úroveň hladiny h (m.)



Obrázok 20 NS2, Q_{100} , zvislicová rýchlosť (m/s)

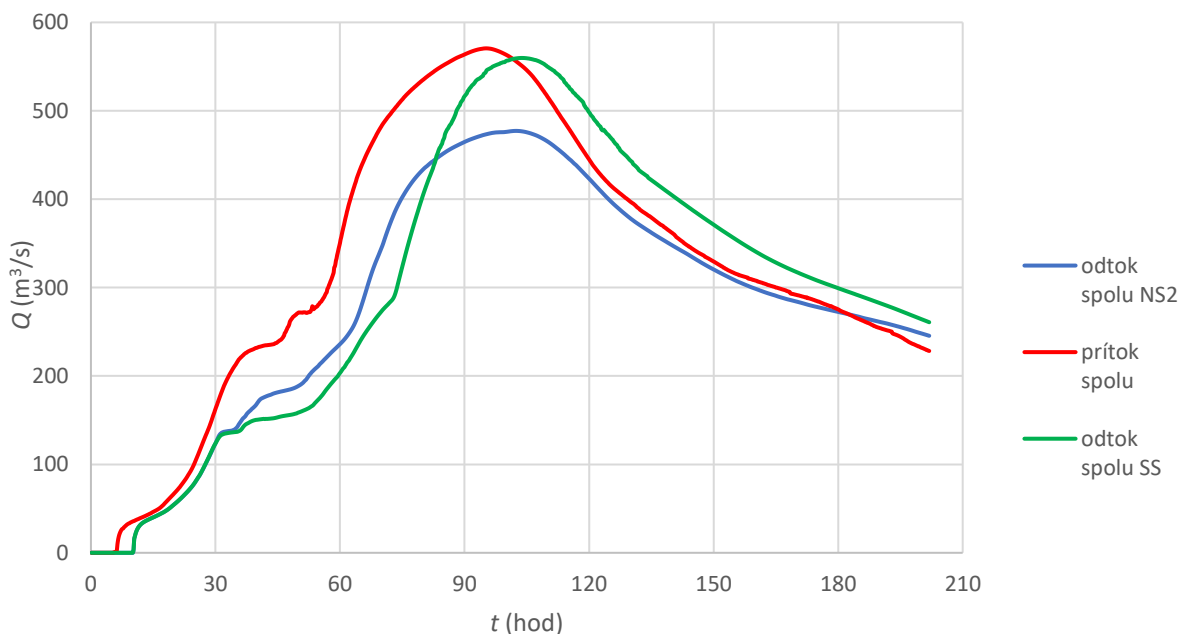
Tabuľka 8 Mapa rozlivov v jednotlivých časových krokoch simulácie NS2





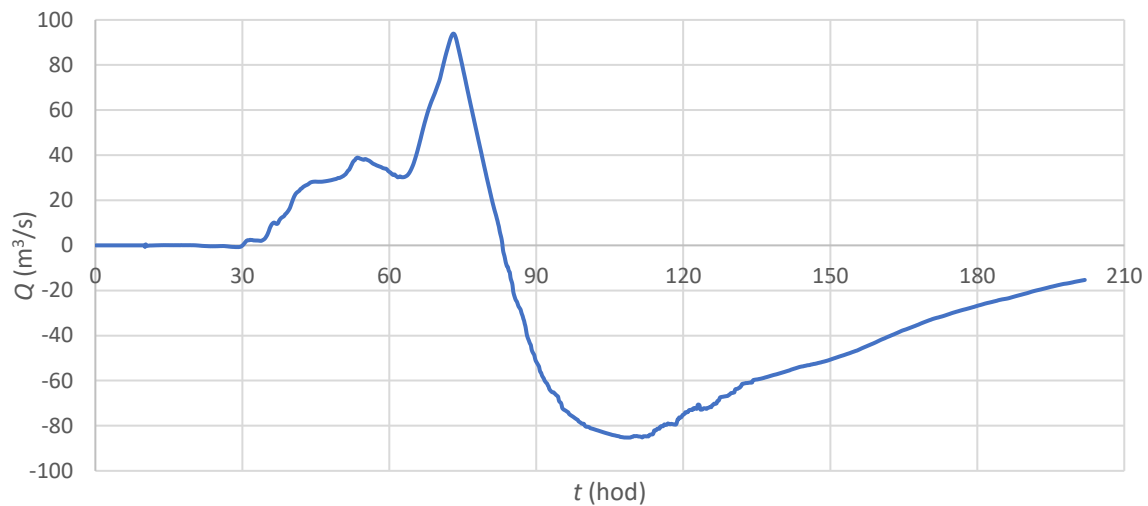
Graf 12 Transformačná schopnosť územia - NS2

Porovnanie transformačnej schopnosti NS2 a SS



Graf 13 Transformačná schopnosť územia - porovnanie NS2 a SS

Z rozdielu prietokov (Graf 1311) bola vyhotovená rozdielová krivka prietokových zmien v jednotlivých časoch simulácie (Graf 1412).



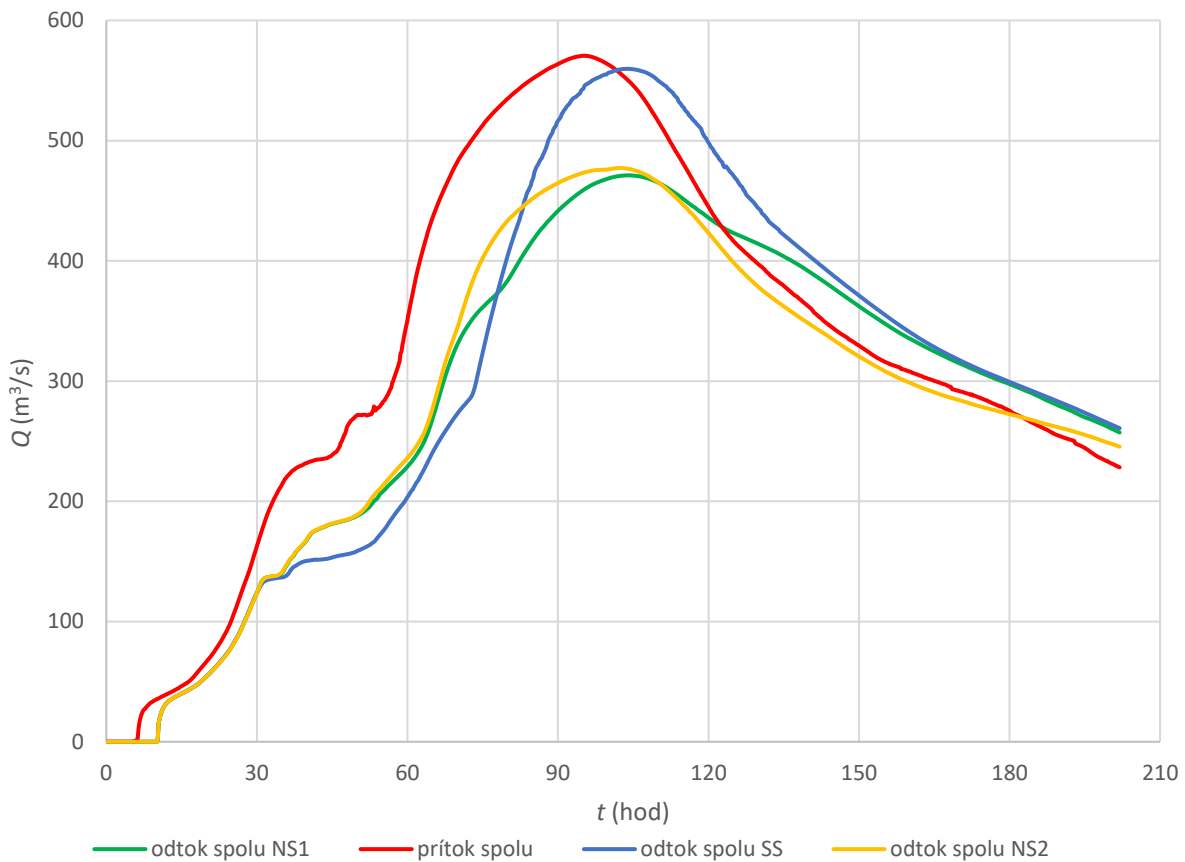
Graf 14 Rozdielová krivka prietokov - porovnanie NS2 a SS

Na grafe 11 je možné vidieť zmenu retenčných vlastností daného územia. V čase $t = 80$ hod začína voda prepadať do poldru cez nápusťný objekt. V čase $t = 105$ hod je rozdiel najväčší a to až $85 \text{ m}^3/\text{s}$.

Zhodnotenie

Vybudovaním suchej nádrže Blučina vo variante II a následnou úpravou inundačného územia sa podarilo transformovať PV_{100} a zachytiť časť povodňového prietoku.

11 Porovnanie Varianty I, II a SS



Graf 15 Transformačná schopnosť územia - porovnanie NS1, NS2 a SS

Z Graf 1513 Transsnformačná schopnosť územia - porovnanie NS1, NS2 a SS je vidno rozdiely transformačnej schopnosti daného územia.

Súčasný stav

Územie nie je dostatočne schopné transformovať PV_{100} . Zmena kulminačného prietoku je $11 \text{ m}^3/\text{s}$.

Návrhový stav 1

Výstavbou poldru by sa celkom výrazne zmenili odtokové pomery v danej oblasti. Územie je schopné pomerne dostatočne transformovať PV_{100} . Zmena kulminačného prietoku je $83 \text{ m}^3/\text{s}$.

Návrhový stav 2

Výstavbou poldru vo variante II sa taktiež zmenili odtokové pomery v danom území. Územie je schopné pomerne dostatočne transformovať PV_{100} . Zmena kulminačného prietoku je $85 \text{ m}^3/\text{s}$.

Porovnanie NS1 a NS2

Rozdiely medzi transformačnými schopnosťami medzi variantami I a II sú pomerne malé, vzhľadom na rozdiel dĺžky poldru a možnej záchytnej plochy.

12 Záver a zhodnotenie

12.1 Záver

V diplomovej práci boli stručne popísané suché nádrže, možnosti modelovania rozlivov vody pri povodni a taktiež bolo predstavené záujmové územie a jeho hydrologické vlastnosti.

V praktickej časti som riešil transformačné vlastnosti daného územia. Porovnal som transformačné schopnosti súčasného stavu územia s mojimi dvoma variantami návrhu suchej nádrže Blučina. Modelovanie daného problému som riešil vo 2D v programe SMS – SRH. Výhody, riadiace rovnice, predpoklady pre výpočet v tomto programe sú popísané v samostatnej kapitole. Model bol kalibrovaný a následne využitý pre simuláciu transformácie povodňovej vlny pre súčasný stav a aj pre návrhové stavy. Pre výpočet bol zvolený najhorší možný scenár. Všetky prítoky do územia boli zadané ako Q_{100} . Je veľmi nepravdepodobné že storočný prietok sa naraz vyskytne v Svratke a ľavom inundačnom území a zároveň aj v Dunávke a Litava.

Súčasný stav bol popísaný pomocou hydrogramu znázorňujúceho transformačné schopnosti daného územia a máp znázorňujúcich hladinu vody, hĺbku vody a zvislicovú rýchlosť na danom území.

V návrhových stavoch I a II bola vymodelovaná suchá nádrž Blučina spolu s príslušnými objektami, ktoré mali veľký vplyv na možné zmeny transformačných vlastností územia. Išlo predovšetkým o náпустný objekt, ktorý bol riešený vo troch dĺžkach.

Zásadný rozdiel medzi variantami bol rozsah trasy hrádze. Vo variante I bola suchá nádrž umiestnená iba medzi tokmi Svratka a Dunávka, zatiaľ čo varianta II mala podstatne väčšie záplavové územie. Suchá nádrž bola umiestnená medzi tokom Svratka až po komunikáciu E65.

Pre návrhové stavy I a II bol taktiež vyhotovený hydrogram a mapy rozlivov, ďalej boli spracované grafy slúžiace na vyhodnotenie zlepšenia prípadne zhoršenia schopnosti prevedenia povodňovej vlny na danom území. Ide o grafy porovnávajúce návrhové stavy so súčasným, ktoré znázorňujú odtokové pomery pre jednotlivé varianty. Taktiež boli vyhotovené rozdielové krivky prietokov porovnávajúce návrhové so súčasnými.

12.2 Zhodnotenie

V práci som riešil dve možné varianty návrhu poldru Blučina na úrovni štúdie. Odporúčam variantu I, nakoľko jej transformačné schopnosti sú porovnateľné s variantou II, ale dĺžka plodra a záplavová plocha sú výrazne menšie. Touto variantou sa nespôsobia žiadne problémy obci Opatovice. A pravdepodobne bude jednoduchšia na výstavbu a aj na obsluhu, taktiež predpokladám, že táto varianta je výrazne lacnejšia.

V tomto projekte nezohľadňujem finančnú stránku projektu ani majetkoprávne vzťahy. Ohľad pri návrhu som bral iba na plánovanú trasu obchvatu Blučina.

V prípade budúcej výstavby poldru Blučina by som odporúčal použiť variantu II s možnými úpravami trasy prípadne iným typom náпустného objektu. V práci som sa predovšetkým zameriaval na transformáciu PV₁₀₀ zo Svratky a ľavého inundačného územia, preto by sa dalo do modelu lepšie zakomponovať toky Dunávka a Litava. Prípadne lepšie vyriešiť tok Dunávka vo Variante II. Taktiež by sa dalo vypočítať či by navrhnutý polder stačil aj na prevedenie PV₁₀₀

z toku Litava. Taktiež je tu možnosť zistenia, či daný polder je vhodný aj na zachytenie menších prietokov.

13 Zoznamy

13.1 Zoznam použitej literatúry

- [1] https://eagri.cz/public/web/file/318028/aktualizovany_seznam_poldru_k_1._1._2014_web.pdf
- [2] https://portal.cenia.cz/eiasea/download/RUIBX1BBSzYyMF92eWhvZG5vY2VuaU5hdH VyYU96bmFtZW5pRE9DXzE1NzE2MzMwMzM5ODA3ODQ1ODIucGRm/PAK620_vyho dnoceniNaturaOznameni.pdf
- [3] <http://soutok.pmo.cz/cz/foto/poldr-soutok-povodne/>
- [4] <https://www.edpp.cz/online-povodnova-mapa-cr/jihomoravsky#>
- [5] https://www.edpp.cz/blu_fotodokumentace/#
- [6] https://www.edpp.cz/blu_prirozena-povoden/
- [7] https://www.vut.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=227842
- [8] https://www.edpp.cz/men_spravci-vodnich-toku/
- [9] http://www.pmo.cz/pop/2009/Morava/End/a-popis/mapy/ma_1_1b.jpg
- [10] <https://ags.cuzk.cz/geoprohlizec/>
- [11] <https://www.openstreetmap.org/search?query=Blu%C4%8Dina#map=14/49.0590/16.6345>
- [13] <https://eagri.cz/public/web/mze/voda/aplikace/cevt.html>
- [14] <https://www.brno.cz/sprava-mesta/magistrat-mesta-brna/>
- [15] ŘÍHA, Jaromír, Miloš SEDLÁČEK, Peter SMRŽ, Radek VESELÝ a Stanislav ŽATECKÝ. *Návrh a realizace suchých nádrží z pohledu technickobezpečnostního dohledu*. 2014. ISBN 978-80-7212-600-2.
- [16] http://www.ehssoftserve.com/water_swmod.htm
- [17] Sweco Hydroprojekt, 2013. Svratka II, Přírodě blízká protipovodňová opatření a obnova přirozené hydromorfologie a retenční kapacity toku a nivy v úseku ř. km 2,000 (delta ve VD Nové Mlýny) až 26,370 (Rajhrad – Holasice).
- [18] Zachoval, Z., 2020. Vodohospodářské posouzení PPO Modřic, Rajhradice, Rebešovic a Opatovic. Brno, LVV ÚVST FAST VUT.
- [19] Y. G. Lai, SRH-2D version 2: Theory and User's Manual, Denver, Colorado, USA: AQUAVEO, LLC, 2008.

13.2 Zoznam použitých obrázkov

Obrázok 1 Polder Soutok za povodne [3]	18
Obrázok 2 Oblasť povodia Dyje [9].....	19
Obrázok 3 Záplavové územie Q_5 [4]	20
Obrázok 4 Záplavové územie Q_{20} [4]	21
Obrázok 5 Záplavové územie Q_{100} [4]	21
Obrázok 6 Toky v záujmovom území [13]	22
Obrázok 7 Povodeň v roku 2010 - Blučina [5]	23
Obrázok 8 Trojuholníkové a štvoruholníkové prvky výpočtovej siete	28
Obrázok 9 Typy drsností povrchu	29
Obrázok 10 Okrajové podmienky	30
Obrázok 11 Umiestnenie kalibračných bodov	33
Obrázok 12 SS, Q_{100} , úroveň hladiny Z_h (m n. m.)	37
Obrázok 13 SS, Q_{100} , hĺbka vody h (m)	38
Obrázok 14 SS, Q_{100} , zvislicová rýchlosť (m/s).....	39
Obrázok 15 NS1, Q_{100} , úroveň hladiny Z_h (m n. m.)	46
Obrázok 16 NS1, Q_{100} , úroveň hladiny h (m)	47
Obrázok 17 NS1, Q_{100} , zvislicová rýchlosť (m/s).....	48
Obrázok 18 NS2, Q_{100} , úroveň hladiny Z_h (m n. m.)	57
Obrázok 19 NS2, Q_{100} , úroveň hladiny h (m.)	58
Obrázok 20 NS2, Q_{100} , zvislicová rýchlosť (m/s)	59

13.3 Zoznam tabuliek

Tabuľka 1 Prehľad významných poldrov v ČR [2].....	17
Tabuľka 2 N-ročné prietoky Svratka, merná stanica LS Židlochovice.....	22
Tabuľka 3 N-ročné prietoky Litava.....	22
Tabuľka 4 N-ročné prietoky Ivanovický potok.....	22
Tabuľka 5 Súčinitele drsností.....	28
Tabuľka 6 Mapa rozlivov v jednotlivých časových krokoch simulácie SS.....	40
Tabuľka 7 Mapa rozlivov v jednotlivých časových krokoch simulácie NS1.....	49
Tabuľka 8 Mapa rozlivov v jednotlivých časových krokoch simulácie NS2.....	60

13.4 Zoznam grafov

Graf 1 Okrajová podmienka, PV ₁₀₀ – koryto Svratky	31
Graf 2 Okrajová podmienka, PV ₁₀₀ - Ľavé inundačné územie	31
Graf 3 Okrajová podmienka, PV ₁₀₀ - Dunávka a Litava	32
Graf 4 Okrajová podmienka, LS Židlochovice	32
Graf 5 Odchýlky pri kalibrácii	34
Graf 6 Transformačná schopnosť územia – SS.....	41
Graf 7 NS1, Porovnanie prietokov pri rôznych dĺžkach prelivnej hrany.	43
Graf 8 NS1, Porovnanie transformačnej schopnosti poldru pri rôznych dĺžkach prelivnej hrany napúšťacieho objektu	44
Graf 9 Krivka rozdielu prietokov - porovnanie NS1 a SS	51
Graf 10 NS2, Porovnanie prietokov pri rôznych dĺžkach prelivnej hrany	54
Graf 11 NS2, Porovnanie transformačnej schopnosti poldru pri rôznych dĺžkach prelivnej hrany napúšťacieho objektu	55
Graf 12 Transformačná schopnosť územia - NS2.....	61
Graf 13 Transformačná schopnosť územia - porovnanie NS2 a SS.....	61
Graf 14 Rozdielová krivka prietokov - porovnanie NS2 a SS	62
Graf 15 Transformačná schopnosť územia - porovnanie NS1, NS2 a SS	63

13.5 Použité technické normy, právně předpisy a metodické pokyny

- [1] ČSN 75 1400 (1997) Hydrologické údaje povrchových vód, Hydroprojekt Praha
- [2] TNV 75 2415 (2012) Suché nádrže, Sweco Hydroprojekt
- [3] ČSN 75 2405 (2004) Vodohospodářská řešení vodních nádrží, HYDROPROJEKT CZ
- [4] TNV 75 2935 (2003) Posuzování bezpečnosti vodních děl při povodních, Sweco Hydroprojekt
- [5] TNV 75 2131 (2010) Odběrné a výpustné objekty na vodních tocích - navrhování, Hydroprojekt CZ

13.6 Zoznam veličín

C_f	trecí súčiniteľ	[-]
C_t	súčiniteľ parabolického modelu turbulencie	[-]
f	Coriolisovo číslo	[-]
g	tiahové zrýchlenie	[m ² /s]
h	hlbka vody	[m]
L	dĺžka prelivnej hrany	[m]
n	súčiniteľ drsnosti	[-]
t	čas	[s]
t	čas	[s]
T	turbulentné napätie	[Pa]
ν	kinematická viskozita	[m ² /s]
ν_t	turbulentná kinematická viskozita	[m ² /s]
u^*	trecia rýchlosť	[m/s]
τ	šmykové napätie	[Pa]

13.7 Zoznam skratiek

PPO	proti povodňové opatrenia
ZM10	základná mapa
SMS	Surface-Water modeling
SRH	Sedimentation a River Hydraulics
1D	jednodimenzionálne
2D	dvojdimenzionálne
3D	trojdimenzionálne
VD	vodné dielo
OP	okrajová podmienka
SS	súčasný stav
NS	návrhový stav
LS	limnigrafická stanica
PPO	proti povodňové opatrenie
PP	počiatočná podmienka
Z	typ hrádze - zemná

14 Prílohy

- Príloha č. 1 Výkres situácie suchej nádrže Blučina – Varianta I
- Príloha č. 2 Výkres situácie suchej nádrže Blučina – Varianta II
- Príloha č. 3 Výkres vzorových rezov suchej nádrže Blučina – Varianta I
- Príloha č. 4 Výkres vzorových suchej nádrže Blučina – Varianta II
- Príloha č. 5 Výkres objektov suchej nádrže Blučina – Varianta I
- Príloha č. 6 Výkres objektov suchej nádrže Blučina – Varianta II