VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV VODNÍCH STAVEB
LABORATOŘ VODOHOSPODÁŘSKÉHO VÝZKUMU

2D numerický model proudění v soutokové oblasti Svratky km 28,25 až km 33,17 a Svitavy km 0,00 až km 3,80

Zpráva

Brno, 2015

Obsah

1 IDENTIFIKAČNÍ DATA 2

2 ÚVOD 4

3 PODKLADY 6

4 SOFTWARE 7

4.1 SMS 7
4.2 FESWMS 7

5 ŘEŠENÉ PRŮTOKOVÉ STAVY - VARIANTY 9

6 POSTUP PRACÍ 10

6.1 VYTVOŘENÍ TOPOGRAFIE ZÁJMOVÉ OBLASTI Z DMT A JEHO ÚPRAVA 10
6.2 VYTVOŘENÍ VÝPOČTOVÉ OBLASTI 10
6.3 ROZDĚLENÍ VÝPOČTOVÉ OBLASTI NA MAKROPRVKY 10
6.4 OHODNOCENÍ MAKROPRVKŮ ZADÁNÍM PARAMETRŮ 13
6.5 VYTVOŘENÍ VÝPOČTOVÉ SÍTĚ A JEJÍ ÚPRAVA 13
6.6 ZADÁNÍ HYDROTECHNICKÝCH OBJEKTŮ 13
6.7 ZADÁNÍ OKRAJOVÝCH PODMÍNEK 16
6.8 ZADÁNÍ PARAMETRŮ VÝPOČTU 16
6.9 VÝPOČET 16
6.10 KALIBRACE A VERIFIKACE MODELU 16
6.11 ARCHIVACE VÝSLEDKŮ 17

7 VÝSLEDKY 18

7.1 VARIANTA 1 18
7.2 VARIANTA 2 18

8 ZÁVĚR 27

9 LITERATURA 28

10 SEZNAMY 29

10.1 SEZNAM VELIČIN 29
10.2 SEZNAM ZKRATEK 29
10.3 SEZNAM OBRÁZKŮ 30
10.4 SEZNAM TABULEK 30

1 Identifikační data

Název akce:	**Přírodě blízká POP a revitalizace údolní nivy hlavních brněnských toků**
Název zprávy:	2D numerický model proudění v úseku Svatky km 28,25 až km 33,17 a Svitavy km 0,00 až km 3,80
Objednatel:	Pöyry Environment a.s. Botanická 834/56 602 00 Brno
IČ objednatele:	46347526
DIČ objednatele:	CZ46347526
Kontaktní osoba:	Ing. Eliška Heršová, Ing. Tomáš Roth
Číslo smlouvy objednatele:	14286/5793
Zhotovitel:	Vysoké učení technické v Brně Fakulta stavební Ústav vodních staveb Laboratoř vodohospodářského výzkumu Veveří 331/95 602 00 Brno
IČ zhotovitele:	00216305
DIČ zhotovitele:	CZ00216305
Řešitel:	doc. Ing. Zbyněk Zachoval, Ph.D.
Číslo smlouvy zhotovitele:	HS12557171

Práce byly provedeny s podporou projektu LO1408 AdMaS UP „Pokročilé stavební materiály, konstrukce a technologie“ a jsou vykázány v rámci divize VHVS.

Předmět prací:
Zhotovitel pro objednatele vyhotoví dvourozměrný numerický model simulující ustálené proudění v soutokové oblasti Svratky a Svitavy za navrhovaného stavu v rozsahu Svratky km 28,25 až km 33,17 a Svitavy v km 0,00 až km 3,80 za dvou průtokových stavů odpovídajících stoletému průtoku v jednom z toků a průtokovému doplňku ve druhém.

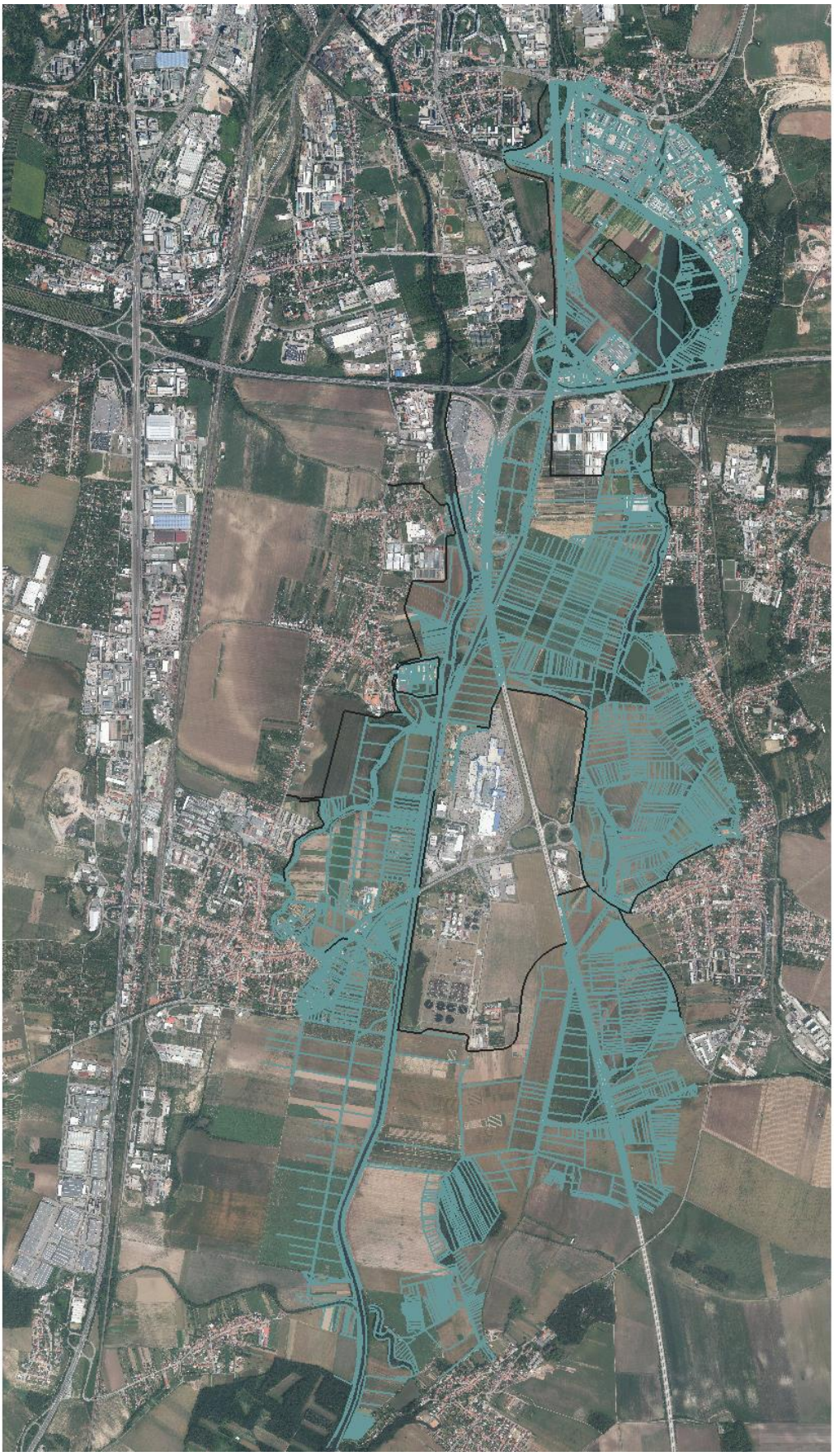
Způsob odevzdání:
Zpráva 1ks, CD 1ks – obsahuje výstupní data z modelu.

Stručný přehled provedené práce:
Pomocí programu SMS-FESWMS 11.2 byl vytvořen 2D numerický model ustáleného proudění v soutokové oblasti Svratky a Svitavy s nově navrženými protipovodňovými opatřeními. Kalibrace modelu byla provedena na stávající měrnou křivku jezu Přízřenice a úroveň hladiny kalibrovaného 1D síťového modelu proudění zpracovaného Povodím Moravy, státní podnik. Byly zpracovány dvě průtokové varianty zadané objednatelem. Výsledkem jsou mapy úrovně hladiny, hloubky, specifického průtoku a svislicové rychlosti s vyznačením vektorů rychlosti. Výsledky budou použity pro návrh protipovodňových opatření.

Zvláštní ujednání – zkráceně:
Zveřejnění podkladů a výsledků provedených prací je možné jen po dohodě obou smluvních stran.

2 Úvod

Zájmová lokalita (Obr. 1) se nachází v Jihomoravském kraji na území okresů: Brno – město a Brno – venkov a spadá pod obce s rozšířenou působností: Brno, Šlapanice a Židlochovice.
Území je vymezeno úseky toků Svratky km 28,25 až km 33,17 a Svitavy km 0,00 až km 3,80.
Záplavové území má rozsah přes celou údolní nivu, ve které se nachází především zemědělsky obhospodařovaná pole, průmyslové areály a částečně zástavba, lesy a vodní plochy.
Koryto Svatky a Svitavy je upraveno, jejich trasa je převážně přímá bez meandrů. Na Svratce se nachází jeden jez (Přízřenice). Oba toky křižují silniční a železniční liniové stavby v podobě mostů, případně lávek pro pěší a cyklisty a také produktovod.
Terén je rovinatý a je ovlivněn antropogenní činností. Významné překážky v proudění tvoří náspy dálnic D1 a D2, silnice 152 a železnic. Proudění rovněž významně ovlivňují chráněné areály a nově navržené prvky protipovodňové ochrany (Obr. 1).
Změny v proudění vyvolané navrhovaným opatřením se dotkne značného množství majitelů jednotlivých pozemků (Obr. 1).



Obr. 1 Zájmová lokalita (černě – navržené ochranné prvky, šedě – členění pozemků dle katastru nemovitostí)

3 Podklady

Pro zpracování dvourozměrného (2D) numerického modelu byly poskytnuty tyto relevantní podklady:

- Výkresy:
    - PROPUSTKY_zamereni.dwg
    - SIT_nove_hraze a zdi_oprava.dwg
    - SIT_zamereni.dwg
    - ACAD_model_opravy_15.7.2015
    - Brno_DKM.dwg
    - klad_orto_2.dwg
- Dokumenty:
    - MŘ_Jez Přízřenice 2011.pdf
    - MŘ_Jez Přízřenice_přílohy.pdf
    - MŘ_odběrný objekt Přízřenice 2009.pdf
    - Generel odvodnění města Brna část toky Č. 1 – Svratka (pdf, dwg, doc)
- Orthofoto snímky:
    - Brno 81_wmsORTO.jpg
    - Brno 82_wmsORTO.jpg
    - Brno 83_wmsORTO.jpg
    - Brno 84_wmsORTO.jpg
    - Brno 85_wmsORTO.jpg
    - Brno 91_wmsORTO.jpg
    - Brno 92_wmsORTO.jpg
    - Brno 93_wmsORTO.jpg
    - Brno 94_wmsORTO.jpg
    - Brno 95_wmsORTO.jpg
- E-mail text:
    - Průtoky v obou průtokových variantách pro Svratku v km 33,17 a pro Svitavu v km 3,80.
    - Úroveň hladiny ve Svratce v km 28,25.

4 Software

Pro řešení byl vybrán software Surface-water Modeling System (SMS) vzhledem k propracovanosti jeho preprocesoru a postprocesoru a širokému výběru výpočtových programů.

4.1 SMS

Jedná se o prostředí, které umožňuje vytvářet vstupní soubory dat pro výpočtové programy. SMS je modulární software, který umožňuje zpracovávat a vyhodnocovat prakticky libovolná plošná a některá prostorová data. Umožňuje pracovat s rastrovými i vektorovými daty.

Z výpočtových 2D programů softwaru SMS byl vybrán Finite Element Surface-water Modeling System (FESWMS), a to z důvodu metody řešení – metoda konečných prvků, která umožňuje libovolné zhuštění sítě při použití trojúhelníkových i čtyřúhelníkových prvků, což v dané lokalitě umožňuje precizně vystihnout geometrii povrchu a tak i proudění. Program umožňuje do 2D sítě vkládat jednorozměrné (1D) prvky, které představují hydrotechnické objekty.

4.2 FESWMS

Možnosti programu FESWMS jsou poměrně široké, mnohé z nich nebyly využity, proto jsou níže uvedeny upravené rovnice, které vyjadřují pouze řešený případ proudění.

Softwarový prostředek využívá pro řešení 2D proudění v ortogonálním souřadném systému *x*, *y* rovnici spojitosti

$$\frac{\partial q_x}{\partial x} + \frac{\partial q_y}{\partial y} = 0, \tag{1}$$

kde q je specifický průtok.

Dále používá dvě pohybové rovnice (rovnice mělkého proudění)

$$\frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{q_x^{\,2}}{h} + \frac{gh^2}{2}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(\frac{q_x q_y}{h}\right) + \frac{1}{\rho}\left[\tau_{dx} - \frac{\partial(h\tau_{xx})}{\partial x} - \frac{\partial(h\tau_{xy})}{\partial y}\right] = 0, \tag{2}$$

$$\frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{q_x q_y}{h}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(\frac{q_y^{\,2}}{h} + \frac{gh^2}{2}\right) + \frac{1}{\rho}\left[\tau_{dy} - \frac{\partial(h\tau_{xx})}{\partial x} - \frac{\partial(h\tau_{xy})}{\partial y}\right] = 0. \tag{3}$$

kde h je hloubka, ρ je hustota a g je tíhové zrychlení.

Smyková napětí na dně jsou určena rovnicemi

$$\tau_{dx} = \rho \frac{gn^2}{h^{1/3}} \sqrt{1 + \left(\frac{\partial Z_d}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial Z_d}{\partial y}\right)^2} \frac{q_x \sqrt{q_x^{\,2} + q_y^{\,2}}}{h^2}, \tag{4}$$

$$\tau_{dy} = \rho \frac{gn^2}{h^{1/3}} \sqrt{1 + \left(\frac{\partial Z_d}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial Z_d}{\partial y}\right)^2} \frac{q_y \sqrt{q_x^{\,2} + q_y^{\,2}}}{h^2}, \tag{5}$$

kde n je součinitel drsnosti a Z_d je úroveň dna.

Smykové napětí v kapalině τ se stanoví za předpokladu izotropní turbulence zavedením turbulentní viskozity υ_t

$$\tau_{xx} = \rho \upsilon_t \left(2 \frac{\partial v_x}{\partial x} \right), \tag{6}$$

$$\tau_{xy} = \tau_{yx} = \rho \upsilon_t \left(\frac{\partial v_x}{\partial y} + \frac{\partial v_y}{\partial x} \right), \tag{7}$$

$$\tau_{yy} = \rho \upsilon_t \left(2 \frac{\partial v_y}{\partial x} \right), \tag{8}$$

kde turbulentní viskozita je určena rovnicí skládající se ze tří algebraických modelů turbulence (jednotlivé členy v rovnici)

$$\upsilon_t = \upsilon_{t0} + c_1 v_* h + c_2 |J| \sqrt{\left(\frac{\partial v_x}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial v_y}{\partial y} \right)^2 + \frac{1}{2} \left(\frac{\partial v_x}{\partial y} + \frac{\partial v_y}{\partial x} \right)^2}\ , \tag{9}$$

kde každý model turbulence vyjadřuje jinou příčinu vzniku viskozity (molekulární, vertikální tření, horizontální tření). V rovnici (9) jsou c příslušné součinitele, u_* je třecí rychlost a J je Jakobián prvku.

Propustek je řešen jako 1D propojení dvou uzlů na síti. Pro řešení je využito rovnice spojitosti a Bernoulliho rovnice, pro všechny použité případy propustků je rovnice průtoku při tlakovém proudění ve tvaru

$$Q = C_d A \sqrt{2g\Delta Z_h}\ , \tag{10}$$

kde C_d je součinitel průtoku, A je průtočný průřez a ΔZ_h je rozdíl úrovní hladin (před a za propustkem). Součinitel průtoku je

$$C_d = \frac{1}{\sqrt{1 + \xi + \frac{2gnL}{R^{4/3}}}}, \tag{11}$$

kde ξ je součinitel místní ztráty vtoku, L je délka propustku a R je hydraulický poloměr.

5 Řešené průtokové stavy - varianty

Řešené průtokové stavy jsou uvedeny jako varianty v Tab. 1. Horní okrajové podmínky (HOP) jsou průtoky na hranicích přítoku do oblasti (v jednotlivých korytech toků) a dolní okrajovou podmínkou (DOP) je úroveň hladiny na hranici odtoku z výpočtové oblasti (koryto Svratky včetně záplavového území).

Tab. 1 Řešené varianty – průtokové stavy

Varianta	HOP1	HOP2		DOP
	$Q_{Svratka}$ [m^3/s]	$Q_{Svitava}$ [m^3/s]	Q_{celkem} [m^3/s]	Z_h [m n. m.]
1	405 (Q_{100})	67	472 (Q_{100})	191,77
2	290	182 (Q_{100})	472 (Q_{100})	191,77

Požadavkem také bylo splnit vnitřní podmínku, aby úroveň hladiny v Chrlickém poldru byla 193,10 m n. m.

6 Postup prací

6.1 Vytvoření topografie zájmové oblasti z DMT a jeho úprava

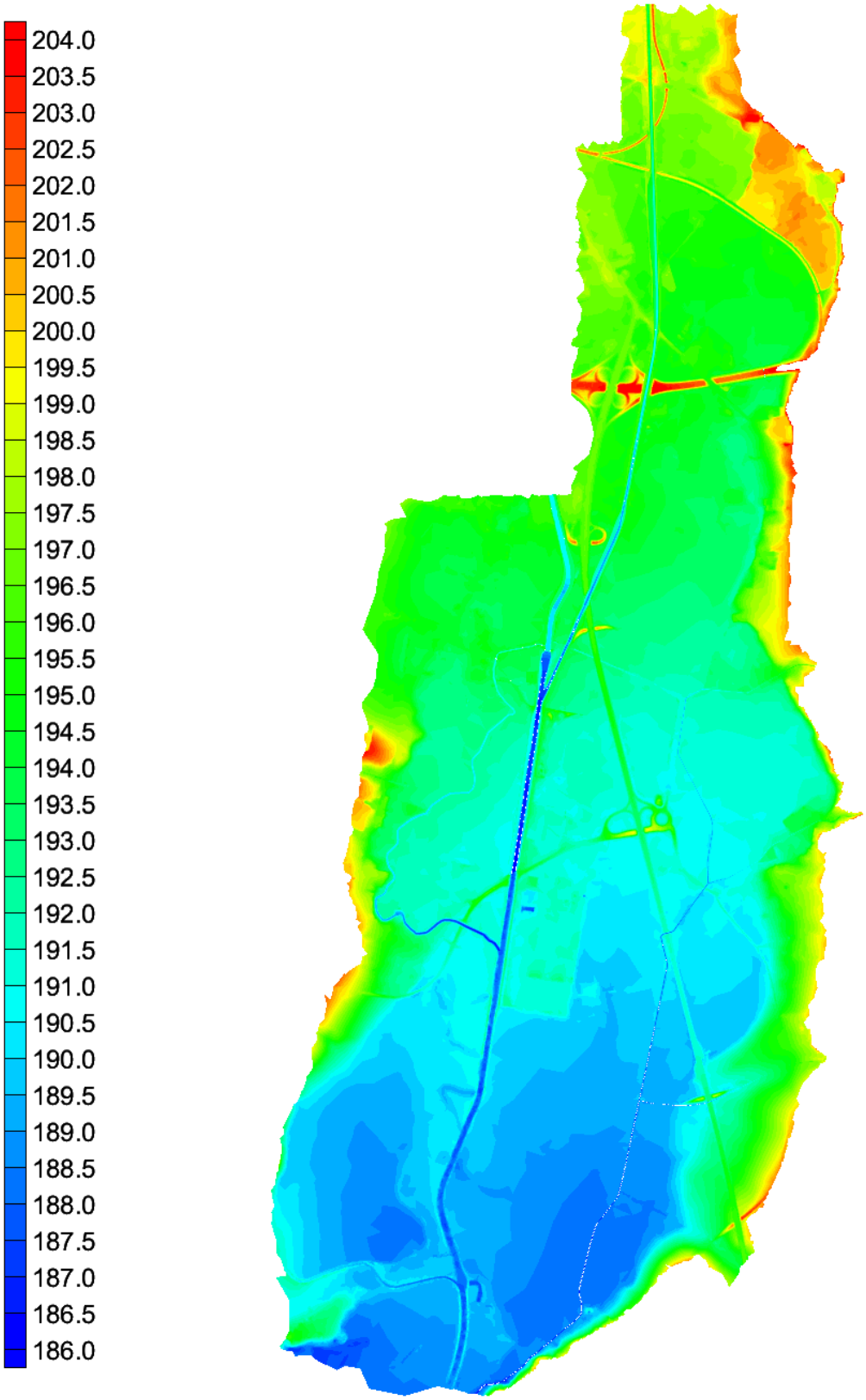
V prostředku SMS byl načten digitální model terénu (DMT) a následně byl převeden na DMT programu v modulu scatter. Zde byl upraven tak, aby byly odstraněny chyby při transformaci. Dále byl zmenšen na rozsah předpokládaného rozlivu a upraven tak, aby bylo možné ho použít při zadávání objektů. Byl načten soubor s povinnými hranami z měření, avšak ten se ne vždy slučoval s DMT, proto bylo nutné povinné hrany v DMT upravit. V místech, kde hrany nebyly k dispozici, byl DMT upraven tak, aby topografie terénu co nejblíže odpovídala realitě. Upravenou topografii zájmového území zobrazuje Obr. 2. K uvedenému DMT byl načten druhý DMT, který zohledňoval úpravy koryt toků (zde není uvedený).

6.2 Vytvoření výpočtové oblasti

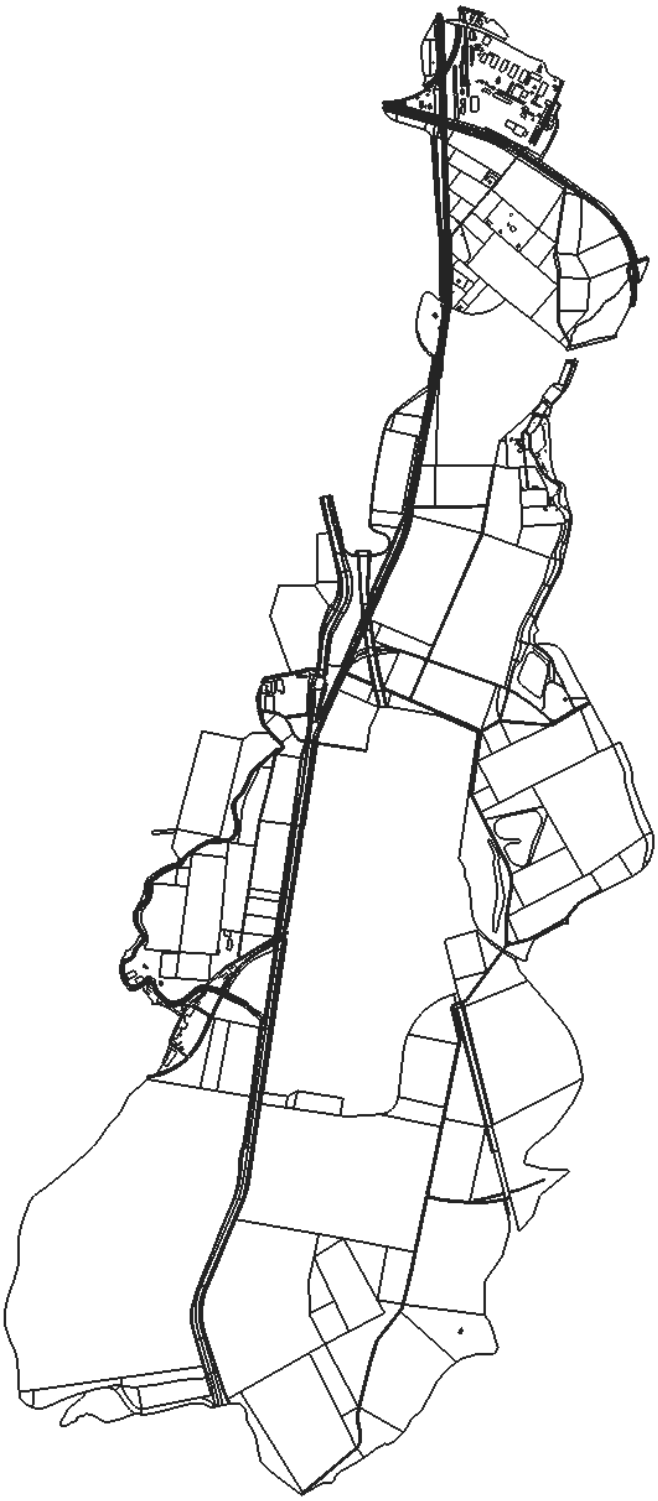
Rozsah výpočtové oblasti byl převzat ze stávajících map rozlivů při Q_{100} a upraven dle návrhu protipovodňových hrází a zdí. Výpočtovou oblast zobrazuje Obr. 3.

6.3 Rozdělení výpočtové oblasti na makroprvky

Výpočtová oblast byla rozdělena na podoblasti – makroprvky, které mají identické vlastnosti (typ sítě, součinitel drsnosti, způsob výpočtu turbulentní viskozity atd.). Zohledněny byly objekty, které měly nejdelší půdorysnou hranu větší než 10 m. Rozdělení výpočtové oblasti na makroprvky zobrazuje Obr. 3.



Obr. 2 Upravená topografie zájmové oblasti



Obr. 3 Výpočtová oblast a její dělení na makroprvky

6.4 Ohodnocení makroprvků zadáním parametrů

Makroprvkům byly přiděleny specifické vlastnosti (typ sítě, součinitel drsnosti, způsob výpočtu turbulentní viskozity, způsob generování úrovně uzlů atd.).

Součinitele drsnosti byly zadány proměnné po hloubce (pro menší než h_1 je n_1, pro větší než h_2 je n_2, mezi lineární interpolace), aby byl zohledněn efekt různé hustoty prvků po výšce bránících proudění. Ohodnocení typů povrchů součinitelem drsnosti popisuje Tab. 2 a plošné rozdělení součinitele drsnosti zobrazuje Obr. 4. Pro stanovení hodnoty turbulentní viskozity byly použity všechny tři modely turbulence. Hodnoty součinitelů turbulentních modelů zobrazuje Tab. 3.

Tab. 2 Součinitel drsnosti

Typ povrchu (označení typu povrchu)	n_1	n_2	h_1 [m]	h_2 [m]
Cesta, silnice, dálnice (cesta)	0,040	0,020	0,1	0,2
Trvale zatopené plochy (voda)	0,050	0,025	0,1	0,2
Dno koryt toků (koryto_dno)	0,064	0,032	0,1	0,2
Travnaté svahy koryt toků (koryto_svah_trava)	0,072	0,036	0,1	0,2
Pole (pole)	0,080	0,040	0,1	0,2
Berma (berma)	0,090	0,045	0,1	0,2
Zahrada (zahrada_prumysl_nasep)	0,100	0,050	0,1	0,2
Zatravněné plochy s náletovými dřevinami (zahrada_prumysl_nasep)	0,100	0,050	0,1	0,2
Průmyslové areály (zahrada_prumysl_nasep)	0,100	0,050	0,1	0,2
Zarostlé svahy koryt toků (koryto_svah_zarostly)	0,120	0,060	0,1	0,2
Les (les)	0,200	0,100	0,1	0,2

Tab. 3 Hodnoty základní turbulentní viskozity a součinitelů turbulentních modelů

υ_{t0} [m^2/s]	c_1	c_2
1	0,1	0,5

6.5 Vytvoření výpočtové sítě a její úprava

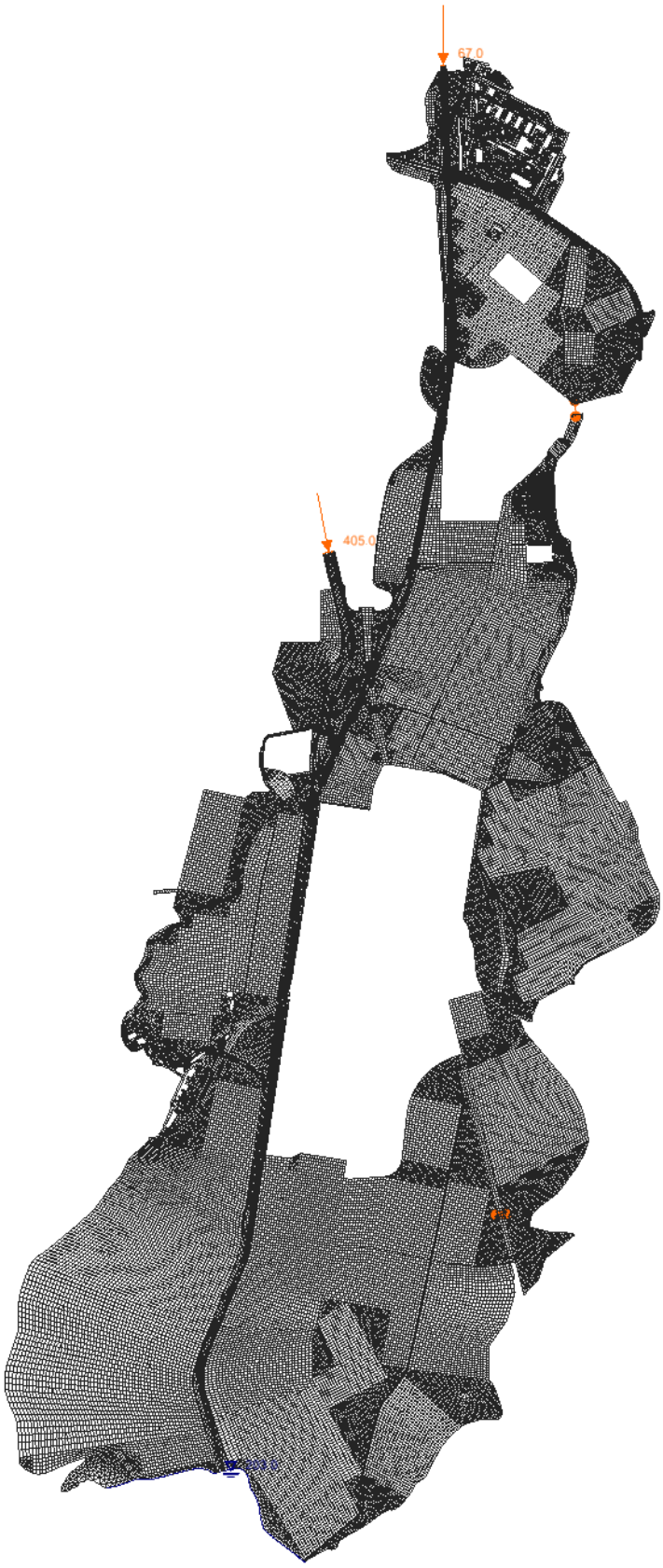
Výpočtová síť byla vytvořena na základě odhodnocených makroprvků a dále na ní byla provedena úprava týkající se eliminace nevhodných prvků, zhušťování atd. Výpočtová síť (Obr. 5) byla tvořena 70 059 prvky.

6.6 Zadání hydrotechnických objektů

Do výpočtové sítě byly vloženy 1D objekty – propustky. Navázány byly vždy na dva body sítě. Pro lepší stabilitu výpočtu byly navázány na krajní body prvků a byly uloženy tak, aby na nich vzniklo vždy tlakové proudění.

Jez byl zadán ve 2D vzhledem k jeho rozměrům. Mosty byly modelovány rovněž ve 2D, jejich vnitřní podpěry (pilíře) byly neprůtočné (byly vyjmuty z výpočtové sítě).

Obr. 4 Typ povrchu



Obr. 5 Výpočtová síť, 1D objekty a hranice se zadanými OP, hodnoty Varianty 1

6.7 Zadání okrajových podmínek

Horními okrajovými podmínkami byly průtoky s určením směru proudění na příslušných hranicích, dolní okrajovou podmínkou byla úroveň hladiny. Hodnoty okrajových podmínek při jednotlivých průtokových variantách zobrazuje Tab. 1 a jejich umístění zobrazuje Obr. 5.

6.8 Zadání parametrů výpočtu

V zadání parametrů výpočtu byl specifikován způsob výpočtu, vlastnosti hranic, vstupní soubory dat, konvergenční kritéria, výstupní soubory dat, zavodnění prvků atd.

6.9 Výpočet

Výpočet byl prováděn postupným snižováním úrovně hladiny v místě dolní okrajové podmínky až na požadovanou úroveň, důvodem byla změna mokrých elementů za suché, při které dochází ke změně charakteru proudění, které může způsobovat oscilaci a divergenci výpočtu. Postupným snižováním hladiny se uvedený vliv minimalizuje. Výpočet byl ukončen po splnění konvergenčního kritéria (změna polohy hladiny ve vybraných místech oblasti je menší než 0,01 m).

Pro zajištění požadované úrovně hladiny v Chrlickém poldru bylo nutné simulovat přeliv (jeho tvar a šířka byla volena tak, aby proudění bylo bez oscilací při výpočtu), úroveň koruny přelivu byla stanovena iteračně.

6.10 Kalibrace a verifikace modelu

Vzhledem k tomu, že navrhovaná protipovodňová opatření mají na proudění v dané lokalitě zásadní vliv, nebylo možné provést kalibraci ani verifikaci modelu na změřená data při podobném průtoku. Proto byla kalibrace modelu provedena pouze částečně pomocí měrné křivky přelivu jezu Přízřenice a úrovně hladiny stanovené z kalibrovaného 1D síťového modelu vypracovaného Povodím Moravy, s. p. při menších průtocích.

Z Tab. 4 je vidět, že 2D model dává prakticky stejné výsledky za stávajícího stavu (do ±0,05 m), a přibližně stejné za návrhového stavu (do ±0,20 m), proto je možné konstatovat, že 2D model je pro průtoky, které nevybřeží z koryt toků, kalibrovaný.

Tab. 4 Výsledky kalibrace, úroveň hladiny Z_h [m n. m.]

Popis stavu a objektu se staničením	$Z_{h,\ požadováno}$	$Z_{h,\ dosaženo}$	ΔZ_h [m]
Stávající stav - MŘ Jez Přízřenice Svratka Q = 180 m^3/s, Svitava Q = 0 m^3/s Svratka - Jez Přízřenice	194,20	194,25	0,05
Návrhový stav - Generel odvodnění města Brna Svratka Q = 0 m^3/s, Svitava Q_5 = 83 m^3/s Svitava – zaústění km 0,000	192,48	192,48	0,00
Svitava – silniční most km 0,650	192,81	192,95	0,14
Svitava – silniční most km 2,030	194,72	194,71	-0,01
Svitava – silniční most km 2,390	195,12	195,28	0,18
Svitava – železniční most km 3,341	195,98	195,86	-0,12
Svitava – železniční most km 3,614	196,31	196,49	0,18
Návrhový stav - Generel odvodnění města Brna Svratka Q = 188,5 m^3/s, Svitava Q = 0 m^3/s Svratka – zaústění náhonu Modřice km 30,343	191,25	191,28	0,03
Svratka – silniční most km 30,817	191,64	191,70	0,06
Svratka – silniční most km 30,838	191,66	191,80	0,14
Svratka – hospodářský most km 31,875	192,44	192,24	-0,20
Svratka – zaústění Svitavy km 31,958	192,48	192,31	-0,17

6.11 Archivace výsledků

Uložení výsledků bylo provedeno v podobě textového souboru dat všech bodů na síti (txt) a tabulkového souboru dat všech zaplavených bodů na síti (xlsx) a byly vygenerovány obrázky výsledků Obr. 6 až Obr. 13.

Textový soubor dat a tabulkový soubor dat obsahují hodnoty ve sloupcích ve členění x, y, Z_0, Z_h, h, v_{sx}, v_{sy}, q v základních SI jednotkách (viz seznam veličin), kde x je x-ová souřadnice bodu, y je y-ová souřadnice bodu, Z_0 je úroveň dna, Z_h je úroveň hladiny, h je hloubka, v_{sx} a v_{sy} jsou složky svislicové rychlosti a q je specifický průtok.

7 Výsledky

Výsledky jsou zobrazeny v podobě úrovně hladiny, která poskytuje základní informaci pro návrh ochranných hrází a zdí, dále v podobě hloubky a svislicové rychlosti, které jsou základním podkladem pro vyhotovení mapy ohrožení a dále k provedení rizikové analýzy záplavového území a konečně v podobě specifického průtoku, který podává informaci o hlavních proudech v záplavovém území.

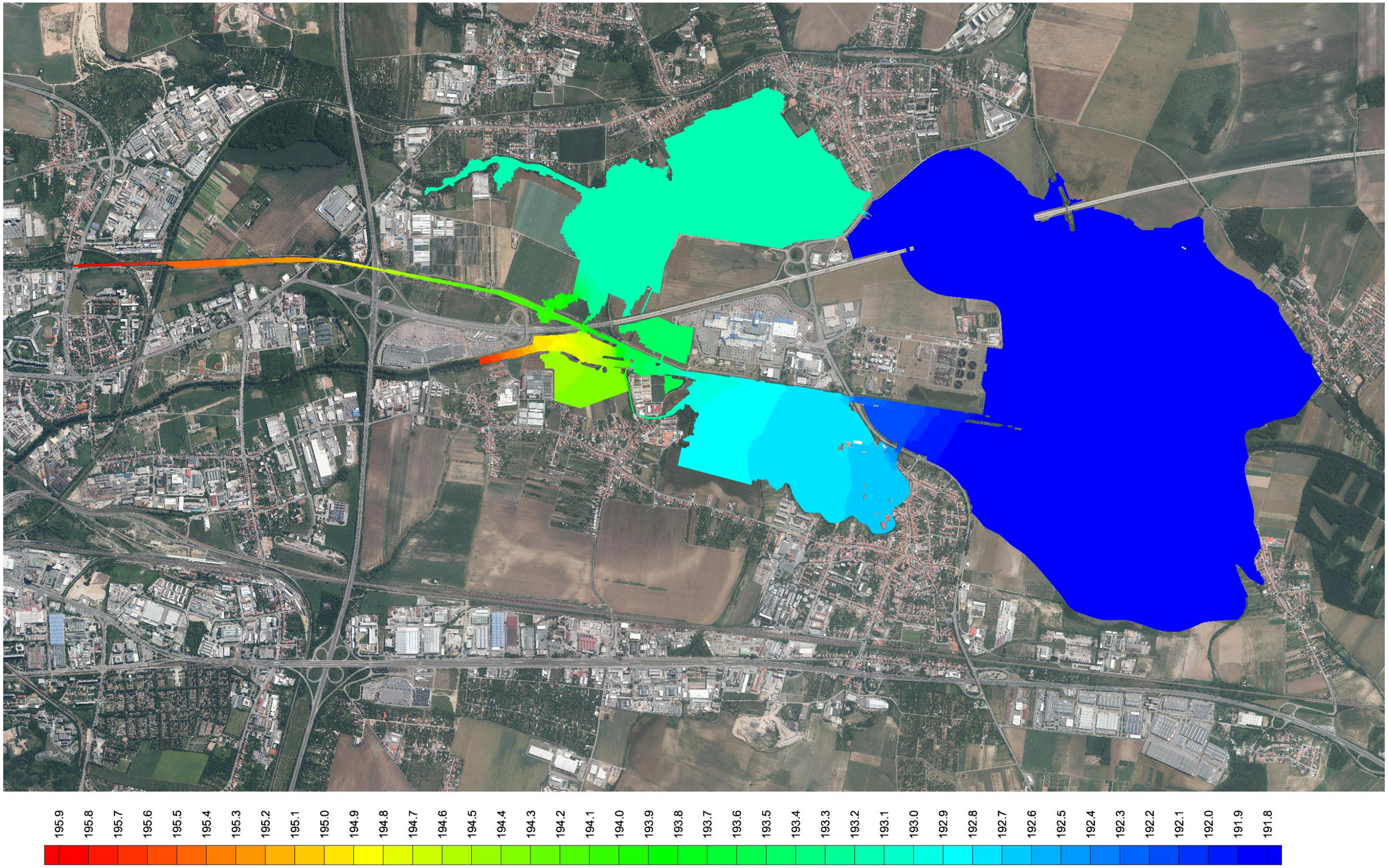
Model má omezenou přesnost v oblasti od propustků dálničního náspu až po Holásecká jezera, jelikož zde nebylo provedeno zaměření koryta Černovického potoka a mostních objektů.

7.1 Varianta 1

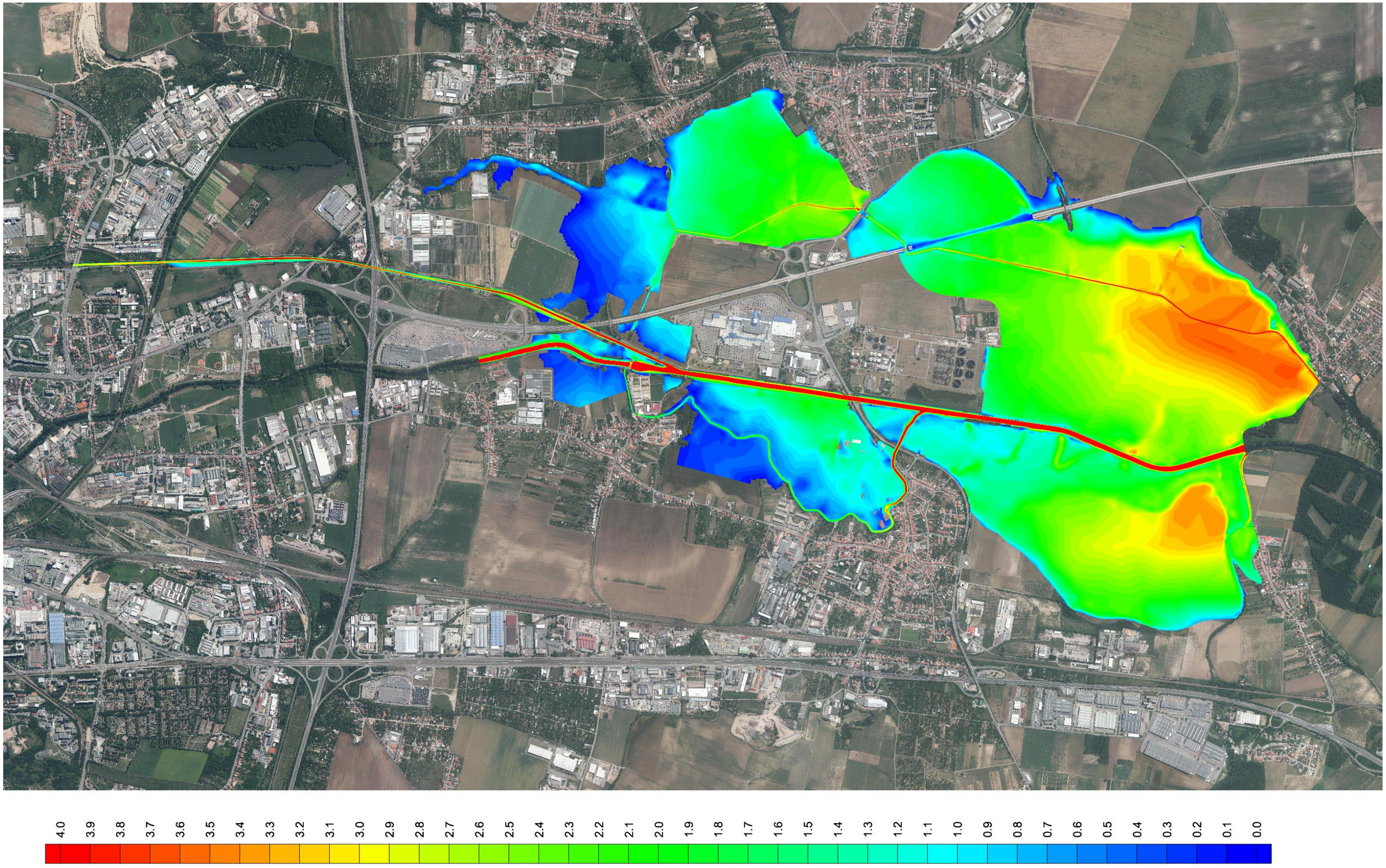
Výsledky Varianty 1 jsou zobrazeny graficky na Obr. 6 až Obr. 9. Obr. 6 zobrazuje úroveň hladiny, Obr. 7 zobrazuje hloubku, Obr. 8 zobrazuje svislicovou rychlost a Obr. 9 zobrazuje specifický průtok. Barevné škály na obrázcích nezohledňují maximální hodnoty, protože by se tak snížila jejich vypovídací hodnota.

7.2 Varianta 2

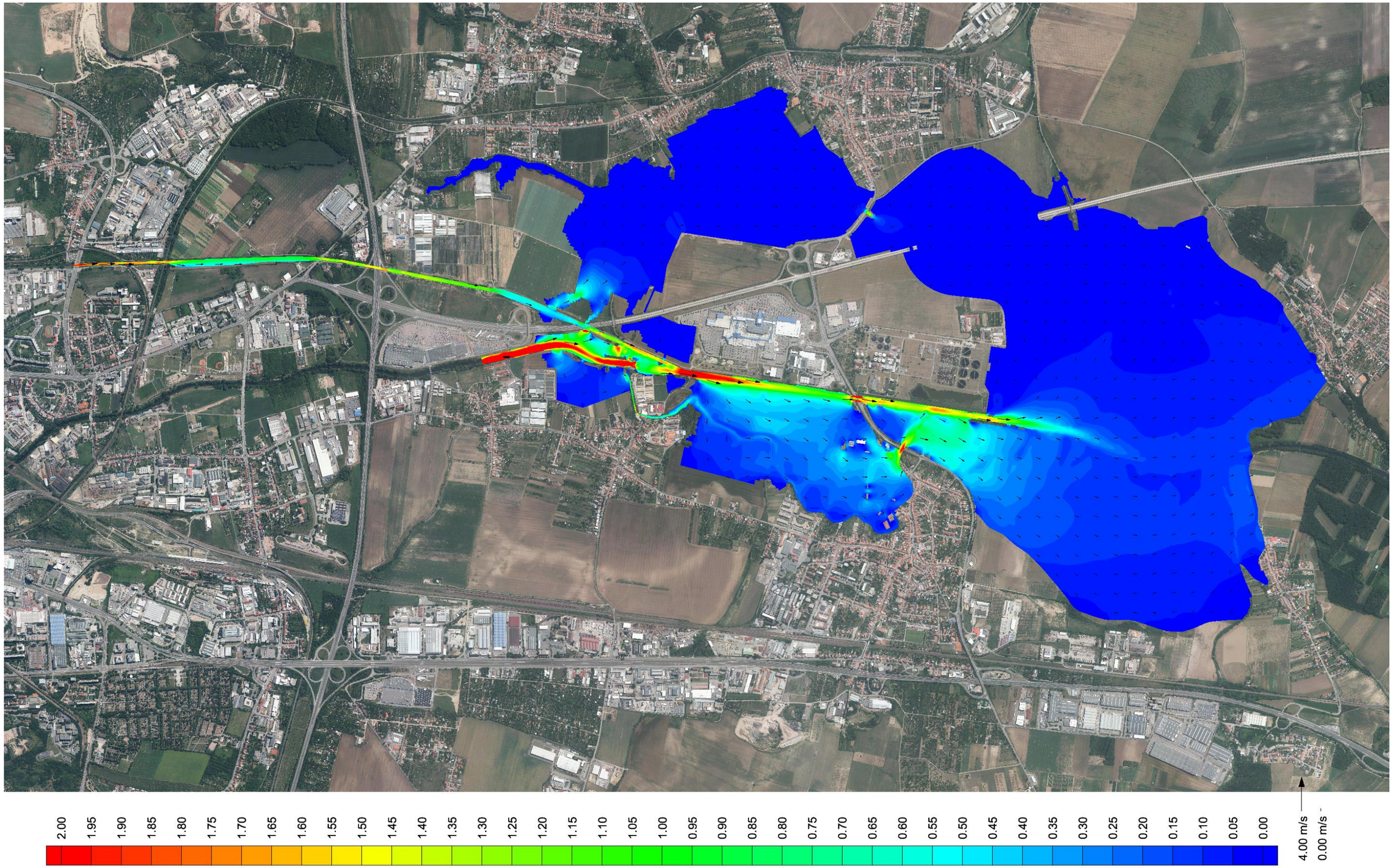
Výsledky Varianty 2 jsou zobrazeny graficky na Obr. 10 až Obr. 13. Obr. 10 zobrazuje úroveň hladiny, Obr. 11 zobrazuje hloubku, Obr. 12 zobrazuje svislicovou rychlost a Obr. 13 zobrazuje specifický průtok. Barevné škály na obrázcích nezohledňují maximální hodnoty, protože by se tak snížila jejich vypovídací hodnota.



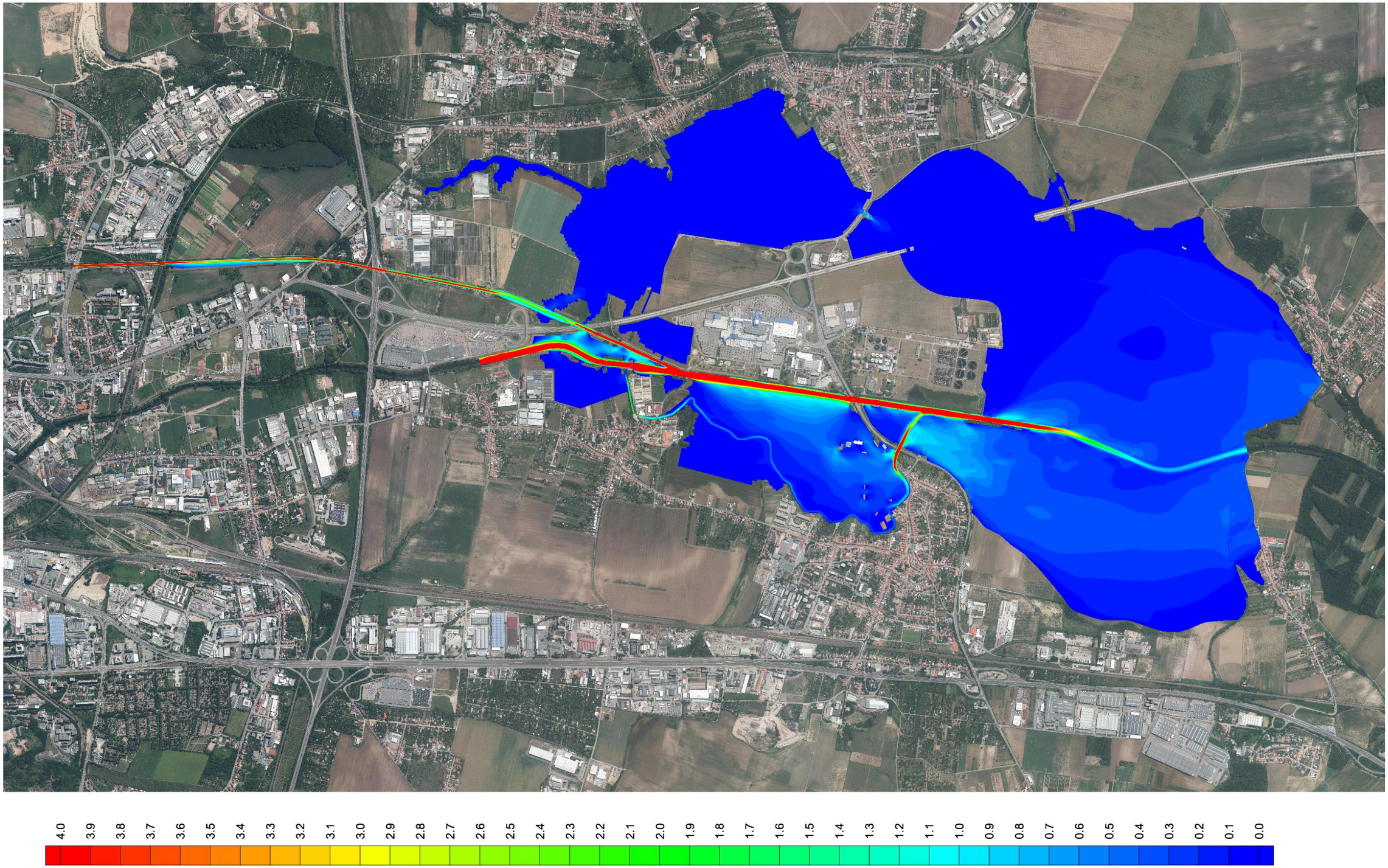
Obr. 6 Varianta 1 – úroveň hladiny Z_h [m n. m.]



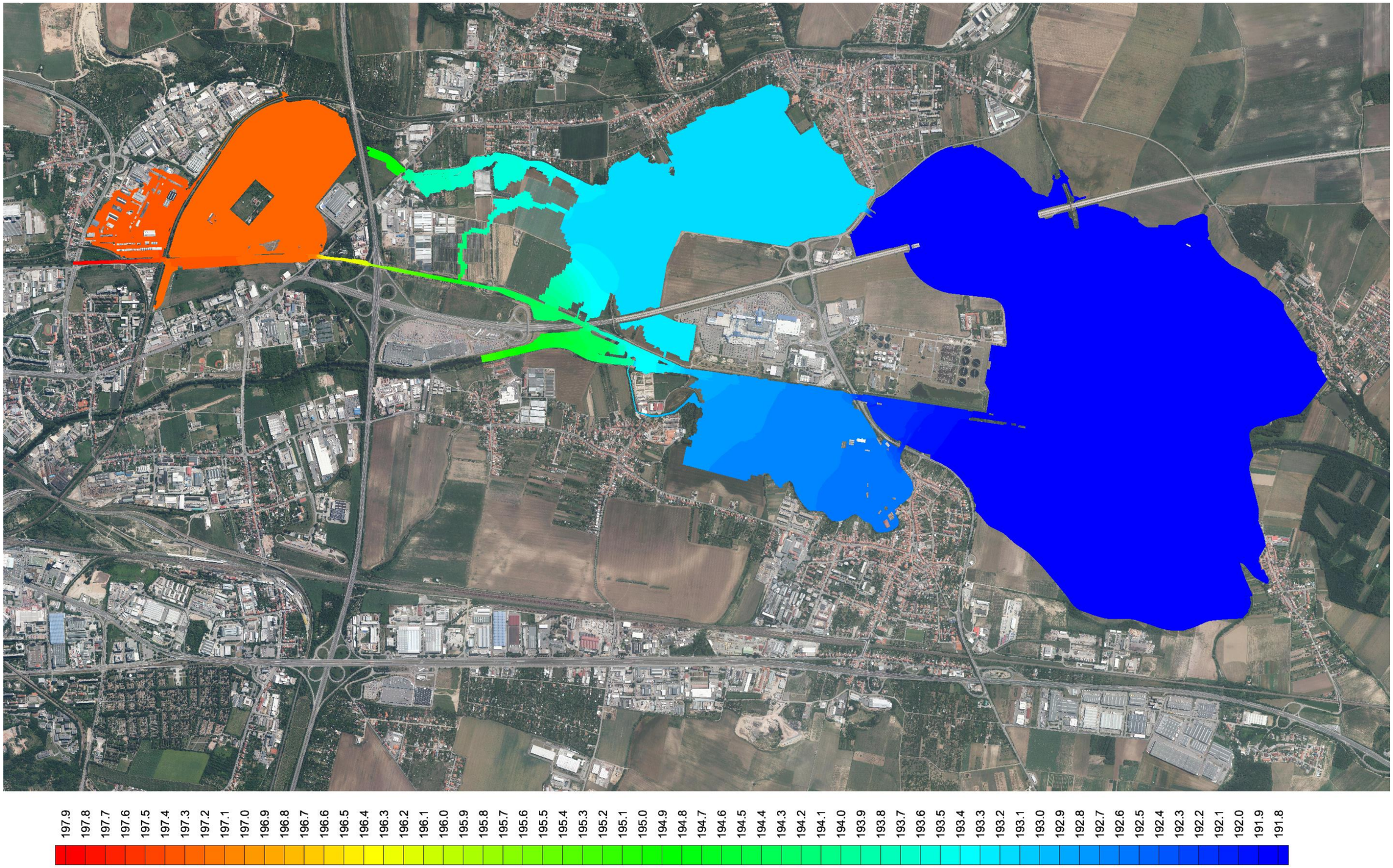
Obr. 7 Varianta 1 – hloubka *h* [m]



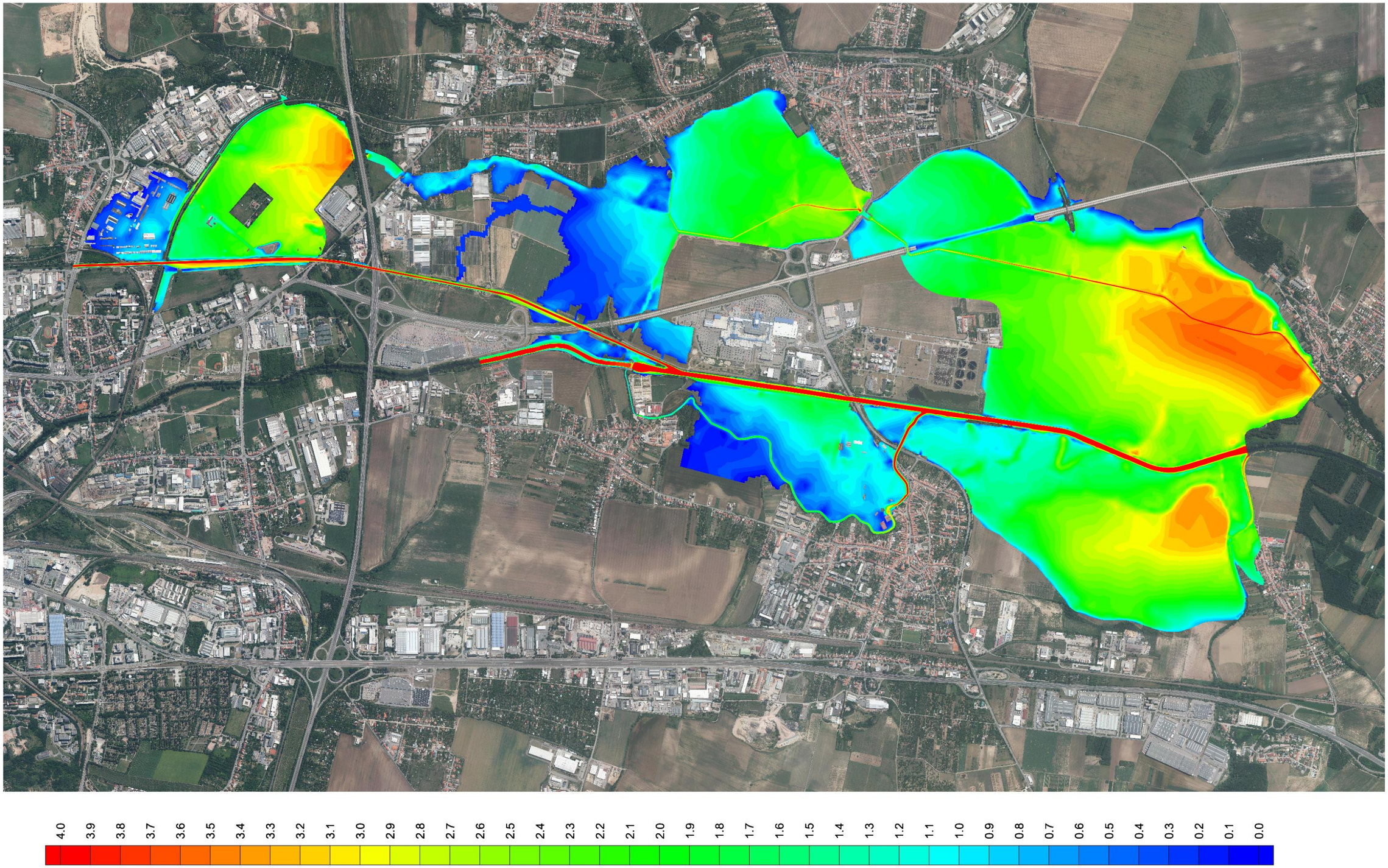
Obr. 8 Varianta 1 – svislicová rychlost v_s [m/s]



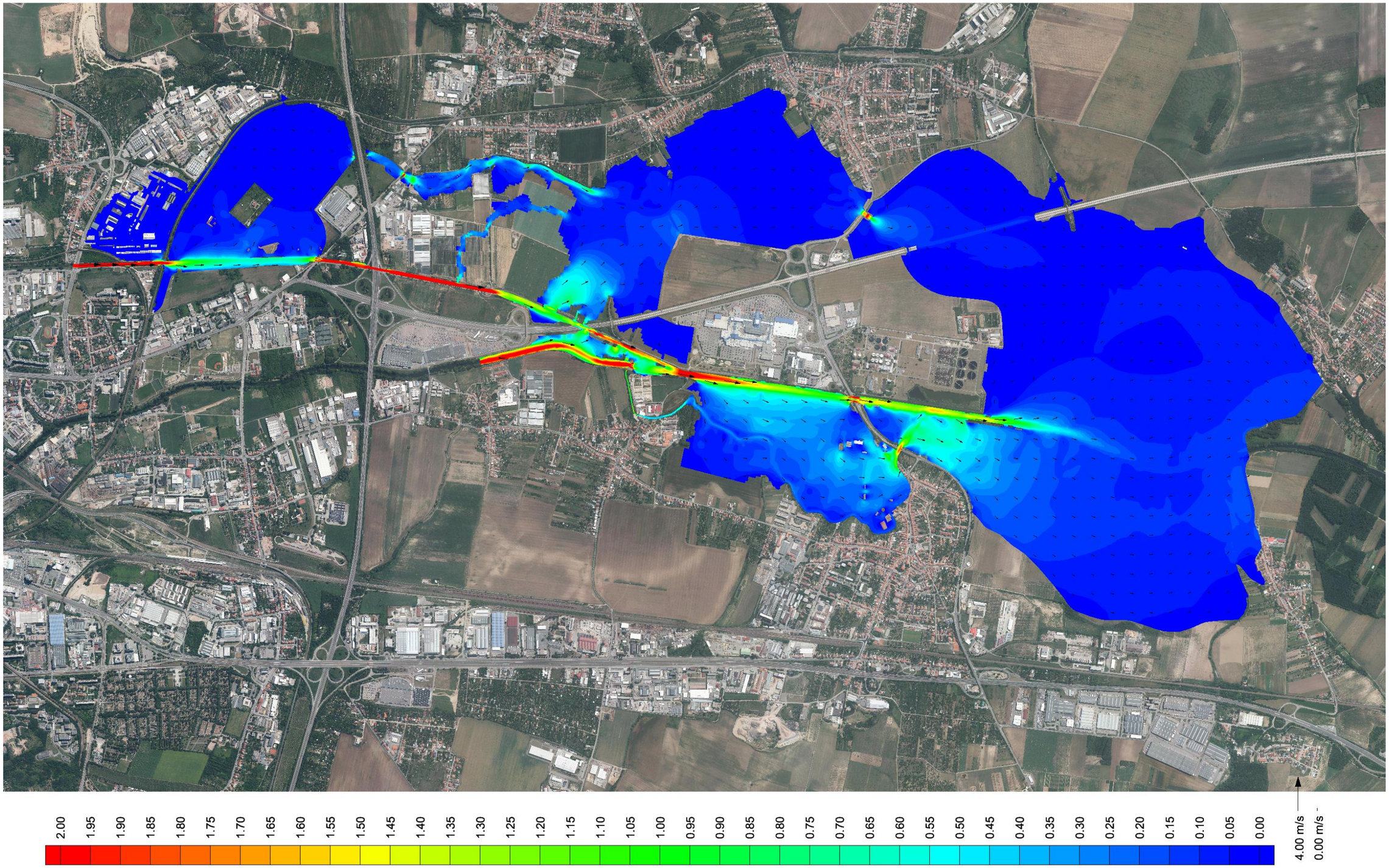
Obr. 9 Varianta 1 – specifický průtok q [m^2/s]



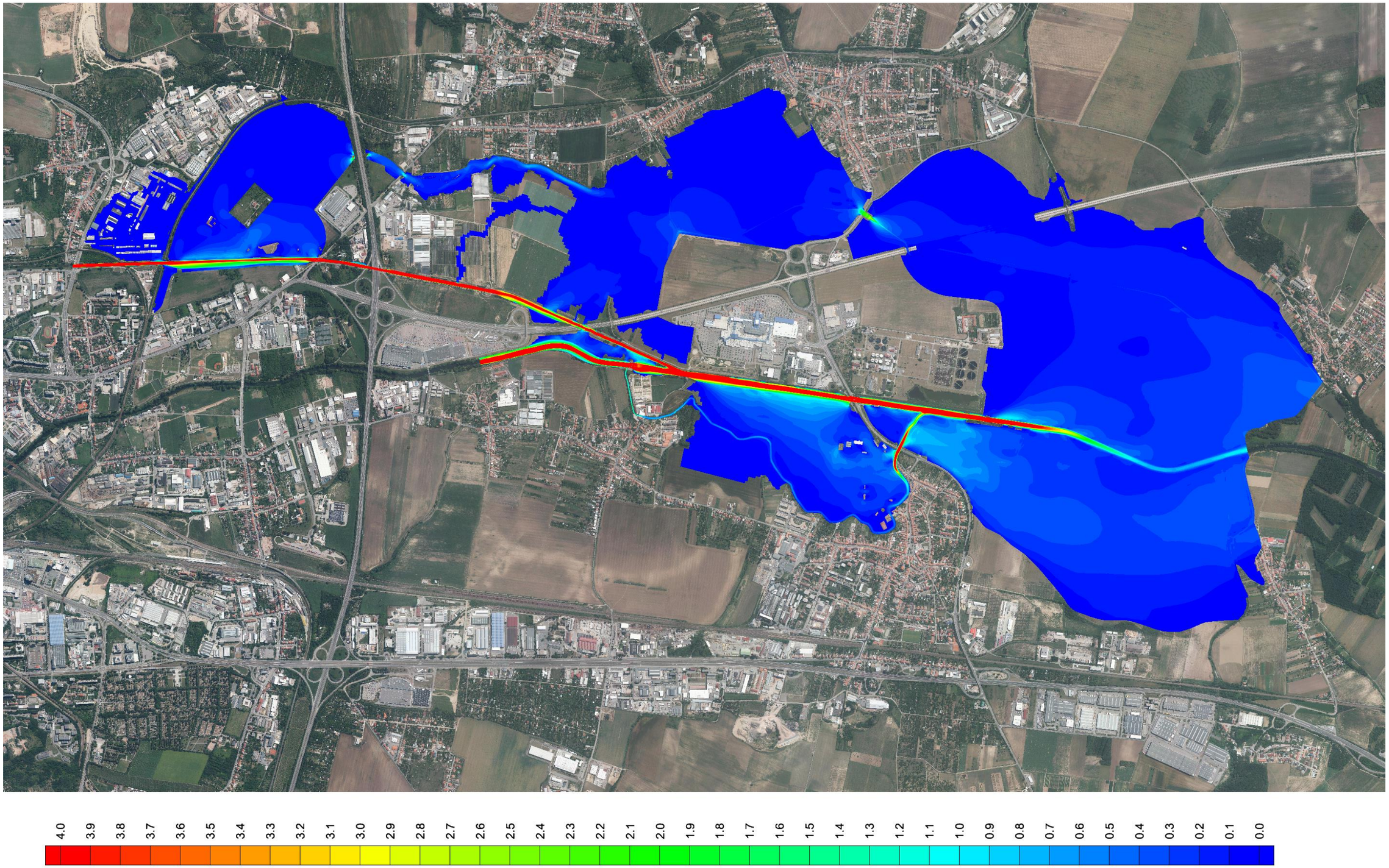
Obr. 10 Varianta 2 – úroveň hladiny Z_h [m n. m.]



Obr. 11 Varianta 2 – hloubka *h* [m]



Obr. 12 Varianta 2 – svislicová rychlost v_s [m/s]



Obr. 13 Varianta 2 – specifický průtok q [m^2/s]

8 Závěr

Pomocí programu SMS-FESWMS byl vytvořen dvourozměrný numerický model simulující proudění v soutokové oblasti Svratky a Svitavy za návrhového stavu území s ochrannými opatřeními specifikovanými objednatelem v rozsahu Svratky km 28,25 až km 33,17 a Svitavy v km 0,00 až km 3,80. Proudění bylo vypočítáno za dvou průtokových stavů odpovídajících stoletému průtoku v jednom z toků a průtokovému doplňku ve druhém.

Kalibrace modelu byla provedena na stávající měrnou křivku jezu Přízřenice a úrovně hladiny kalibrovaného 1D síťového modelu proudění zpracovaného firmou Povodí Moravy, státní podnik za průtoků, kdy nedošlo k rozlivu mimo koryto.

Výsledkem výpočtů jsou mapy a tabulky úrovně hladiny, hloubky, specifického průtoku a svislicové rychlosti s vyznačením vektorů rychlosti pro obě průtokové varianty.

Na proudění v inundačním území má zásadní vliv několik objektů. V pravém inundačním území Svitavy a následně Svratky se jedná především o násyp dálnice D1 (a v něm umístěné dva propustky), který ovlivňuje úroveň hladiny až k železničnímu mostu v km 3,614 a hráz navrhovaného Chrlického poldru, která ovlivňuje proudění až v Holáseckých jezerech. V levém inundačním území Svratky je to násep silnice 152, který hydrodynamicky vzdouvá hladinu vody až k Přízřenicím. Je nutné zdůraznit, že poloha hladiny vody v místě odtoku z výpočtové oblasti (dolní okrajová podmínka) zásadně ovlivňuje proudění až po hráz Chrlického poldru a násyp silnice 152.

V Brně dne 24. 7. 2015

doc. Ing. Zbyněk Zachoval, Ph.D.
řešitel

prof. Ing. Jan Šulc, CSc.
vedoucí ÚVST
FAST VUT

doc. Ing. Ladislav Tuhovčák, CSc.
vedoucí divize VHVS AdMaS UP
FAST VUT

9 Literatura

Chow, V.T., 1959. Open-channel Hydraulics, New York: McGraw-Hill.

Froehlich, D. C., 2003. User´s Manual for FESWMS FST2DH. Lexington: University of Kentucky.

Hardy R., Bates P., Anderson M., 1998. The importance of spatial resolution in hydraulic models for floodplain environments. Journal of Hydrology 216. pp. 124-136.

Horritt M., Bates P., Mattinson M., 2006. Effects of mesh resolution and topographic representation in 2D finite volume models of shallow water fluvial flow. Journal of Hydrology 329. pp. 306-314.

Kolář V., Patočka C., Bém J., 1983. Hydraulika. Praha: SNTL.

Soares-Frazao S., Lhomme J., Guinot V., Zech Y., 2008. Two-dimensional shallow-water model with porosity for urban flood modeling. Journal of Hydraulic Research Vol. 46. No. 1. 2008. Pp. 45-64.

Zachoval Z., 2003. Distribution of vertical velocities for different bed roughness measured by UVP Monitor. In XVIII. Symposium on anemometry. Úvaly u Prahy, AV ČR. ISBN 80-239-0644-5.

Zachoval Z., 2003. Application of Aquadyn, SMS and CCHE2D for the Description of Water Flow in Local Channal Widening. In International Conference of Water Service Science ICWSS 2003. Úbislav. p. 96 - 101. ISBN 80-214-2358-7.

Zachoval Z., 2001. Vhodnost použití 2D matematických modelů přírodního spádového stupně vzhledem k návrhu tvaru objektu. In Voda a životní prostředí. Pavlov, NOEL 2000. p. 150 - 154. ISBN 80-86020-35-5.

Zachoval Z. 2001. Porovnání výsledků z matematických modelů přírodního spádového stupně "hrušky" s výsledky z modelu fyzikálního. Environmentálne aspekty navrhovania a prevádzky nádrží a priehrad, Vplyv vodohospodárskych stavieb na tvorbu a ochranu životného prostredia. Podbánské, ASCO Bratislava. p. 351 - 356. ISBN 80-88820-18-9.

10 Seznamy

10.1 Seznam veličin

symbol	název	jednotka
A	průtočný průřez	[m^2]
c	součinitel modelu turbulence	
C_d	součinitel průtoku	
Fr	Froudovo kritérium (číslo)	
g	tíhové zrychlení	[m/s^2]
h	hloubka	[m]
J	Jakobián matice prvku	[m^2]
L	délka propustku	[m]
n	součinitel (stupeň) drsnosti	
q	specifický průtok	[m^2/s]
Q	průtok (objemový)	[m^3/s]
R	hydraulický poloměr	[m]
u_*	třecí rychlost	[m/s]
v_s	svislicová rychlost	[m/s]
x	souřadnice	[m]
y	souřadnice	[m]
Z	úroveň	[m n. m.]
ρ	hustota	[kg/m^3]
υ	kinematická viskozita	[m^2/s]
τ	napětí	[Pa]
Indexy		
h	hladina	
t	turbulence	
x	směr x pravoúhlého souřadného systému	
y	směr y pravoúhlého souřadného systému	
0	základ, dno	

10.2 Seznam zkratek

1D	jednorozměrný
2D	dvourozměrný
MKP	Metoda konečných prvků
DMT	Digitální model terénu
SMS	Surface-water Modeling System
FESWMS	Finite Element Surface-water Modeling System

10.3 Seznam obrázků

OBR. 1 ZÁJMOVÁ LOKALITA (ČERNĚ – NAVRŽENÉ OCHRANNÉ PRVKY, ŠEDĚ – ČLENĚNÍ POZEMKŮ DLE KATASTRU NEMOVITOSTÍ) 5
OBR. 2 UPRAVENÁ TOPOGRAFIE ZÁJMOVÉ OBLASTI 11
OBR. 3 VÝPOČTOVÁ OBLAST A JEJÍ DĚLENÍ NA MAKROPRVKY 12
OBR. 4 TYP POVRCHU 14
OBR. 5 VÝPOČTOVÁ SÍŤ, 1D OBJEKTY A HRANICE SE ZADANÝMI OP, HODNOTY VARIANTY 1 15
OBR. 6 VARIANTA 1 – ÚROVEŇ HLADINY 19
OBR. 7 VARIANTA 1 – HLOUBKA 20
OBR. 8 VARIANTA 1 – SVISLICOVÁ RYCHLOST 21
OBR. 9 VARIANTA 1 – SPECIFICKÝ PRŮTOK 22
OBR. 10 VARIANTA 2 – ÚROVEŇ HLADINY 23
OBR. 11 VARIANTA 2 – HLOUBKA 24
OBR. 12 VARIANTA 2 – SVISLICOVÁ RYCHLOST 25
OBR. 13 VARIANTA 2 – SPECIFICKÝ PRŮTOK 26

10.4 Seznam tabulek

TAB. 1 ŘEŠENÉ VARIANTY – PRŮTOKOVÉ STAVY 9
TAB. 2 SOUČINITEL DRSNOSTI 13
TAB. 3 HODNOTY ZÁKLADNÍ TURBULENTNÍ VISKOZITY A SOUČINITELŮ TURBULENTNÍCH MODELŮ 13
TAB. 4 VÝSLEDKY KALIBRACE, ÚROVEŇ HLADINY Z_H [M N. M.] 17