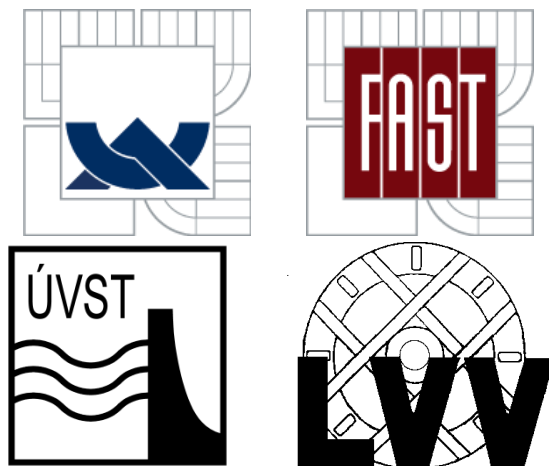


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV VODNÍCH STAVEB
LABORATOŘ VODOHOSPODÁŘSKÉHO VÝZKUMU



**2D numerický model neustáleného proudění
ve Svatce km 28,2 až km 47,7
a ve Svitavě km 0,0 až km 11,5**

Zpráva

Brno, 2015

Obsah

1	IDENTIFIKAČNÍ DATA	2
2	ÚVOD	4
3	PODKLADY	6
4	SOFTWARE	8
4.1	SMS	8
4.2	TUFLOW	8
5	NUMERICKÝ MODEL.....	9
5.1	TOPOGRAFIE ZÁJMOVÉ OBLASTI Z DMT A JEHO ÚPRAVA	9
5.2	VÝPOČTOVÉ SÍTĚ	9
5.3	VÝPOČTOVÉ OBLASTI	9
5.4	DRSNOST POVRCHU	14
5.5	1D OBJEKTY.....	14
5.6	2D OBJEKTY.....	14
5.7	PODMÍNKY JEDNOZNAČNOSTI.....	19
5.8	PARAMETRY VÝPOČTU A VÝPOČET	21
5.9	KALIBRACE A VERIFIKACE MODELU.....	21
5.10	ARCHIVACE VÝSLEDKŮ	24
6	VÝSLEDKY	25
6.1	TRANSFORMACE POVODŇOVÉ VLNY	25
6.2	MAPY VELIČIN PŘI KULMINACI ÚROVNĚ HLADINY	27
7	POROVNÁNÍ VÝSLEDKŮ S VÝSLEDKY 1D SÍŤOVÉHO MODELU	38
8	ZÁVĚR.....	40
9	LITERATURA	42
10	SEZNAMY	43
10.1	SEZNAM VELIČIN	43
10.2	SEZNAM ZKRATEK	43
10.3	SEZNAM OBRÁZKŮ.....	44
10.4	SEZNAM TABULEK	44

1 Identifikační data

Název akce:	Přírodě blízká POP a revitalizace údolní nivy hlavních brněnských toků
Název zprávy:	2D numerický model neustáleného proudění ve Svatce km 28,2 až km 47,7 a ve Svitavě km 0,0 až km 11,5
Objednatel:	AQUATIS a.s. Botanická 834/56 602 00 Brno
IČ objednatele:	46347526
DIČ objednatele:	CZ46347526
Kontaktní osoba:	Ing. Tomáš Roth
Číslo smlouvy objednatele:	14286/5817
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:	HS12560009

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 neustálené proudění za navrhovaného stavu v rozsahu Svatky km 28,2 až km 47,7 (dle TPE km 38,945 až km 56,187) a Svitavy v km 0,0 až km 11,5 za jedné průtokové epizody odpovídající stoleté povodni ve Svitavě (kulminační průtok $180 \text{ m}^3/\text{s}$) a stoleté neovlivněné povodni ve Svatce (kulminační průtok $395 \text{ m}^3/\text{s}$) včetně přítoků v daných úsecích.

Způsob odevzdání:

Zpráva 5ks, CD 5ks – obsahuje výstupní data z modelu.

Stručný přehled provedené práce:

Pomocí programu SMS 11.0 - TUFLOW byly vytvořeny tři 2D numerické modely neustáleného proudění ve Svatce km 28,2 až km 47,7 (dle TPE km 38,945 až km 56,187) a ve Svitavě km 0,0 až km 11,5 s nově navrženými protipovodňovými opatřeními. První model byl v rozsahu Svitavy km 3,25 až km 11,45, druhý model byl v rozsahu Svatka km 35,53 až km 47,70 a třetí model zahrnoval Svatku km 28,23 až km 35,57 a Svitavu km 0,00 až km 3,36. Kalibrace modelů byla provedena na úroveň hladiny při průtoku Q_5 stanovenou 1D síťovým modelem zhotoveným podnikem Povodí Moravy, státní podnik (PM). Výsledkem jsou mapy úrovně kulminační hladiny, hloubky při kulminaci hladiny a maximální svislicové rychlosti s vyznačením vektorů rychlosti. Výsledky budou použity pro návrh protipovodňových opatření.

2 Úvod

Zájmová lokalita (Obr. 1) se nachází v Jihomoravském kraji na území okresů: Brno – město a Brno – venkov.

Území je vymezeno úseky toků Svratky km 28,2 až km 47,7 (dle TPE km 38,945 až km 56,187) a Svitavy km 0,00 až km 11,5. Záplavové území má rozsah přes celou údolní nivu, ve které se nachází především zemědělsky obhospodařovaná pole, průmyslové areály, zahrady a částečně zástavba, lesy a rekreační, sportovní a vodní plochy.

Koryto Svitavy je prakticky celé upraveno, trasa se skládá z přímých úseků a oblouků. Příčný profil je lichoběžníkový, v některých úsecích je doplněný bermou nebo bermami. Na toku jsou jezy, mosty a lávky. Významný z hlediska proudění je Cacovický náhon.

Koryto Svratky je upraveno v menším rozsahu, je různorodé. V některých místech je koryto s nábrežními zdmi (ulice Poříčí), v některých úsecích není břeh upraven zcela (km 38,9 až km 40,0; km 44,9 až km 45,5). Na toku jsou jezy, mosty a lávky.

Terén je rovinatý a je ovlivněn antropogenní činností. Významné překážky v proudění v inundačním území tvoří násypy dálnic D1 a D2, silnice 152 a železnic. Proudění rovněž významně ovlivňují chráněné areály, terénní úpravy (bermy) a nově navržené prvky protipovodňové ochrany (PPO) (Obr. 1).

Detailní popis je proveden v podkladech D.11.1. Technická zpráva stavebních objektů – Svratka a D.2.11. Technická zpráva stavebních objektů – Svitava.



Obr. 1 Zájmová lokalita (zeleně – navržená PPO, červeně – nové náspy, fialově – zvýšení terénu, šedě – rozsahy modelů)

3 Podklady

Pro zpracování dvourozměrných (2D) numerických modelů byly poskytnuty tyto relevantní podklady:

- Výkresy:
 - ACAD-BRNO.dwg
 - SIT_nove_hraze a zdi_03.dwg
 - JEZY_pudorys reference.dwg
 - KAMENOMLÝNSKÝ JEZ.dwg
 - C_3_1_3_SVRATKA_POD a REZY MOSTU.dwg
 - C_3_9_3_SVITAVA_POD a REZY MOSTU.dwg
 - SVITAVA.dwg
 - SVRATKA.dxf
 - kninicky.dwg
 - komin.dwg
 - leskava2.dwg
 - modrice_nahon.dwg
 - svitava_jih2.dwg
 - svitava_sever.dwg
 - Svitava_Svratka_jih.dwg
 - Svratka_nahon.dwg
 - Svratka_stred.dwg
 - PROPUSTKY_zamereni.dwg
 - Brno_DKM.dwg
 - klad_orto_2.dwg
 - ETAPA – JT var B.dwg
 - Zídky Bystrc PB.dwg
- Dokumenty:
 - D.11.1. Technická zpráva stavebních objektů – Svratka.
 - D.2.11. Technická zpráva stavebních objektů – Svitava.
 - C_3_9_SVITAVA_ZPRAVA.doc
 - Generel odvodnění města Brna část toky Č. 1 – Svratka (pdf, dwg, doc)
 - MŘ_Jez Přízřenice 2011.pdf
 - MŘ_Jez Přízřenice_přílohy.pdf
 - MŘ_odběrný objekt Přízřenice 2009.pdf
 - OKRAJOVKY BRNO.xlsx
- Orthofoto snímky:
 - Brno 00_wmsORTO.jpg
 - Brno 01_wmsORTO.jpg
 - Brno 08_wmsORTO.jpg
 - Brno 09_wmsORTO.jpg

- Brno 17_wmsORTO.jpg
- Brno 18_wmsORTO.jpg
- Brno 78_wmsORTO.jpg
- Brno 80_wmsORTO.jpg
- Brno 81_wmsORTO.jpg
- Brno 82_wmsORTO.jpg
- Brno 83_wmsORTO.jpg
- Brno 84_wmsORTO.jpg
- Brno 85_wmsORTO.jpg
- Brno 88_wmsORTO.jpg
- Brno 89_wmsORTO.jpg
- Brno 90_wmsORTO.jpg
- Brno 91_wmsORTO.jpg
- Brno 92_wmsORTO.jpg
- Brno 93_wmsORTO.jpg
- Brno 94_wmsORTO.jpg
- Brno 95_wmsORTO.jpg

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 Two-dimensional Unsteady FLOW (TUFLOW) (TUFLOW, 2007; TUFLOW, 2010), a to z důvodu metody řešení vhodné pro neustálé pomalu se měnící proudění a stability výpočtu.

4.2 TUFLOW

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

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

$$\frac{\partial Z_h}{\partial t} + \frac{\partial(hv_x)}{\partial x} + \frac{\partial(hv_y)}{\partial y} = 0, \quad (1)$$

kde Z_h je úroveň hladiny, t je čas, h je hloubka, v_x a v_y jsou složky vektoru svislicové rychlosti.

Dále používá dvě pohybové rovnice (rovnice mělkého proudění)

$$\frac{\partial v_x}{\partial t} + v_x \frac{\partial v_x}{\partial x} + v_y \frac{\partial v_x}{\partial y} - g \frac{\partial Z_h}{\partial x} + g v_x \left(\frac{n^2}{h^{4/3}} + \frac{\xi}{2g\Delta x} \right) \sqrt{v_x^2 + v_y^2} - \nu_t \left(\frac{\partial^2 v_x}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v_x}{\partial y^2} \right) = 0 \quad (2)$$

$$\frac{\partial v_y}{\partial t} + v_x \frac{\partial v_y}{\partial x} + v_y \frac{\partial v_y}{\partial y} - g \frac{\partial Z_h}{\partial y} + g v_y \left(\frac{n^2}{h^{4/3}} + \frac{\xi}{2g\Delta y} \right) \sqrt{v_x^2 + v_y^2} - \nu_t \left(\frac{\partial^2 v_y}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v_y}{\partial y^2} \right) = 0 \quad (3)$$

kde g je tíhové zrychlení, n je součinitel drsnosti ξ je součinitel místní ztráty Δx a Δy jsou rozměry prvku a ν_t je turbulentní viskozita.

Turbulentní viskozita je určena rovnicí

$$\nu_t = \nu_{t0} + c\Delta x\Delta y \sqrt{\left(\frac{\partial v_x}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial v_y}{\partial y} \right)^2 + \frac{1}{2} \left(\frac{\partial v_x}{\partial y} + \frac{\partial v_y}{\partial x} \right)^2}, \quad (4)$$

kde ν_{t0} je molekulární viskozita a c je součinitel Smagorinského modelu turbulence.

Proudění v tocích a inundačním území bylo v celém rozsahu řešeno 2D na ortogonálních sítích. Proudění mosty jezy a spádovými stupni bylo rovněž řešeno 2D. Byly zohledněny jak mostní, jezové a břehové pilíře, tak mostovky pomocí blokace proudu v dotčených prvcích.

Do 2D sítě byly vkládány jednorozměrné (1D) prvky, které představovaly propustky. Bližší informace o řešení lze nalézt v manuálu programu TUFLOW (2010).

5 Numerický model

Postup prací se skládal z vytváření vrstev dat, které sloužily jako podklad pro numerický model. Vzhledem k rozsahu zájmové oblasti a časovému omezení řešení bylo nutné vytvořit tři oddělené modely. První model (dále model Svitavy) zahrnoval Svitavu v rozsahu km 3,25 až km 11,45; druhý model zahrnoval část Svratky (dále model Svratky), byl v rozsahu od km 35,53 až do km 47,70, a třetí model zahrnoval zbylé části toků s překryvem (dále model soutoku), byl v rozsahu Svitavy od km 0,00 až do km 3,36 a Svratky od km 28,23 do km 35,57. Překryv umožnil eliminovat vliv okrajových podmínek.

5.1 Topografie zájmové oblasti z DMT a jeho úprava

Topografie zájmové oblasti byla vytvořena pro všechny tři modely jedna.

V prostředku SMS byl načten digitální model terénu (DMT) a následně byl převeden na DMT programu v modulu scatter (trojúhelníková síť). Zde byl upraven tak, aby byly odstraněny chyby při transformaci, abnormality a „otvory“ v síti. Dále byl zmenšen na rozsah předpokládaného rozlivu a upraven tak, aby bylo možné ho použít při zadávání objektů. Především se jednalo o úpravu přelivné plochy jezů tak, aby nemohlo dojít k odtržení přepadového paprsku od konstrukce při zachování její průtočné kapacity. Spojení bodů bylo upraveno tak, aby byly dodrženy povinné hrany ze zaměření. V místech, kde povinné hrany ze zaměření nebyly k dispozici, byl DMT upraven tak, aby topografie terénu co nejlépe odpovídala realitě. DMT byl v některých částech doplněn o zaměření z podkladů. Upravenou topografii zájmového území zobrazuje Obr. 2.

5.2 Výpočtová síť

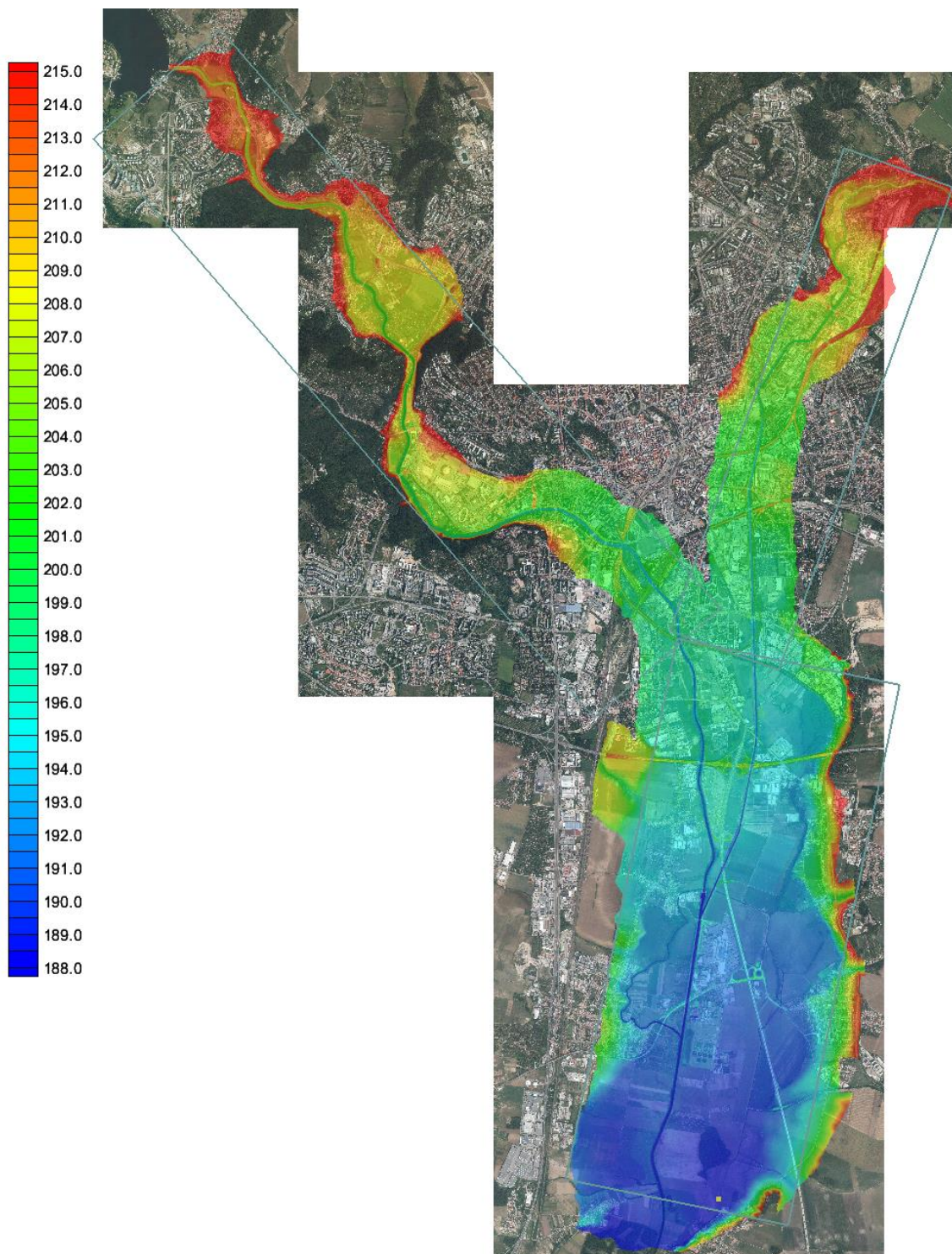
V rozsahu předpokládaného maximálního rozlivu byly vytvořeny tři výpočtové sítě tří modelů (rozsah sítě je rozsahem modelu). Jednalo se o ortogonální síť natočené tak, aby měly minimální plochu. Rozměry sítí, délka strany prvku a počet prvků v sítích zobrazuje Tab. 1. Rozsah sítí (modelů) zobrazuje Obr. 1, Obr. 2, Obr. 6, Obr. 7 a Obr. 8.

Tab. 1 Vlastnosti sítí

Název sítě	Rozměry sítě [km ²]	Délka strany prvku [m]	Počet prvků [mil.]
Svitava	6,6×1,5	2,0	2,5
Svratka	9,9×2,1	2,5	3,4
Soutok	7,1×2,9	3,5	1,7

5.3 Výpočtové oblasti

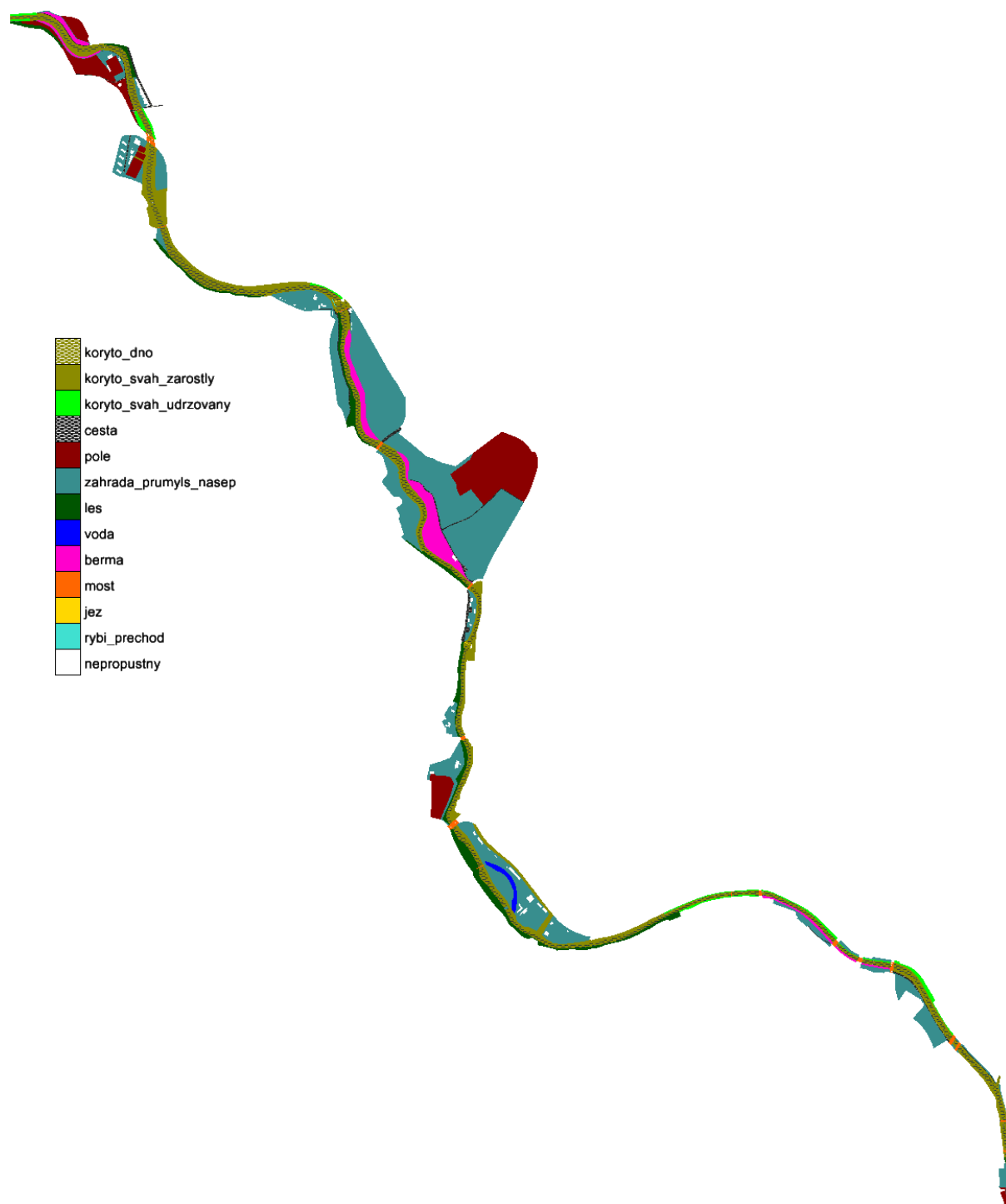
Rozsah výpočtové oblasti byl převzat ze stávajících map rozlivů při Q_{100} a upraven dle návrhu protipovodňových hrází a zdí. Uzavřené oblasti byly z výpočtové oblasti vyjmuty. Výpočtové oblasti zobrazují Obr. 6, Obr. 7 a Obr. 8.



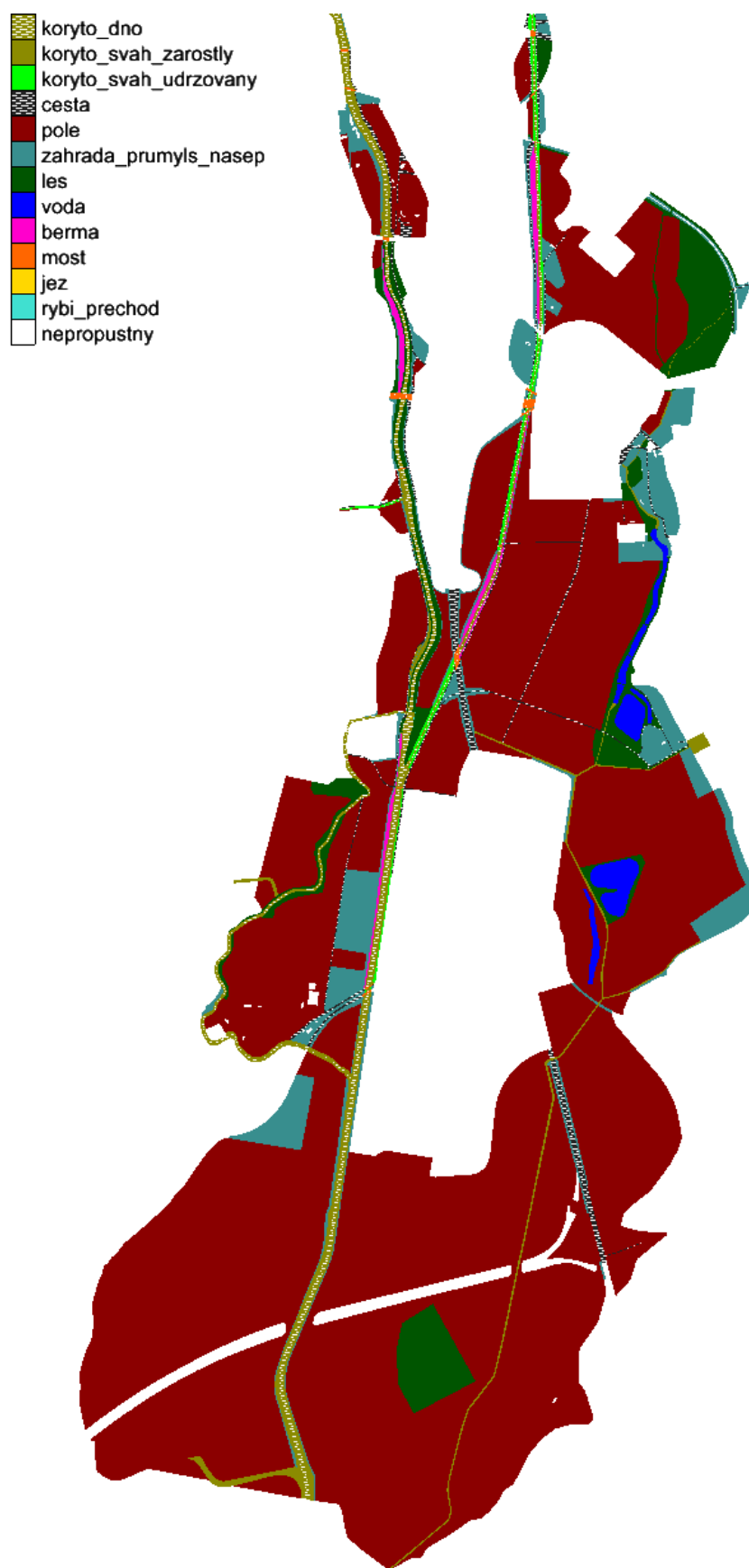
Obr. 2 Úroveň terénu Z_0 [m n. m.] (šedě – rozsahy modelů)



Obr. 3 Materiál povrchu – model Svitava



Obr. 4 Materiál povrchu – model Svratka



Obr. 5 Materiál povrchu – model Soutok

5.4 Drsnost povrchu

Byla vytvořena vrstva s ohodnocením drsnosti povrchu v podobě názvů typu materiálů, kterým byla přidělena hodnota součinitele drsnosti. Hodnoty součinitele drsnosti byly pro většinu materiálů proměnné po výšce. Jejich hodnoty byly stanoveny dle tabulek a drsnostních katalogů s korekcí (v rámci doporučeného rozptylu) po konzultaci s odborníkem z PM (ing. Gimun). Jejich konečná hodnota byla stanovena při kalibraci modelu. Ohodnocení povrchu typem povrchu zobrazují Obr. 3, Obr. 4, Obr. 5 a přiřazení hodnot součinitele drsnosti typu materiálu povrchu zobrazuje Tab. 2.

Tab. 2 Součinitel drsnosti

Typ materiálu 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)	0,070	0,035	0,1	0,2
Travnaté svahy koryt toků (koryto_svah_trava)	0,080	0,040	0,1	0,2
Pole (pole)	0,090	0,045	0,1	0,2
Berma (berma)	0,100	0,050	0,1	0,2
Zahrada (zahrada_prumysl_nasep)	0,120	0,060	0,1	0,2
Zatrávněné plochy s náletovými dřevinami (zahrada_prumysl_nasep)	0,120	0,060	0,1	0,2
Průmyslové areály (zahrada_prumysl_nasep)	0,120	0,060	0,1	0,2
Rybí přechod (rybí_prechod)	0,120	0,060	0,1	0,2
Zarostlé svahy koryt toků (koryto_svah_zarostly)	0,140	0,075	0,1	0,2
Les (les)	0,200	0,100	0,1	0,2
Přeliv (jez)	0,020			
Most (most)	0,035			

5.5 1D objekty

1D objekty zadávanými ve 2D modelu byly propustky. Byla vytvořena vrstva s definicí profilu vtoku a výtoku z propustku – sběrnice, vrstva definující propojení mezi sběrníci a propustkem a vrstva definující propustky. Pro zohlednění úrovně povrchu v místě sběrnice byla vytvořena další vrstva definující její úroveň. U propustků byl zadán tvar, rozměr, délka, součinitel drsnosti 0,02, úroveň dna vtoku a výtoku z propustku a součinitel místní ztráty na vtok a výtok (neuvedené hodnoty byly proměnné dle jednotlivých propustků). 1D objekty jsou zobrazeny na Obr. 8.

5.6 2D objekty

2D objekty byly přelivy – jezy a spádové stupně a také přemostění – silniční a železniční mosty, lávky a produktovody.

Geometrie přelivů byla dodržena s tím, že povodní strana přelivů byla upravena tak, aby nedošlo k odtržení paprsku od konstrukce, ale pouze tak, aby byla zachována průtočnost přelivem (úprava DMT). Střední (dělicí) pilíře byly zadány v podobě omezení průtočnosti prvkem (úprava drsnosti povrchu prvku), břehové pilíře byly definovány přímo DMT. Při všech průtocích se počítalo s vyhrazenými jezy.

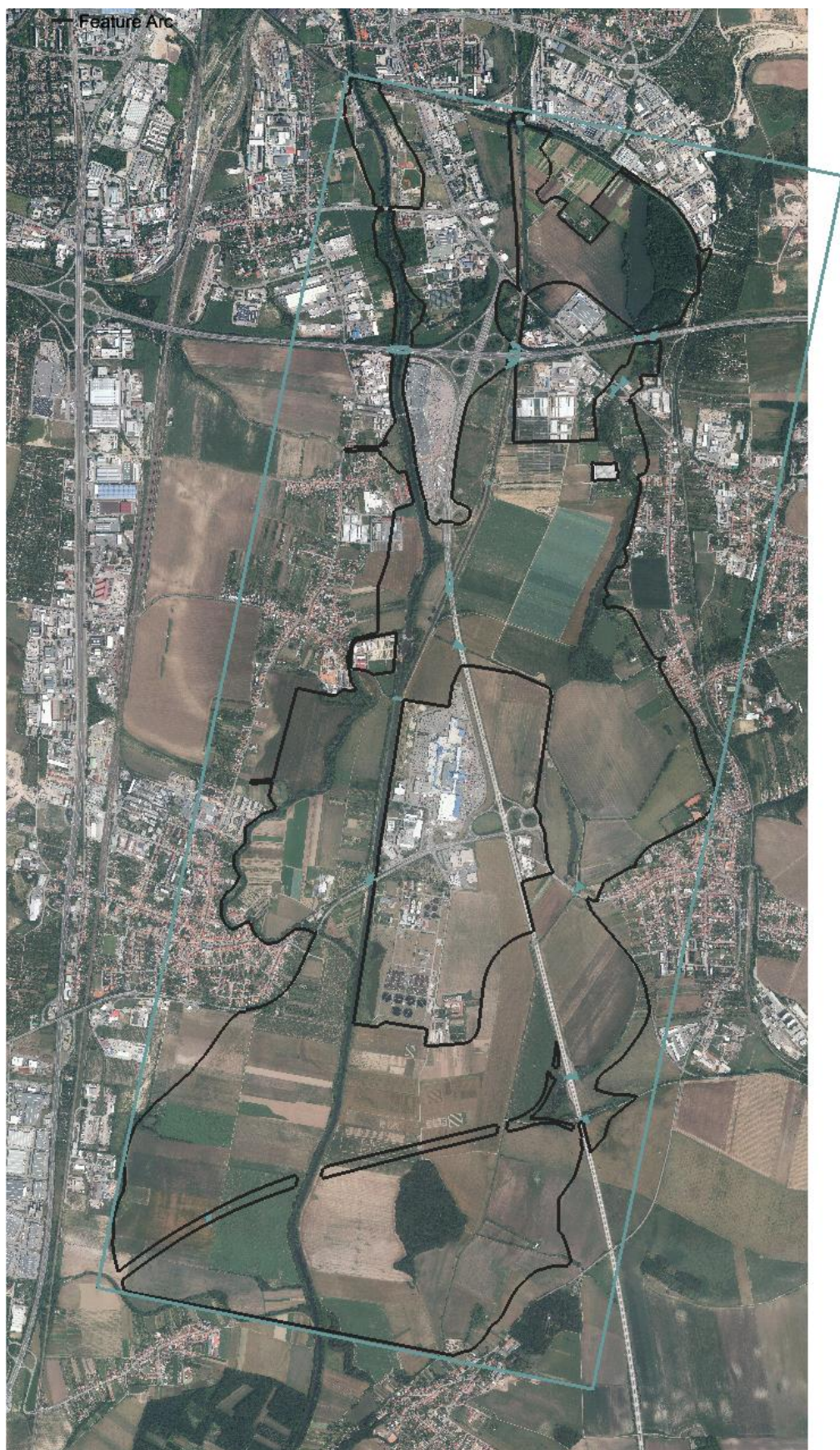
Pilíře mostů (vnitřní podpěry) byly zadávány stejně, jako střední pilíře jezů (úprava drsnosti povrchu prvku). Mostní opěry (krajní podpěry) byly zadávány stejně jako břehové pilíře (úprava DMT). Mostovka byla zadávána blokací proudu v úrovni mostovky. Pro její zadání bylo nutné vytvořit vrstvu s definicí úrovně dolní a horní části mostovky a míru blokace. Součinitele místních ztrát při obtékání mostovky zadávány nebyly, jelikož nebyl znám příčný tvar mostovky (v mnohých případech nové mostovky). Uvažované mostovky jsou zobrazeny na Obr. 6, Obr. 7 a Obr. 8.



Obr. 6 Model Svitava (šedě – rozsah modelu, 2D objekty; černě – rozsah výpočtové oblasti)



Obr. 7 Model Svratka (šedě – rozsah modelu, 2D objekty; černě – rozsah výpočtové oblasti)



Obr. 8 Model Soutok (šedě – rozsah modelu, 2D objekty, 1D objekty; černě – rozsah výpočtové oblasti)

5.7 Podmínky jednoznačnosti

Výpočty byly dvojího druhu. Jednalo se o výpočty ustáleného proudění a neustáleného proudění.

Počáteční podmínkou (PP) pro výpočty ustáleného proudění byla zadaná úroveň hladiny na výpočtové oblasti, která odpovídala úrovni hladiny v místě dolní okrajové podmínky.

PP pro výpočty neustáleného proudění byla úroveň hladiny a rychlost z výpočtu ustáleného proudění.

Horními okrajovými podmínkami (HOP) byly hydrogramy průtoku zadávané na hranici oblasti v místě přítoku do oblasti.

Dolní okrajovou podmínkou (DOP) pro výpočet ustáleného proudění byla úroveň hladiny v čase a pro výpočty neustáleného proudění to byla konzumní křivka zadávaná na hranici odtoku z oblasti.

Zadávané podmínky jednoznačnosti při výpočtu neustáleného proudění zobrazuje Tab. 3 a jejich umístění zobrazuje Obr. 6, Obr. 7 a Obr. 8.

Tab. 3 Modely

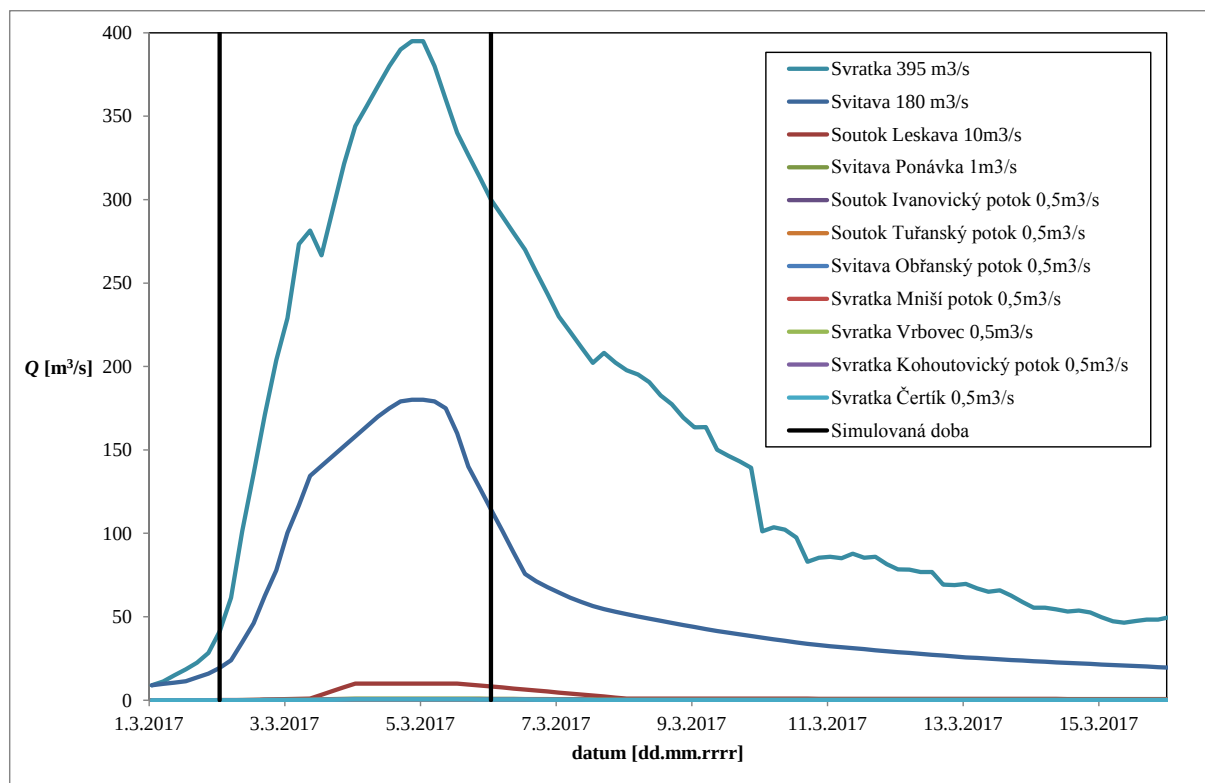
Model	PP	HOP (kulminační průtok)	DOP
Svitava	ustálené proudění	Svitava PV ₁₀₀ (180 m ³ /s) Obřanský potok PV ₁₀₀ (0,5 m ³ /s) Ponávka PV ₁₀₀ (1 m ³ /s)	konzumní křivka
Svratka	ustálené proudění	Svratka PV ₁₀₀ (395 m ³ /s) Mniší potok PV ₁₀₀ (0,5 m ³ /s) Vrbovec PV ₁₀₀ (0,5 m ³ /s) Kohoutovický potok PV ₁₀₀ (0,5 m ³ /s) Čertík PV ₁₀₀ (0,5 m ³ /s)	konzumní křivka
Soutok	ustálené proudění	Svitava PV ₁₀₀ (179,58 m ³ /s) Svratka PV ₁₀₀ (397,56 m ³ /s) Leskava PV ₁₀₀ (10 m ³ /s) Ivanovický potok PV ₁₀₀ (0,5 m ³ /s) Tuřanský potok PV ₁₀₀ (0,5 m ³ /s)	konzumní křivka

Podkladové povodňové vlny (PV) jsou zobrazeny na Obr. 9. V souladu s požadavky objednatele určit změnu kulminačního průtoku na zadaném úseku toků a zobrazit stav proudění při kulminaci hladiny, nebyly řešeny celé povodňové vlny, ale jen jejich část.

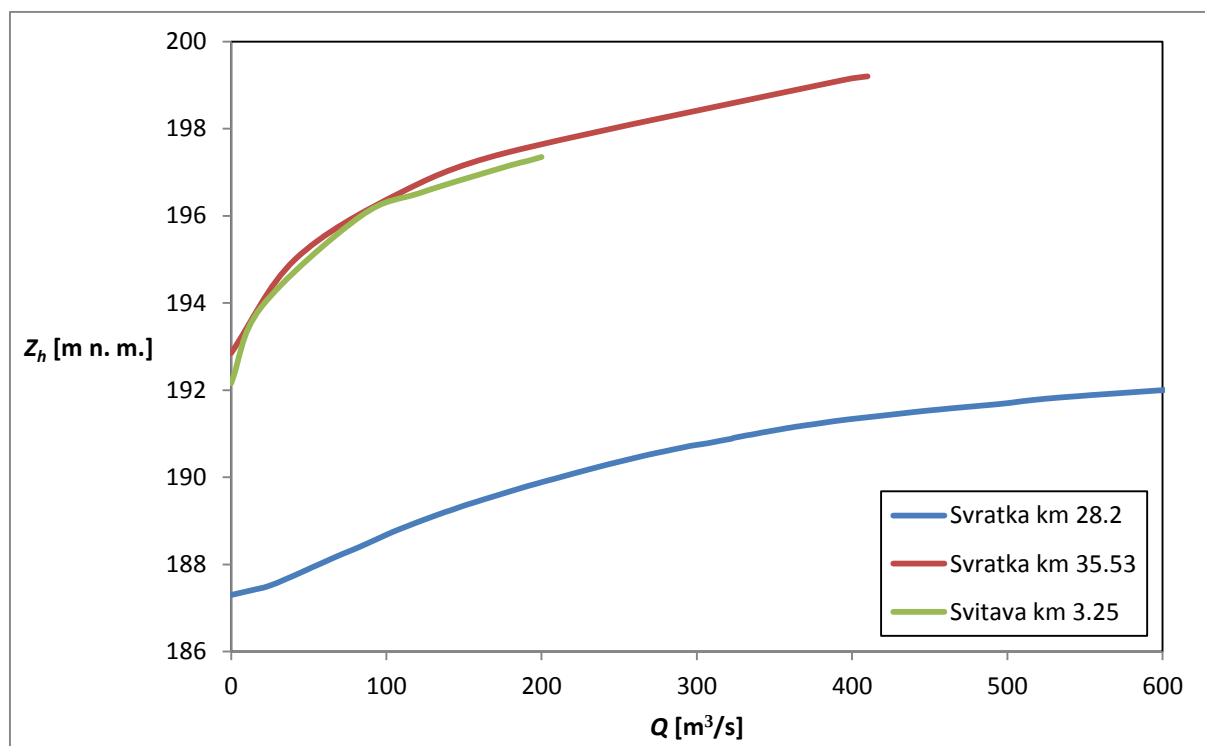
Vzhledem k tomu, že se korytový průtok prakticky nepodílí na retenční schopnosti úseku toku, byly podkladové povodňové vlny pro výpočet zadány až od prvního dne podkladové povodňové vlny (2. 3. 2017), kdy průtoky jsou tak malé, že voda z kynety nevybřeží. Úprava v zadání proběhla i pro sestupnou větev hydrogramu, kdy nebyly simulovány průtoky po jednom dnu od kulminačního průtoku (doba dotoku je v řádech hodin). Vymezení simulované doby 4 dnů zobrazuje Obr. 9.

Konzumní křivka v koncovém profilu byla zadána objednatelem dle výsledků 1D modelu vyhotoveného PMO. Konzumní křivky modelů Svratky a Svitavy byly převzaty z podélných

profilů a dále byly upraveny dle výsledků modelu Soutok. Tvary konzumních křivek, doplněné o extrapolace z důvodu stability výpočtu, zobrazuje Obr. 10.



Obr. 9 Povodňové vlny (název toku zaústění, název toku, kulminační průtok)



Obr. 10 Konzumní křivky

5.8 Parametry výpočtu a výpočet

V zadání parametrů výpočtu byl specifikován způsob výpočtu, podmínky jednoznačnosti, vstupní soubory dat, konvergenční kritéria, výstupní soubory dat, zavodnění prvků, doba výpočtu, počet iterací v kroku, doba kroku (splnění Courantova kritéria), turbulentní model a jeho součinitele Tab. 4 a další.

Tab. 4 Hodnoty základní turbulentní viskozity a součinitele turbulentního modelu

ν_{t0} [m ² /s]	c
0,1	0,2

Výpočet byl proveden pro ustálené a neustálené proudění zvlášť.

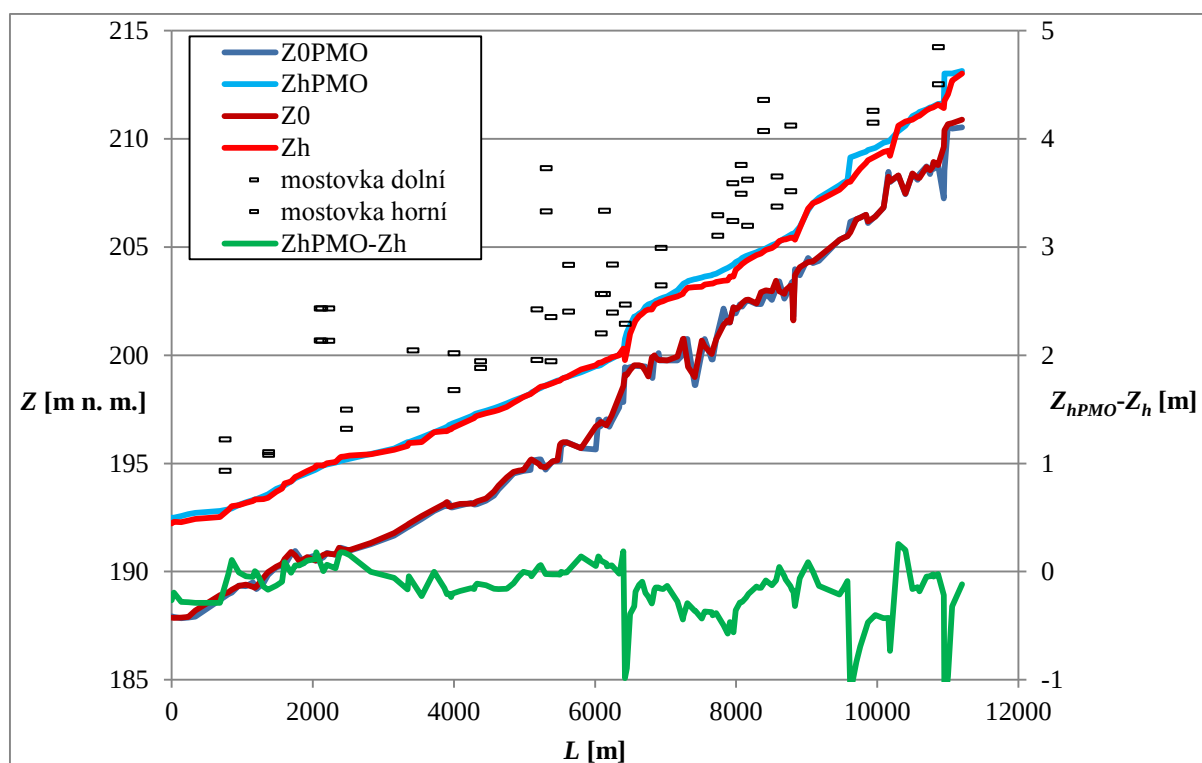
Při ustáleném proudění byly zadány v profilech HOP průtoky konstantní v čase a v profilech DPO byla zadána konstantní úroveň hladiny v čase.

Při neustáleném proudění byly nejdříve spočítány PV ve Svatce a Svitavě a výsledné hydrogramy průtoků v profilech HOP modelu Soutok byly následně vloženy do modelu Soutok. Následně bylo vypočítáno neustálené proudění v modelu Soutok. Tímto postupem byla podchycena retenční schopnost celého území všech tří modelů.

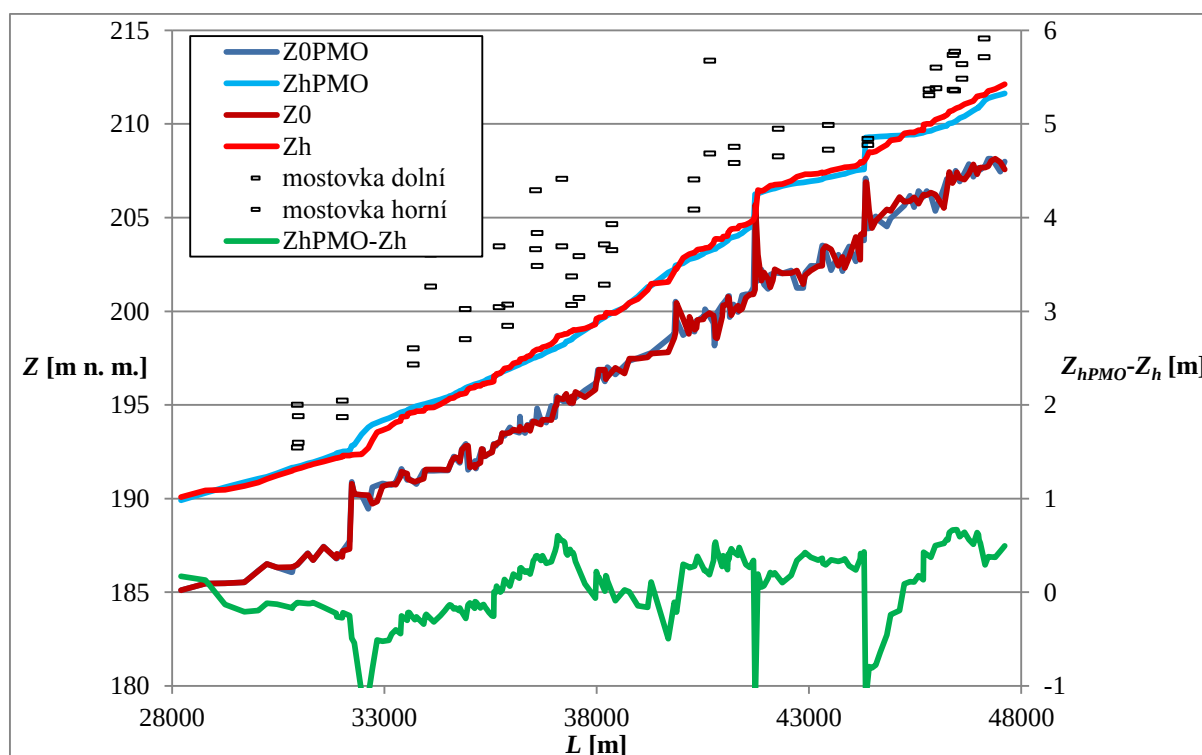
Doba výpočtu modelu Svitava byla 3 dny, modelu Svatka 4 dny a modelu Soutok 9 dnů (Intel i7-960).

5.9 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 úrovně hladiny stanovené z 1D síťového modelu vypracovaného Povodím Moravy, s. p. při Q₅. Porovnání úrovně hladiny vypočítané 2D modelem a 1D síťovým modelem je zobrazeno na Obr. 11 a Obr. 12.



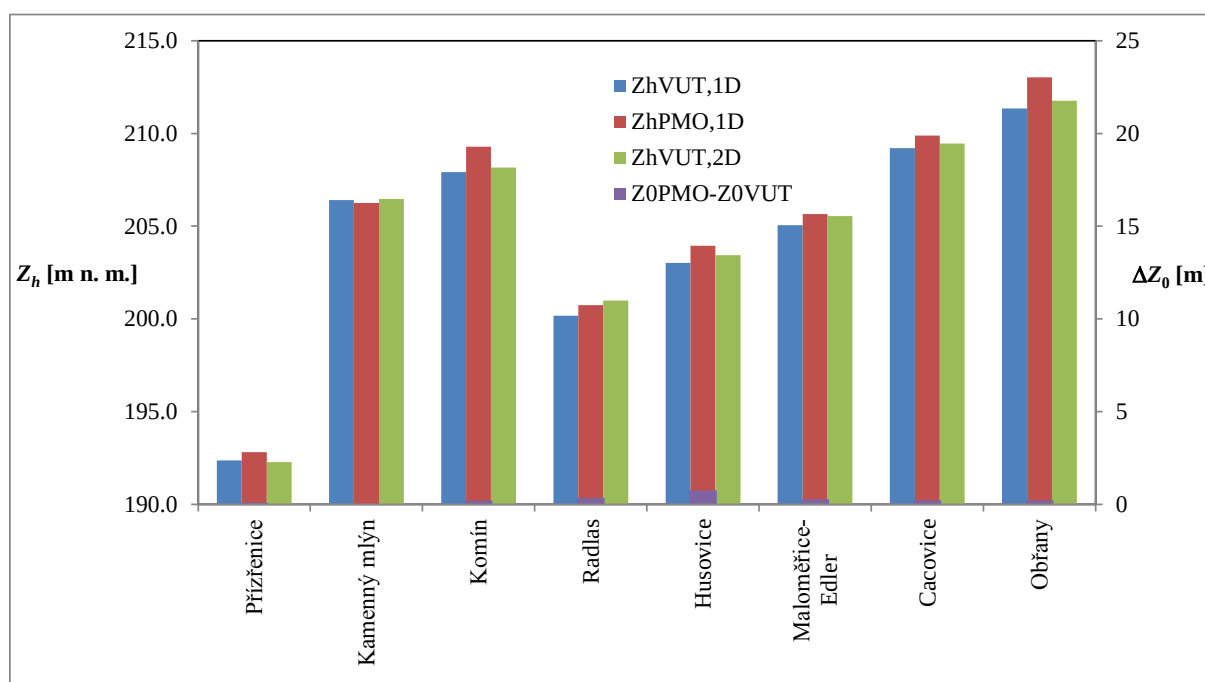
Obr. 11 Porovnání úrovně hladiny při Q_5 , Svitava



Obr. 12 Porovnání úrovně hladiny při Q_5 , Svatka

Hlavní rozdíly v úrovni hladiny jsou na Obránském jezu, Cacovickém jezu, Husovickém jezu, Radlasu, Komínském jezu a Přízřenickém jezu. Ve většině případů (mimo jez Kamenný mlýn a Radlas) 2D model vypočítal úroveň hladiny níže, než 1D síťový model. Uvedené rozdíly mohou být (1D síťový model nebyl k dispozici, jedná se tedy pouze o domněnky) způsobeny

rozdílnou konstrukcí (nově navržená konstrukce se liší od původně uvažované v 1D síťovém modelu – rozdílné úrovně korun přelivů), rozdílnou představou o manipulaci s pohyblivými hradicemi konstrukcemi (ve 2D jsou všechny jezy vyhrazené), zadáním malé hodnoty součinitele přepadu u 1D síťového modelu (ponecháním původní pro vysoké a jezové přelivy) a také omezenou možností zahrnutí rybích přechodů a vodáckých propustí u 1D síťového modelu. Jelikož nebyl, jak bylo uvedeno výše, k dispozici 1D síťový model, a tedy nebylo možné ověřit všechny možné příčiny uvedené výše, byl proveden 1D výpočet proudění jezy (rovnice přepadu) se zadanou geometrií, vyhrazenými hladinovými uzávěry, součinitelem přepadu a zatopení odpovídajícímu geometrii konstrukce a bez vodáckých propustí a rybích přechodů při Q_5 . Pro stanovení součinitele zatopení byla úroveň hladiny dolní vody převzata z 2D výpočtu. Uvedeným způsobem (VUT,1D) vypočítané úrovně hladiny na jezích jsou zobrazeny na Obr. 13 spolu s úrovní hladiny z 2D výpočtu (VUT,2D) a z 1D výpočtu síťového modelu (PMO,1D). Z Obr. 13 vyplývá, že nově provedený výpočet přepadové výšky (VUT,1D) se shoduje s 2D výpočtem (VUT,2D) významně lépe, než 1D síťový model (PMO,1D). Lze tedy předpokládat, že jezy (pilíře, přelivná plocha) jsou ve 2D modelu zadány věrohodně.



Obr. 13 Porovnání přepadových výšek

Z Obr. 12 také vyplývá, že 2D model vypočítal v horní části Svratky vyšší úroveň hladiny. U 2D modelu byl použit typ povrchu a hodnoty součinitele drsnosti obdobné jako u ostatních úseků koryta Svratky, kde je shoda velmi dobrá. Stejná úroveň hladiny by byla dosažena zmenšením součinitelů drsnosti na takové hodnoty, které v daném úseku neodpovídají typu povrchu.

Místní anomálie úrovně hladiny v místech objektů jsou způsobeny především jinou půdorysnou polohou objektů v DMT u 2D modelů a v 1D síťovém modelu.

Na základě výše uvedených analýz je možné konstatovat, že 2D model je v rámci dostupných dat pro nevybřežující průtoky z koryta kalibrovaný.

5.10 Archivace výsledků

Uložení výsledků bylo provedeno v podobě textového souboru dat všech bodů na síti (txt).

Textový soubor dat obsahuje hodnoty ve sloupcích ve členění x , y , Z_0 , Z_h , h , v_{sx} , v_{sy} 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 a v_{sx} a v_{sy} jsou složky svislicové rychlosti. Hranice rozlivu je uložena ve formátu shp.

Grafické výsledky jsou prezentovány v následující kapitole.

6 Výsledky

6.1 Transformace povodňové vlny

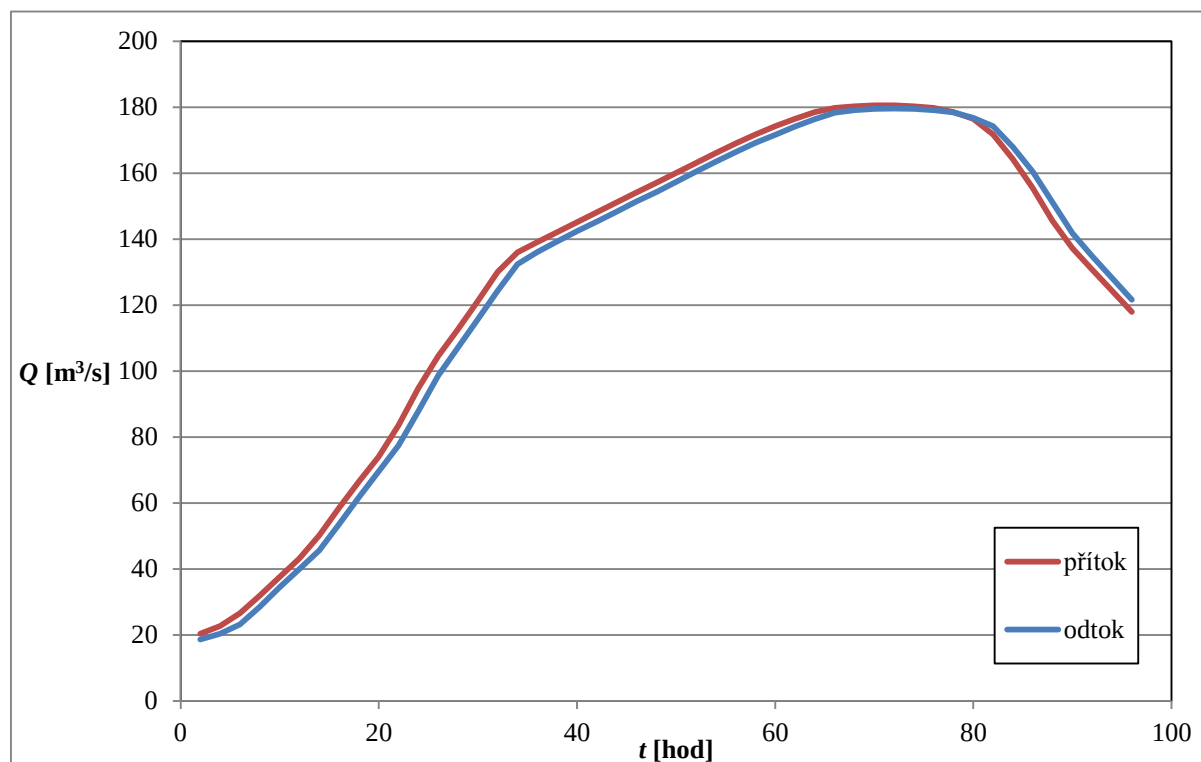
Transformace povodňové vlny byla vyjádřena změnou kulminačního průtoku v koncovém profilu modelu Svitava, Svratka a Soutok (všechny modely) oproti teoretickému součtu kulminačních průtoků na přítocích (Tab. 5).

Uvedenou změnu graficky dokumentují hydrogramy (Obr. 14, Obr. 15 a Obr. 16) zobrazující transformaci povodňové vlny, která je teoretickým součtem kulminačních průtoků všech přítoků.

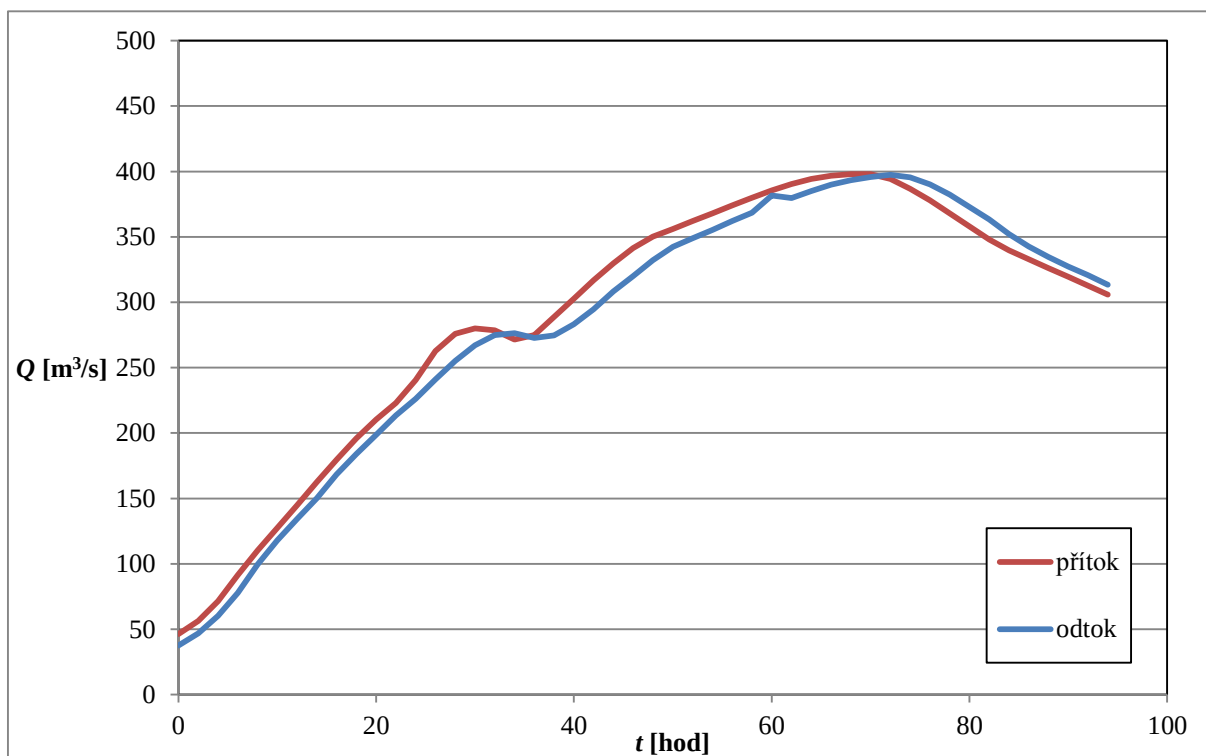
Z výsledků modelu Svitava (Tab. 5 a Obr. 14) vyplývá, že retenční schopnost území je zde zanedbatelná. V koncovém profilu modelu Svitava se průtok zmenší cca o $1 \text{ m}^3/\text{s}$ oproti teoretickému součtu přítoků do modelu. Hlavní oblastí, která se podílí na retenci, je Cacovický ostrov.

Z výsledků modelu Svratka (Tab. 5 a Obr. 15) vyplývá, že retenční schopnost území je rovněž zanedbatelná. V koncovém profilu modelu Svratka se průtok zmenší cca o $0,5 \text{ m}^3/\text{s}$ oproti teoretickému součtu přítoků do modelu. Hlavními oblastmi, které se podílí na retenci, jsou: oboustranné rozlivy pod vodním dílem (VD) Brno až k lávce k ZOO, oboustranné rozlivy od Komínského jezu až po Kamenomlýnský most, pravostranné rozlivy v okolí Antroposu a levostranný rozliv na koupaliště Riviéra.

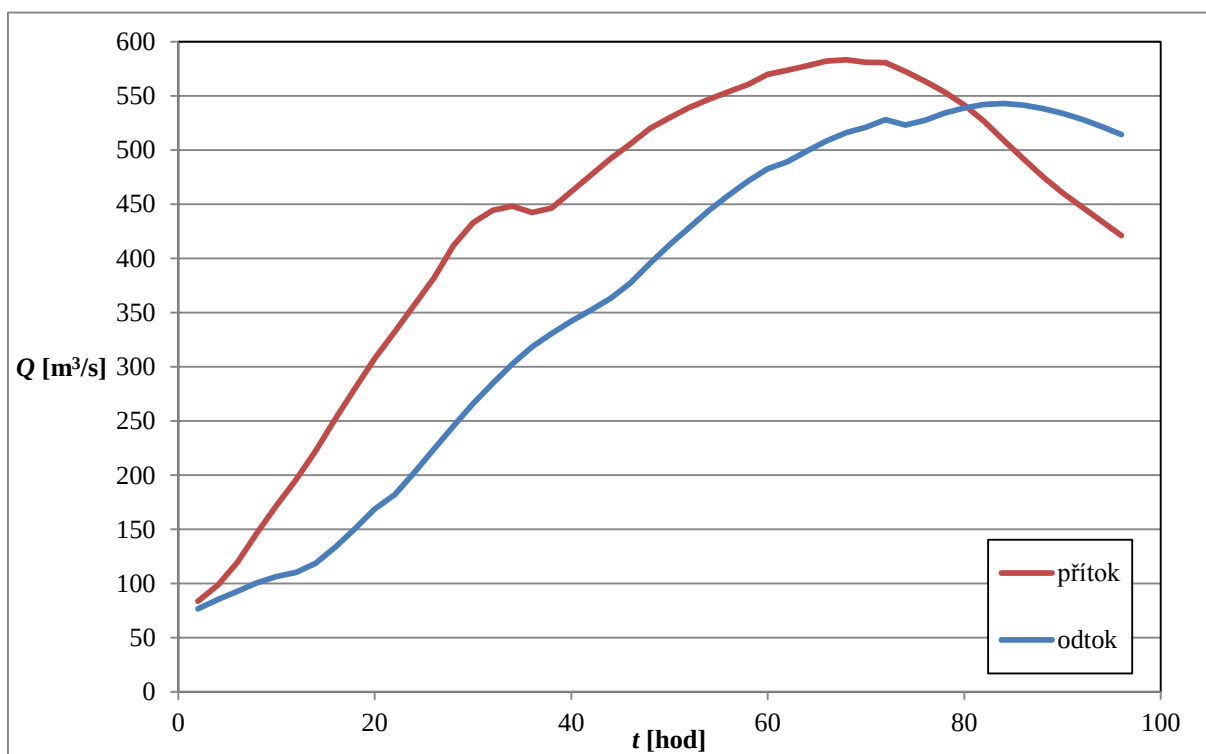
Z výsledků modelu Soutok (Tab. 5 a Obr. 16) vyplývá, že retenční schopnost území je významná. V koncovém profilu modelu Svratka se průtok zmenší cca o $45 \text{ m}^3/\text{s}$ oproti teoretickému součtu přítoků do modelu. Prakticky celé území výpočtové oblasti se podílí na retenci.



Obr. 14 Model Svitava - transformace povodňové vlny



Obr. 15 Model Svratka - transformace povodňové vlny



Obr. 16 Model Soutok - transformace povodňové vlny

Tab. 5 Změna kulminačního průtoku

Model	Teoretický součet kulminací PV_{100} [m ³ /s]	Kulminační průtok v koncovém profilu modelu [m ³ /s]	Rozdíl průtoků [m ³ /s]	Procentuální změna [%]
Svitava	181,50	180,58	-0,92	-0,5
Svratka	397,00	396,56	-0,44	-0,1
Soutok	588,14	542,91	-45,23	-7,7
všechny modely	589,50		-46,59	-7,9

Celé území (všechny modely) pak zmenší hodnotu kulminačního průtoku o cca 47 m³/s oproti teoretickému součtu přítoků do území. Jedná se přibližně o 8% zmenšení. Spolu se zmenšením kulminačního průtoku dojde ke zploštění povodňové vlny a tím ke zpoždění kulminace úrovně hladiny.

Závěry z modelu Soutok je třeba brát obezřetně, protože v místě dolní okrajové podmínky bude pravděpodobně docházet k přítoku do oblasti (ukázalo se při testování modelu s jinak zadanou dolní okrajovou podmínkou), což bylo v modelu znemožněno z důvodu stability výpočtu. Důvodem je úroveň terénu v levém inundačním území, která je níže, než je hladina v korytě.

Vzhledem k tomu, že změna hodnot průtoku při kulminaci u modelu Svitava a Svratka je velmi malá, její procentuální hodnota se blíží numerické přesnosti výpočtu, lze stanovit úroveň hladiny v modelu Svratka a Svitava řešením ustáleného proudění rychleji a přibližně se stejnou přesností. Uvedené však neplatí v případě modelu Soutok, kde změna kulminačního průtoku po délce je významná.

6.2 Mapy veličin při kulminaci úrovně hladiny

Výsledky jsou zobrazeny v podobě map kulminační úrovně hladiny, která poskytuje základní informaci pro návrh ochranných hrází a zdí. Dle požadavku objednatele jsou doplněny o hloubku vody při kulminaci úrovně hladiny a maximální svislicové rychlosti s vektory.

Z výsledků modelu Svitava vyplývá, že dojde k zaplavení většiny Cacovického ostrova. Málo kapacitními mosty, kdy dolní líc mostovky zasahuje do proudu, jsou: most Obrany, lávka pod jezem Radlas km 6,348, železniční most km 6,005, most Hladíkova a železniční most v km 5,225. Jezy a spádové stupně vzdouvají hladinu minimálně. Hlavní změny v úrovni hladiny jsou v nadjezích jezů: Obranský, Cacovický, Maloměřický – Edler a Radlas.

Z výsledků modelu Svratka vyplývá, že prakticky celé území vymezené k rozlivu je zaplaveno. Hlavní zaplavená území jsou: levobřežní i pravobřežní část v Bysterci, pravobřežní část nad jezem Komín, oboustranný rozliv mezi jezem Komín a mostem v km 42,144, Riviéra a pravobřežní území mezi železničními mosty v km 37,043 a km 36,422. Málo kapacitními mosty, kdy dolní líc mostovky zasahuje do proudu, jsou: lávka km 47,001, lávka do ZOO km 46,480, silniční (tramvajový) most Bystřec km 46,297, silniční most Bystřec km 46,264, visutá

lávka km 45,701, visutá lávka km 44,265, silniční most Jundrov km 43,320, silniční most km 42,144, silniční most Vídeňská km 38,044, silniční most Renneská km 37,447, silniční most Heršpická km 37,271 a silniční most Kšírova km 35,766.

Z výsledků modelu Soutok vyplývá, že v pravobřežním území mezi dálnicí D2 a Svitavou nedojde k rozlivu a to jak nad dálnicí D1, tak pod ní.

Dálnice D1 vzdouvá hladinu až k železničnímu náspu, její úroveň je 196,48 m n. m. V Chrlickém poldru je úroveň hladiny 193,56 m n. m. Vzhledem k malé kapacitě přelivu dojde k přelití hráze. Při kulminační úrovni hladiny přepadá přes hráz 93 m³/s. Vzduť dosahuje až k silnici Kaštanová.

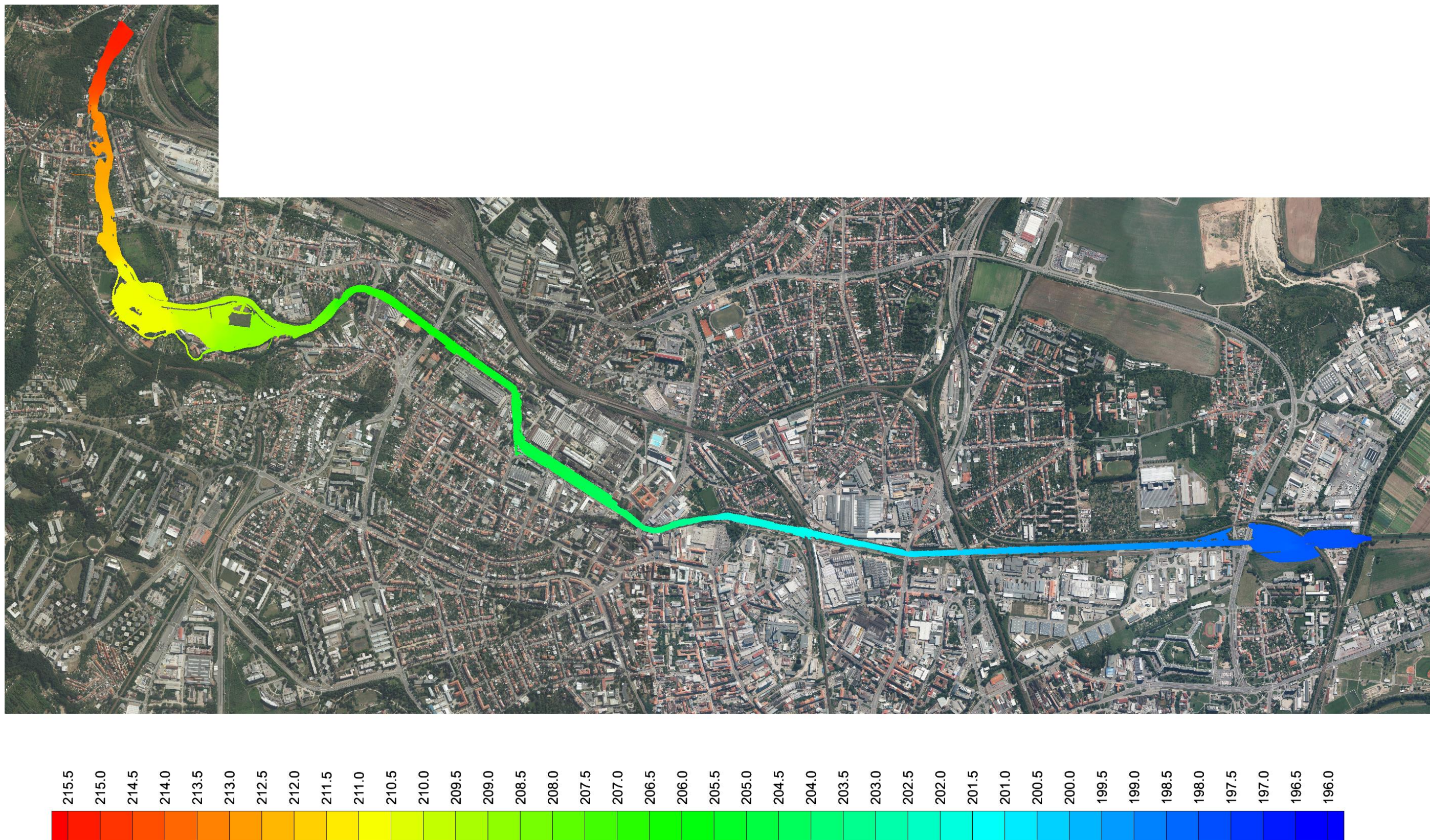
Dolní okrajová podmínka vzdouvá hladinu až ke hrázi Chrlického poldru a k silnici 152 a k zástavbě Modřic.

Retenční schopnost inundačního území mezi Modřicemi a Přízřenicemi není využita zcela vlivem pouze částečného snížení hrází Svratky.

Nově navržené přemostění jižní tangenty vytváří vzduť cca 0,09 m.

Dojde k zaplavení 970 m dálnice D2 v místě Chrlic, hloubka vody na dálnici dosahuje až 1,1 m, dálnice prakticky nevzdouvá hladinu vody.

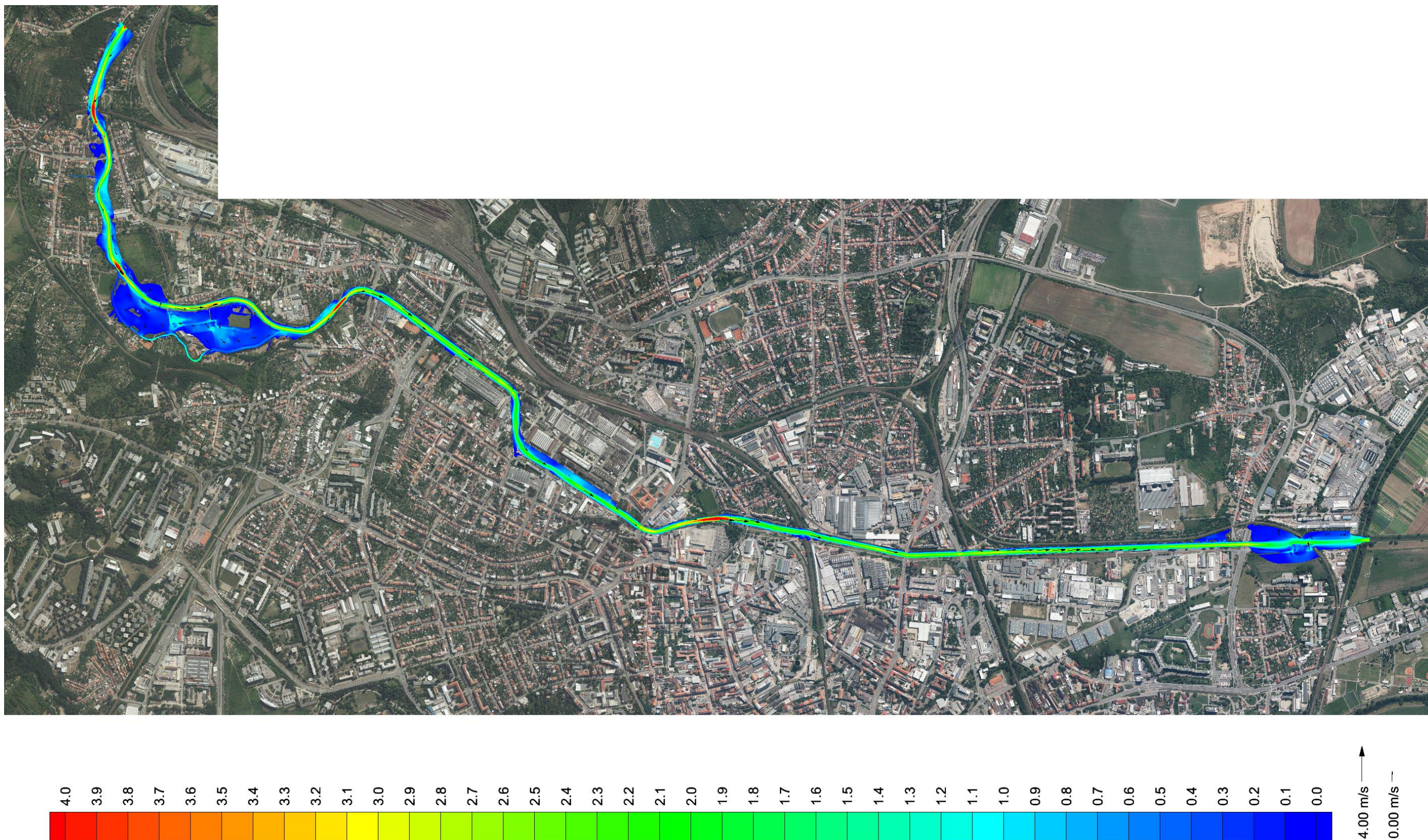
Most na ulici Sokolova (mostovka se uvažuje nad hladinou) významně vzdouvá úroveň hladiny, rozdíl je cca 0,47 m (rozdíl úrovní hladin na břehu, kde není vliv rychlostní výšky), hlavním důvodem je zúžení průtočného průřezu mostním profilem.



Obr. 17 Model Svitava – kulminační úroveň hladiny Z_h [m n. m.]



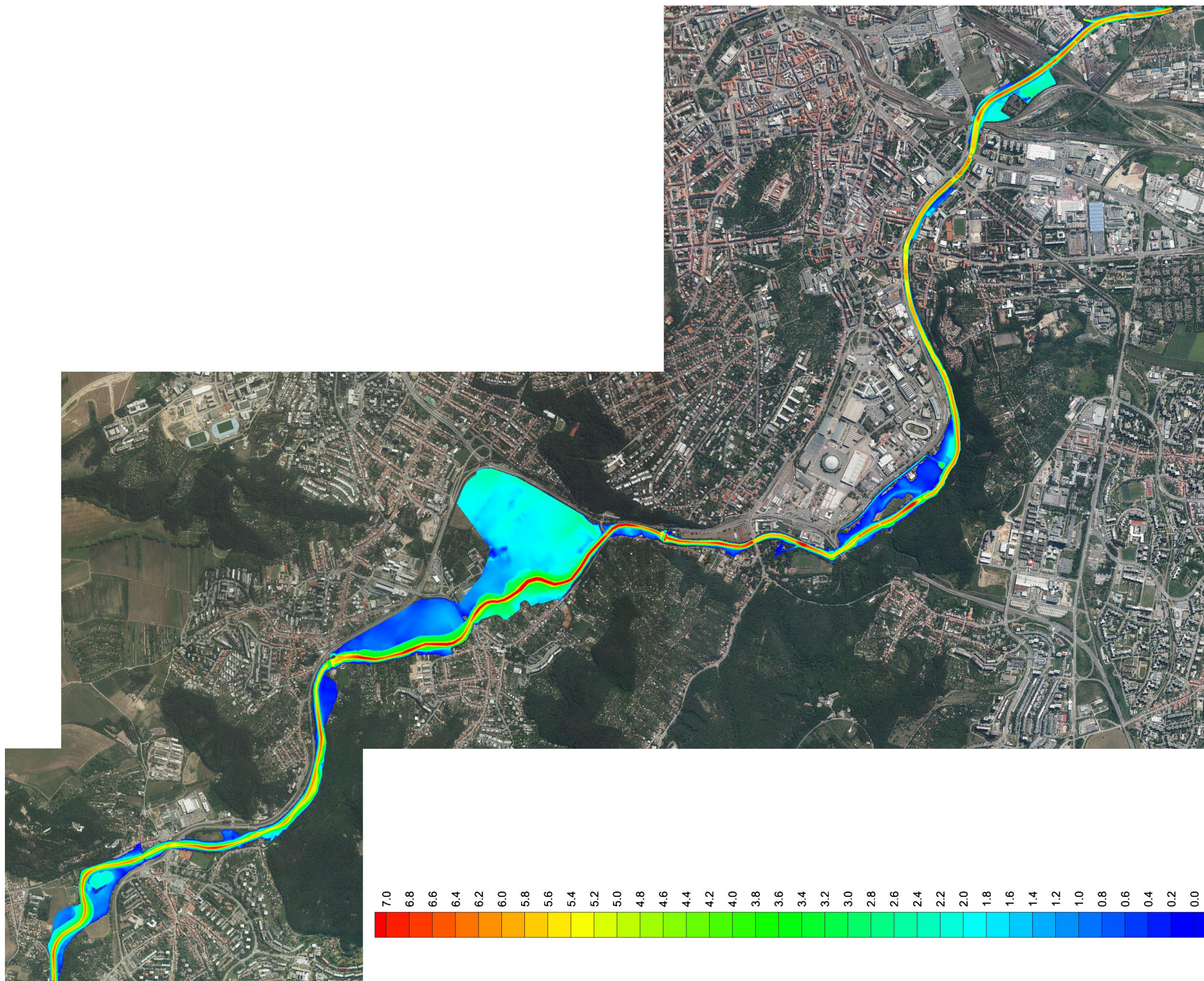
Obr. 18 Model Svitava – hloubka h [m] při kulminaci hladiny



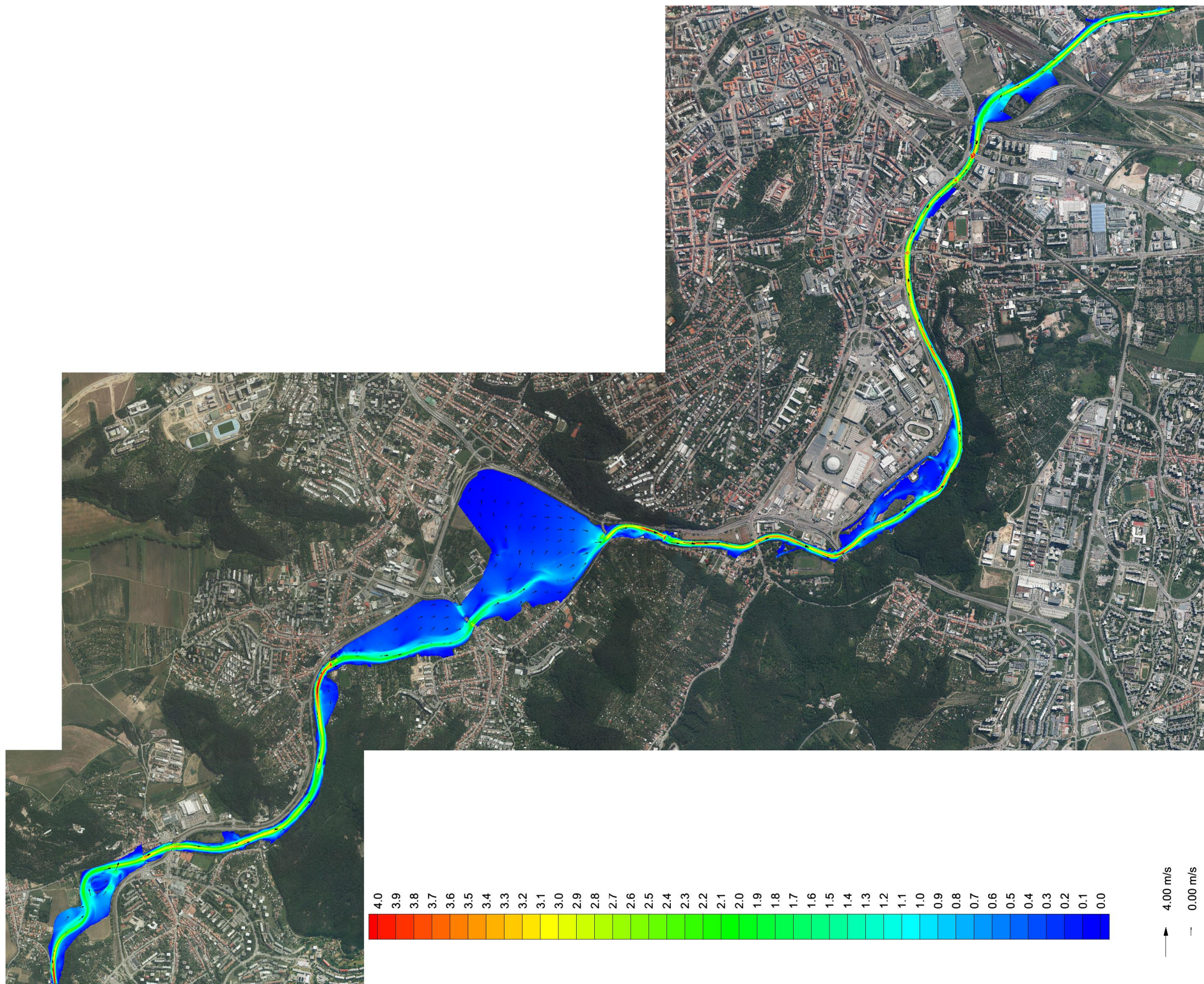
Obr. 19 Model Svitava – maximální svislicová rychlost v_s [m/s]



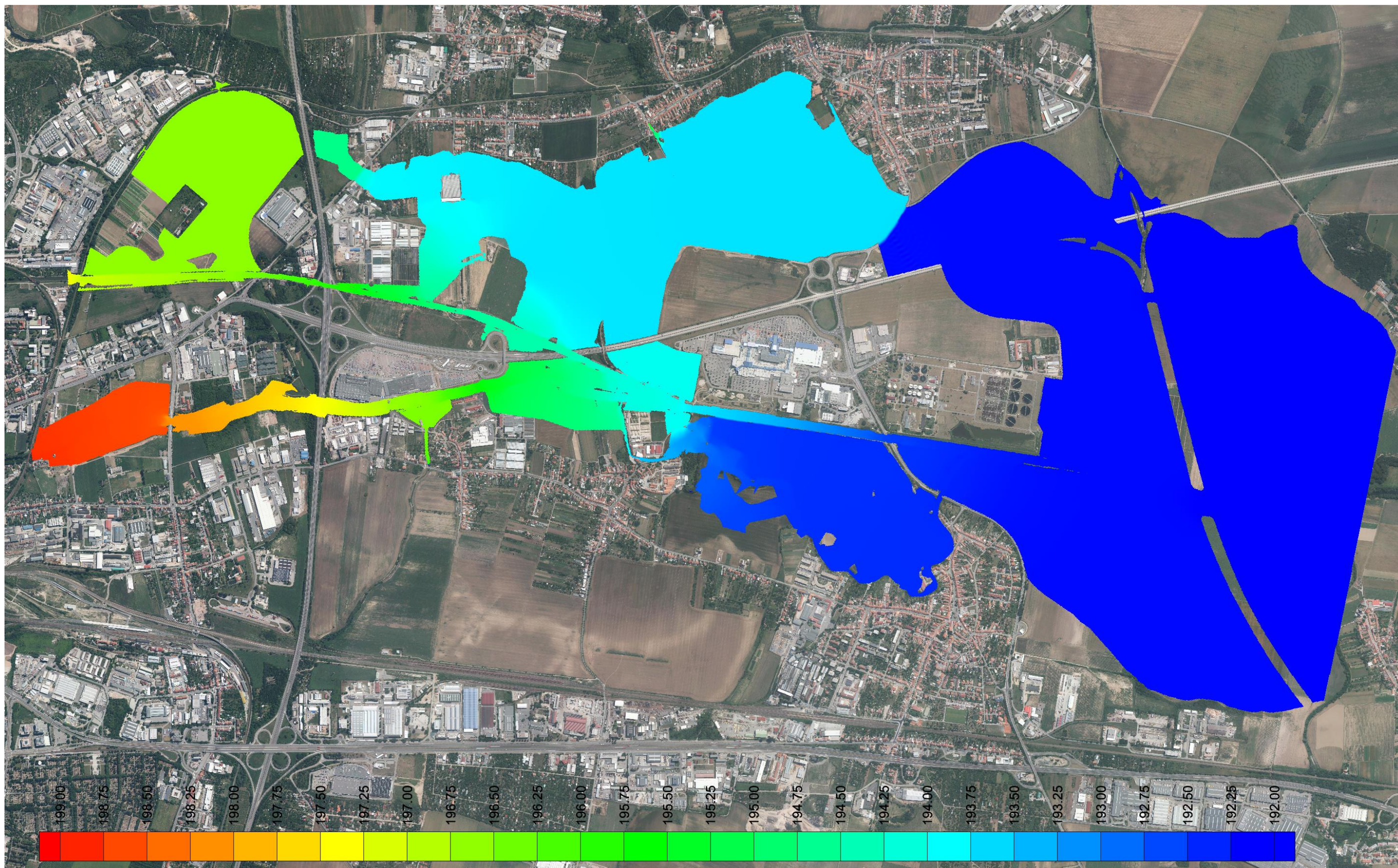
Obr. 20 Model Svratka – kulminační úroveň hladiny Z_h [m n. m.]



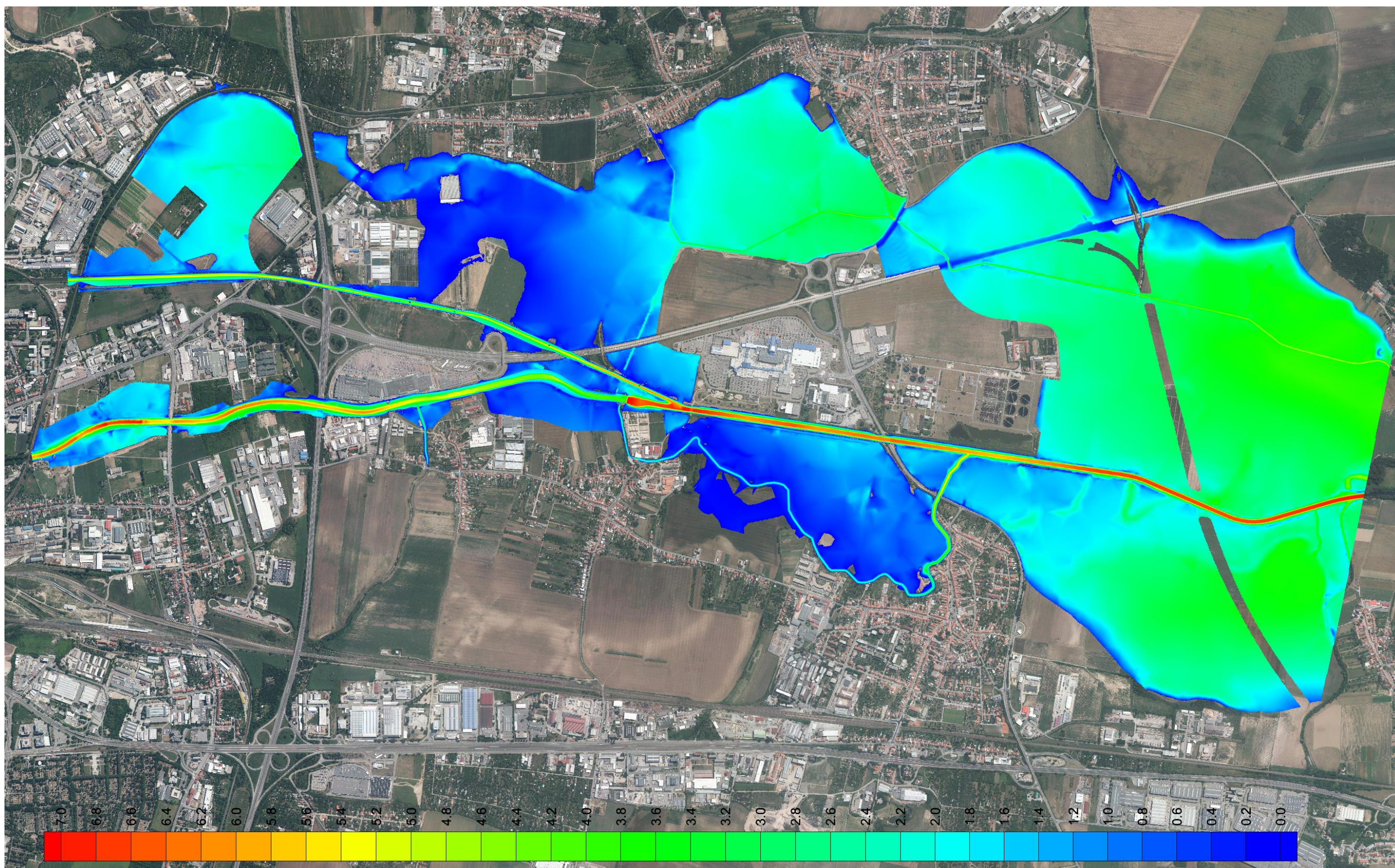
Obr. 21 Model Svratka – hloubka h [m] při kulminaci úrovně hladiny



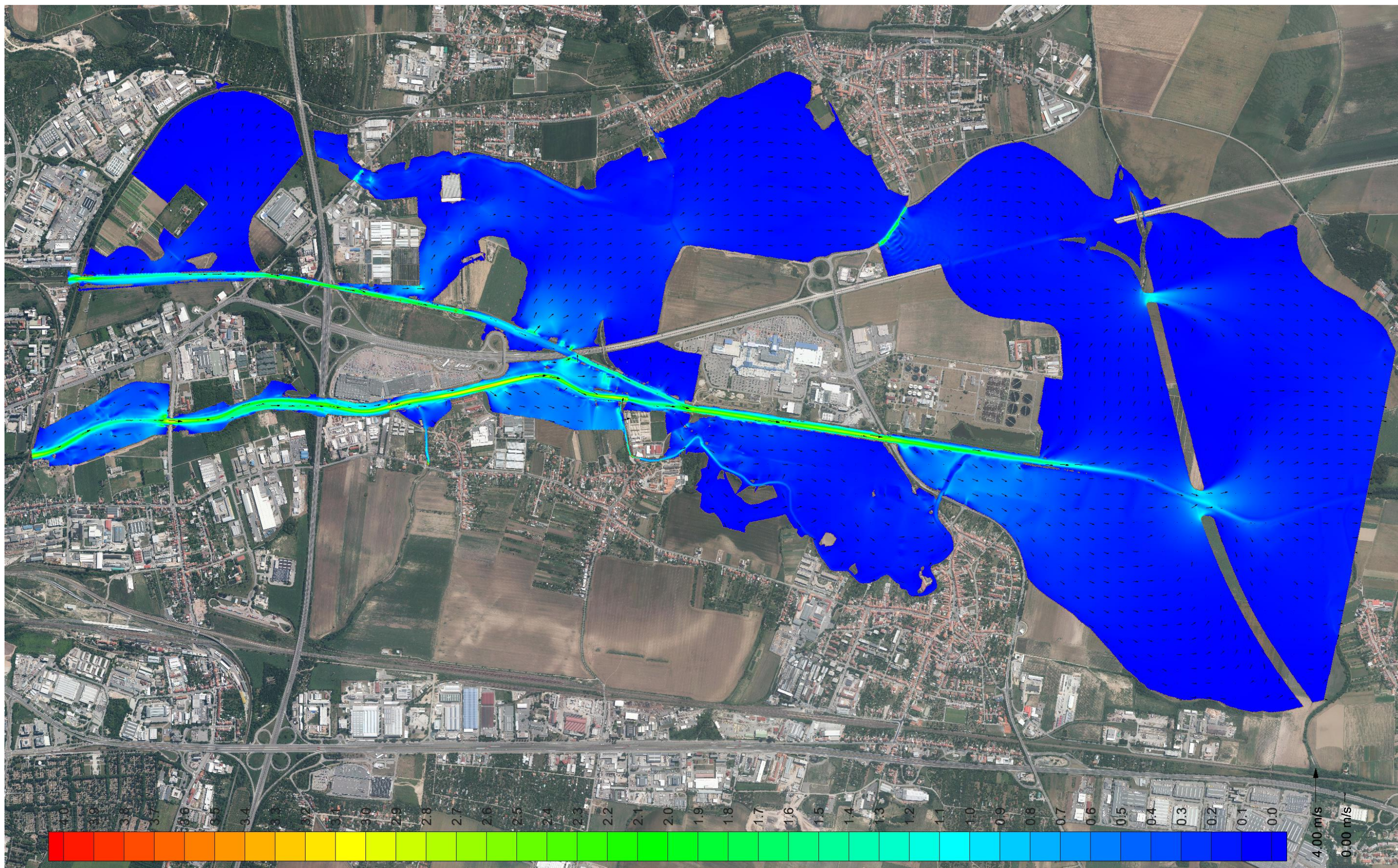
Obr. 22 Model Svratka – maximální svislicová rychlost v_s [m/s]



Obr. 23 Model Soutok – kulminační úroveň hladiny Z_h [m n. m.]



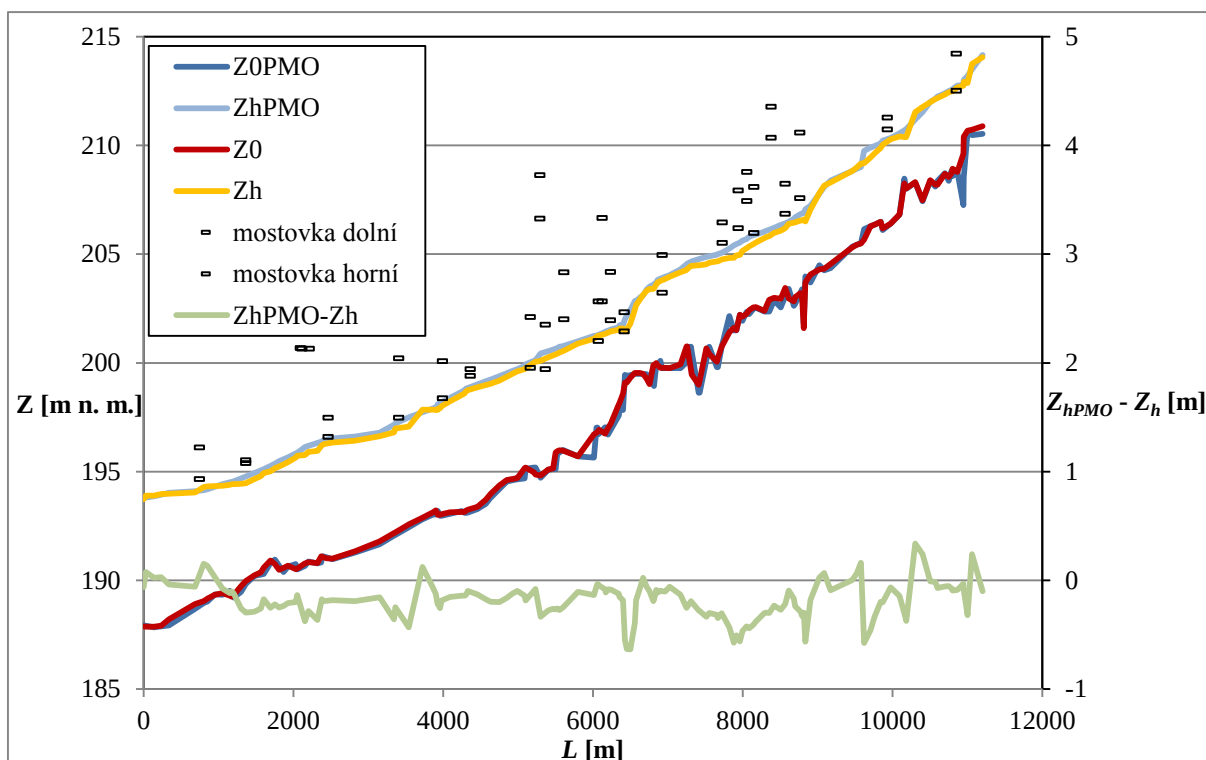
Obr. 24 Model Soutok – hloubka h [m] při kulminaci úrovně hladiny



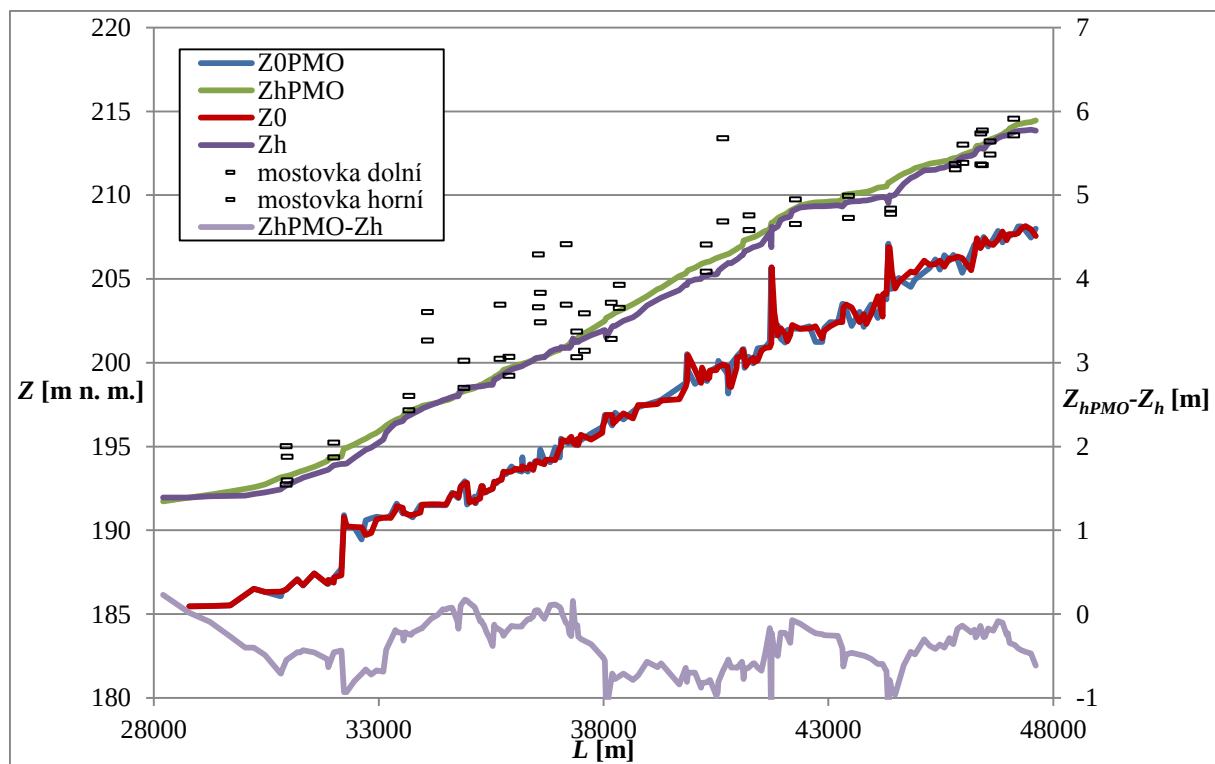
Obr. 25 Model Soutok – maximální svislicová rychlost v_s [m/s]

7 Porovnání výsledků s výsledky 1D síťového modelu

Porovnání výsledků 2D modelu s výsledky z 1D síťového modelu zpracovaným PMO bylo provedeno v podobě podélného profilu zobrazeného na Obr. 26 pro Svitavu a Obr. 27 pro Svratku. Je třeba zdůraznit, že výsledky pro Svratku pod zaústěním Svitavy jsou neporovnatelné z důvodu odlišného průtoku. Z porovnání vyplývá, že úroveň hladiny vypočítaná 2D modelem je po celé délce toků přibližně stejná nebo menší, než je vypočítaná 1D síťovým modelem. Vyšší je pouze na několika místech, rozdíly jsou graficky zobrazeny v podélných profilech.



Obr. 26 Podélný profil Svitavy



Obr. 27 Podélný profil Svatky

8 Závěr

Pomocí programu SMS-TUFLOW byly vytvořeny tři překrývající se dvourozměrné numerické modely simulující neustálené proudění při stoleté povodni ve Svitavě ($180 \text{ m}^3/\text{s}$) a stoleté neovlivněné povodni ve Svatce ($395 \text{ m}^3/\text{s}$) za návrhového stavu území v rozsahu Svatky km 28,2 až km 47,7 (dle TPE km 38,945 až km 56,187) a Svitavy v km 0,0 až km 11,5. Proudění hydrotechnickými objekty mimo propustků bylo řešeno dvourozměrně.

Kalibrace modelu byla provedena na úroveň hladiny 1D síťového modelu proudění zpracovaného firmou Povodí Moravy, státní podnik při Q_5 , kdy nedochází k vybřežení, a na úroveň hladiny na jezích vypočítanou rovnicí přepadu.

Výsledkem výpočtů jsou mapy kulminační úrovně hladiny, hloubky při kulminaci úrovně hladiny a maximální svislicové rychlosti s vyznačením vektorů a také hydrogramy průtoku v koncových profilech modelů.

Na proudění v korytech toků má vliv poloha mostovek zasahujících do proudu a pilíře. Jezy po rekonstrukci mimo Kamenomlýnský jez prakticky nevzdouvají hladinu vody.

Na proudění v inundačním území má zásadní vliv několik objektů. Na Svatce je to Kamenomlýnský jez, který umožňuje rozliv až k silnici Kníničská.

V levém inundačním území Svitavy a následně Svatky 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 k silnici Kaštanová.

Nad ulicí Kaštanová dojde k rozlivu, který je levostranně omezen tvarem terénu.

V modelu byl u Chrlického poldru uvažován bezpečnostní přeliv s kapacitou $60 \text{ m}^3/\text{s}$ stanovenou z modelu simulujícího ustálený stav za průtoku Q_{100} ve Svatce pod soutokem se Svitavou a Q_{100} ve Svitavě (Zachoval, 2015). Vzhledem k řešené extrémní povodňové situaci (Q_{100} ve Svitavě a Q_{100} neovlivněné ve Svatce pod VD Brno) se ukázalo, že bezpečnostní přeliv poldru má pro tuto katastrofickou povodeň malou kapacitu. Ve výpočtu došlo k většímu vzduť hladiny v poldru a k přelítí jeho hráze (zvětšila se jeho retenční schopnost). Z uvedeného důvodu se doporučuje zvětšení kapacity na $93 \text{ m}^3/\text{s}$.

V pravém inundačním území Svatky mezi Modřicemi a Přízřenicemi vzdouvají hladinu násypy silnic Chrlická a silnice 152. Výpočet prokázal, že retenční schopnost uvedeného inundačního území není plně využita. Důvodem je nedostatečný přítok, který je způsobený ochrannými hrázemi koryta, které nebyly objednatelům záměrně sníženy.

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 a tak způsobuje zatopení dálnice D2 v délce vozovky 970 m s hloubkou až 1,1 m.

Výsledky modelu Soutok ukázaly, že pro přesnější výpočet proudění v úseku Svatky km 28,2 až km 30,5 by bylo nutné model rozšířit, pravděpodobně až po jez Rajhrad, což však bylo nad rámec zadání.

Schopnost území transformovat zadanou PV je významná prakticky pouze v rozsahu modelu Soutok, konkrétně na Svatce v oblasti pod přítokem Svitavy až k hranici s DOP modelu Soutok a na Svitavě pouze pod železničním mostem v km 3,314 až k ústí do Svratky. Celé území zmenší hodnotu kulminačního průtoku o cca 47 m³/s oproti teoretickému součtu přítoků do území. Jedná se přibližně o 8% zmenšení.

V Brně dne 25. 9. 2015

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

prof. Ing. Jan Šulc, CSc.
vedoucí ÚVST

9 Literatura

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

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-Fraza, 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.

TUFLOW, 2007. TUFLOE tutorial model. Mapinfo/VM version.

TUFLOW, 2010. TUFLOW user manual. GIS based 2D/1D hydrodynamic modelling.

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.

Zachoval, Z., 2015. 2D numerický model proudění v soutokové oblasti Svratky km 28,25 až km 33,17 a Svitavy km 0,00 až km 3,80. Brno: LVV ÚVST FAST VUT v Brně.

10 Seznamy

10.1 Seznam veličin

symbol	název	jednotka
c	součinitel modelu turbulence	
g	tíhové zrychlení	$[\text{m/s}^2]$
h	hloubka	$[\text{m}]$
n	součinitel (stupeň) drsnosti	
Q	průtok (objemový)	$[\text{m}^3/\text{s}]$
v_s	svislicová rychlost	$[\text{m/s}]$
x	souřadnice	$[\text{m}]$
y	souřadnice	$[\text{m}]$
Z	úroveň	$[\text{m n. m.}]$
ρ	hustota	$[\text{kg/m}^3]$
ν_t	turbulentní kinematická viskozita	$[\text{m}^2/\text{s}]$
ξ	součinitel místní ztráty	
Indexy		
h	hladina	
x	směr x pravoúhlého souřadného systému	
y	směr y pravoúhlého souřadného systému	
0	základ, dno	

10.2 Seznam zkratk

1D	jednorozměrný
2D	dvourozměrný
DMT	digitální model terénu
DOP	dolní okrajová podmínka
HOP	horní okrajová podmínka
LVV	Laboratoř vodohospodářského výzkumu
PM	Povodí Moravy, státní podnik
PP	počáteční podmínka
SMS	Surface-water Modeling System
TUFLOW	Two-dimensional Unsteady FLOW
ÚVST	Ústav vodních staveb
VD	vodní dílo
VHVS	Vodní hospodářství a vodní stavby
VUT v Brně	Vysoké učení technické v Brně

10.3 Seznam obrázků

OBR. 1	ZÁJMOVÁ LOKALITA (ZELENĚ – NAVRŽENÁ PPO, ČERVENĚ – NOVÉ NÁSPY, FIALOVĚ – ZVÝŠENÍ TERÉNU, ŠEDĚ – ROZSAHY MODELŮ)	5
OBR. 2	ÚROVEŇ TERÉNU Z_0 [M N. M.] (ŠEDĚ – ROZSAHY MODELŮ).....	10
OBR. 3	MATERIÁL POVRCHU – MODEL SVITAVA	11
OBR. 4	MATERIÁL POVRCHU – MODEL SVRATKA	12
OBR. 5	MATERIÁL POVRCHU – MODEL SOUTOK	13
OBR. 6	MODEL SVITAVA (ŠEDĚ – ROZSAH MODELU, 2D OBJEKTY; ČERNĚ – ROZSAH VÝPOČTOVÉ OBLASTI)..	16
OBR. 7	MODEL SVRATKA (ŠEDĚ – ROZSAH MODELU, 2D OBJEKTY; ČERNĚ – ROZSAH VÝPOČTOVÉ OBLASTI).	17
OBR. 8	MODEL SOUTOK (ŠEDĚ – ROZSAH MODELU, 2D OBJEKTY, 1D OBJEKTY; ČERNĚ – ROZSAH VÝPOČTOVÉ OBLASTI)	18
OBR. 9	POVODŇOVÉ VLNY (NÁZEV TOKU ZAÚSTĚNÍ, NÁZEV TOKU, KULMINAČNÍ PRŮTOK).....	20
OBR. 10	KONZUMČNÍ KŘIVKY	20
OBR. 11	POROVNÁNÍ ÚROVNĚ HLADINY PŘI Q_5 , SVITAVA	22
OBR. 12	POROVNÁNÍ ÚROVNĚ HLADINY PŘI Q_5 , SVRATKA	22
OBR. 13	POROVNÁNÍ PŘEPADOVÝCH VÝŠEK.....	23
OBR. 14	MODEL SVITAVA - TRANSFORMACE POVODŇOVÉ VLNY	25
OBR. 15	MODEL SVRATKA - TRANSFORMACE POVODŇOVÉ VLNY	26
OBR. 16	MODEL SOUTOK - TRANSFORMACE POVODŇOVÉ VLNY	26
OBR. 17	MODEL SVITAVA – KULMINAČNÍ ÚROVEŇ HLADINY Z_H [M N. M.].....	29
OBR. 18	MODEL SVITAVA – HLOUBKA H [M] PŘI KULMINACI HLADINY	30
OBR. 19	MODEL SVITAVA – MAXIMÁLNÍ SVISLICOVÁ RYCHLOST v_s [M/S].....	31
OBR. 20	MODEL SVRATKA – KULMINAČNÍ ÚROVEŇ HLADINY Z_H [M N. M.]	32
OBR. 21	MODEL SVRATKA – HLOUBKA H [M] PŘI KULMINACI ÚROVNĚ HLADINY	33
OBR. 22	MODEL SVRATKA – MAXIMÁLNÍ SVISLICOVÁ RYCHLOST v_s [M/S].....	34
OBR. 23	MODEL SOUTOK – KULMINAČNÍ ÚROVEŇ HLADINY Z_H [M N. M.].....	35
OBR. 24	MODEL SOUTOK – HLOUBKA H [M] PŘI KULMINACI ÚROVNĚ HLADINY	36
OBR. 25	MODEL SOUTOK – MAXIMÁLNÍ SVISLICOVÁ RYCHLOST v_s [M/S].....	37
OBR. 26	PODÉLNÝ PROFIL SVITAVY	38
OBR. 27	PODÉLNÝ PROFIL SVRATKY	39

10.4 Seznam tabulek

TAB. 1	VLASTNOSTI SÍTÍ.....	9
TAB. 2	SOUČINITEL DRSNOSTI	14
TAB. 3	MODELÝ	19
TAB. 4	HODNOTY ZÁKLADNÍ TURBULENTNÍ VIZKOZITY A SOUČINITELE TURBULENTNÍHO MODELU	21
TAB. 5	ZMĚNA KULMINAČNÍHO PRŮTOKU	27