

České vysoké učení technické v Praze

Fakulta stavební

Katedra hydrotechniky



DIPLOMOVÁ PRÁCE

VD Modřany – zlepšení plavebních podmínek

Water Work Modřany – navigation conditions improving

Vedoucí práce: doc. Dr. Ing. Pavel Fošumpaur

Leden 2019

Bc. Veronika Jarošová



ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Veronika

Jméno: Jarošová

Osobní číslo: 423012

Zadávací katedra: 142 - Katedra hydrotechniky

Studijní program: Stavební inženýrství

Studijní obor: Vodní hospodářství a vodní stavby

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce: VD Modřany - zlepšení plavebních podmínek

Název diplomové práce anglicky: Water Work Modřany - navigation conditions improving

Pokyny pro vypracování:

Na vodním díle Modřany je v současné době zastavována plavba od průtoku 450 m³/s. Důvodem jsou příliš vysoké hodnoty příčné složky rychlosti v okolí dělicích zdí rejd plavební komory. Diplomová práce s využitím 2D matematického modelu zhodnotí rychlostní poměry v okolí plavebního stupně a navrhne a ověří různé varianty úprav dělicích zdí. Úpravy dělicích zdí budou zahrnovat jejich prodloužení a aplikaci průtočných oken. Cílem je zajištění bezpečných plavebních podmínek v okolí plavebního stupně až do průtoku 600 m³/s ve Vltavě.

Seznam doporučené literatury:

Gabriel, P., Grandtner, M., Průcha, M., Výbora, P.: Jezy. SNTL, Praha 1989.

Čábelka, J., Gabriel, P.: Matematické a fyzikální modelování v hydrotechnice. Academia Praha 1987.

Čábelka, J.: Vodní cesty a plavba. SNTL/ALFA, Praha 1976.

Jméno vedoucího diplomové práce: doc. Dr. Ing. Pavel Fošumpaur

Datum zadání diplomové práce: 3.10.2018

Termín odevzdání diplomové práce: 6.1.2019

Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku

Podpis vedoucího práce

Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v diplomové práci a při citování postupovat v souladu s metodickou příručkou ČVUT „Jak psát vysokoškolské závěrečné práce“ a metodickým pokynem ČVUT „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.

3.10.2018

Datum převzetí zadání

Podpis studenta(ky)

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracovala samostatně a že jsem uvedla veškeré potřebné informační zdroje v souladu s metodickým pokynem ČVUT 1/2009 O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

V Praze dne 6. 1. 2019

.....

Poděkování:

Děkuji především doc. Dr. Ing. Pavlu Fošumpaurovi za trpělivost, cenné rady, zkušenosti, odborné vedení diplomové práce a také za pomoc s výběrem téma diplomové práce. Dále děkuji Ing. Martinu Horskému Ph.D. za pomoc s vytvořením vhodného terénu a naučení s programem ArcGIS.

Dále děkuji svým kolegům z Povodí Vltavy, státní podnik, za pomoc při shánění podkladů pro vypracování této diplomové práce. Na závěr bych chtěla poděkovat své rodině, která mě podporovala a poskytla mi i technické zázemí pro vypracování práce.

Abstrakt a klíčová slova:

V současné době je plavba přes vodní dílo Modřany zastavována při dosažení průtoku $450 \text{ m}^3/\text{s}$. Důvodem pro zastavení plavby jsou příliš vysoké hodnoty příčné složky rychlosti v okolí zhlaví dělící zdi. Cílem této práce je zhodnotit stávající stav a navrhnout taková opatření, aby bylo možné zachovat plavbu až do průtoku $600 \text{ m}^3/\text{s}$. Jedná se především o navržení plné dělící zdi nebo dělící zdi s průtočnými okny. Proudění v oblasti VD Modřany bylo simulováno pomocí programu HEC-RAS 2D a následně vyhodnoceno. Po vyhodnocení různých variant plných dělících zdí i dělících zdí s průtočnými okny, nebyla nalezena žádná varianta, u které by byly hodnoty příčné složky rychlosti v okolí zhlaví dělící zdi menší než $0,2 \text{ m/s}$. Výsledky této práce ukazují na nevhodné dispoziční řešení plavební komory v rámci VD Modřany.

Klíčová slova: vodní dílo Modřany, plavba, HEC-RAS 2D

Abstract and keywords:

In these days is navigation through the water structure Modřany stopped when the flow reach $450 \text{ m}^3/\text{s}$. The reason to stop the navigation is too high transverse component of velocity around the end of dividing wall. The aim of this thesis is to evaluate the current conditions and to design some arrangement which can maintain the navigation until the flow $600 \text{ m}^3/\text{s}$. There were full dividing walls or dividing walls with flow windows designed. Flowing in the area was simulated in software HEC-RAS 2D and evaluated after that. There were no variant after the evaluation of full dividing walls and dividing wall with flow windows, which would have the values of transverse component of velocity lower than $0,2 \text{ m/s}$. The results of this thesis show that float chamber is not good situated within the water work Modřany.

Keywords: water work Modřany, navigation, HEC-RAS 2D

Obsah

1	ÚVOD A CÍL PRÁCE	4
2	VODNÍ DÍLO MODŘANY	6
2.1	Historie	6
2.2	Účely vodního díla	7
2.3	Popis vodního díla	7
2.3.1	Jez	7
2.3.2	Plavební zařízení.....	8
2.3.3	Sportovní propust	9
2.3.4	Malá vodní elektrárna	10
3	VLTAVSKÁ VODNÍ CESTA.....	11
3.1	Historie vývoje Vltavské vodní cesty a plavby.....	11
3.2	Omezení plavby na Vltavské vodní cestě	12
4	MATEMATICKÉ A FYZIKÁLNÍ MODELOVÁNÍ.....	14
4.1	Fyzikální modelování	14
4.2	Matematické modelování.....	14
4.2.1	HEC-RAS 2D	15
5	VÝCHOZÍ PODKLADY	18
5.1	Zaměření koryta	18
5.2	Manipulační řád VD Modřany	19
5.3	Měrná křivka Praha – Chuchle.....	19
5.4	Další podklady.....	20
6	SESTAVENÍ MODELU	21
6.1	Geometrie terénu	21
6.2	Průtokové manipulační varianty na vodním díle.....	23

6.3	Okrajové podmínky	24
6.3.1	Oblast horní vody	24
6.3.2	Oblast dolní vody	25
6.3.3	Ověření kapacity jezového pole.....	25
7	METODA VYHODNOCENÍ	27
7.1	HEC-RAS.....	27
7.2	HDF View	27
7.3	Matlab.....	28
7.4	ArcMap	28
8	SOUČASNÝ STAV	29
8.1	Oblast dolní voda a průtok $Q = 450 \text{ m}^3/\text{s}$	30
8.2	Oblast dolní vody a průtok $Q = 600 \text{ m}^3/\text{s}$	34
8.3	Vyhodnocení příčných složek rychlosti v oblasti dolní vody	38
8.4	Oblast horní vody a průtok $Q = 450 \text{ m}^3/\text{s}$	39
8.5	Oblast horní vody a průtok $Q = 600 \text{ m}^3/\text{s}$	43
8.6	Vyhodnocení příčných složek rychlosti v oblasti horní vody.....	47
9	PLNÉ DĚLÍCÍ ZDI.....	48
9.1	Pilíř 1 - plná dělicí zeď v místě stávajících svodidel dle ortofoto mapy	49
9.1.1	Pilíř 1 a průtok $Q = 450 \text{ m}^3/\text{s}$	50
9.1.2	Pilíř 1 a průtok $Q = 600 \text{ m}^3/\text{s}$	54
9.2	Pilíř 2 - plná dělicí zeď v místě svodidel dle projektové dokumentace.....	58
9.2.1	Pilíř 2 a průtok $Q = 450 \text{ m}^3/\text{s}$	59
9.2.2	Pilíř 2 a průtok $Q = 600 \text{ m}^3/\text{s}$	63
9.3	Pilíř 3	67
9.4	Pilíř 4	68
9.5	Pilíř 5	69

9.6	Pilíř 6.....	70
9.7	Zhodnocení plných dělících zdí.....	71
10	DĚLÍCÍ ZDI S PRŮTOČNÝMI OKNY.....	72
10.1	Dělící zeď s průtočnými okny 01.....	73
10.2	Dělící zeď s průtočnými okny 02.....	75
10.3	Dělící zeď s průtočnými okny 03.....	77
10.4	Dělící zeď s průtočnými okny 04.....	79
10.5	Dělící zeď s průtočnými okny 05.....	81
10.6	Zhodnocení dělících zdí s průtočnými okny	83
11	ZÁVĚR	84
	POUŽITÁ LITERATURA A PRAMENY.....	87
	SEZNAM PŘÍLOH.....	88
	SEZNAM OBRÁZKŮ	88

1 ÚVOD A CÍL PRÁCE

V posledních letech je snaha dokončit splavnění Labsko – Vltavské vodní cesty, o které jsou dochovány zmínky již z 6. a 7. století. Ke splavnění je třeba vybudovat a dokončit některá vodní díla. Jedná se především o vodní dílo Děčín a Přelouč II na Labi a lodní zdvihadla na Orlické a Slapské přehradě. Mimo tato velká vodní díla se ale na vodní cestě nacházejí další stavby, díky kterým dochází k omezení plavby při určitém vodním stavu.

Vodní dílo Modřany se nachází v Hlavním městě Praha a je složeno z pohyblivého jezu o 3 polí, plavební komory, sportovní propusti, malé vodní elektrárny, jezové zdrži a zázemí vodního díla. Toto vodní dílo se nachází na úseku významné vodní cesty zvané „Dolní Vltava“. Tento úsek je dle vyhlášky č. 222/1995 Sb. (o vodních cestách, plavebním provozu v přístavech, společné havárii a dopravě nebezpečných věcí) a zákona č. 114/1995 Sb. (Zákon o vnitrozemské plavbě) zařazen do IV. třídy vodní cesty. Úsek začíná u soutoku Labe s Vltavou a končí pod Slapskou přehradou.

Vodní stav ohrožující bezpečnost plavby je definován vyhláškou č. 67/2015 Sb. (o pravidlech plavebního provozu). Dle § 5 odst. (1), písm. k) je vodní stav, při kterém je ohrožena bezpečnost plavby v úseku Vltavy Slapy-Třeбенice ř. km 91,60 až Praha-Velká Chuchle ř. km 61,70 při vodním průtoku v profilu vodočtu Praha-Velká Chuchle 600 m³/s a vyšším. Přitom dle písm. l) je bezpečnost plavby přes plavební komoru Praha-Modřany ohrožena již při průtoku v profilu vodočtu Praha-Velká Chuchle 450 m³/s a vyšším. Dle písm. m) je ohrožena bezpečnost plavby v úseku Praha-Velká Chuchle ř. km 61,70 až Praha-Jiráskův most ř. km 54,30 při vodním průtoku v profilu vodočtu Praha-Velká Chuchle 800 m³/s a vyšším. Důvodem, proč je plavba zastavována na VD Modřany při průtoku 450 m³/s, jsou příliš vysoké hodnoty příčné složky rychlosti v okolí ohlaví dělicích zdí rejd plavební komory.

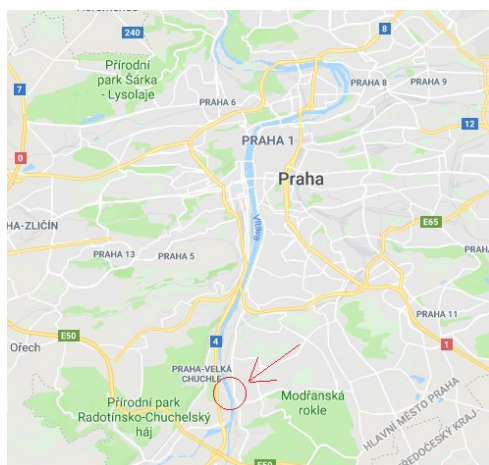
V posledních letech dochází k velkému rozvoji informačních technologií. V oboru vodního hospodářství a vodních staveb je již používáno mnoho programů, které zrychlují a usnadňují velké množství výpočtů a také optimalizují návrhy

hydrotechnických staveb. Díky těmto programům můžeme simulovat proudění vody přes různé překážky a zkoumat jeho chování.

Cílem této diplomové práce je navrhnout a ověřit různé varianty úprav dělících zdí tak, aby byly zajištěny bezpečné plavební podmínky v okolí plavebního stupně až do průtoku $600 \text{ m}^3/\text{s}$. Úpravy dělících zdí zahrnují jejich prodloužení a aplikaci průtočných oken. Rychlosti budou počítány s využitím 2D matematického modelu.

2 VODNÍ DÍLO MODŘANY

Vodní dílo Modřany se nachází v kraji Hlavní město Praha na významném vodním toku Vltava (IDVT 10100001) v říčním km 62,209. Na pravém břehu zasahuje do městské části Praha 12 – Modřany a na levém břehu do městské části Praha – Zbraslav (Obrázek 1). Jedná se o vodní dílo III. kategorie.



Obrázek 1: Mapa širších vztahů



Obrázek 2: Ortofotomapa VD Modřany

2.1 Historie

Zdymadlo Modřany se nachází na Vltavě, přibližně 1,5 km od soutoku s Berouňkou. Dle historických záznamů, zde jez vzdouval vodu již před 400 lety. V roce 1730 nechal profesor pražské inženýrské školy Jan Ferdinand Schor postavit u modřanského jezu plavební komoru. Příčinou vyřazení plavební komory z provozu bylo poškození při chodu ledů a také splaveninový režim, díky kterému se v okolí zdymadla Modřany ukládaly nánosy splavenin. V roce 1772 byla modřanská komora rekonstruována, ale ani tato rekonstrukce nepomohla. Průtok zde je velmi ovlivněn Berouňkou, která několikrát měnila polohu svého koryta mezi Zbraslaví a Lahovicemi. Na mapě z roku 1823 ústí jedno rameno řeky Berouňky do Vltavy těsně nad modřanským jezem. Plavební dráha je značena skrz průrvy v tělese jezu a plavební komora zaniká. [1]

Až nástup průmyslové revoluce zvýšil zájem o vodní dopravu. Vltava byla v úseku pod Prahou až k ústí do Labe splavněna, ale úsek nad Prahou zůstal bez úprav. V období 1932 – 1936 bylo ve Vraném postaveno první zdymadlo s přehradou a

elektrárnou. Následovala stavba Štěchovické přehrady, Slap a dále stavba největší přehrady vltavské vodní kaskády Orlíku. [1]

Na trati mezi Prahou a Vraným byla plavba závislá na vodních stavech. V modřanské úžině mohly lodě plout jen za příznivých podmínek. Bohužel zde plavební hloubka klesala jen na 50 – 70 cm. V roce 1977 vznikl úvodní projekt technického řešení, který zpracoval Hydroprojekt Praha. Cílem bylo vytvořit splavnou Vltavu na úseku Modřany – Vrané – Slapy a propojit jí s mezinárodní vodní cestou Praha – Mělník – Hřensko. Stavba začala v roce 1979 a byla rozdělena do tří etap. Nejprve byla postavena plavební komora a pravé jezové pole. Tato část byla dokončena v lednu 1983. Ve druhé etapě bylo postaveno střední a levé pole. Po dokončení jezu následovala třetí etapa, kdy se postavila malá vodní elektrárna, sportovní propust a byly dokončeny břehové úpravy. Stavební práce skončily až v roce 1988. [1]

2.2 Účely vodního díla

Mezi hlavní účely vodního díla patří zajištění plavebních podmínek pro vodní dopravu, stabilizace minimální hladiny a spádových poměrů říční tratě, využití hydroenergetického potenciálu jezu v průběžné malé vodní elektrárně a zajištění povolených a smluvních odběrů podle příslušných povolení k nakládání s vodami. [2]

Jezovou zdrž lze využívat dále pro neřízenou rekreaci, sportovní rybolov a sportovní plavbu. Vodu zadržanou jezem lze rovněž omezeně využívat pro krátkodobé nadlepšení průtoků v toku pod vodním dílem při výskytu havarijního znečištění. [2]

2.3 Popis vodního díla

Vodní dílo Modřany je složeno z pohyblivého jezu o 3 polí, plavební komory, sportovní propusti, malé vodní elektrárny, jezové zdrži a zázemí vodního díla (Obrázek 2). [2]

2.3.1 Jez

Umístění jezového tělesa:	ř. km	62,209
Nominální vzduťá hladina jezem „(±0)“:	189,30	m n. m.
Povolená tolerance kolísání:	+ 20, - 0	cm

Minimální hladina pod jezem:	186,80	m n. m.
Světlost 3 jezových polí:	27,00	m

Jez má 3 pole hrazené na výšku 3,3 m ocelovými dutými klapkami. Ve sklopené poloze tvoří klapka a pevný práh v příčném směru práh Jamborova typu s minimálním vzdutím při průchodu velkých vod. Jednotlivá pole o šířce 27 m jsou oddělena pilíři šířky 3 m (Obrázek 3). Při opravách se používá provizorního hrazení. Proti horní i dolní vodě se jako provizorní hrazení užívá vyjímatelných slupic a hradel z obdélníkových profilů. Přepadové energie se tlumí ve vývaru o délce 13,5 m. Dno vývaru je na kótě 183,10 m n. m. Vývar je uzavřen šikmým prahem ve sklonu 1:3 o výšce 1,00 m. Na šikmém prahu jsou vybudovány rozražeče. [2]



Obrázek 3: Pohled proti vodě na jez VD Modřany

2.3.2 Plavební zařízení

Umístění plavební komory:	při pravém břehu
Užitná délka:	192,10 m
Užitná šířka:	12 m

Celková délka plavební komory:	230,30 m
Horní užitná délka:	89,40 m
Dolní užitná délka:	85,20 m
Maximální překonávaný spád:	2,40 m

Jedná se o dvoulodní plavební komoru s minimální hloubkou 3,5 m, která je umístěna na pravém břehu. V příčném řezu je plavební komora navržena jako polorámová, železobetonová konstrukce. V horním ohlavi jsou pokloповá vrata s přímým podzáporníkovým plněním – systém Čábelka. Za pokloповými vraty je navržen vývar. Střední a dolní vrata jsou vzpěrná s otvory pro přímé prázdňení (Obrázek 4). Plavba se zastavuje při dosažení průtoku 450 m³/s. [2]



Obrázek 4: Pohled na střední vrata plavební komory a velín VD Modřany

2.3.3 Sportovní propust

Sportovní propust je umístěna při levém břehu. Vlastní sportovní propust je obdélníkový železobetonový žlab s konstantní šířkou 2,0 m. Dno je zpevněno kamenným záhozem. K propusti je veden přívodní kanál v celkové délce 200,18 m. Od sportovní propusti vede otevřený odpadní kanál o délce 102,04 m. [2]

2.3.4 Malá vodní elektrárna

Malá vodní elektrárna (MVE) je umístěna při levém břehu (Obrázek 5). Stěna elektrárny tvoří levobřežní pilíř jezu. Na elektrárně jsou osazena 3 soustrojí s Kaplanovými turbínami. [2]

Návrhový průtok:	3 x 30 m ³ /s
Minimální průtok:	3 x 10 m ³ /s
Maximální spád:	2,25 m
Minimální spád:	1,50 m
Návrhový spád:	2,00 m



Obrázek 5: Pohled po vodě na malou vodní elektrárnu

3 VLTAVSKÁ VODNÍ CESTA

Vodní dílo Modřany je součástí Vltavské vodní cesty. Vltavská vodní cesta začíná na soutoku Labe s Vltavou, přesněji v místě vyústění Hořinského plavebního kanálu do Labe, které se nachází cca 300 m pod soutokem s Vltavou. Od tohoto místa začíná dopravně významná a využívaná vodní cesta. Úsek nazývaný „Dolní Vltava“ končí pod slapskou přehradou, tedy v říčním km 91,5 (Třebenice). Nad hrází slapské přehrady začíná další úsek nazývaný „Střední Vltava“, který končí v říčním km 239,4 (České Budějovice). [3], [4]

3.1 Historie vývoje Vltavské vodní cesty a plavby

Už z 6. a 7. století jsou dochovány zmínky o plavbě na Labi a Vltavě. Za vlády Karla IV. již docházelo k úpravám pro zlepšení splavnosti těchto řek. Byly budovány vorové a lodní propusti v jezích a také byly pod soutokem Vltavy a Labe odstraněny velké balvany a skály z koryta řeky, které překážely plavbě. O další zlepšení plavebních podmínek na Vltavě a Labi se snažili Habsburkové v 16. a 17. století. Hlavním důvodem byla doprava stavebního dříví a především soli do vnitrozemí Čech a do Německa. V roce 1724 se vedoucím splavňovacích prací na Vltavě stal Jan Ferdinand Schor. Pod jeho vedením byly postaveny na Vltavě dvě plavební komory u jezu u Županovic a poté i u Modřan. Tehdy to byly první plavební komory z kamene u nás. Koncem 18. století byla u nás ustanovena navigační komise, zřízen navigační fond, založeno stavební navigační ředitelství a vydán navigační patent. [5]

Od začátku 19. století se již provádí systematická úprava koryta, údržba a dále i výstavba loděnic. Díky tomu je vodní cesta pravidelně využívána k dopravě zboží. Po proudu lodě plují převážně samotíží a proti proudu jsou vlečeny koňskými potahy. Byla zřízena Komise pro kanalizování Vltavy a Labe, která zahájila splavňování těchto řek v roce 1896. Komise vybudovala 5 plavebních stupňů a díky tomu splavnila dolní Vltavu mezi Prahou a Mělníkem o délce 48 km. Dále Komise přispěla i ke splavnění Vltavy v Praze. [5]

Po první světové válce vznikl zákon z r. 1931, o státním fondu pro splavnění řek, budování přístavů, výstavbu údolních přehrad a pro využití vodní energie. Jednalo se

především o budování zdymadel na Labi, ale byla vybudována i energeticko-plavební vodní díla ve Vraném n. Vltavou (1935) a ve Štěchovicích (1945). U Modřan těsně nad Prahou zůstala plavební úžina, kde v období malých průtoků jsou nedostatečné hloubky a dochází k omezení dopravy. [5]

Po druhé světové válce budování vodních cest stagnovalo. Budovala se především velká hydroenergetická díla na Vltavě, jako jsou Slapy, Kamýk, Orlík a Lipno. Plavební zařízení na těchto dílech se z úsporných důvodů buď nebuduje (Slapy) nebo nedokončuje (Orlík). Modernizace labsko-vltavské vodní cesty na jednotné parametry evropských vodních cest a její dobudování začalo koncem šedesátých let. V současnosti jsou plavební podmínky díky 32 zdymadlům vyhovující na Labi od Ústí nad Labem do Pardubic, a z Mělníka do Prahy – Radotín také na Vltavě. [5]

3.2 Omezení plavby na Vltavské vodní cestě

Ministerstvo dopravy vydalo dne 1. 4. 2015 vyhlášku č. 67/2015 Sb. o pravidlech plavebního provozu. V § 5 odst. 1 jsou uvedeny vodní stavy, při kterých je ohrožena bezpečnost plavby. Limitující stavy jsou určeny pro úseky řek: Labe, Vltava a Morava. Vodní dílo Modřany spadá do části „Dolní Vltava“ a pro tuto část vodní cesty platí omezení uvedené v § 5 odst. 1 písm. k) až o) vyhlášky č. 67/2015 Sb. o pravidlech plavebního provozu. Omezení jsou následující:

„k) Vltavy Slapy-Třeбенice ř. km 91,60 až Praha-Velká Chuchle ř. km 61,70 při vodním průtoku v profilu vodočtu Praha-Velká Chuchle 600 m³/s a vyšším,

l) Vltavy přes plavební komoru Praha-Modřany při vodním průtoku v profilu vodočtu Praha Velká Chuchle 450 m³/s a vyšším,

m) Vltavy Praha-Velká Chuchle ř. km 61,70 až Praha-Jiráskův most ř. km 54,30 při vodním průtoku v profilu vodočtu Praha-Velká Chuchle 800 m³/s a vyšším,

n) Vltavy Praha-Jiráskův most ř. km 54,30 až Praha-Holešovice ř. km 46,00 při vodním průtoku v profilu vodočtu Praha-Velká Chuchle 600 m³/s a vyšším,

o) Vltavy Praha-Holešovice ř. km 46,00 až Mělník ř. km 0,00 při vodním průtoku v profilu vodočtu Praha-Velká Chuchle 450 m³/s a vyšším,“

Z toho vyplývá, že plavební komora Praha – Modřany je omezující prvek na části vodní cesty Slapy – Třebenice až Praha – Holešovice. Důvodem, proč je v současné době plavba na vodním díle Modřany zastavována již při průtoku $450 \text{ m}^3/\text{s}$, jsou příliš vysoké hodnoty příčné složky rychlosti v okolí zhlaví dělicích zdí rejd plavební komory.

Ve vyhlášce Ministerstva dopravy č. 222/1995 Sb. o vodních cestách, plavebním provozu v přístavech, společné havárii a dopravně nebezpečných věcí je uvedeno, že: *„Rejdy jsou od řečiště odděleny dělicími zdmi nebo hrázemi, které svým lícem navazují na líc zdi plavební komory. Zhlaví dělicí zdi nebo hráze musí být situováno a uspořádáno tak, aby příčná složka rychlosti proudění vody v plavební dráze bezprostředně před svodidly nebo zhlavím dělicí zdi nepřekročila $0,2 \text{ m/sec}$.“*

4 MATEMATICKÉ A FYZIKÁLNÍ MODELOVÁNÍ

V dnešní době je hydrotechnický výzkum nezbytnou součástí projektové přípravy každého vodního díla. Je to důležitý nástroj pro technicky dokonalý a ekonomicky efektivní návrh vodního díla nebo jen jeho jednotlivých funkčních částí, který zabezpečuje optimální využívání a provoz. Po potřebě zkoumání stále složitějších hydrodynamických jevů a komplexnějších řešení se používají fyzikální modely, metoda matematického modelování nebo metoda experimentálního výzkumu v přírodě. [6]

4.1 Fyzikální modelování

Fyzikální modelování je založeno na podobnosti mezi prototypem, který představuje skutečnost, a zmenšeným modelem. Pokud používáme na modelu stejné médium jako ve skutečnosti, jedná se o hydraulický model. Modelování vychází z teorie podobnosti hydrodynamických jevů, která vychází buď z jejího matematického popisu, nebo rozměrové analýzy fyzikálních veličin. Hlavním cílem výzkumu na hydraulickém modelu je zkoumání zákonitostí proudění vody, jeho působení na prostředí a jeho interakcí obtékanými stavbami. Model by měl pomoci navrhnout optimální hydraulické i konstrukční řešení a dimenzování vodních děl. Mezi hlavní výhody patří malé rozměry modelu a tedy i malá nákladnost, snadné a rychlé úpravy modelu, rychlé a přesné měření hydraulických a fyzikálních veličin a systematickosti měření. [6]

4.2 Matematické modelování

Vývoj výpočetní techniky umožnil vznik matematického modelování, které umožňuje efektivně a s vyšší přesností řešit problémy a simulovat i takové hydrodynamické jevy, jejichž matematická formulace je složitá. Matematické modelování je založeno na podobnosti mezi reálnými a abstraktními systémy a umožňuje zkoumání reálných systémů pomocí systémů abstraktních za pomoci matematických modelů. Pokud dokážeme daný jev dostatečně matematicky popsat, můžeme pomocí matematického modelování zkoumat velmi složité fyzikální jevy v rozsáhlých systémech. Tyto složité fyzikální jevy jsou nejčastěji popsány parciálními diferenciálními rovnicemi nebo jejich soustavami. Obvykle jsou tyto rovnice řešeny pouze numericky, proto se používá i název numerické modelování. [6]

Matematický model se skládá z vlastního modelu prostředí, matematického vyjádření fyzikálních vztahů mezi veličinami a z metody matematického řešení fyzikálních vztahů. Je nutná jeho schematizace, protože na rozdíl od fyzikálního modelu, který zobrazuje skutečnost spojitě, je matematický model tvořen souborem diskrétních hodnot proměnných veličin a parametrů. [6]

Pro simulaci hydraulických procesů vzniklo mnoho programů, které využívají různé metody výpočtů. Pro vypracování této diplomové práce byl využíván HEC-RAS 2D.

4.2.1 HEC-RAS 2D

Program HEC-RAS byl vyvinut inženýry armády Spojených států (U. S. Army Corps of Engineers – USACE) v jejich Hydrologickém inženýrském centru (Hydrologic Engineering Center – HEC). Zkratka HEC – RAS vznikla z anglického názvu „Hydrologic Engineering Center's River Analysis System“. První verze vznikla v červenci 1995. Od té doby bylo vydáno mnoho aktualizací. Program dokáže počítat 1D ustálené proudění, 1D a 2D neustálené proudění, transport sedimentu a dále analýzu kvality vody. Dále je možné počítat i kombinované 1D a 2D neustálené proudění. [7]

Pro výpočet 2D neustáleného proudění, tedy modelování volné hladiny proudící kapaliny, která protéká korytem řeky s proměnným dnem pod vlivem gravitačního zrychlení, jsou používány Saint – Venantovy rovnice v plném dynamickém tvaru. Rovnice jsou odvozeny za použití stejných principů jako obecnější Navier – Stokesovy rovnice, které popisují proudění nestlačitelné vazké tekutiny. Program může řešit i zjednodušenou verzi Saint – Venantových rovnic, tedy metodu difuzní vlny, která zanedbává setrvačné síly. Řešením SV rovnice v plném tvaru je možné řešit více případů, ale při použití difuzní vlny bude program pracovat rychleji a také dokáže řešit mnoho případů, jako například ustálené proudění v prizmatických korytech. Při nastavení výpočtu lze jednoduše zvolit, jakou variantu výpočtu požadujeme. Tyto rovnice jsou doplněny rovnicí kontinuity, která vyjadřuje zákon zachování hmotnosti. [7]

Pro jednorozměrné proudění platí Saint – Venantova rovnice za následujících podmínek:

- nestlačitelné nevazké proudění
- vertikální rozměr je mnohem menší než horizontální, a tedy uvažujeme pouze horizontální rychlosti proudění, kterou považujeme za konstantní přes celou plochu v příčném řezu koryta
- průřezová průtočná plocha je kolmá ke dnu, v místě průřezu je vodorovná hladina
- vertikální složku zrychlení proudění zanedbáváme
- malý sklon dna
- malé zakřivení proudnic
- hydrostatické rozdělení tlaku ve svislici

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\beta \cdot \frac{Q^2}{S} \right) = -g \cdot S \cdot \frac{\partial y}{\partial x} + g \cdot S \cdot i_0 - g \cdot S \cdot i_E \quad 4.1$$

Kde:

Q	[m ³ /s]	průtok
t	[s]	čas
S	[m ²]	průtočná plocha
β	[-]	Boussinesquovo číslo
g	[m/s ²]	gravitační zrychlení
i ₀	[-]	sklon dna
i _E	[-]	sklon čáry energie
x	[m]	souřadnice ve směru proudění
y	[m]	souřadnice kolmá na směr proudění

Každý člen Saint – Venantovy rovnice (4.1) představuje sílu, která řídí pohyb. Rovnice se skládá ze složky setrvačné síly a složky vnějších sil, tj. sil povrchových a objemových. Povrchové síly jsou tlakové od normálového napětí a třecí od smykových napětí. První

člen vyjadřuje setrvačnou sílu, která je ve formě lokální a konvektivní složky zrychlení. Druhý člen rovnice představuje tlakovou sílu, která je ve formě povrchové síly z rozdílu hydrostatických tlaků. Třetí člen rovnice představuje gravitační sílu, která je ve formě objemové síly a je tvořena složkou gravitačního zrychlení ve směru proudění. Poslední člen rovnice je třecí síla, která je formou povrchové síly. [8]

Nejjednodušší kinematická vlna řeší pouze gravitační a třecí složku. Složitější difuzní vlna řeší navíc i tlakovou složku. Pokud uvažujeme všechny složky, jedná se o dynamickou vlnu. [8]

Program HEC-RAS řeší SV rovnice v úplném dynamickém tvaru pomocí metody konečných objemů. Toto implicitní řešení umožňuje větší časové výpočetní kroky než explicitní metody a také poskytuje větší stabilitu výpočtu než tradiční metody konečných prvků a diferencí. Metoda konečných objemů využívá integrálního tvaru rovnic, které vycházejí ze zákonů zachování hmotnosti, hybnosti apod. Řešená oblast je rozdělena na konečný počet malých kontrolních objemů sítě. Výpočet probíhá v celém objemu a na jeho povrchu. [7][9]

5 VÝCHOZÍ PODKLADY

Mezi výchozí podklady pro zpracování diplomové práce patří: zaměření koryta Vltavy ve zdrži jezu Modřany a Šítkovského jezu vyměřovacím plavidlem Povodí Vltavy, státní podnik, manipulační řád a výkresová dokumentace VD, měrná křivka v profilu Praha – Chuchle.

5.1 Zaměření koryta

Povodí Vltavy, státní podnik, je provozovatelem speciální vyměřovací lodě Valentýna II. která je určena k měření hloubek na vodních tocích, ke kontrolám toku po průchodu velkých vod a k vyhledávání plavebních překážek na vodních cestách.



Obrázek 6: Vyměřovací loď Valentýna II
(zdroj: <http://www.pvl.cz/vodohospodarske-informace/vymerovaci-lode/valentyna>)

Ve zdrži jezu Modřany a Šítkovského jezu je koryto vodního toku zaměřováno jednou až dvakrát ročně. Následně je toto zaměření vyhodnoceno formou vrstevnic po 20 cm. Pro tuto práci bylo použito zaměření z června 2018. Poskytnutá data jsou ve formátech *.JPEG, *.DXF a *.DAT.

5.2 Manipulační řád VD Modřany

Manipulační řád pro vodní dílo Modřany vypracoval Centrální vodohospodářský dispečink Povodí Vltavy, státní podnik, v červenci 2014. Manipulační řád obsahuje mimo jiné účel a popis vodního díla, popis manipulací s vodou, bezpečnostní opatření, manipulace s vodou za mimořádných okolností a přílohy.

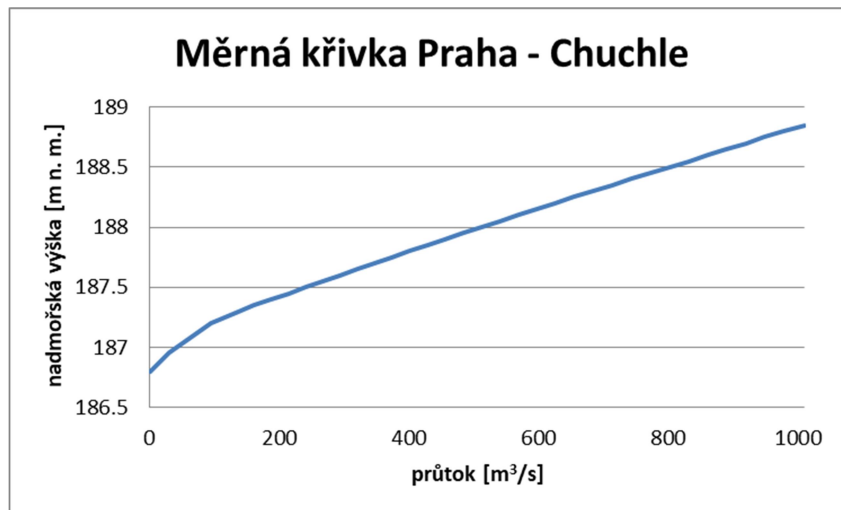
Mezi přílohy manipulačního řádu patří hydrologická data, právní dokumentace, pomůcky k hospodaření s vodou, fotodokumentace a výkresová dokumentace. Výkresová dokumentace byla poskytnuta ve formátech *.DWG a *.PDF. Dále byl poskytnut soubor *.XLS, který obsahuje měrné křivky přepadu při různém otevření počtu jezových polí.

Výkresová dokumentace obsahuje tyto výkresy:

- G.5.3 Situace
- G.5.4 Situace jezu
- G.5.5 Podélný řez jezem
- G.5.6 Příčný řez jezem
- G.5.7 Situace plavební komory
- G.5.8 Podélný řez plavební komorou
- G.5.9 Příčný řez plavební komorou
- G.5.10 Půdorys a řez malou vodní elektrárnou.

5.3 Měrná křivka Praha – Chuchle

Měrný profil Praha – Chuchle se nachází cca 50 m pod Bránickým mostem na levém břehu (říční km 59,90). Data byla poskytnuta ve formátech *.DAT a *.PDF a jsou platná od 1. 8. 2016. Měrná křivka obsahuje průtoky od 30 m³/s do 5500 m³/s. Při vlastních výpočtech se uvažuje s průtoky 450 m³/s a 600 m³/s. Pro účely této práce tedy není třeba plný rozsah měrné křivky a byla využita pouze část měrné křivky do průtoku 1010 m³/s (Graf 1).



Graf 1: Měrná křivka Praha – Modřany

5.4 Další podklady

Pro zajištění geometrie břehů byl použit digitální model terénu, který ČVUT, katedra hydrotechniky měla již získaný pro zpracování povodňového modelu Vltavy z roku 2013. Digitální model reliéfu České republiky 5. generace je zobrazení zemského povrchu, který je přirozený nebo upravený lidskou činností. Je to zobrazení výšek bodů v nepravidelné trojúhelníkové síti (TIN). Body mají souřadnice X, Y, H, kde H je nadmořská výška bodů ve výškovém systému Balt po vyrovnání. Model vznikl pomocí leteckého laserového skenování území České republiky a je základní zdrojovou databází pro tvorbu vrstevnic. Tento model lze zakoupit na Českém ústavu zeměměřickém a katastrálním.

Výkres stávajícího stavu vodního díla není v souřadnicovém systému JTSK, proto byl referencován ručně s využitím ortofotomapy a digitálního modelu terénu.

Pro správný návrh a vyhodnocení plavebních podmínek byla využita plavební mapa (Příloha 1), kterou poskytl státní podnik Povodí Vltavy.

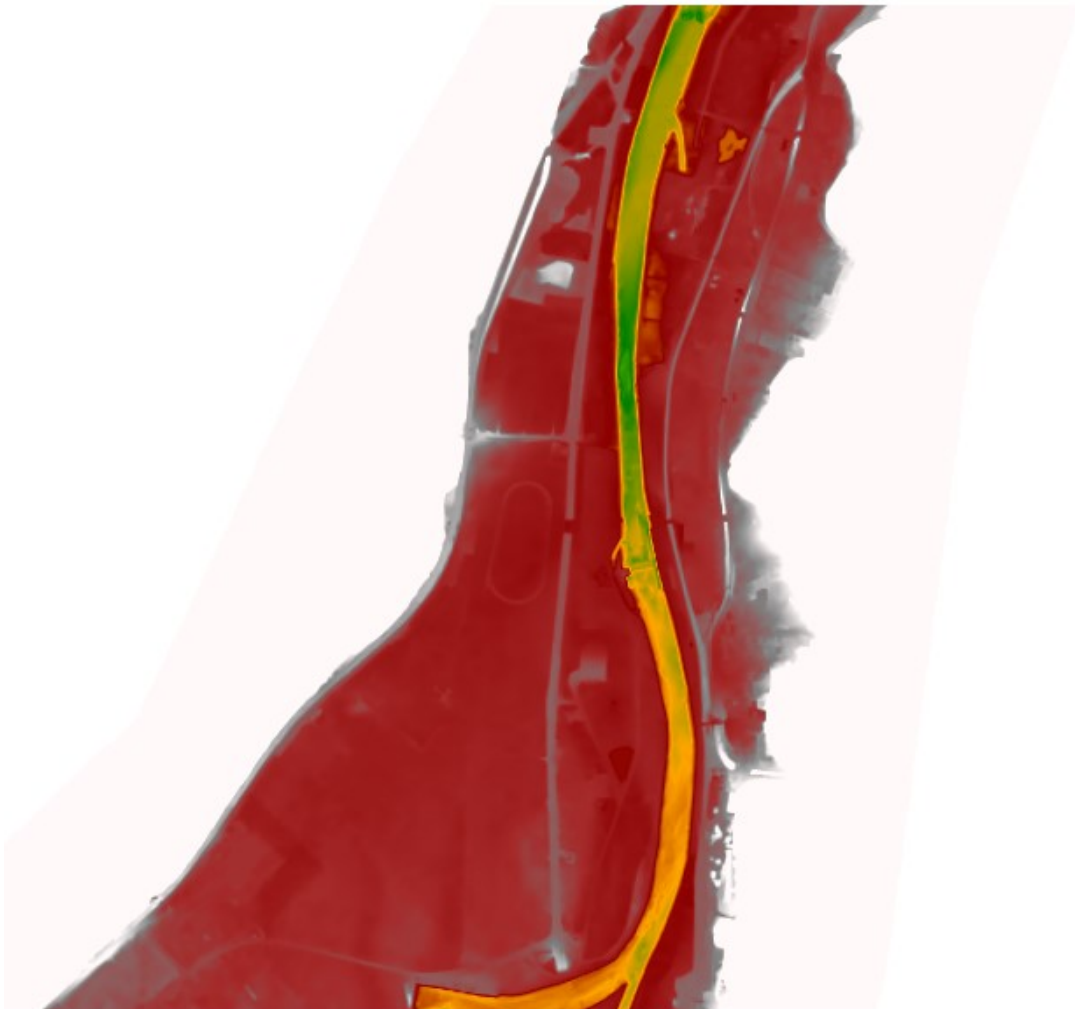
Mezi další podklady patří i ortofotomapa. Pomocí ortofotomapy bylo zjištěno, že se výrazně liší poloha svodidla dle výkresové dokumentace od skutečné polohy dle ortofotomapy.

6 SESTAVENÍ MODELU

Pro výpočet byl použit 2D matematický model proudění vody, který byl samostatně sestaven pro dolní a horní vodu. Rozsah obou modelů umožňuje věrohodnou simulaci rychlostních poměrů v oblasti horní i dolní rejdy.

6.1 Geometrie terénu

Geometrie terénu byla sestavena tak, že pro geometrii břehů a inundace byl použit povodňový model Vltavy z roku 2013 a do oblasti koryta byla vložena data ze zaměření dna koryta vyměřovacím plavidlem Valentýna II z června 2018. Tato geometrie terénu byla vytvořena v programu ArcGIS (Obrázek 7).



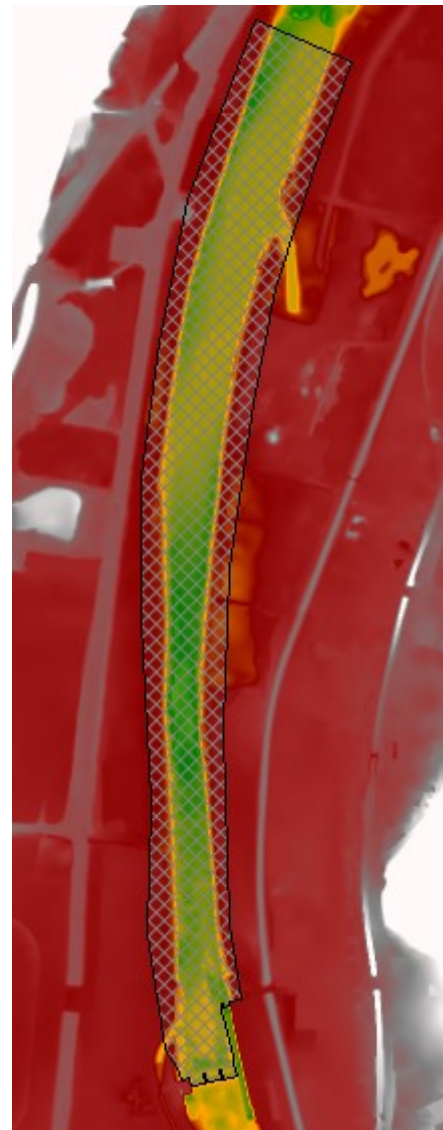
Obrázek 7: Geometrie terénu

Pro výpočet byla vytvořena oblast v horní i dolní vodě, ve které bude proudění vody počítáno. Protože nás zajímají průtoky 450 m³/s a 600 m³/s, bude proudění vody probíhat pouze v korytě. Z toho důvodu oblasti zahrnují pouze koryto a malou část břehů.

Rozsah modelu v horní vodě zahrnuje úsek od soutoku Vltavy a Berounky (ř. km 63,6) po osu jezu (ř. km 62,2). Celkem je to tedy 1,4 m dlouhý úsek (Obrázek 8). Rozsah modelu v dolní vodě zahrnuje úsek od osy jezu (ř. km 62,2) po limnigraf Malá Chuchle pod železničním mostem (ř. km 60,1). Celkem se jedná o 2,1 km dlouhý úsek (Obrázek 9).



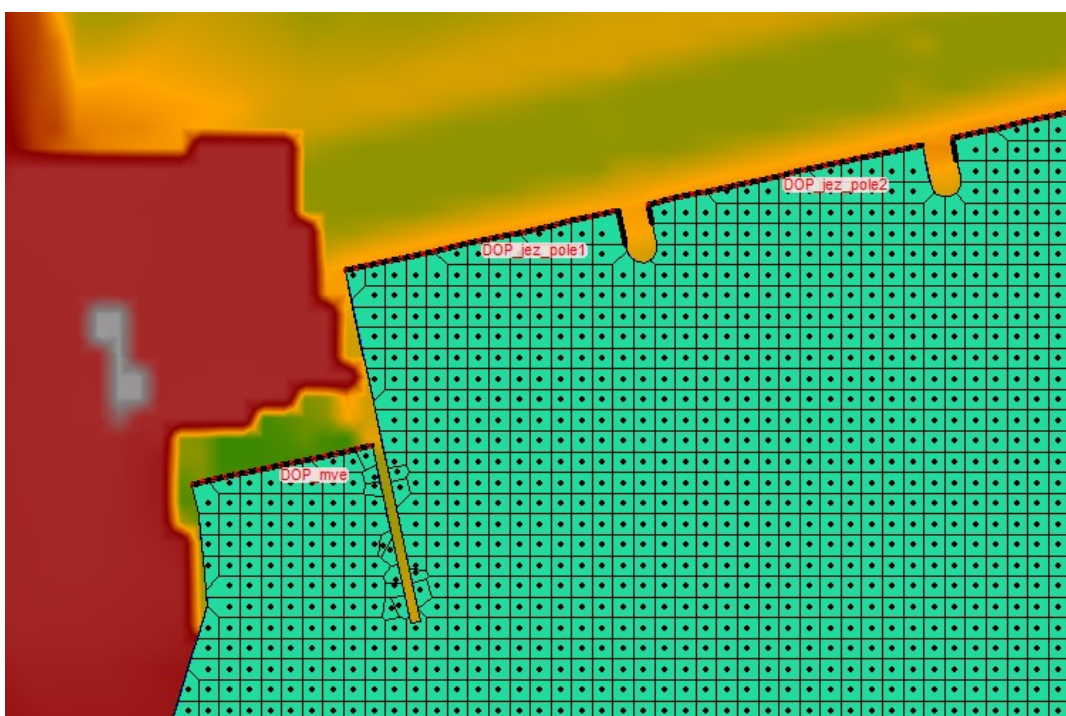
Obrázek 8: Oblast horní voda



Obrázek 9: Oblast dolní voda

Geometrie oblasti byla vytvořena nejprve pro současný stav a dále pro varianty s plnými pilíři a pilíři s průtočnými okny.

Dále byla u obou oblastí vygenerována výpočetní síť. Jedná se o pravidelnou mřížku, jejíž velikost můžeme nastavit libovolně, podle toho jak hustou výpočetní síť potřebujeme. V tomto případě byla zvolena velikost jedné buňky 2 x 2 m. Na okraji oblasti, která přesně kopíruje vzhled celého vodního díla, je výpočetní síť upravena a zhuštěna. Okrajové buňky tedy nemusí mít pravidelný čtvercový tvar, jako mají buňky uprostřed oblasti (Obrázek 10).



Obrázek 10: Ukázka výpočetní sítě

6.2 Průtokové manipulační varianty na vodním díle

Dle zadání budou simulovány dvě průtokové varianty:

- $450 \text{ m}^3/\text{s}$ = stávající maximální plavební průtok
- $600 \text{ m}^3/\text{s}$ = výhledový maximální plavební průtok

Na tyto dvě průtokové varianty budou aplikovány čtyři manipulační varianty (Tabulka 1). Byly zvoleny takové manipulační varianty, které se vyskytují často nebo takové, které jsou nejnepříznivější.

varianta č.	MVE	jez			poznámky
		1. pole	2. pole	3. pole	
1	NE	ANO	ANO	ANO	MVE mimo provoz
2	ANO	ANO	ANO	ANO	v provozu všechna 3 jezová pole i MVE
3	ANO	ANO	ANO	NE	3. jezové pole mimo provoz
4	ANO	ANO	NE	ANO	2. jezové pole mimo provoz

Tabulka 1: Manipulační varianty

Manipulace na vodním díle se provádějí dle přítoku s cílem držet hladinu na předepsané kótě 189,30 m n. m. Povolená tolerance je + 20 cm, - 0 cm. Maximální hltnost turbín MVE je 90 m³/s (3 x 30 m³/s). Provoz MVE je přitom omezen nutností přepadu minimálně 15 m³/s přes jezová pole. Hladina v jezové zdrži se udržuje rovnoměrným sklápěním všech klapek. Neovladatelný průtok nastává při průtoku cca 650 m³/s, při převádění vody přes všechna 3 jezová pole a MVE je odstavena. Elektrárnu lze provozovat pouze do doby, kdy dolní hladina dosáhne kóty 188,30 m n. m. Po dosažení této kóty se elektrárna odstaví pro nedostatek spádu. [2]

6.3 Okrajové podmínky

K 2D oblasti proudění lze připojit několik typů okrajových podmínek. V tomto modelu byly použity následující okrajové podmínky: průtoková podmínka, hladinová podmínka a měrná křivka. Měrná křivka může být použita pouze tam, kde průtok opouští 2D oblast. Zatímco podmínky průtoku a hladiny můžou být použity jak na vstupu, tak i výstupu z oblasti. Podmínka průtoku je kladná, pokud průtok vstupuje do oblasti a záporná, pokud průtok opouští oblast.

6.3.1 Oblast horní vody

V oblasti horní vody jako horní okrajová podmínka byl použit konstantní průtok (buď 450 m³/s nebo 600 m³/s). Dolní okrajové podmínky byly čtyři: MVE, 1. jezové pole, 2. jezové pole a 3. jezové pole. Jako dolní okrajová podmínka malé vodní elektrárny je použit průtok, který nabývá hodnoty buď 90 m³/s, pokud je MVE v provozu nebo 0 m³/s, pokud je MVE mimo provoz. Pro všechna 3 jezová pole je zvolena dolní okrajová podmínka typu hladina, která je nastavena na hodnotu normální hladiny, tedy 189,30 m n. m. Pokud je některé jezové pole odstaveno, není zde stanovena dolní okrajová podmínka.

6.3.2 Oblast dolní vody

V oblasti dolní vody jsou čtyři horní okrajové podmínky: MVE, 1. jezové pole, 2. jezové pole a 3. jezové pole. Všechny čtyři horní okrajové podmínky jsou typu průtokové podmínky. Velikost průtoku z MVE nabývá hodnoty buď $90 \text{ m}^3/\text{s}$, pokud je MVE v provozu nebo $0 \text{ m}^3/\text{s}$, pokud je MVE mimo provoz. Velikosti průtoků z jednotlivých jezových polí jsou uvedeny v Tabulce 2 a Tabulce 3.

Okrajové podmínky byly nastaveny dle průtokových a manipulačních variant. Pro stávající maximální plavební průtok $450 \text{ m}^3/\text{s}$ jsou manipulační varianty následující:

Průtok = $450 \text{ m}^3/\text{s}$					
varianta č.	MVE [m^3/s]	jez [m^3/s]			poznámky
		1. pole	2. pole	3. pole	
1	0	150	150	150	MVE mimo provoz
2	90	120	120	120	v provozu všechna 3 jezová pole i MVE
3	90	180	180	0	3. jezové pole mimo provoz
4	90	180	0	180	2. jezové pole mimo provoz

Tabulka 2: Manipulační varianty pro průtok $450 \text{ m}^3/\text{s}$

Pro maximální výhledový plavební průtok $600 \text{ m}^3/\text{s}$ jsou manipulační varianty následující:

Průtok = $600 \text{ m}^3/\text{s}$					
varianta č.	MVE [m^3/s]	jez [m^3/s]			poznámky
		1. pole	2. pole	3. pole	
1	0	200	200	200	MVE mimo provoz
2	90	170	170	170	v provozu všechna 3 jezová pole i MVE
3	90	255	255	0	3. jezové pole mimo provoz
4	90	255	0	255	2. jezové pole mimo provoz

Tabulka 3: Manipulační varianty pro průtok $600 \text{ m}^3/\text{s}$

6.3.3 Ověření kapacity jezového pole

Dále bylo ověřeno, zda dokáže jezové pole vypočtený průtok převést. Pro toto ověření byla využita příloha manipulačního řádu – Měrné křivky přepadu přes sklopenou klapku. Pokud jsou v provozu všechna 3 jezová pole, nevzniká problém při

převodu průtoků. Dle manipulačního řádu nastává neovladatelný stav až při průtoku $650 \text{ m}^3/\text{s}$. Dále správce VD potvrdil, že MVE je v provozu do průtoku $600 \text{ m}^3/\text{s}$.

Pokud nastane manipulační varianta č. 3 nebo č. 4, je průtok převáděn pouze 2 jezovými poli a MVE.

Při celkovém průtoku $450 \text{ m}^3/\text{s}$ je převáděn průtok jedním jezovým polem o velikosti $180 \text{ m}^3/\text{s}$ (Tabulka 2). Hladina dolní vody je v tomto případě na úrovni $188,40 \text{ m n. m.}$. Dle tabulky měrné křivky přepadu přes sklopenou klapku (Příloha 2) převede jedno jezové pole daný průtok při držení vzduté hladiny $189,30 \text{ m n. m.}$ při sklopení klapky na úroveň $186,75 \text{ m n. m.}$, výška přepadového paprsku je $2,43 \text{ m}$.

Při celkovém průtoku $600 \text{ m}^3/\text{s}$ je převáděn průtok jedním jezovým polem o velikosti $255 \text{ m}^3/\text{s}$ (Tabulka 3). Hladina dolní vody je v tomto případě na úrovni $188,80 \text{ m n. m.}$. Dle tabulky měrné křivky přepadu přes sklopenou klapku je maximální průtok, který dokáže převést jedno jezové pole při držení vzduté hladiny $189,30 \text{ m n. m.}$, $248,29 \text{ m}^3/\text{s}$ při plném sklopení klapky. Pokud zvýšíme úroveň vzduté hladiny na $189,40 \text{ m n. m.}$, převede jedno jezové pole průtok o velikosti $255 \text{ m}^3/\text{s}$ při sklopení klapky na úroveň $185,55 \text{ m n. m.}$, výška přepadového paprsku je pak $3,05 \text{ m}$ (Příloha 3).

Na základě tohoto vyhodnocení bylo nutné upravit dolní okrajové podmínky v oblasti horní vody při průtoku $600 \text{ m}^3/\text{s}$ a variantách č. 3 a č. 4. z provozní hladiny $189,30 \text{ m n. m.}$ na novou hladinu $189,40 \text{ m n. m.}$. Dle manipulačního řádu je provozní hladina na úrovni $189,30 \text{ m n. m.}$ s tolerancí $+20 \text{ cm}$, $- 0 \text{ cm}$.

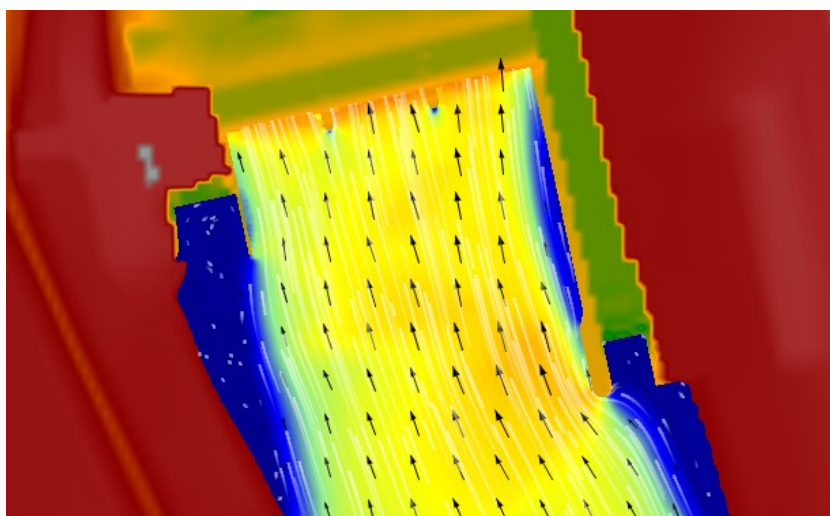
7 METODA VYHODNOCENÍ

V této kapitole je popsán postup vyhodnocení příčné složky rychlosti proudění. Pro vyhodnocení byly postupně použity následující programy: HEC-RAS, HDF View, Matlab a ArcMap.

7.1 HEC-RAS

V programu HEC-RAS byly simulovány jednotlivé varianty. Hlavní výstup z těchto simulací je velikost a směr rychlosti proudění (Obrázek 11). Dále mezi výsledky můžeme najít i průběh hladiny.

Celková velikost rychlosti proudění je složena ze složky rychlosti ve směru X a Y. Jedná se o globální souřadný systém. Pro vyhodnocení příčných složek rychlosti proudění je ale nutné, aby hlavní osa X byla kolmá na osu jezu. Je tedy nutné získané hodnoty rychlostí proudění ve směru X a Y transformovat. Výsledky získané z programu HEC-RAS jsou ve formátu *.HDF.



Obrázek 11: Ukázka simulace rychlosti proudění v horní vodě

7.2 HDF View

HDF View je program, který dokáže číst soubory ve formátu *.HDF. Pomocí tohoto programu tedy získáme několik textových souborů, které obsahují souřadnice všech bodů dle nastavené výpočetní sítě, velikosti složky rychlosti proudění ve směru X a ve směru Y.

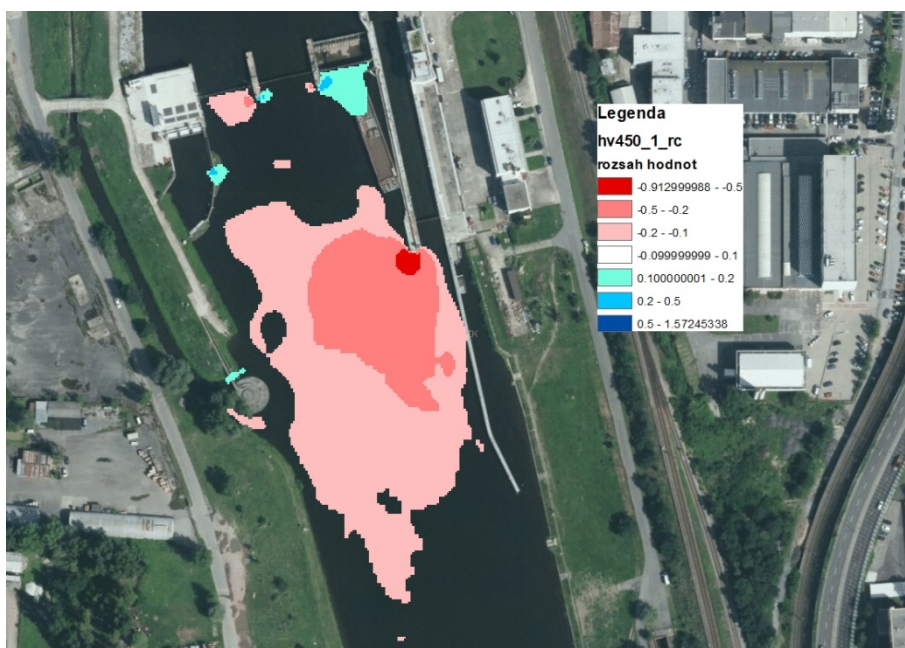
7.3 Matlab

Matlab je programové prostředí které umožňuje provádět: inženýrské výpočty, tvorbu algoritmů, modelování a simulace, analýzu dat, vědeckou a inženýrskou grafiku, tvorbu aplikací (včetně grafického rozhraní). Pro účely transformace souřadného systému byla vytvořena funkce, která dokáže transformovat složky rychlosti ve směru X a Y z globálního nastavení tak, aby byla složka X kolmá na osu jezu (rovnoběžná na osu plavební komory). Výsledkem této úpravy je textový soubor, který tvoří souřadnice X a Y každého bodu, dle výpočetní sítě a velikost příčné složky rychlosti.

7.4 ArcMap

Aby bylo možné zobrazit pouze příčné složky rychlosti, byl získaný textový soubor z programu Matlab nahrán do aplikace ArcMap. Jako podklad pro vyhodnocení je používána ortofoto mapa, dostupná online z webových stránek ČÚZK (Český úřad zeměměřický a katastrální).

ArcMap je aplikace ArcGIS Desktop, která slouží pro všechny mapové úlohy včetně kartografie, prostorových analýz a editace dat. Je možné zde data zpracovat, připravit pro analýzu, získat z nich nové informace a výsledky zobrazit (Obrázek 12).



Obrázek 12: Ukázka vyhodnocení příčné složky rychlosti

8 SOUČASNÝ STAV

V této kapitole budou postupně vyhodnoceny všechny varianty, které byly zadány a spočítány pro oblast dolní a horní vody. Na základě analýzy současného stavu budou provedeny úpravy dělicích zdí. V obou oblastech jsou na pilíř mezi plavební komorou a jezem napojena průtočná svodidla, která v modelu nejsou uvažována, protože nemají významný vliv na proudění.

Vyhodnocení je provedeno nejprve pro průtok $Q = 450 \text{ m}^3/\text{s}$ (stávající maximální plavební průtok). Jsou zde zobrazeny čtyři manipulační varianty (Tabulka 2). Dále je provedeno vyhodnocení pro průtok $Q = 600 \text{ m}^3/\text{s}$ (výhledový maximální plavební průtok). Vyhodnocení je zobrazeno opět pro čtyři manipulační varianty (Tabulka 3).

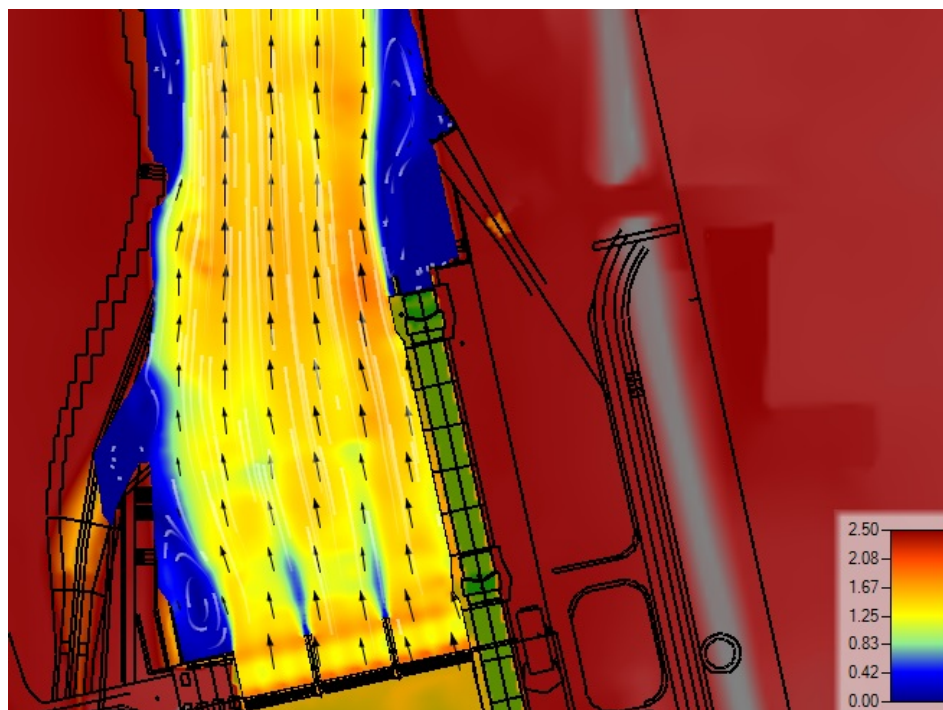
Ve vyhodnocení je nejprve uveden obrázek výpočetního modelu z programu HEC-RAS, který má v dolním pravém rohu zobrazenou legendu. Tato legenda ukazuje barevné rozpětí velikosti rychlosti proudění. Jednotka rychlosti proudění je m/s.

Dále je uveden druhý obrázek, na kterém je zobrazena pouze příčná složka rychlosti. Tento obrázek je výstupem z programu ArcMap. V legendě je zobrazeno barevné rozpětí velikosti příčné složky rychlosti proudění. Jednotka velikosti příčné složky rychlosti proudění je m/s. Rozpětí je voleno tak, aby bylo hned jasné, zda podmínky vyhovují nebo nevyhovují vyhlášce č. 222/1995 Sb.

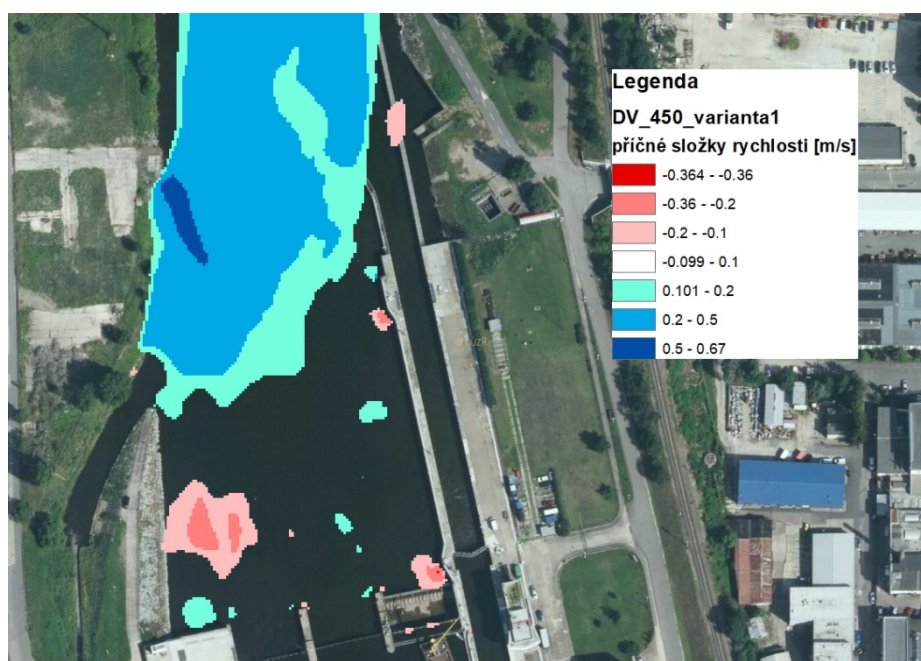
Ve vyhlášce Ministerstva dopravy č. 222/1995 Sb. o vodních cestách, plavebním provozu v přístavech, společné havárii a dopravně nebezpečných věcí je uvedeno, že příčná složka rychlosti proudění může být max. 0,2 m/s v plavební dráze bezprostředně před svodidly nebo zhlavím dělicí zdi.

8.1 Oblast dolní voda a průtok $Q = 450 \text{ m}^3/\text{s}$

Varianta č. 1: Ve variantě č. 1 je malá vodní elektrárna mimo provoz a průtok je převáděn všemi třemi jezovými poli. Model proudění vody je zobrazen na Obrázku 13 a příčné složky rychlosti na Obrázku 14.



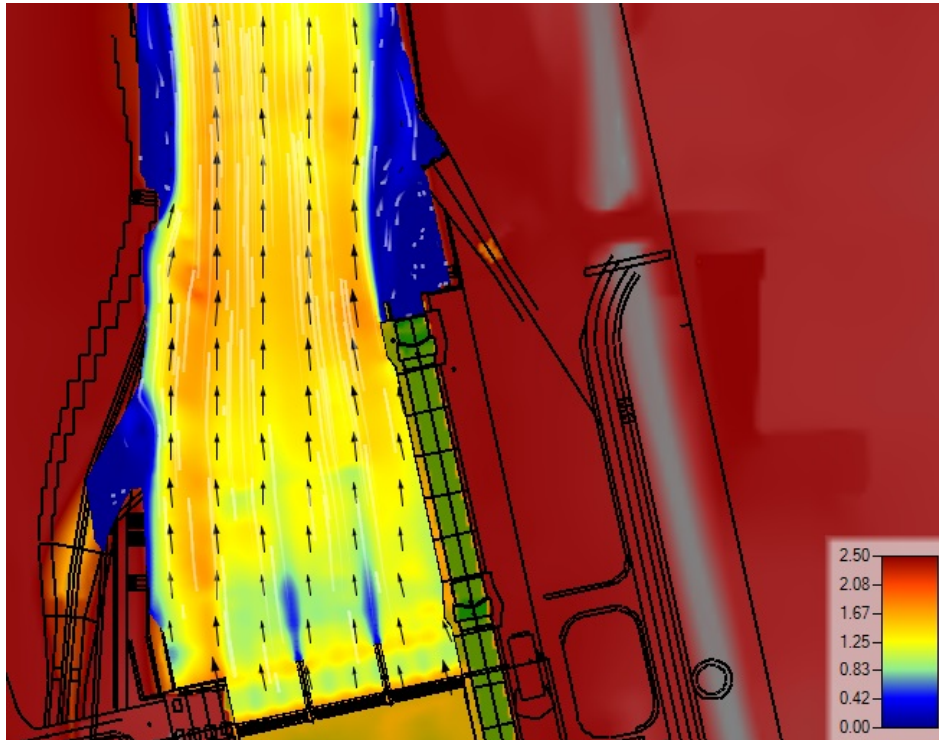
Obrázek 13: Model proudění vody v oblasti dolní vody pro průtok $Q = 450 \text{ m}^3/\text{s}$, varianta 1



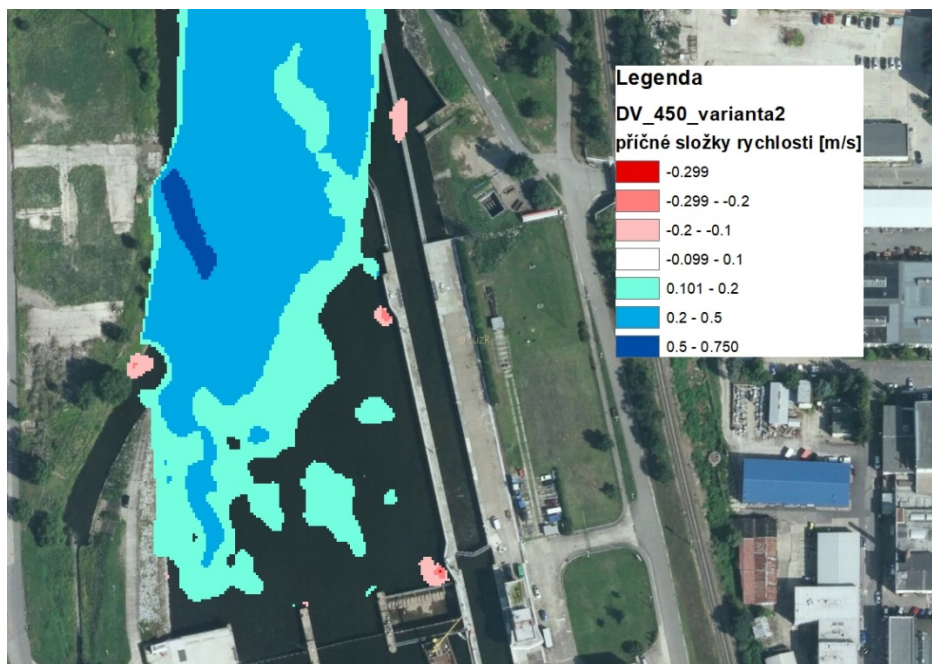
Obrázek 14: Příčné složky rychlosti v oblasti dolní vody pro průtok $Q = 450 \text{ m}^3/\text{s}$, varianta 1

Varianta č. 2:

Ve variantě č. 2 je průtok převáděn všemi třemi jezovými poli a přes MVE, která je v provozu. Model proudění vody je zobrazen na Obrázku 15 a příčné složky rychlosti na Obrázku 16.



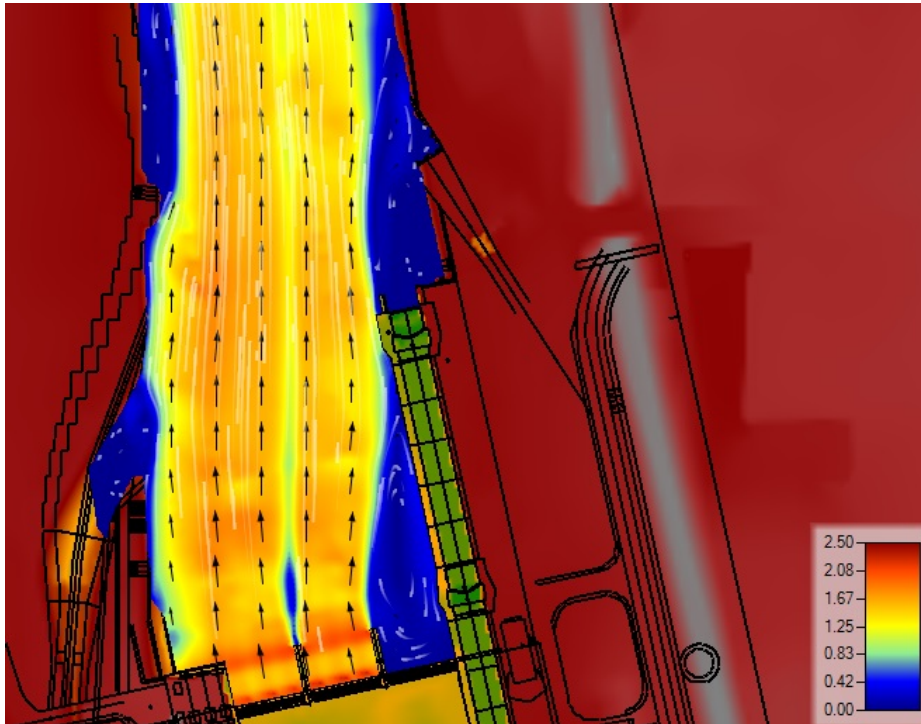
Obrázek 15: Model proudění vody v oblasti dolní vody pro průtok $Q = 450 \text{ m}^3/\text{s}$, varianta 2



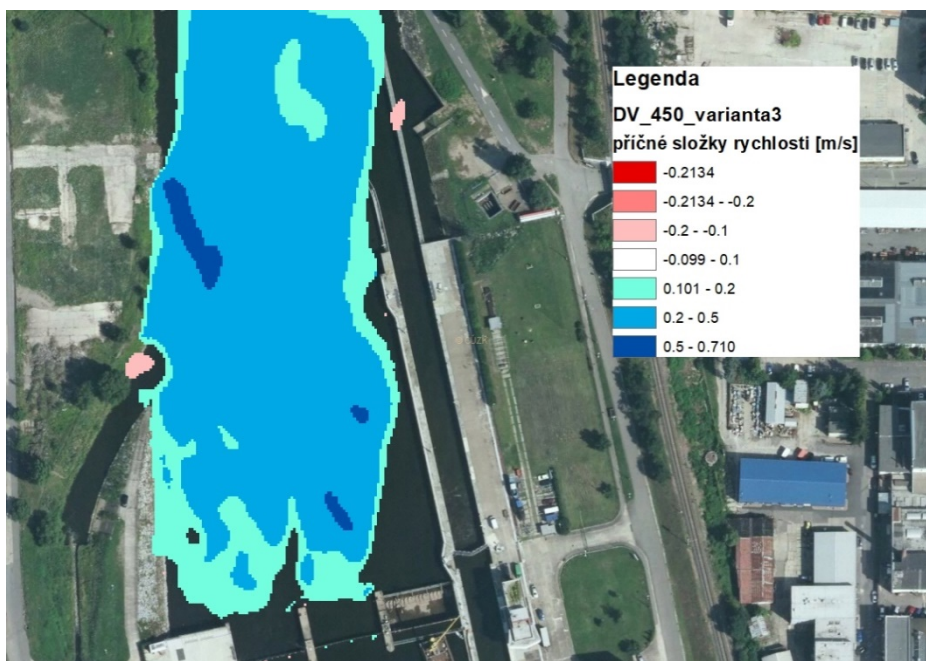
Obrázek 16: Příčné složky rychlosti v oblasti dolní vody pro průtok $Q = 450 \text{ m}^3/\text{s}$, varianta 2

Varianta č. 3:

Ve variantě č. 3 je průtok převáděn pouze 1. a 2. jezovým polem a přes MVE, která je v provozu. Model proudění vody je zobrazen na Obrázku 17 a příčné složky rychlosti na Obrázku 18.



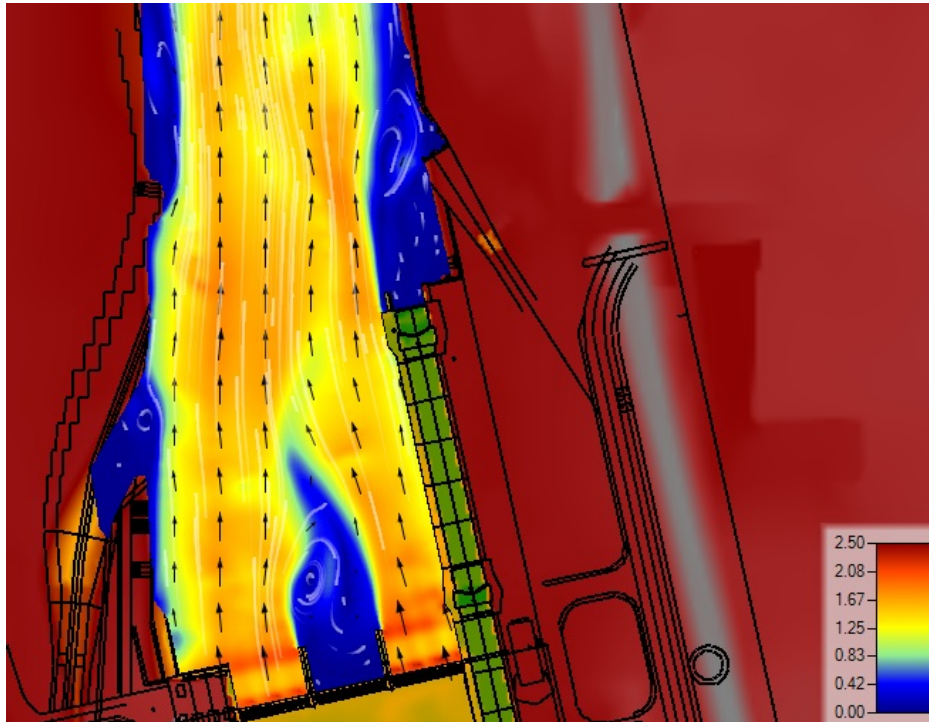
Obrázek 17: Model proudění vody v oblasti dolní vody pro průtok $Q = 450 \text{ m}^3/\text{s}$, varianta 3



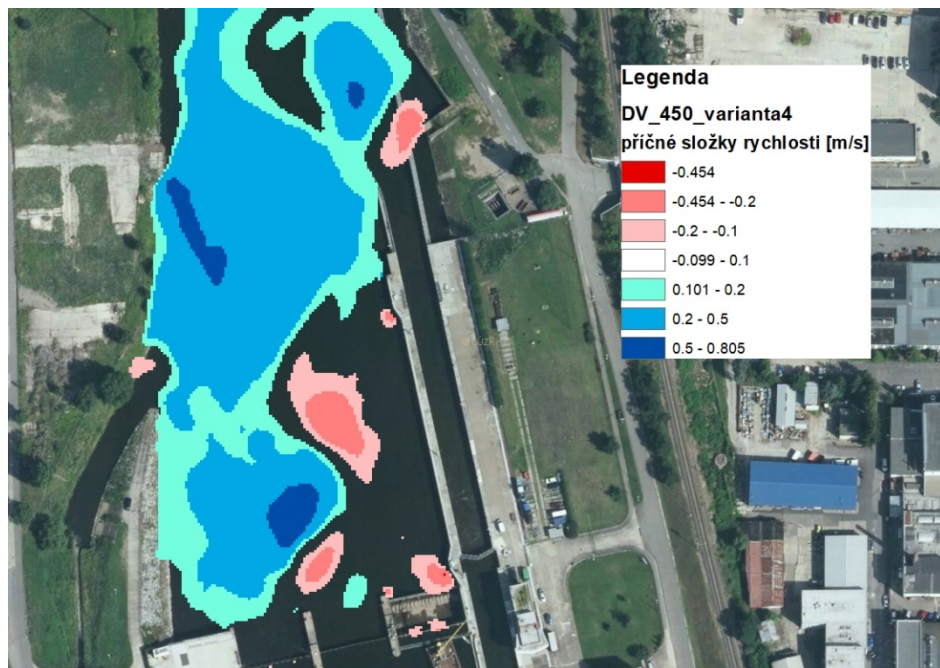
Obrázek 18: Příčné složky rychlosti v oblasti dolní vody pro průtok $Q = 450 \text{ m}^3/\text{s}$, varianta 3

Varianta č. 4:

Ve variantě č. 4 je průtok převáděn pouze 1. a 3. jezovým polem a přes MVE, která je v provozu. Model proudění vody je zobrazen na Obrázku 19 a příčné složky rychlosti na Obrázku 20.



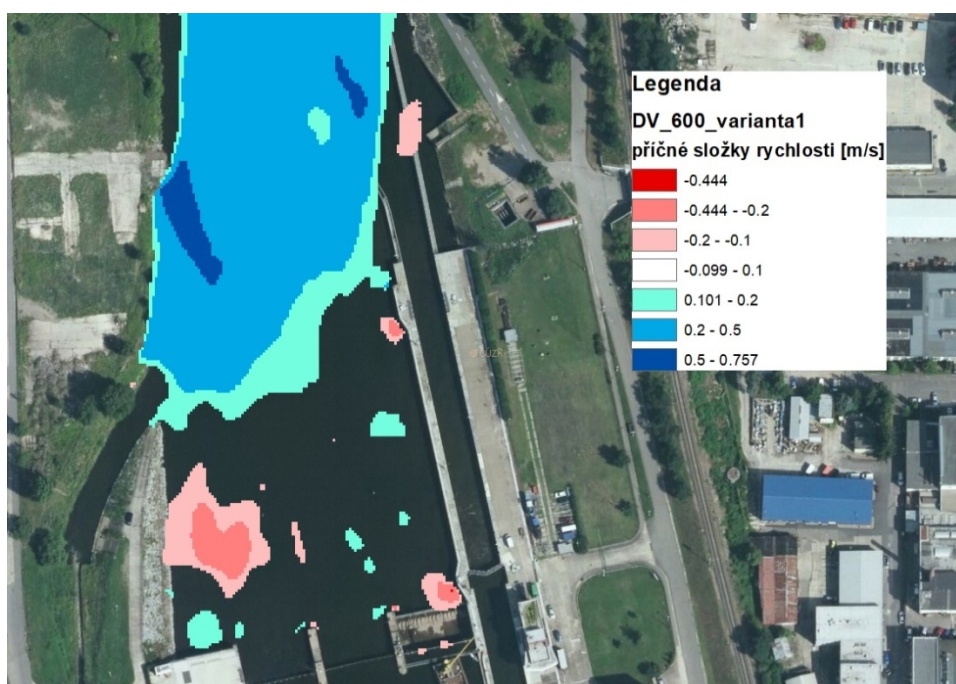
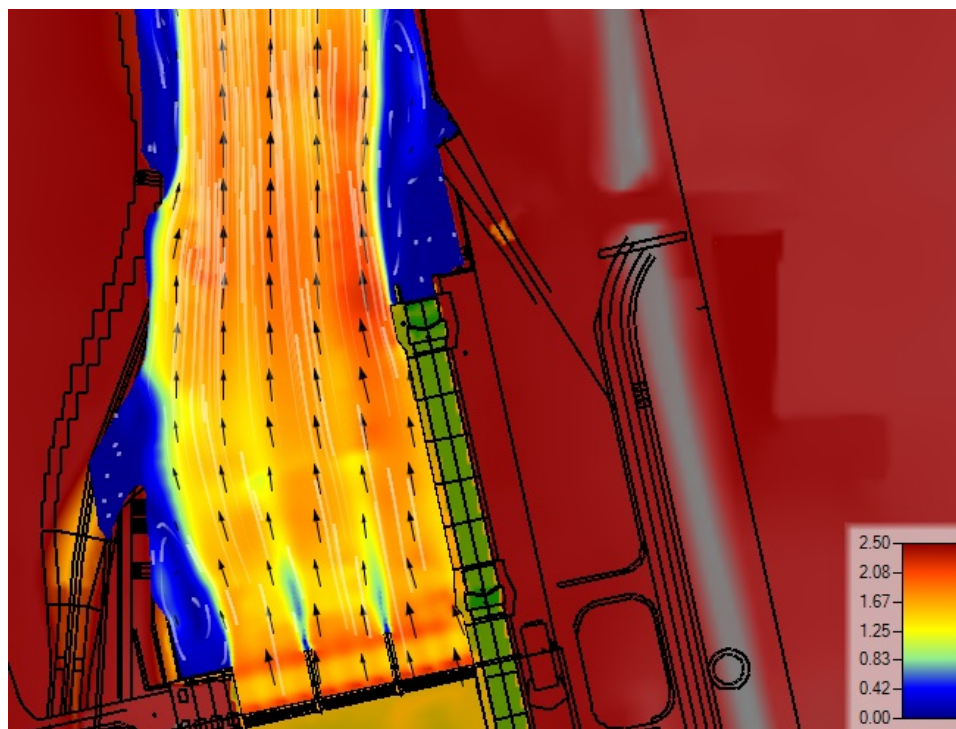
Obrázek 19: Model proudění vody v oblasti dolní vody pro průtok $Q = 450 \text{ m}^3/\text{s}$, varianta 4



Obrázek 20: Příčné složky rychlosti v oblasti dolní vody pro průtok $Q = 450 \text{ m}^3/\text{s}$, varianta 4

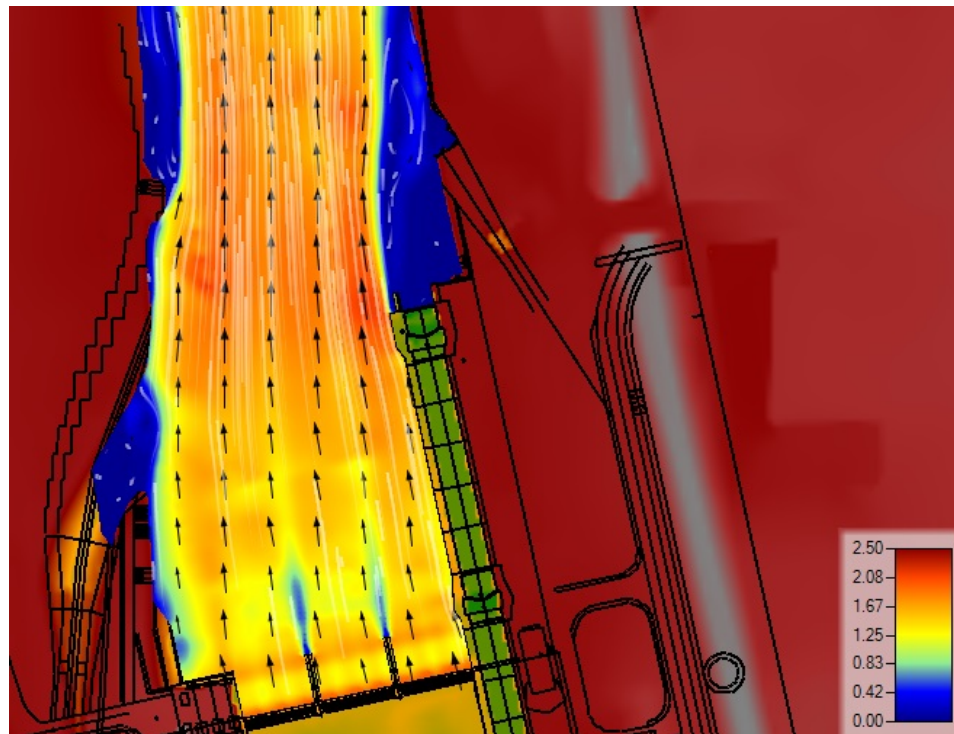
8.2 Oblast dolní vody a průtok $Q = 600 \text{ m}^3/\text{s}$

Varianta č. 1: Ve variantě č. 1 je malá vodní elektrárna mimo provoz a průtok je převáděn všemi třemi jezovými poli. Model proudění vody je zobrazen na Obrázku 21 a příčné složky rychlosti na Obrázku 22.

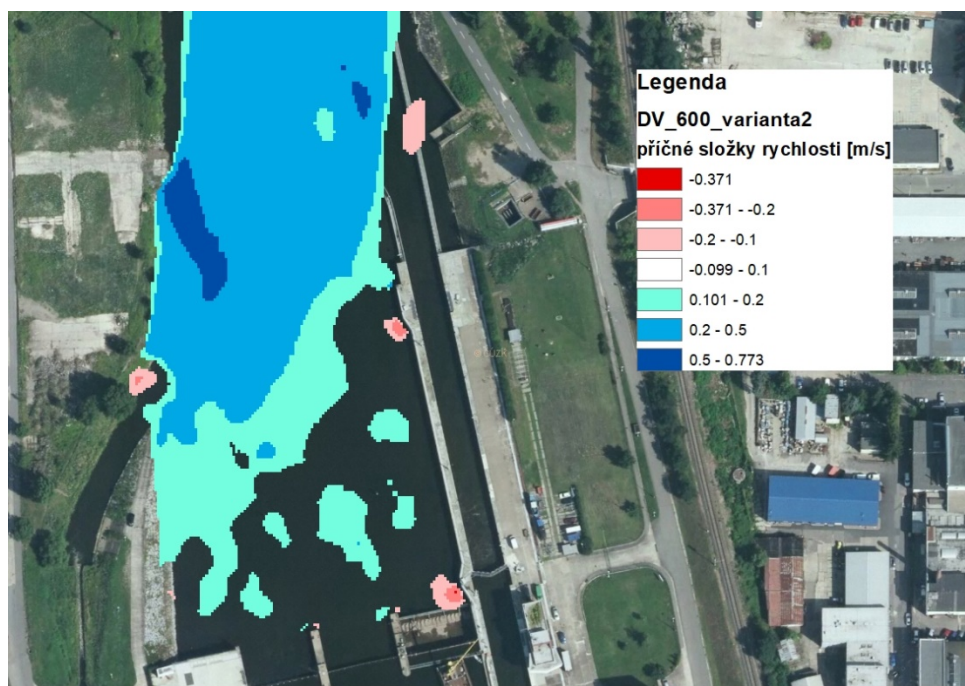


Varianta č. 2:

Ve variantě č. 2 je průtok převáděn všemi třemi jezovými poli a přes MVE, která je v provozu. Model proudění vody je zobrazen na Obrázku 23 a příčné složky rychlosti na Obrázku 24.



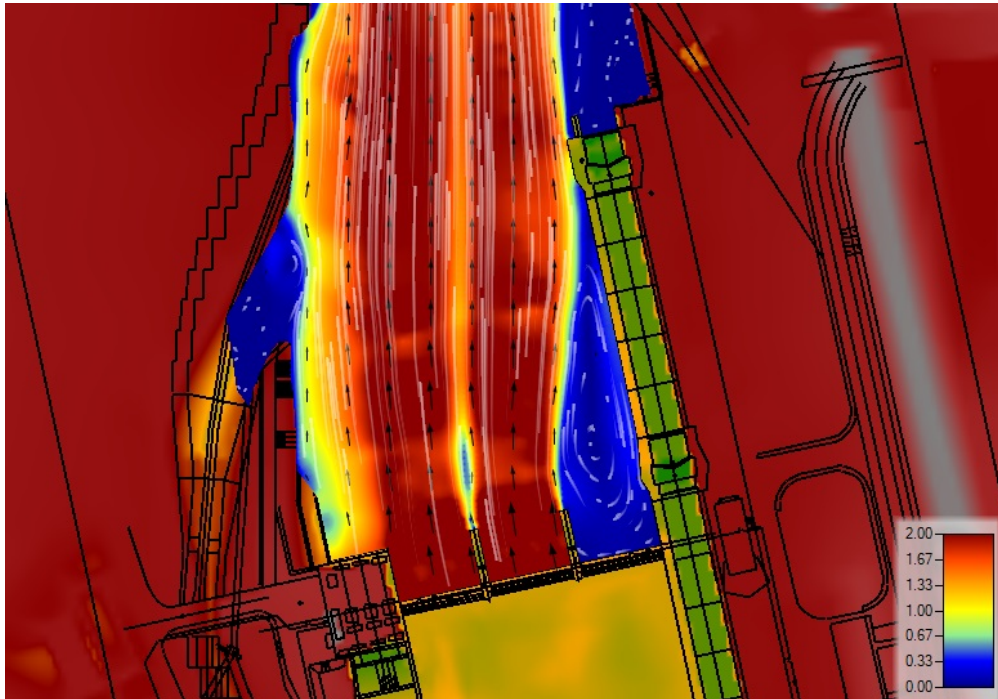
Obrázek 23: Model proudění vody v oblasti dolní vody pro průtok $Q = 600 \text{ m}^3/\text{s}$, varianta 2



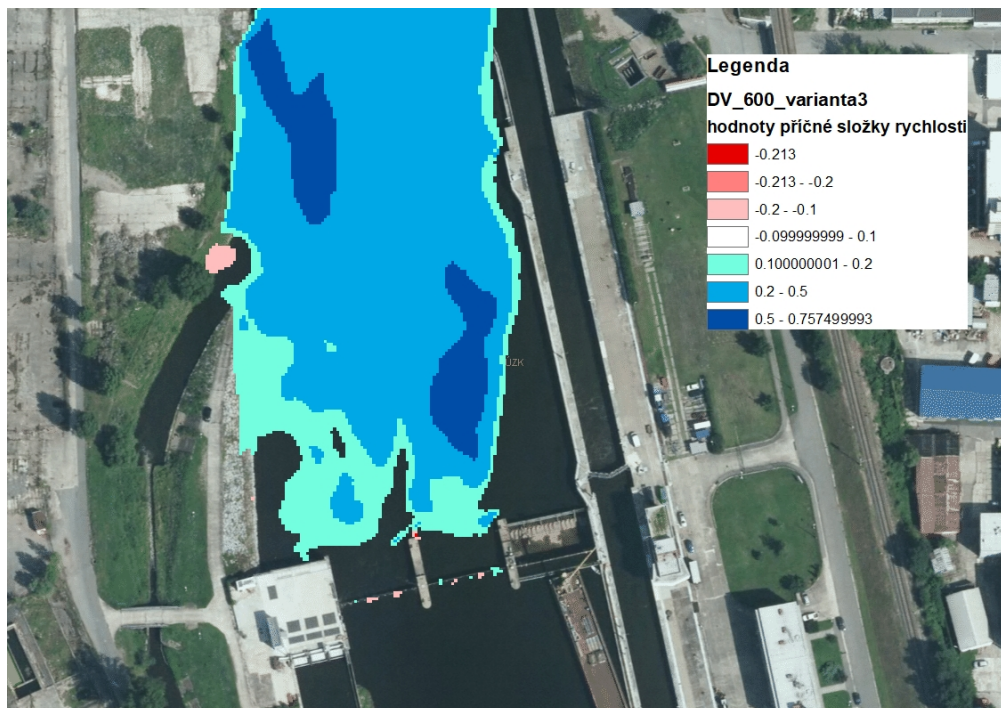
Obrázek 24: Příčné složky rychlosti v oblasti dolní vody pro průtok $Q = 600 \text{ m}^3/\text{s}$, varianta 2

Varianta č. 3:

Ve variantě č. 3 je průtok převáděn pouze 1. a 2. jezovým polem a přes MVE, která je v provozu. Model proudění vody je zobrazen na Obrázku 25 a příčné složky rychlosti na Obrázku 26.



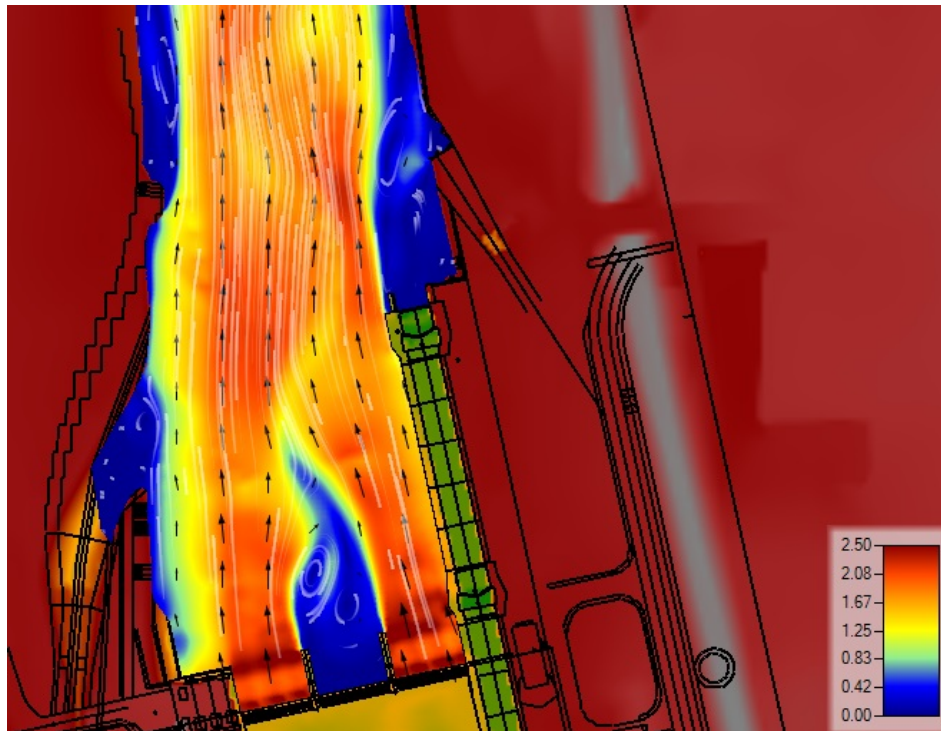
Obrázek 25: Model proudění vody v oblasti dolní vody pro průtok $Q = 600 \text{ m}^3/\text{s}$, varianta 3



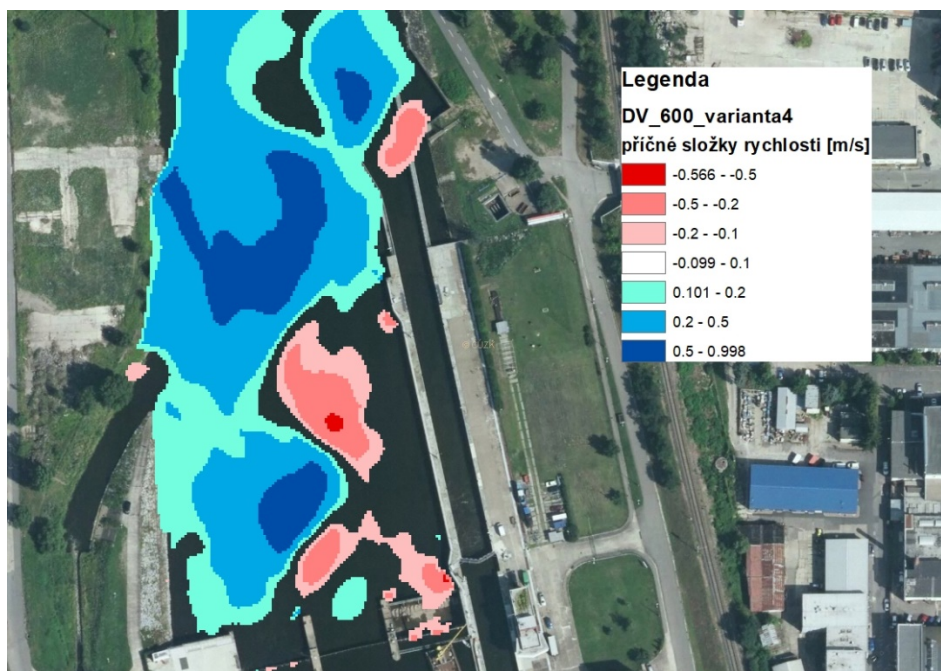
Obrázek 26: Příčné složky rychlosti v oblasti dolní vody pro průtok $Q = 600 \text{ m}^3/\text{s}$, varianta 3

Varianta č. 4:

Ve variantě č. 4 je průtok převáděn pouze 1. a 3. jezovým polem a přes MVE, která je v provozu. Model proudění vody je zobrazen na Obrázku 27 a příčné složky rychlosti na Obrázku 28.



Obrázek 27: Model proudění vody v oblasti dolní vody pro průtok $Q = 600 \text{ m}^3/\text{s}$, varianta 4



Obrázek 28: Příčné složky rychlosti v oblasti dolní vody pro průtok $Q = 600 \text{ m}^3/\text{s}$, varianta 4

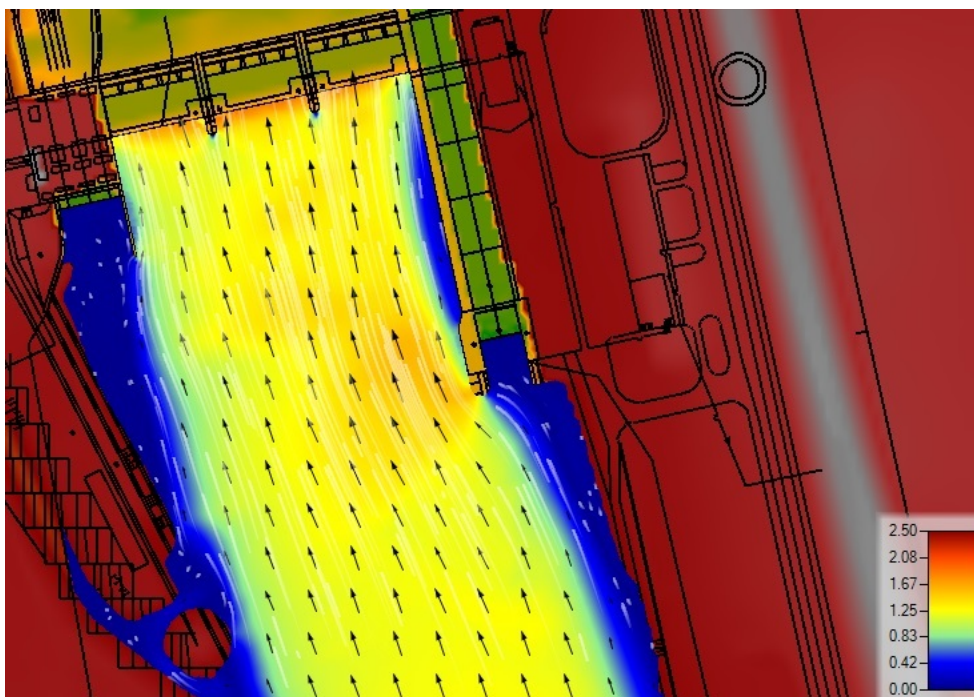
8.3 Vyhodnocení příčných složek rychlosti v oblasti dolní vody

Výše uvedené varianty popisují současný stav při stávajícím maximálním plavebním průtoku $450 \text{ m}^3/\text{s}$ a poté i při výhledovém maximálním plavebním průtoku $600 \text{ m}^3/\text{s}$. Z modelu i vyhodnocení velikostí příčných složek při obou průtocích vyplývá, že v oblasti ohlaví dělicí zdi nabývají příčné složky rychlosti hodnot 0 až $0,1 \text{ m/s}$.

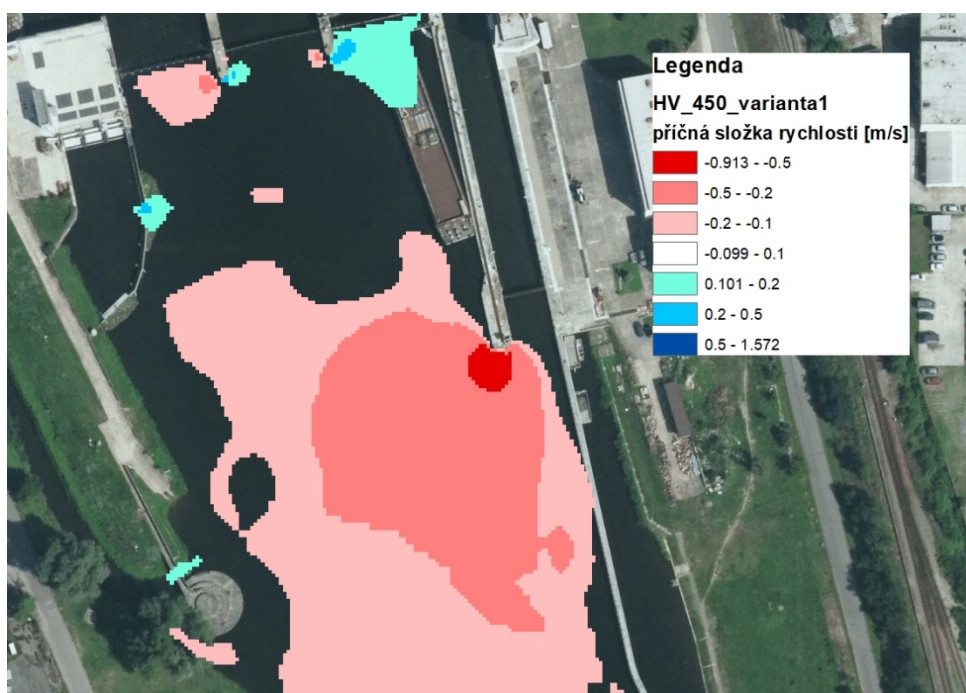
V oblasti dolní je tedy splněna podmínka vyhlášky č. 222/1995 Sb. o vodních cestách, plavebním provozu v přístavech, společné havárii a dopravně nebezpečných věcí, ve které stojí, že příčná složka rychlosti proudění může být max. $0,2 \text{ m/s}$ v plavební dráze bezprostředně před svodidly nebo zhlavím dělicí zdi. V oblasti dolní vody tedy není nutná úprava dělicí zdi ani aplikace průtočných oken. Současný stav vyhovuje i při průtoku $Q = 600 \text{ m}^3/\text{s}$

8.4 Oblast horní vody a průtok $Q = 450 \text{ m}^3/\text{s}$

Varianta č. 1: Ve variantě č. 1 je malá vodní elektrárna mimo provoz a průtok je převáděn všemi třemi jezovými poli. Model proudění vody je zobrazen na Obrázku 29 a příčné složky rychlosti na Obrázku 30.



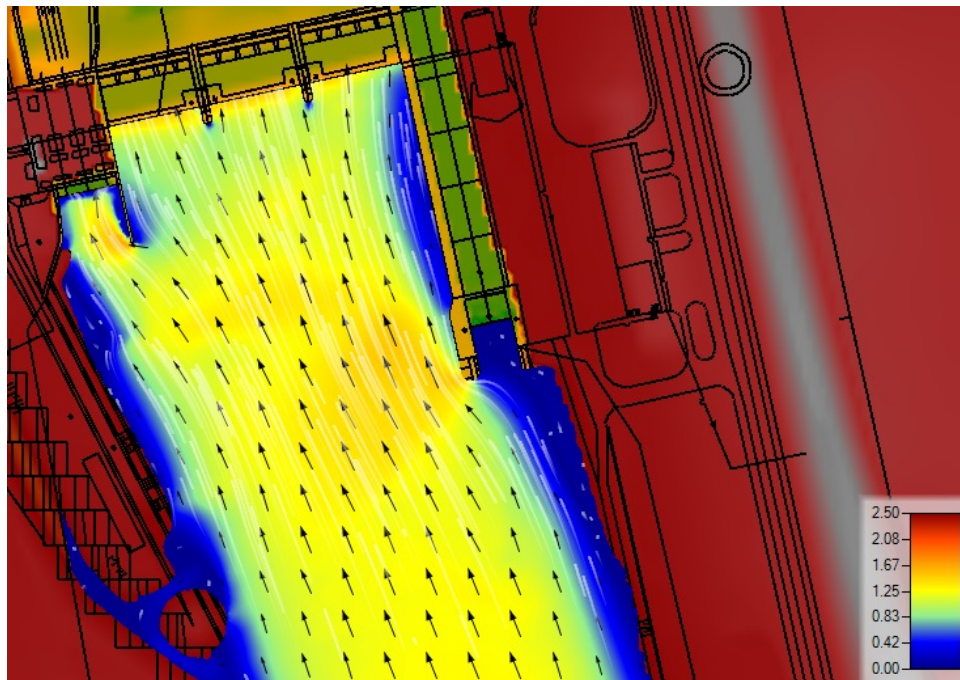
Obrázek 29: Model proudění vody v oblasti horní vody pro průtok $Q = 450 \text{ m}^3/\text{s}$, varianta 1



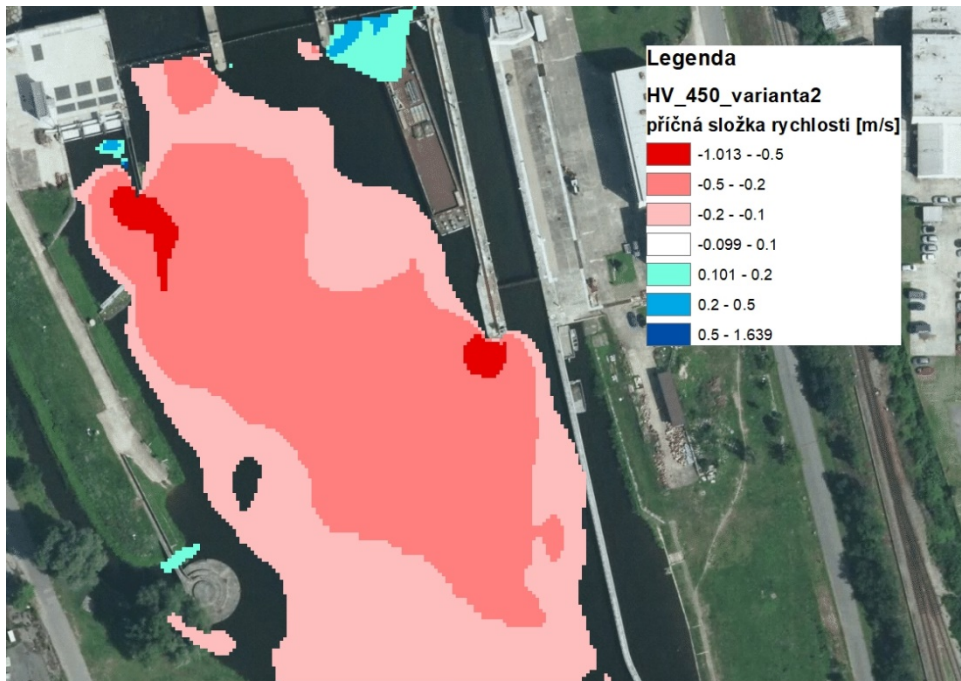
Obrázek 30: Příčné složky rychlosti v oblasti horní vody pro průtok $Q = 450 \text{ m}^3/\text{s}$, varianta 1

Varianta č. 2:

Ve variantě č. 2 je průtok převáděn všemi třemi jezovými poli a přes MVE, která je v provozu. Model proudění vody je zobrazen na Obrázku 31 a příčné složky rychlosti na Obrázku 32.



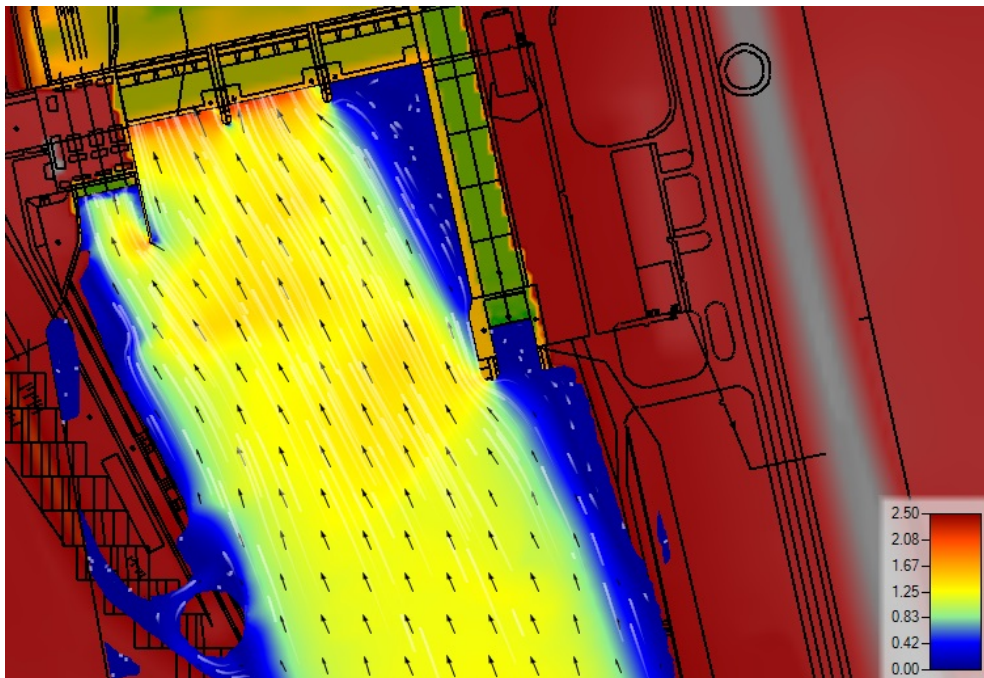
Obrázek 31: Model proudění vody v oblasti horní vody pro průtok $Q = 450 \text{ m}^3/\text{s}$, varianta 2



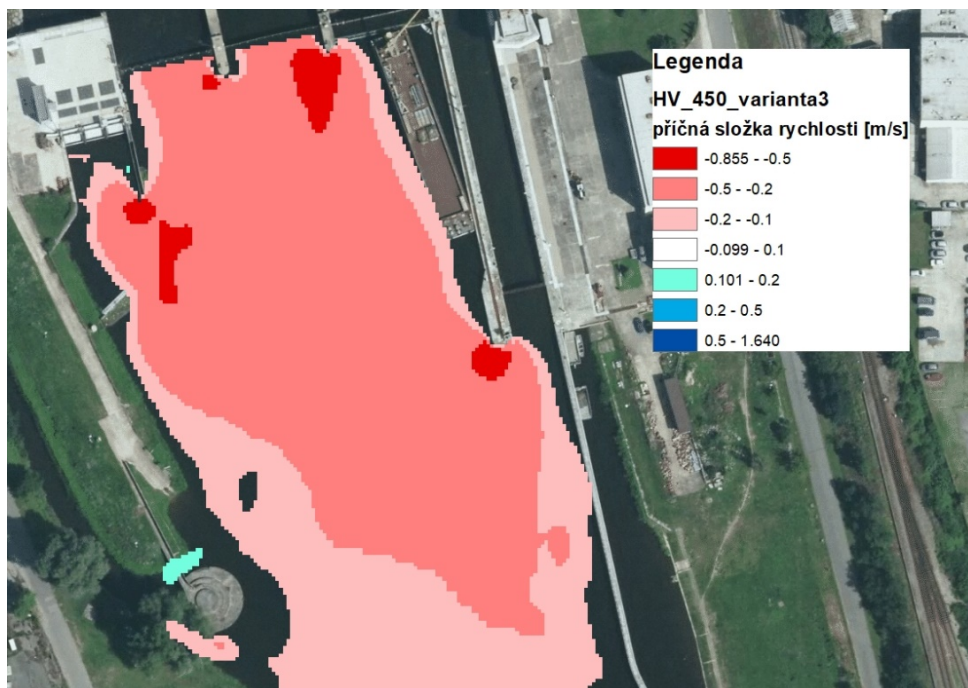
Obrázek 32: Příčné složky rychlosti v oblasti horní vody pro průtok $Q = 450 \text{ m}^3/\text{s}$, varianta 2

Varianta č. 3:

Ve variantě č. 3 je průtok převáděn pouze 1. a 2. jezovým polem a přes MVE, která je v provozu. Model proudění vody je zobrazen na Obrázku 33 a příčné složky rychlosti na Obrázku 34.



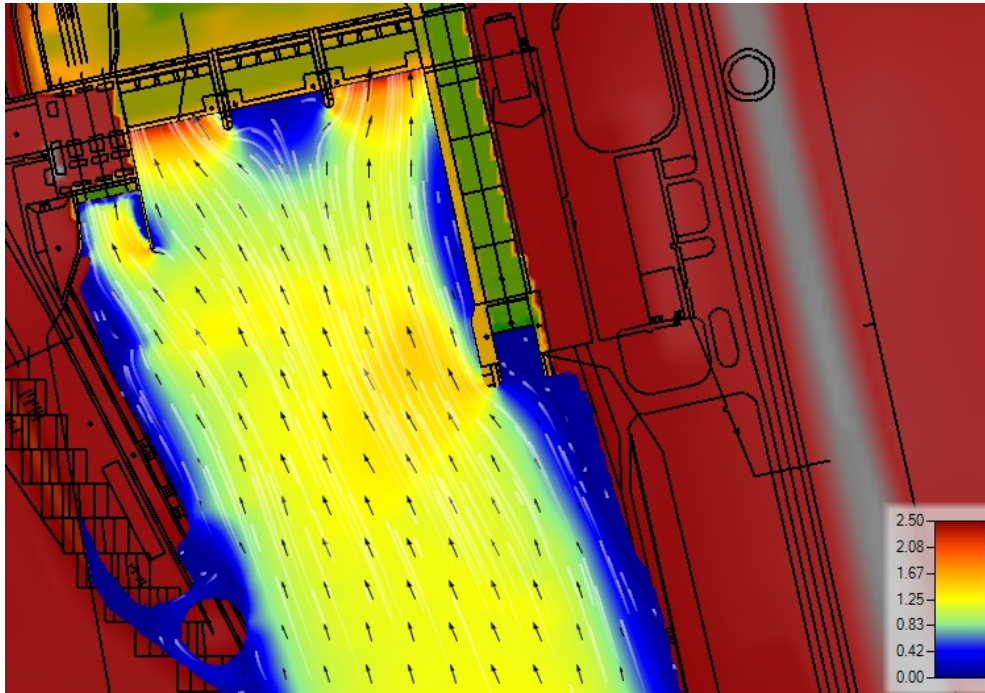
Obrázek 33: Model proudění vody v oblasti horní vody pro průtok $Q = 450 \text{ m}^3/\text{s}$, varianta 3



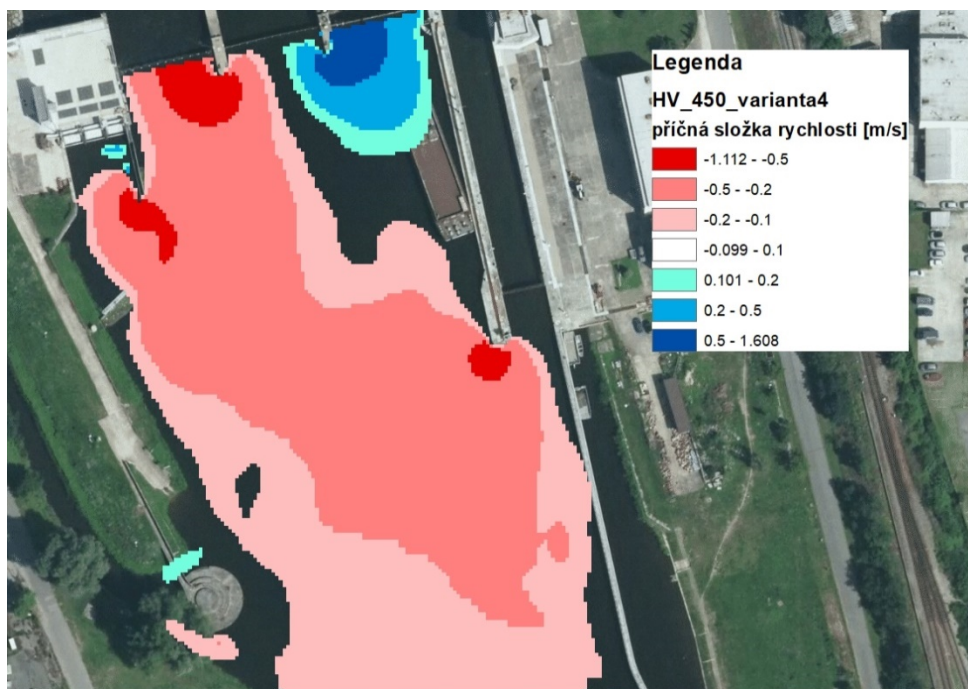
Obrázek 34: Příčné složky rychlosti v oblasti horní vody pro průtok $Q = 450 \text{ m}^3/\text{s}$, varianta 3

Varianta č. 4:

Ve variantě č. 4 je průtok převáděn pouze 1. a 3. jezovým polem a přes MVE, která je v provozu. Model proudění vody je zobrazen na Obrázku 35 a příčné složky rychlosti na Obrázku 36.



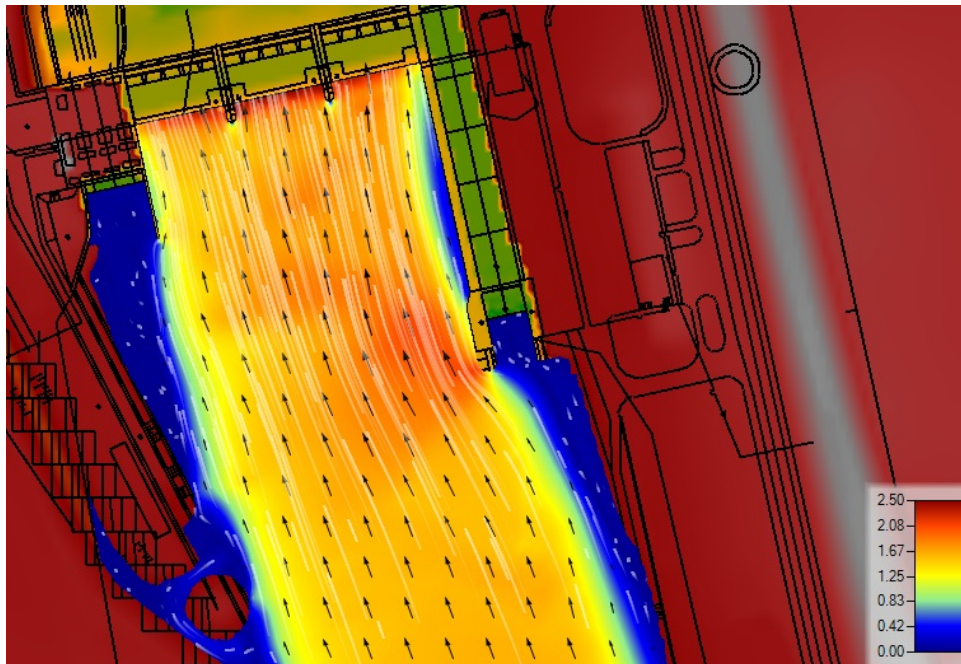
Obrázek 35: Model proudění vody v oblasti horní vody pro průtok $Q = 450 \text{ m}^3/\text{s}$, varianta 4



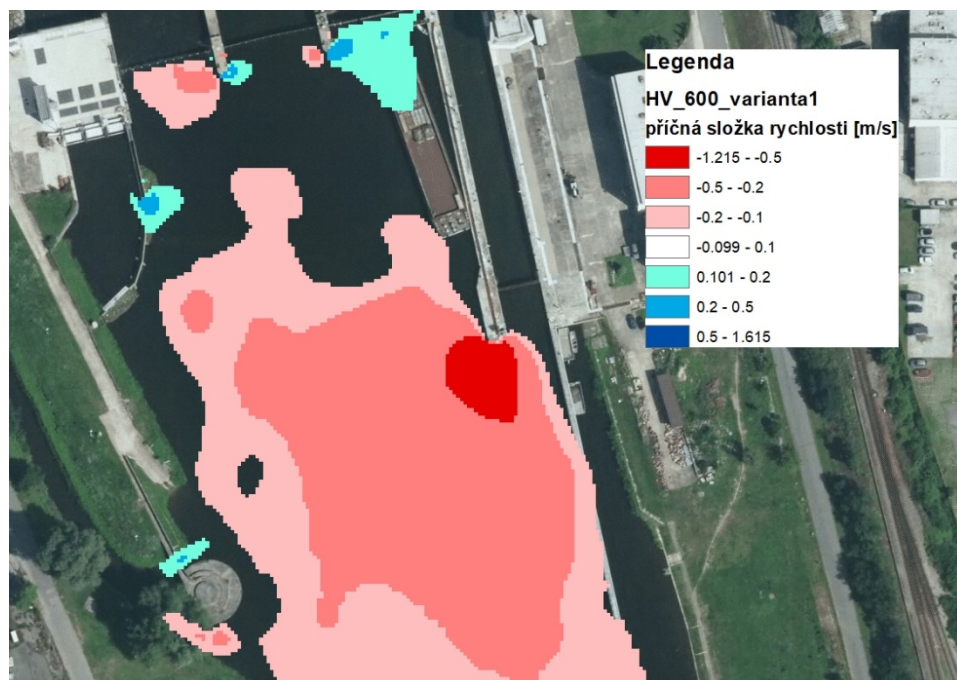
Obrázek 36: Příčné složky rychlosti v oblasti horní vody pro průtok $Q = 450 \text{ m}^3/\text{s}$, varianta 4

8.5 Oblast horní vody a průtok $Q = 600 \text{ m}^3/\text{s}$

Varianta č. 1: Ve variantě č. 1 je malá vodní elektrárna mimo provoz a průtok je převáděn všemi třemi jezovými poli. Model proudění vody je zobrazen na Obrázku 37 a příčné složky rychlosti na Obrázku 38.



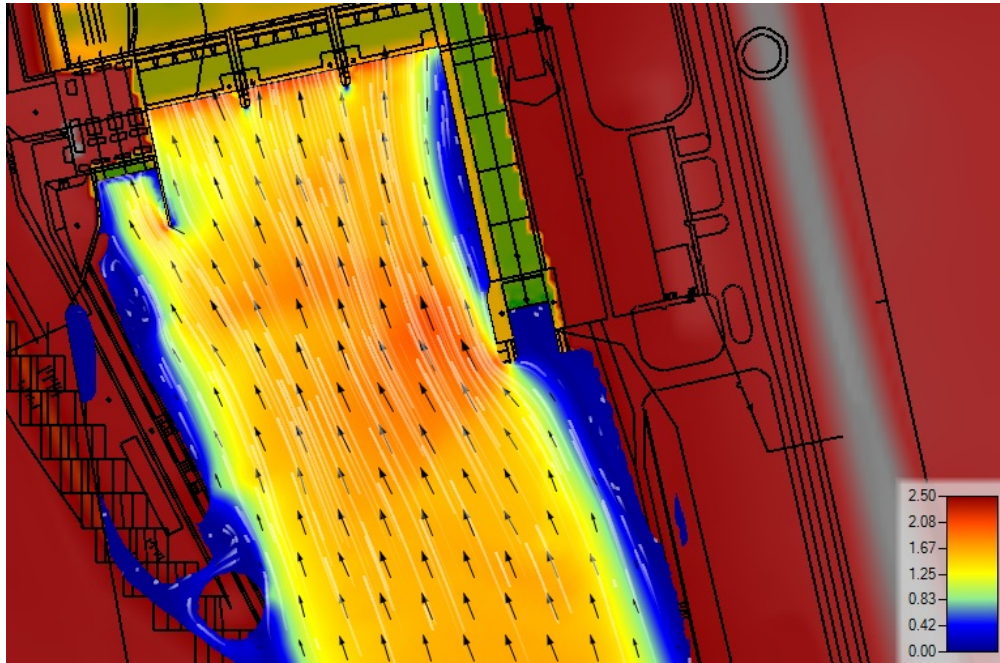
Obrázek 37: Model proudění vody v oblasti horní vody pro průtok $Q = 600 \text{ m}^3/\text{s}$, varianta 1



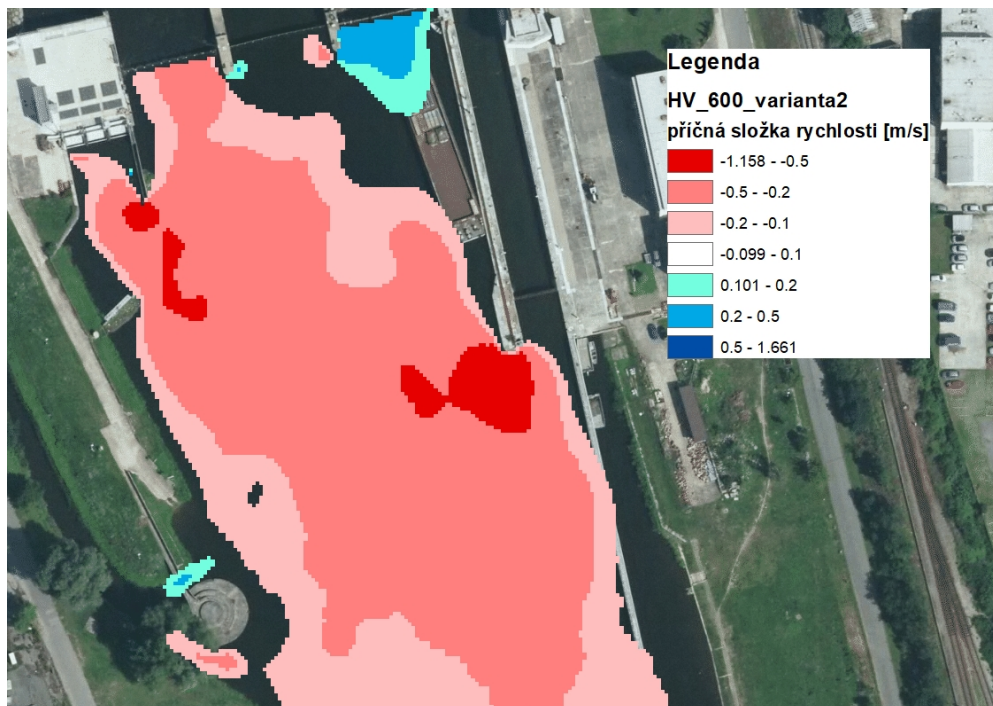
Obrázek 38: Příčné složky rychlosti v oblasti horní vody pro průtok $Q = 600 \text{ m}^3/\text{s}$, varianta 1

Varianta č. 2:

Ve variantě č. 2 je průtok převáděn všemi třemi jezovými poli a přes MVE, která je v provozu. Model proudění vody je zobrazen na Obrázku 39 a příčné složky rychlosti na Obrázku 40.



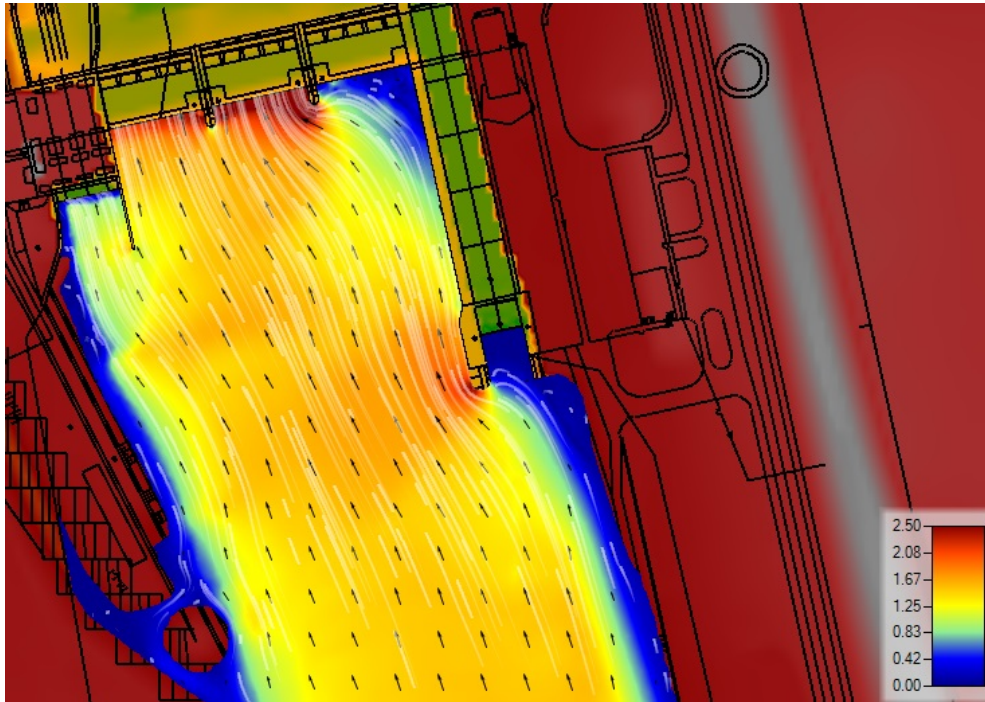
Obrázek 39: Model proudění vody v oblasti horní vody pro průtok $Q = 600 \text{ m}^3/\text{s}$, varianta 2



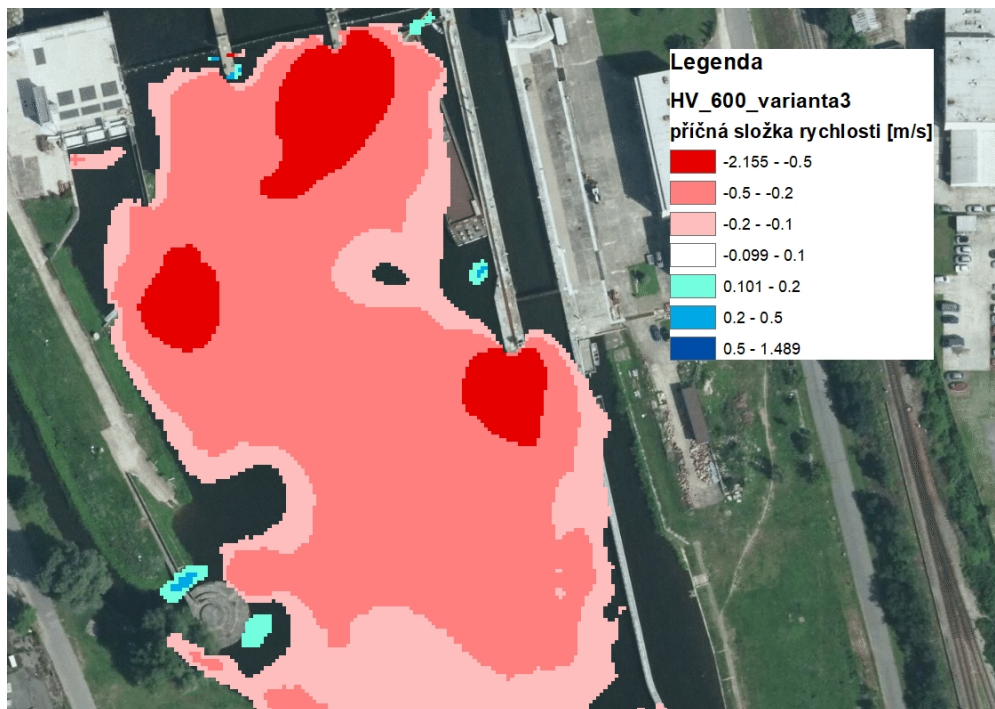
Obrázek 40: Příčné složky rychlosti v oblasti horní vody pro průtok $Q = 600 \text{ m}^3/\text{s}$, varianta 2

Varianta č. 3:

Ve variantě č. 3 je průtok převáděn pouze 1. a 2. jezovým polem a přes MVE, která je v provozu. Model proudění vody je zobrazen na Obrázku 41 a příčné složky rychlosti na Obrázku 42.



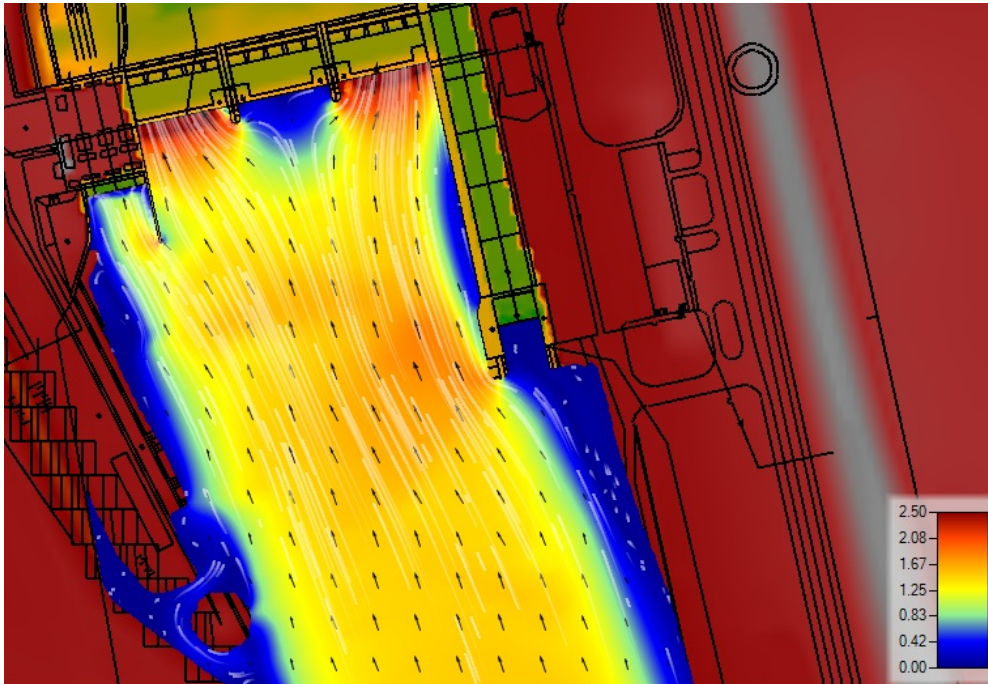
Obrázek 41: Model proudění vody v oblasti horní vody pro průtok $Q = 600 \text{ m}^3/\text{s}$, varianta 3



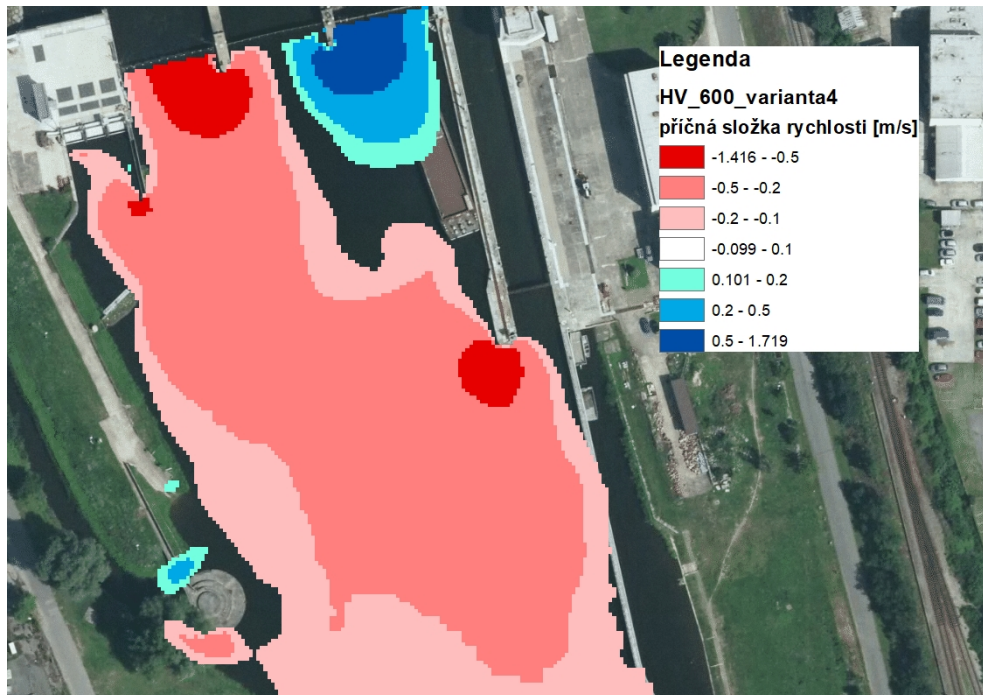
Obrázek 42: Příčné složky rychlosti v oblasti horní vody pro průtok $Q = 600 \text{ m}^3/\text{s}$, varianta 3

Varianta č. 4:

Ve variantě č. 4 je průtok převáděn pouze 1. a 3. jezovým polem a přes MVE, která je v provozu. Model proudění vody je zobrazen na Obrázku 43 a příčné složky rychlosti na Obrázku 44.



Obrázek 43: Model proudění vody v oblasti horní vody pro průtok $Q = 600 \text{ m}^3/\text{s}$, varianta 4



Obrázek 44: Příčné složky rychlosti v oblasti horní vody pro průtok $Q = 600 \text{ m}^3/\text{s}$, varianta 4

8.6 Vyhodnocení příčných složek rychlosti v oblasti horní vody

Výše uvedené varianty popisují současný stav v oblasti horní vody při stávajícím maximálním plavebním průtoku $Q = 450 \text{ m}^3/\text{s}$ a poté i při výhledovém maximálním plavebním průtoku $Q = 600 \text{ m}^3/\text{s}$.

Z modelu a následného vyhodnocení vyplývá, že již při průtoku $Q = 450 \text{ m}^3/\text{s}$ nabývají příčné složky rychlosti v okolí ohlaví dělicí zdi hodnot $0,2 - 0,5 \text{ m/s}$. A tedy ani při současném stavu a sníženém průtoku není dodržena podmínka z již zmíněné vyhlášky č. 222/1995 Sb. o vodních cestách, plavebním provozu v přístavech, společné havárii a dopravně nebezpečných věcí, ve které stojí, že příčná složka rychlosti proudění může být max. $0,2 \text{ m/s}$ v plavební dráze bezprostředně před svodidly nebo zhlavím dělicí zdi. Při průtoku $Q = 600 \text{ m}^3/\text{s}$ nabývají příčné složky rychlosti i hodnot $0,5 - 2,0 \text{ m/s}$.

Aby byla splněna podmínka a tedy možná plavba, jsou v současném stavu navržena průtočná svodidla, která navazují na dělicí zeď. Do výpočtu nejsou tato průtočná svodidla zahrnuta, protože nemají významný vliv na proudění vody. Svodidla ale zasahují do oblasti, ve které jsou příčné složky rychlosti pouze v rozmezí $0,1 - 0,2 \text{ m/s}$ při průtoku $Q = 450 \text{ m}^3/\text{s}$. Při vyšším průtoku zasahují svodidla do oblasti, ve které jsou hodnoty příčné složky rychlosti již v rozmezí $0,2 - 0,5 \text{ m/s}$.

Pro oblast horní vody je tedy nutné navrhnout určitá opatření, aby bylo možné zvýšit stávající maximální plavební průtok na $600 \text{ m}^3/\text{s}$. Jedná se především o prodloužení plné dělicí a dále aplikaci průtočných oken.

9 PLNÉ DĚLÍCÍ ZDI

Aby bylo možné zvýšit stávající maximální plavební průtok na $600 \text{ m}^3/\text{s}$, je snaha navrhnout takové plné dělicí zdi, aby hodnoty příčné složky rychlosti v okolí zhlaví dělicí zdi nabývaly hodnot do $0,2 \text{ m/s}$.

Bylo zpracováno šest variant plných zdí. První dvě varianty mají dělicí zeď ve tvaru svodidel. Jedná se o dvě varianty, protože stávající svodidla dle ortofoto mapy se liší od svodidel navržených v projektové dokumentaci. Tyto dvě varianty plných dělicích zdí byly vyhodnoceny pro všechny manipulační varianty. Další varianty plných zdí byly zpracovány pouze na jednu manipulační variantu. Po vyhodnocení této jedné manipulační varianty bylo patrné, že navržené dělicí zdi nesníží hodnotu příčné složky a tedy není nutné vyhodnocovat všechny manipulační varianty.

Do programu HEC-RAS je plná dělicí zeď zakomponována v podobě hranice oblasti horní vody. Nejprve tedy bylo nutné získat souřadnice obrysu tvaru plné dělicí zdi a upravit tak oblast horní vody. Následně byla přepočítána výpočetní síť. Okrajové podmínky zůstávají stejné jako v modelu oblasti horní vody v současném stavu.

Pro první dvě varianty je vyhodnocení zpracováno stejně jako u vyhodnocení současného stavu. Postupně budou uvedeny čtyři manipulační varianty pro stávající a výhledový maximální průtok. Nejprve bude zobrazen obrázek modelu proudění s geometrií plné dělicí zdi, který je získán z programu HEC-RAS, a poté obrázek se zobrazením pouze příčných složek rychlosti. Podkladem tohoto obrázku je ortofoto mapa a je zde vyznačena nově navržená dělicí zeď. U dalších čtyř variant je vyhodnocení zpracováno stejně, ale pouze pro první manipulační variantu a průtok $600 \text{ m}^3/\text{s}$.

9.1 Pilíř 1 - plná dělicí zeď v místě stávajících svodidel dle ortofoto mapy

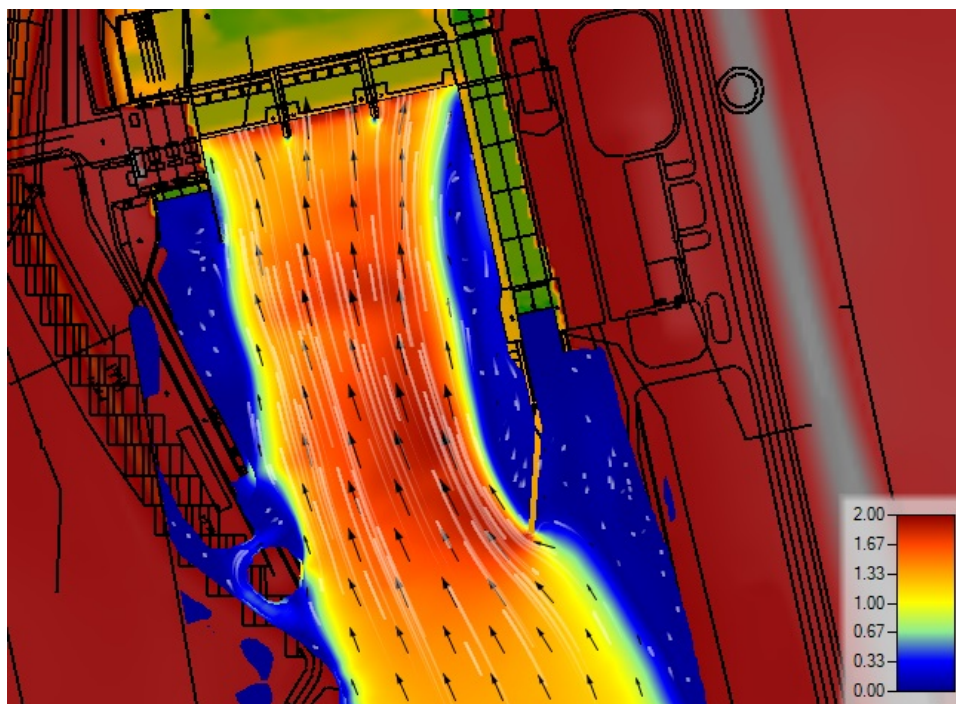
Jako první varianta plné zdi dělicího pilíře byla zpracována dělicí zeď, která se nachází v místě stávajících svodidel dle ortofoto mapy (Obrázek 45). Navržená zeď je široká 2 m. Rovný úsek je dlouhý 18 m a navazující šikmý úsek je dlouhý 35 m.



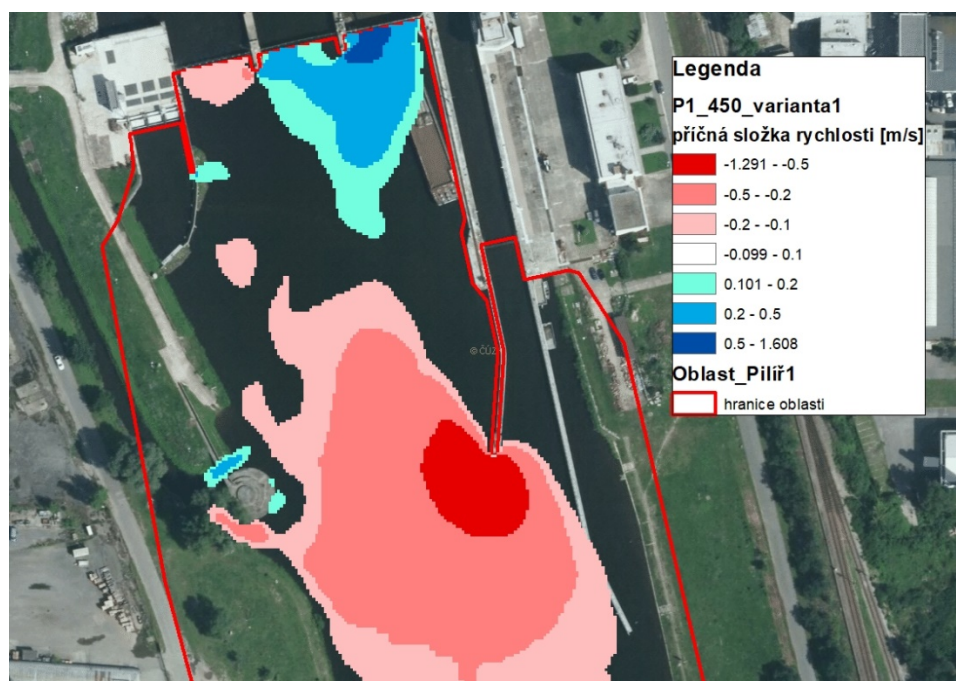
Obrázek 45: Geometrie plné dělicí zdi ve tvaru stávajících svodidel

9.1.1 Pilíř 1 a průtok $Q = 450 \text{ m}^3/\text{s}$

Varianta č. 1: Ve variantě č. 1 je malá vodní elektrárna mimo provoz a průtok je převáděn všemi třemi jezovými poli. Model proudění vody je zobrazen na Obrázku 46 a příčné složky rychlosti na Obrázku 47.



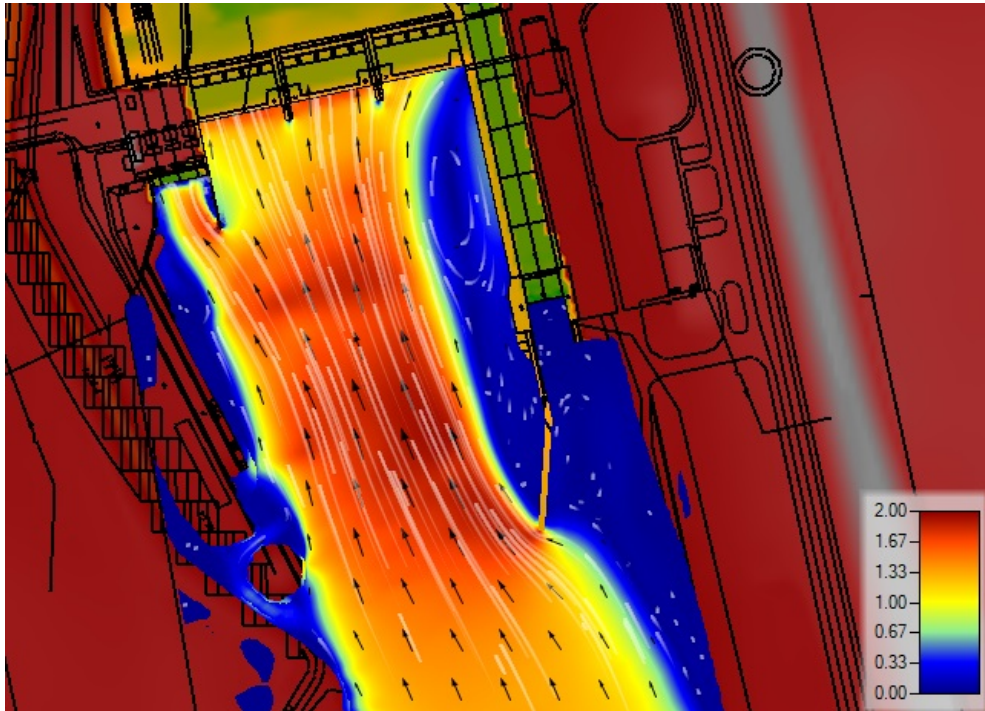
Obrázek 46: Pilíř 1 - Model proudění vody pro průtok $Q = 450 \text{ m}^3/\text{s}$, varianta 1



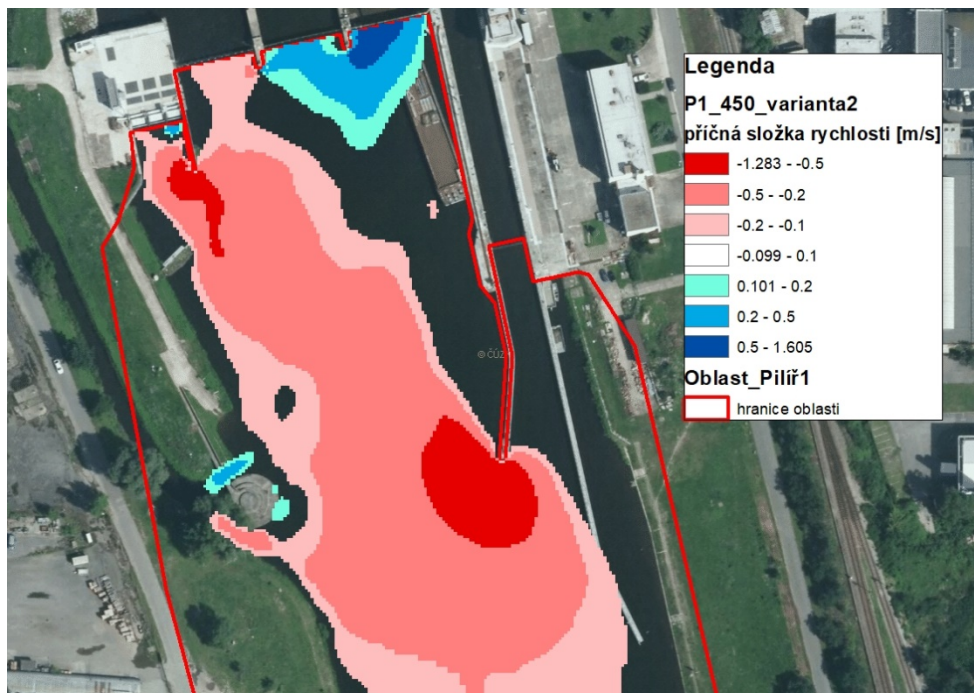
Obrázek 47: Pilíř 1 - Příčné složky rychlosti pro průtok $Q = 450 \text{ m}^3/\text{s}$, varianta 1

Varianta č. 2:

Ve variantě č. 2 je průtok převáděn všemi třemi jezovými poli a přes MVE, která je v provozu. Model proudění vody je zobrazen na Obrázku 48 a příčné složky rychlosti na Obrázku 49.



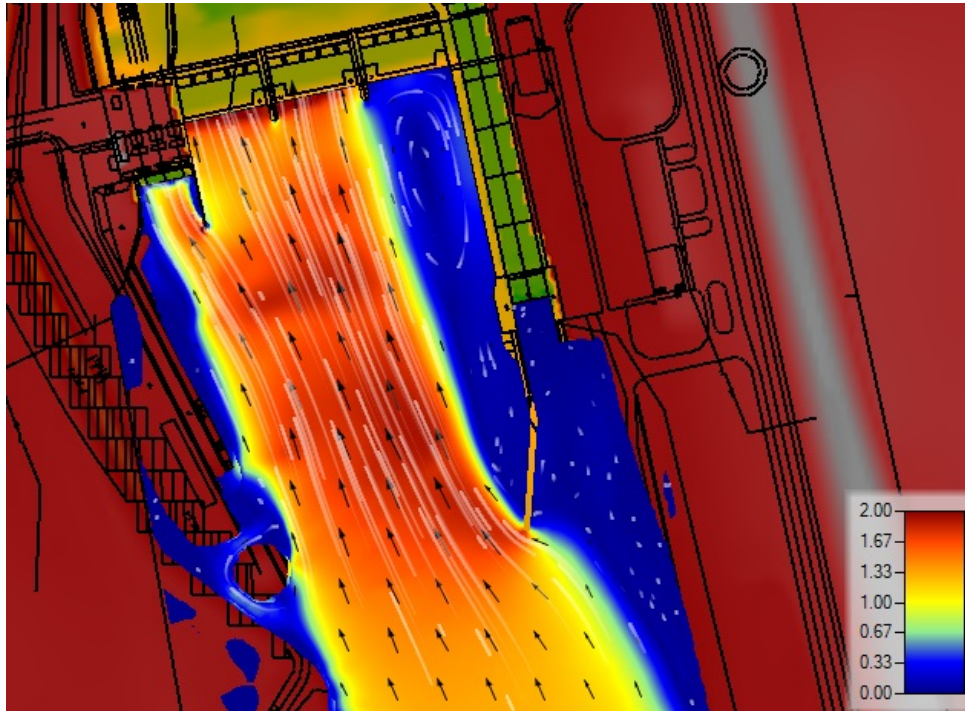
Obrázek 48: Pilíř 1 - Model proudění vody pro průtok $Q = 450 \text{ m}^3/\text{s}$, varianta 2



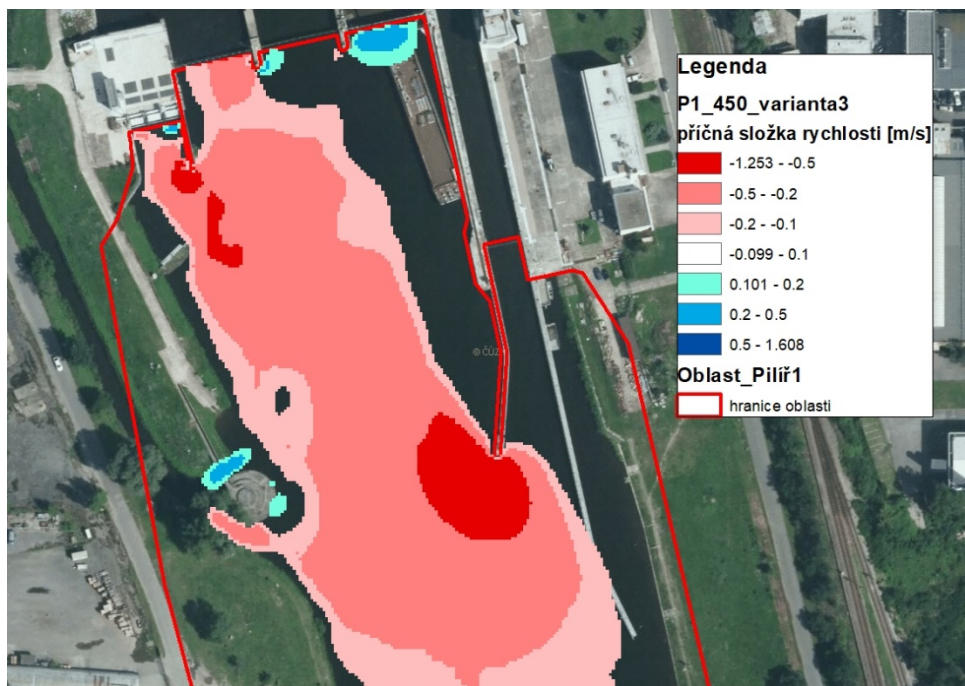
Obrázek 49: Pilíř 1 - Příčné složky rychlosti pro průtok $Q = 450 \text{ m}^3/\text{s}$, varianta 2

Varianta č. 3:

Ve variantě č. 3 je průtok převáděn pouze 1. a 2. jezovým polem a přes MVE, která je v provozu. Model proudění vody je zobrazen na Obrázku 50 a příčné složky rychlosti na Obrázku 51.



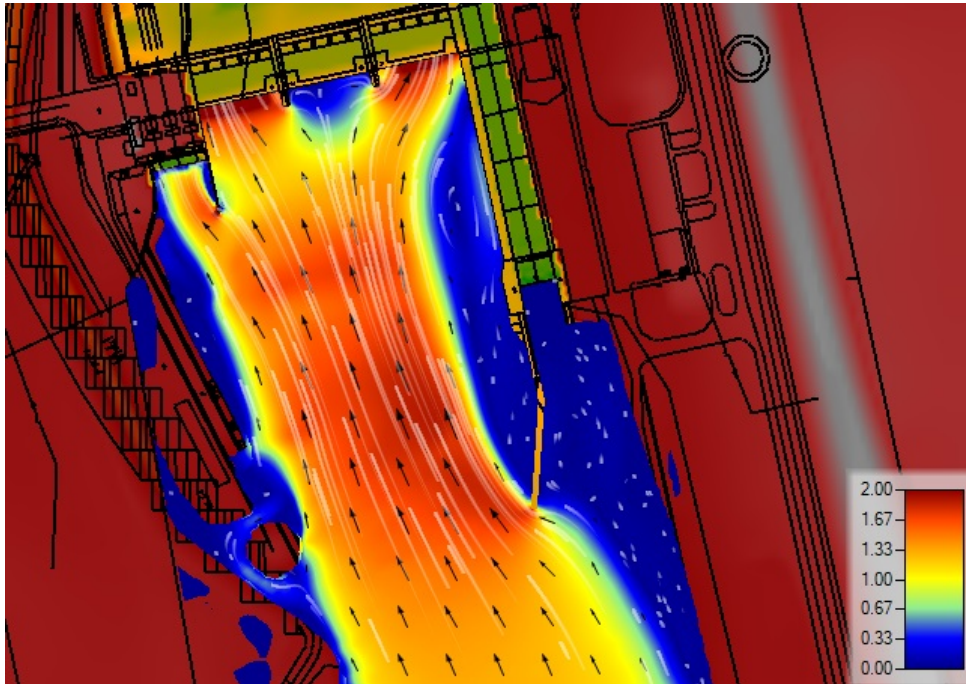
Obrázek 50: Pilíř 1 - Model proudění vody pro průtok $Q = 450 \text{ m}^3/\text{s}$, varianta 3



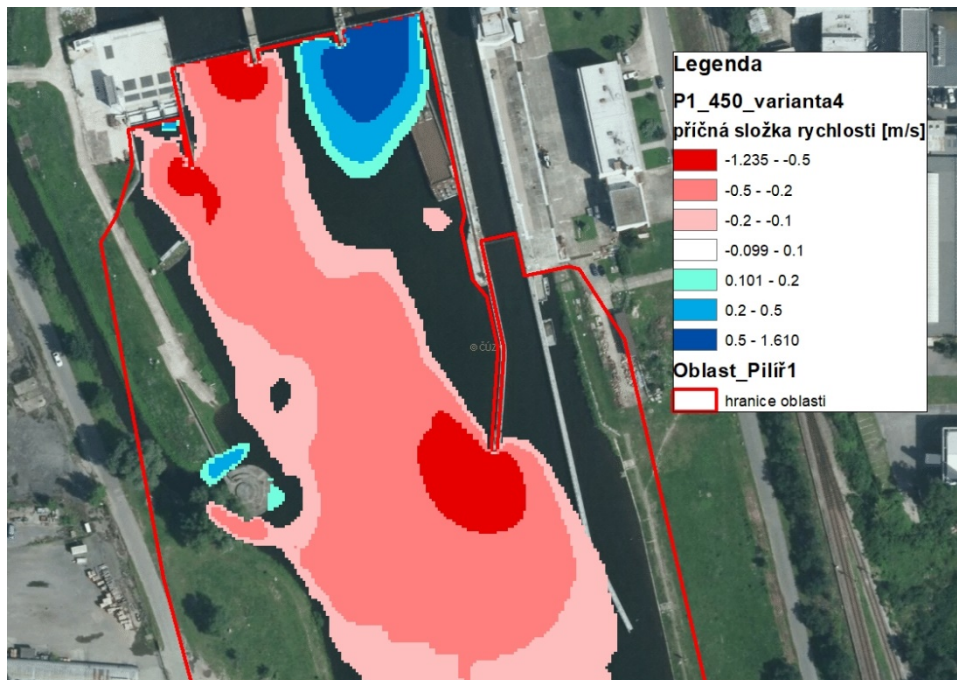
Obrázek 51: Pilíř 1 - Příčné složky rychlosti pro průtok $Q = 450 \text{ m}^3/\text{s}$, varianta 3

Varianta č. 4:

Ve variantě č. 4 je průtok převáděn pouze 1. a 3. jezovým polem a přes MVE, která je v provozu. Model proudění vody je zobrazen na Obrázku 52 a příčné složky rychlosti na Obrázku 53.



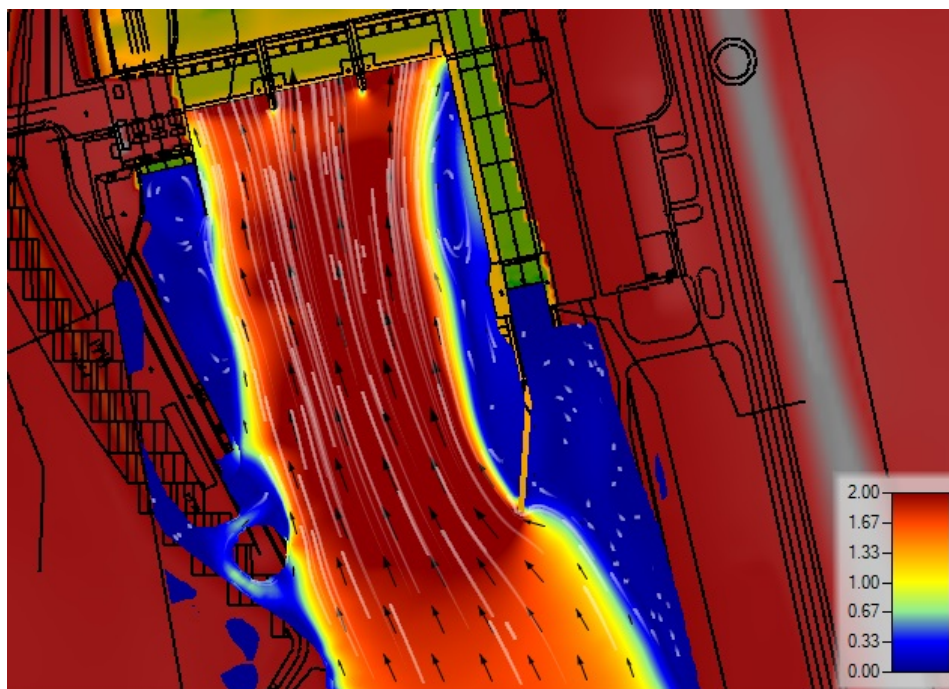
Obrázek 52: Pilíř 1 - Model proudění vody pro průtok $Q = 450 \text{ m}^3/\text{s}$, varianta 4



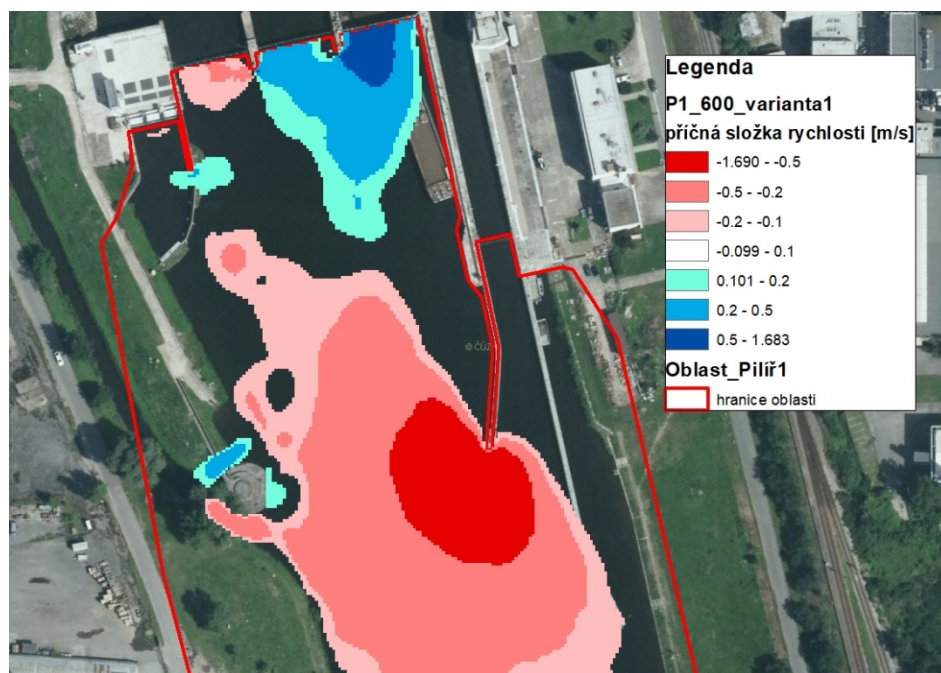
Obrázek 53: Pilíř 1 - Příčné složky rychlosti pro průtok $Q = 450 \text{ m}^3/\text{s}$, varianta 4

9.1.2 Pilíř 1 a průtok $Q = 600 \text{ m}^3/\text{s}$

Varianta č. 1: Ve variantě č. 1 je malá vodní elektrárna mimo provoz a průtok je převáděn všemi třemi jezovými poli. Model proudění vody je zobrazen na Obrázku 54 a příčné složky rychlosti na Obrázku 55.



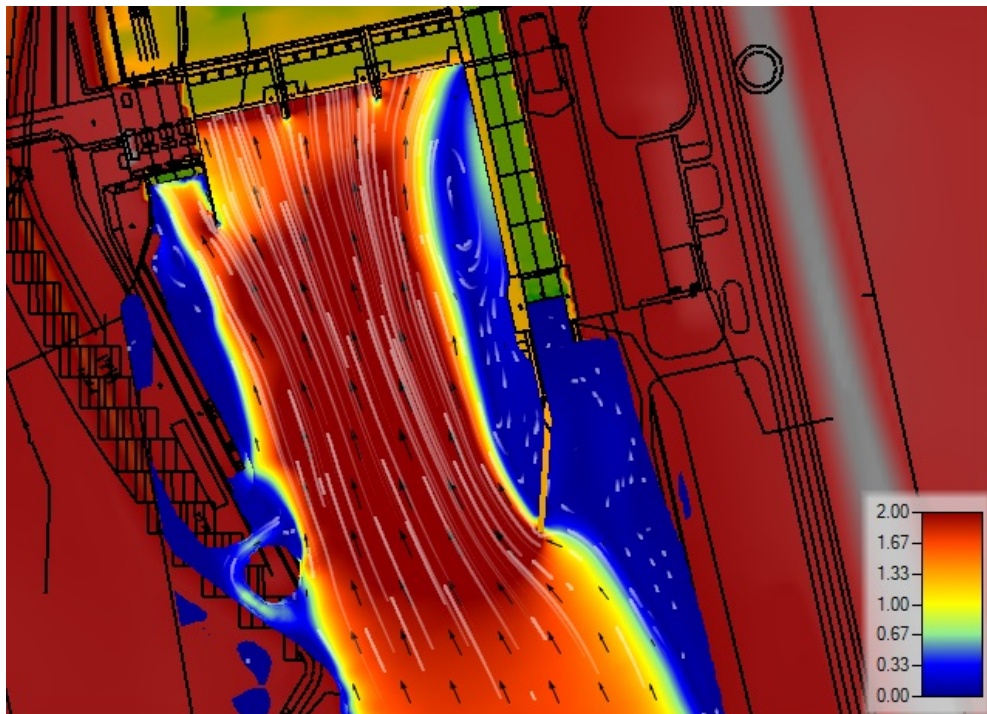
Obrázek 54: Pilíř 1 - Model proudění vody pro průtok $Q = 600 \text{ m}^3/\text{s}$, varianta 1



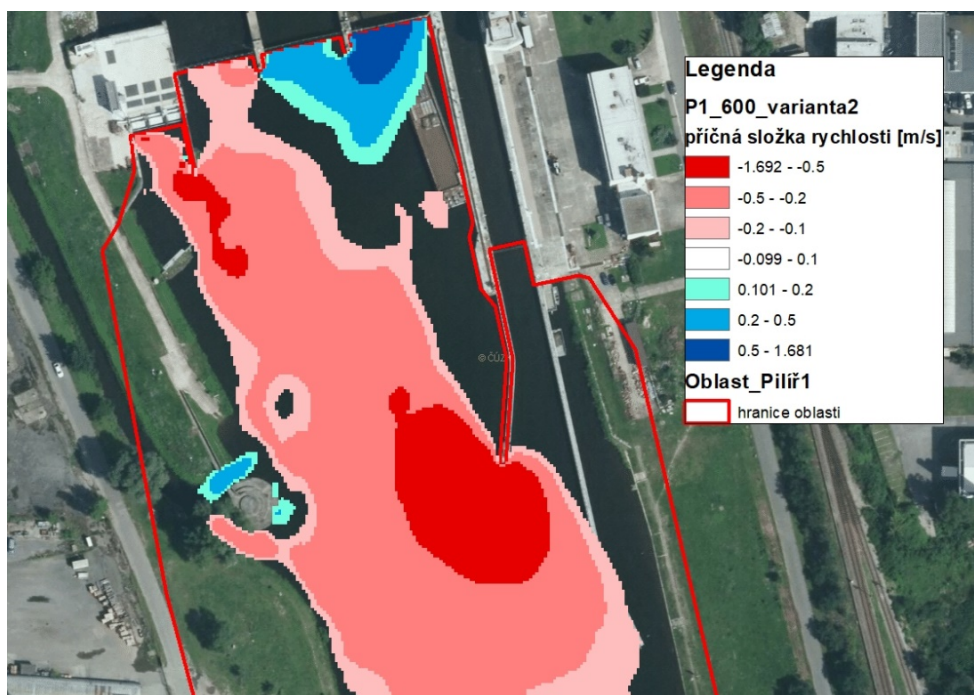
Obrázek 55: Pilíř 1 - Příčné složky rychlosti pro průtok $Q = 600 \text{ m}^3/\text{s}$, varianta 1

Varianta č. 2:

Ve variantě č. 2 je průtok převáděn všemi třemi jezovými poli a přes MVE, která je v provozu. Model proudění vody je zobrazen na Obrázku 56 a příčné složky rychlosti na Obrázku 57.



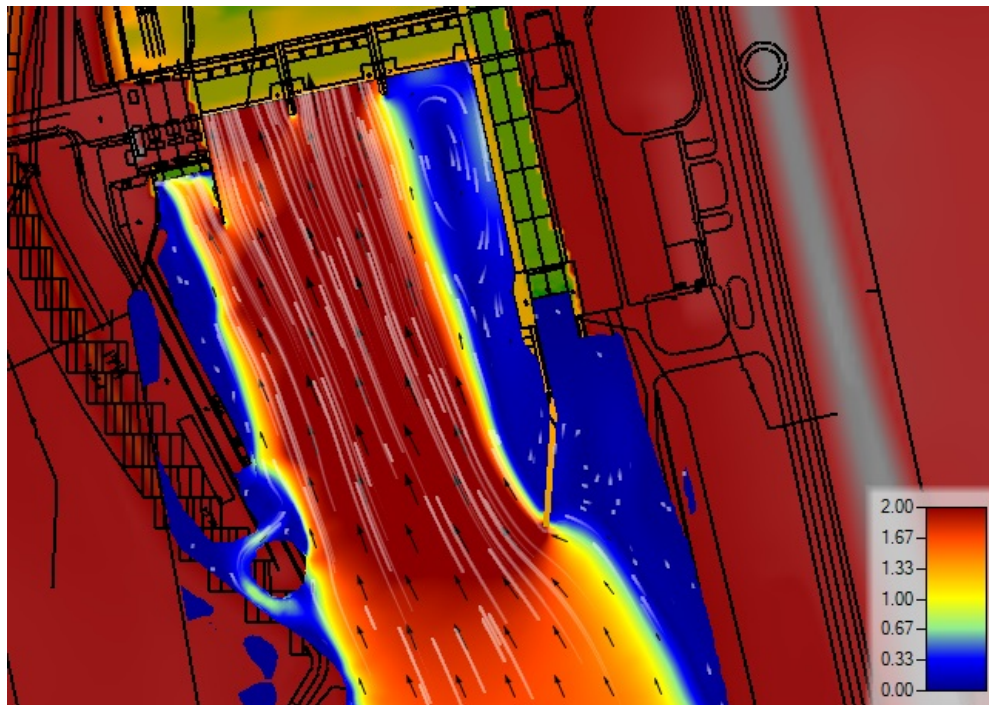
Obrázek 56: Pilíř 1 - Model proudění vody pro průtok $Q = 600 \text{ m}^3/\text{s}$, varianta 2



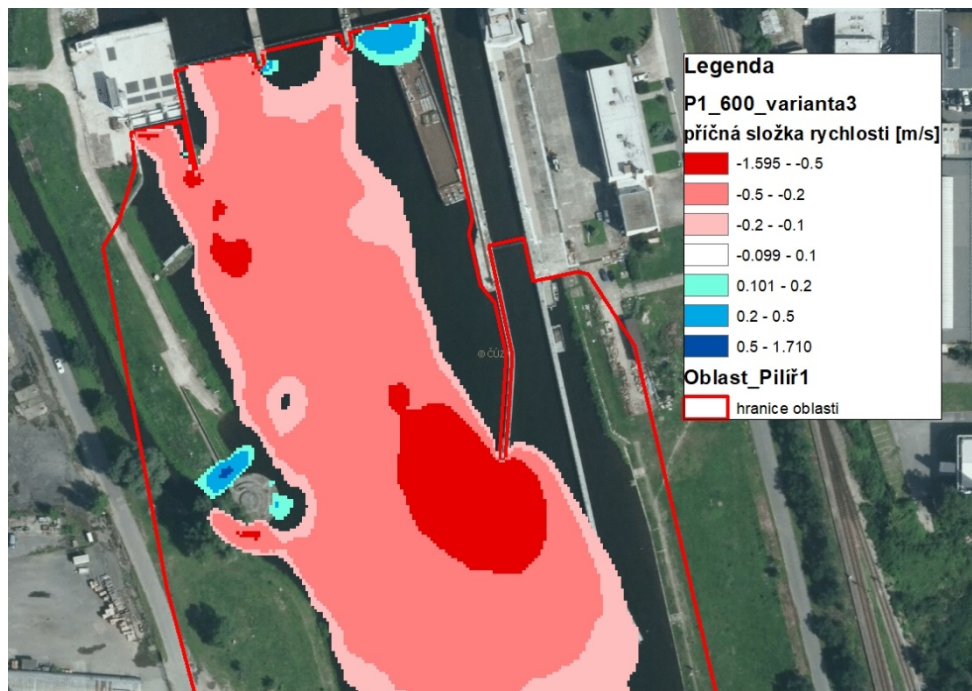
Obrázek 57: Pilíř 1 - Příčné složky rychlosti pro průtok $Q = 600 \text{ m}^3/\text{s}$, varianta 2

Varianta č. 3:

Ve variantě č. 3 je průtok převáděn pouze 1. a 2. jezovým polem a přes MVE, která je v provozu. Model proudění vody je zobrazen na Obrázku 58 a příčné složky rychlosti na Obrázku 59.



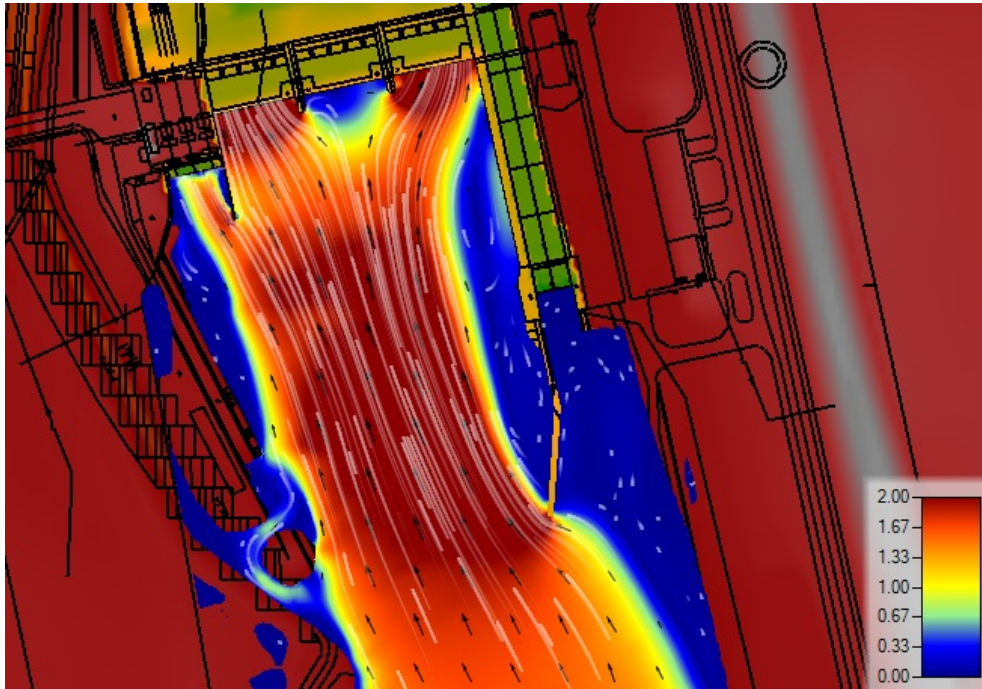
Obrázek 58: Pilíř 1 - Model proudění vody pro průtok $Q = 600 \text{ m}^3/\text{s}$, varianta 3



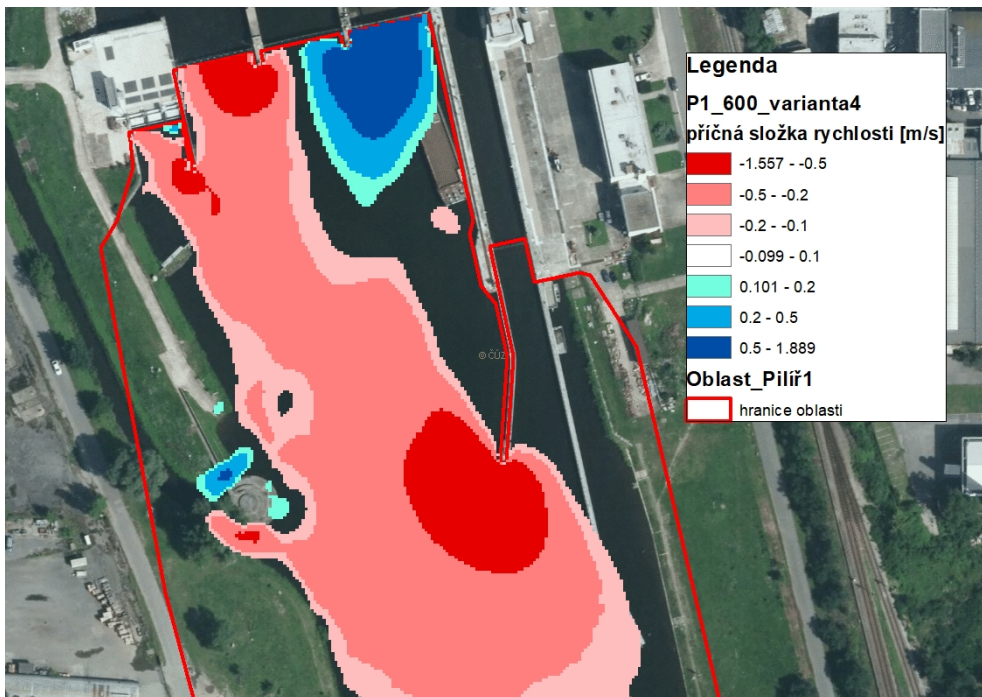
Obrázek 59: Pilíř 1 - Příčné složky rychlosti pro průtok $Q = 600 \text{ m}^3/\text{s}$, varianta 3

Varianta č. 4:

Ve variantě č. 4 je průtok převáděn pouze 1. a 3. jezovým polem a přes MVE, která je v provozu. Model proudění vody je zobrazen na Obrázku 52 a příčné složky rychlosti na Obrázku 53.



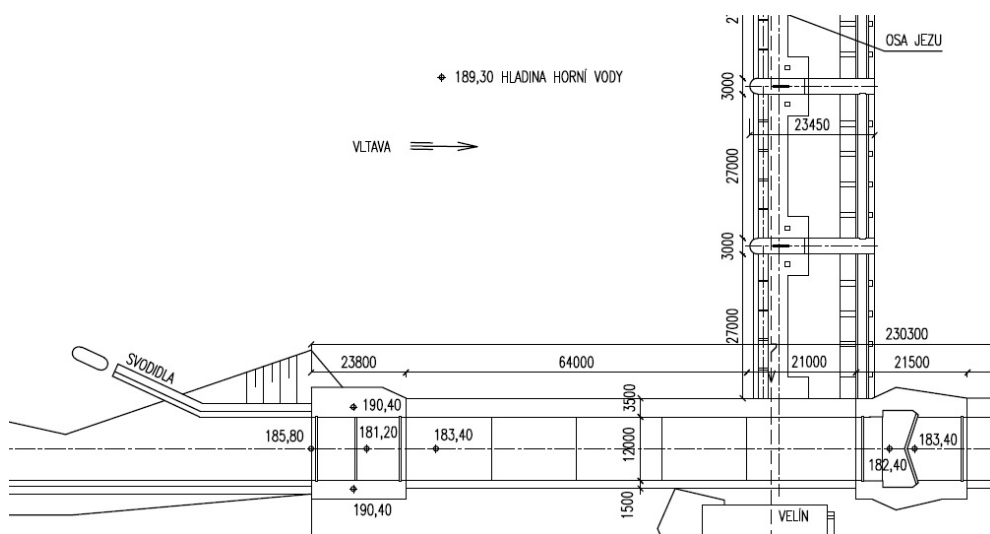
Obrázek 60: Pilíř 1 - Model proudění vody pro průtok $Q = 600 \text{ m}^3/\text{s}$, varianta 4



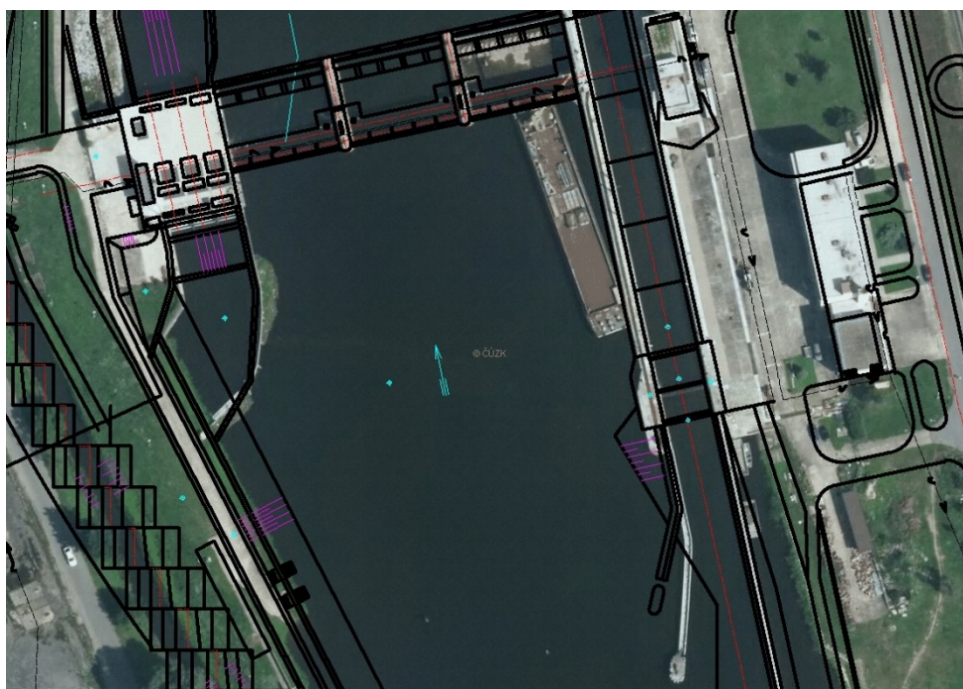
Obrázek 61: Pilíř 1 - Příčné složky rychlosti pro průtok $Q = 600 \text{ m}^3/\text{s}$, varianta 4

9.2 Pilíř 2 - plná dělicí zeď v místě svodidel dle projektové dokumentace

Jako druhá varianta plné zdi dělicího pilíře byla zpracována dělicí zeď, která se nachází v místě svodidel dle projektové dokumentace. Na Obrázku 62 je výřez situace, ze kterého je patrná geometrie svodidla. Svodidlo navazuje na dělicí zeď mezi plavební komorou a jezem rovným úsekem dlouhým 10 m. Následuje šikmý úsek směřující do středu koryta o délce 26 m. Na Obrázku 63 je vidět rozdíl mezi navrženými svodidly dle projektové dokumentace a stávajícími svodidly dle ortofoto mapy.



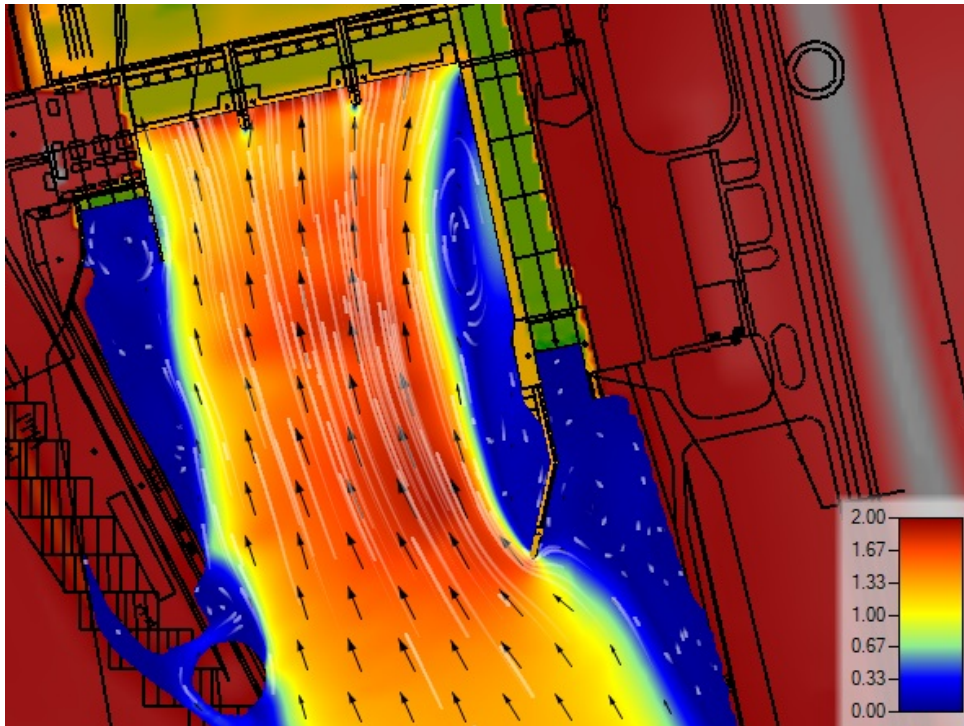
Obrázek 62: Výřez ze situace



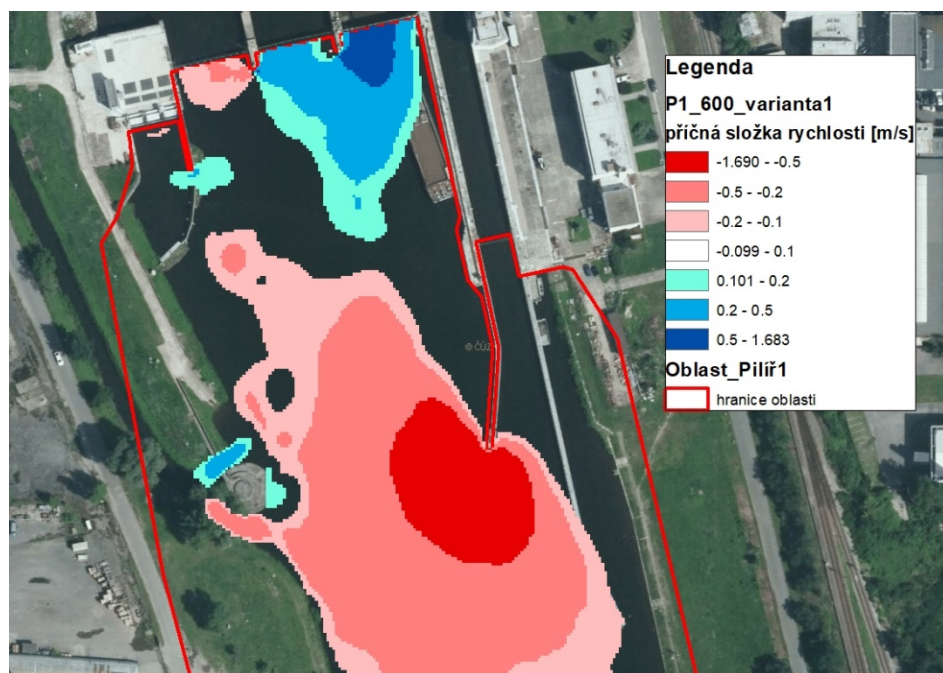
Obrázek 63: Rozdíl mezi svodidly v projektové dokumentaci a na ortofoto mapě

9.2.1 Pilíř 2 a průtok $Q = 450 \text{ m}^3/\text{s}$

Varianta č. 1: Ve variantě č. 1 je malá vodní elektrárna mimo provoz a průtok je převáděn všemi třemi jezovými poli. Model proudění vody je zobrazen na Obrázku 64 a příčné složky rychlosti na Obrázku 65.



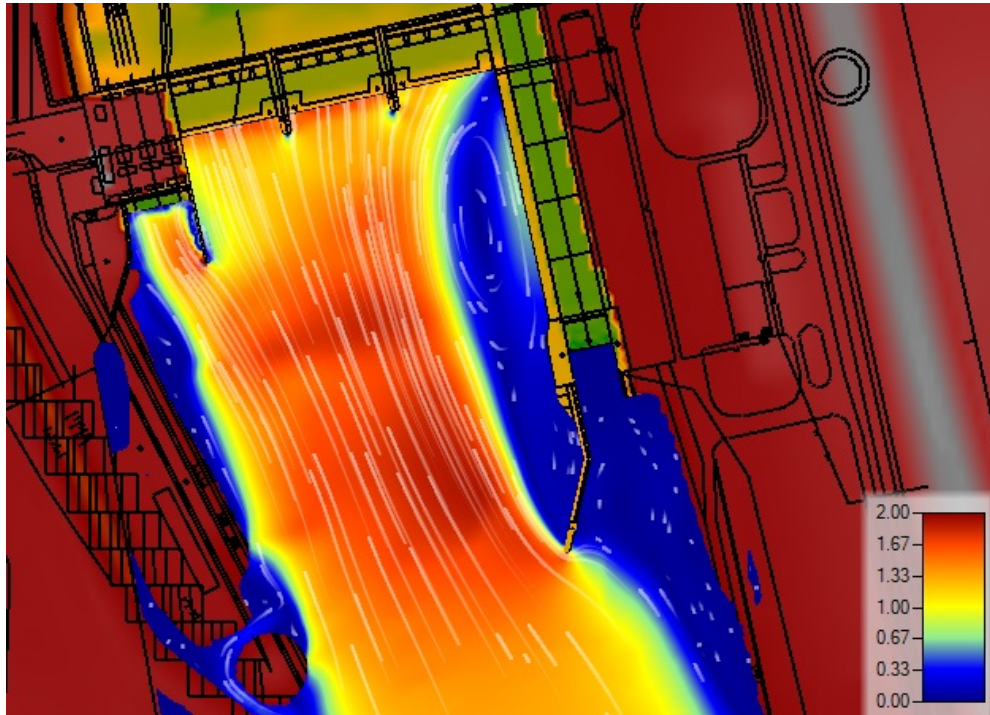
Obrázek 64: Pilíř 2 - Model proudění vody pro průtok $Q = 450 \text{ m}^3/\text{s}$, varianta 1



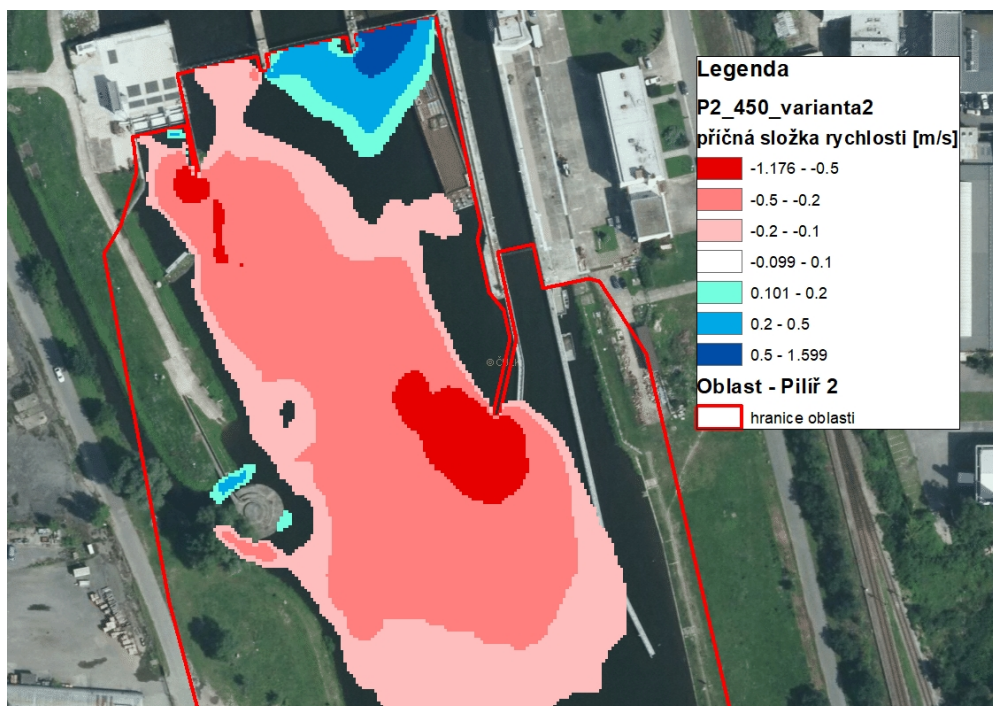
Obrázek 65: Pilíř 2 - Příčné složky rychlosti pro průtok $Q = 450 \text{ m}^3/\text{s}$, varianta 1

Varianta č. 2:

Ve variantě č. 2 je průtok převáděn všemi třemi jezovými poli a přes MVE, která je v provozu. Model proudění vody je zobrazen na Obrázku 66 a příčné složky rychlosti na Obrázku 67.



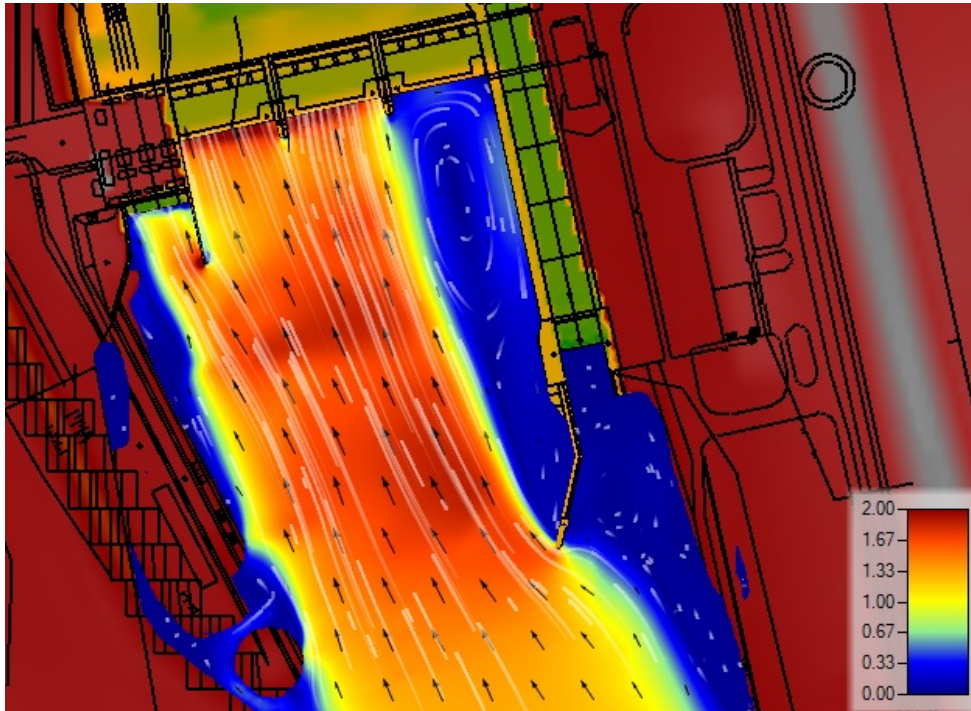
Obrázek 66: Pilíř 2 - Model proudění vody pro průtok $Q = 450 \text{ m}^3/\text{s}$, varianta 2



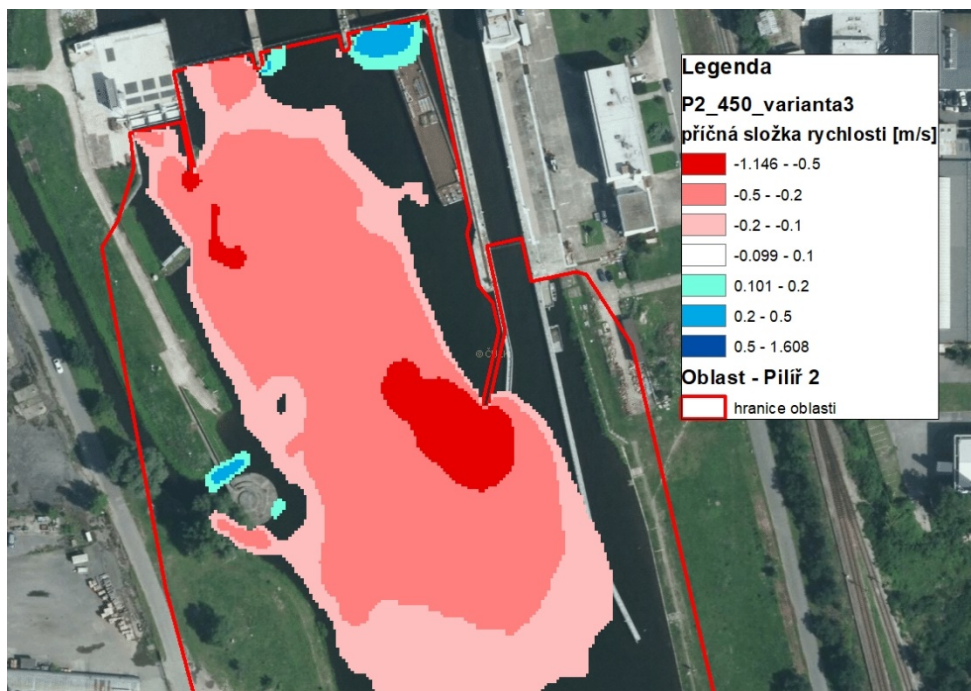
Obrázek 67: Pilíř 2 - Příčné složky rychlosti pro průtok $Q = 450 \text{ m}^3/\text{s}$, varianta 2

Varianta č. 3:

Ve variantě č. 3 je průtok převáděn pouze 1. a 2. jezovým polem a přes MVE, která je v provozu. Model proudění vody je zobrazen na Obrázku 68 a příčné složky rychlosti na Obrázku 69.



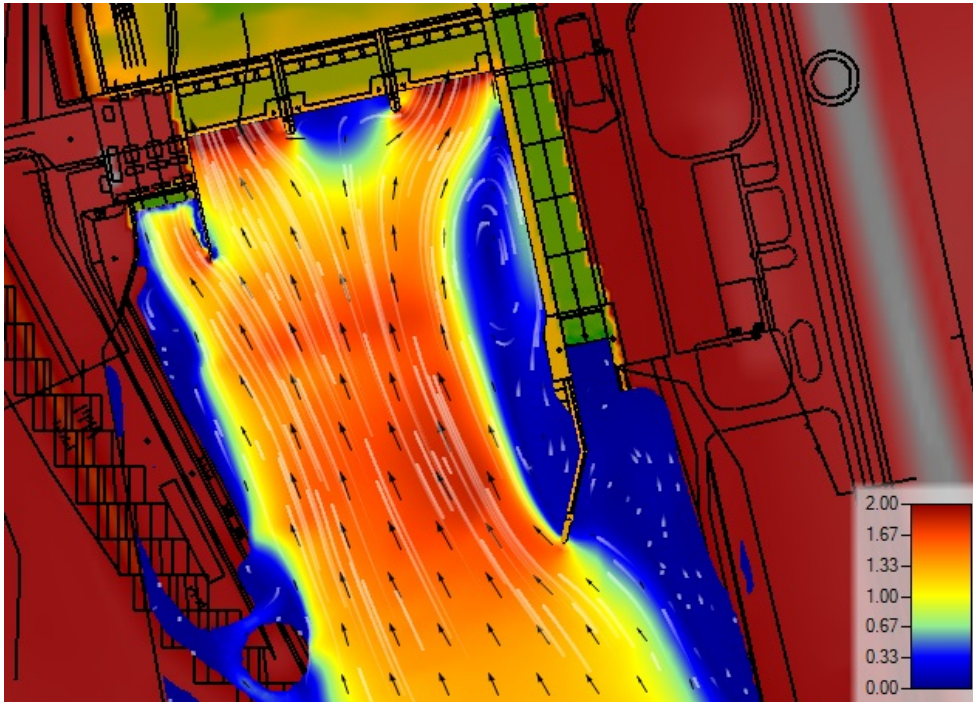
Obrázek 68: Pilíř 2 - Model proudění vody pro průtok $Q = 450 \text{ m}^3/\text{s}$, varianta 3



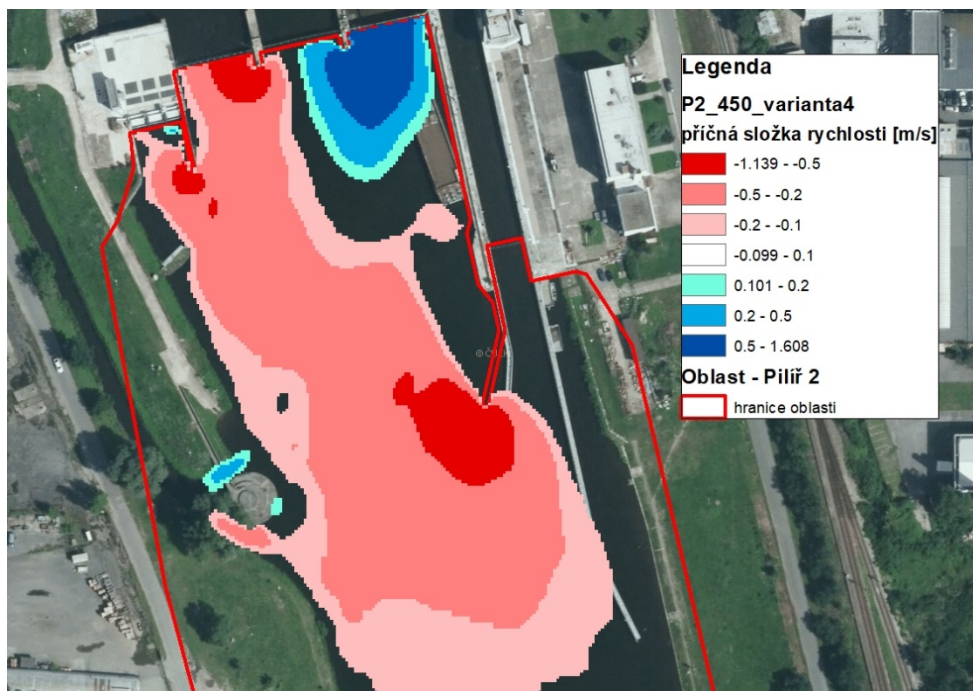
Obrázek 69: Pilíř 2 - Příčné složky rychlosti pro průtok $Q = 450 \text{ m}^3/\text{s}$, varianta 3

Varianta č. 4:

Ve variantě č. 4 je průtok převáděn pouze 1. a 3. jezovým polem a přes MVE, která je v provozu. Model proudění vody je zobrazen na Obrázku 70 a příčné složky rychlosti na Obrázku 71.



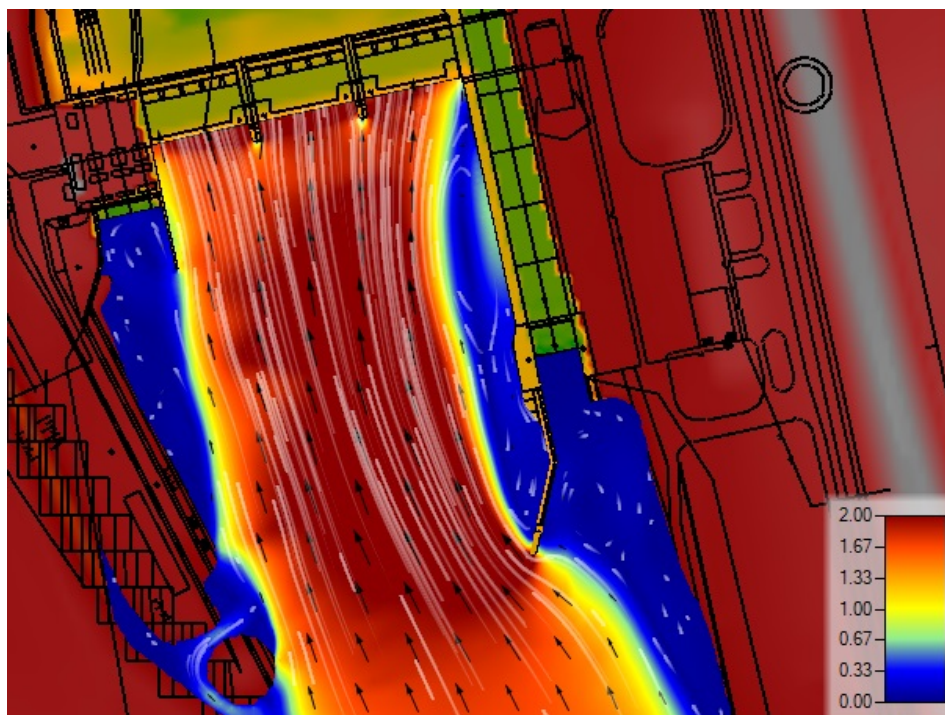
Obrázek 70: Pilíř 2 - Model proudění vody pro průtok $Q = 450 \text{ m}^3/\text{s}$, varianta 4



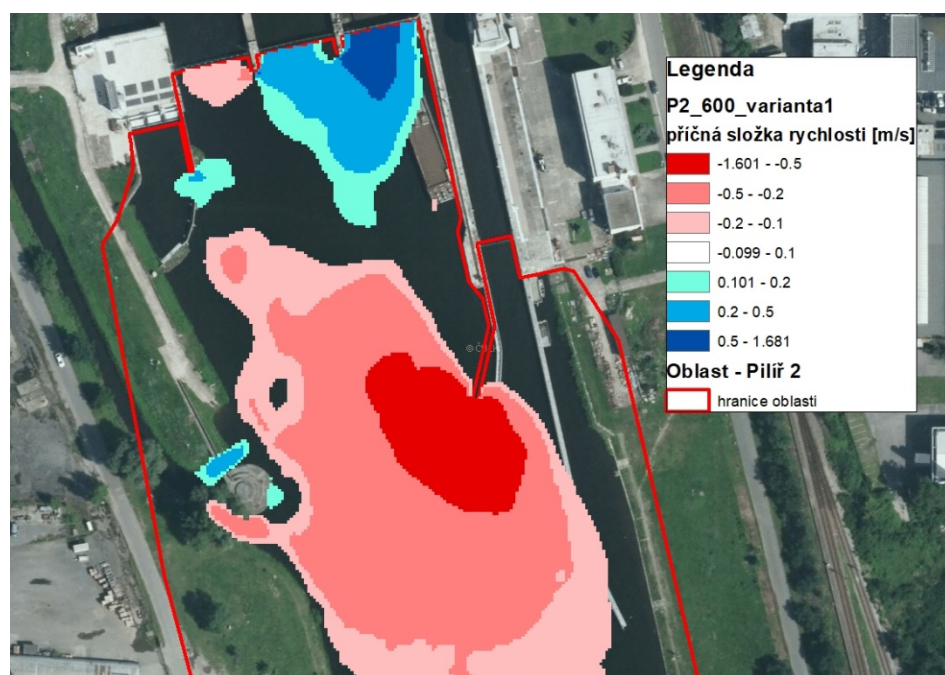
Obrázek 71: Pilíř 2 - Příčné složky rychlosti pro průtok $Q = 450 \text{ m}^3/\text{s}$, varianta 4

9.2.2 Pilíř 2 a průtok $Q = 600 \text{ m}^3/\text{s}$

Varianta č. 1: Ve variantě č. 1 je malá vodní elektrárna mimo provoz a průtok je převáděn všemi třemi jezovými poli. Model proudění vody je zobrazen na Obrázku 72 a příčné složky rychlosti na Obrázku 73.



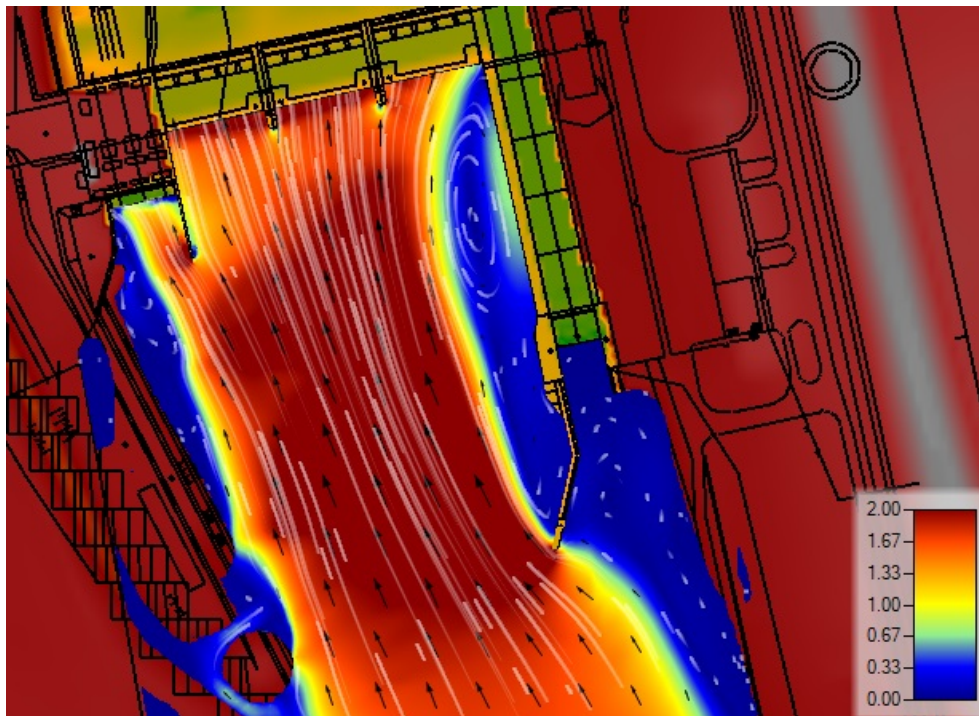
Obrázek 72: Pilíř 2 - Model proudění vody pro průtok $Q = 600 \text{ m}^3/\text{s}$, varianta 1



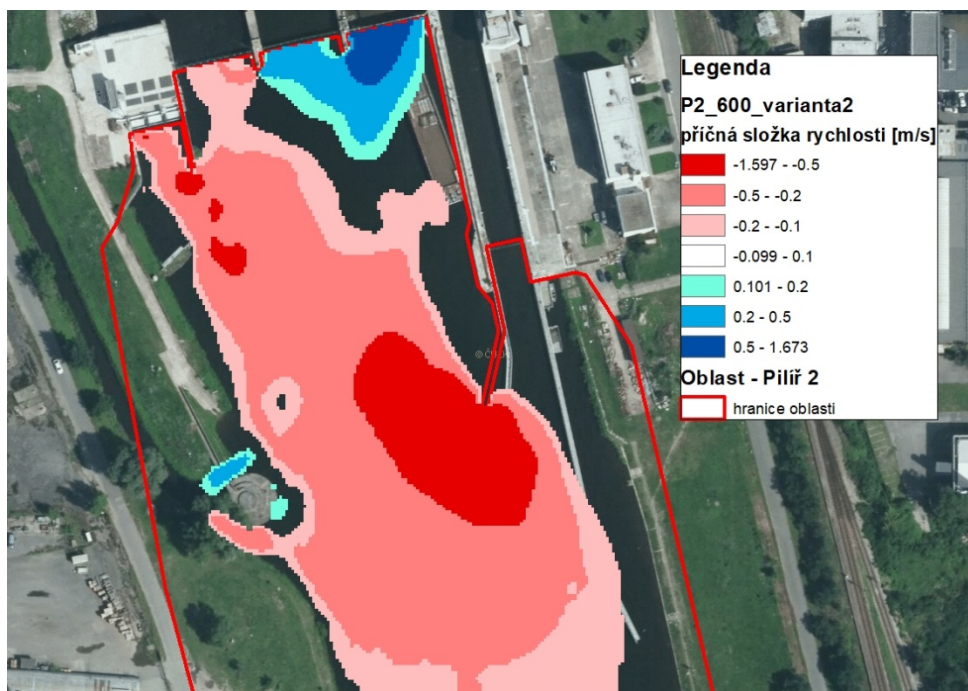
Obrázek 73: Pilíř 2 - Příčné složky rychlosti pro průtok $Q = 600 \text{ m}^3/\text{s}$, varianta 1

Varianta č. 2:

Ve variantě č. 2 je průtok převáděn všemi třemi jezovými poli a přes MVE, která je v provozu. Model proudění vody je zobrazen na Obrázku 74 a příčné složky rychlosti na Obrázku 75.



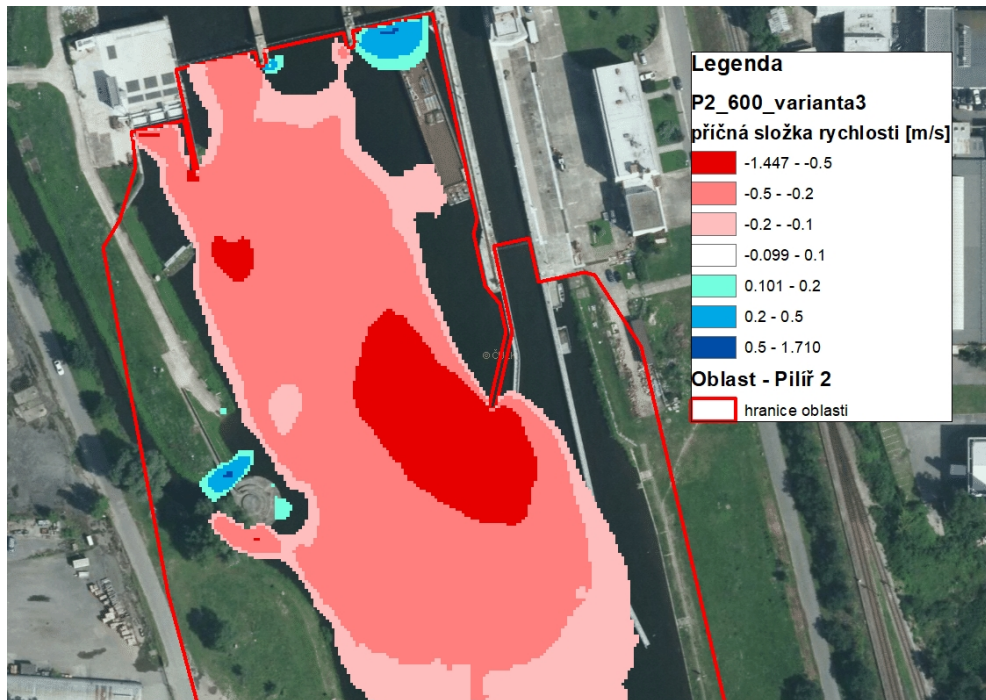
Obrázek 74: Pilíř 2 - Model proudění vody pro průtok $Q = 600 \text{ m}^3/\text{s}$, varianta 2



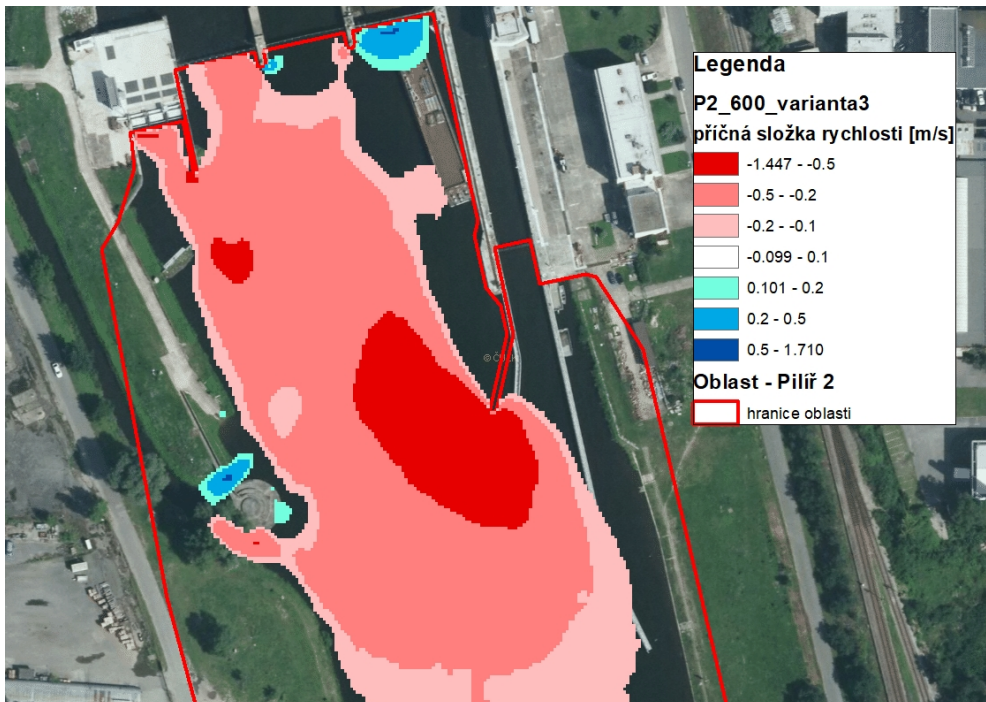
Obrázek 75: Pilíř 2 - Příčné složky rychlosti pro průtok $Q = 600 \text{ m}^3/\text{s}$, varianta 2

Varianta č. 3:

Ve variantě č. 3 je průtok převáděn pouze 1. a 2. jezovým polem a přes MVE, která je v provozu. Model proudění vody je zobrazen na Obrázku 76 a příčné složky rychlosti na Obrázku 77.



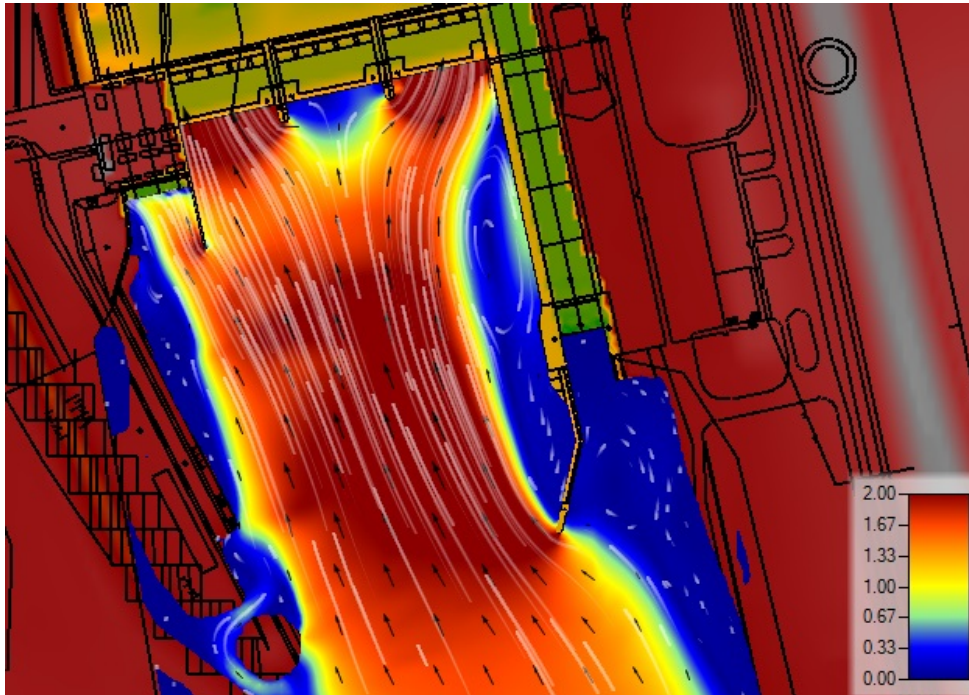
Obrázek 76: Píliř 2 - Model proudění vody pro průtok $Q = 600 \text{ m}^3/\text{s}$, varianta 3



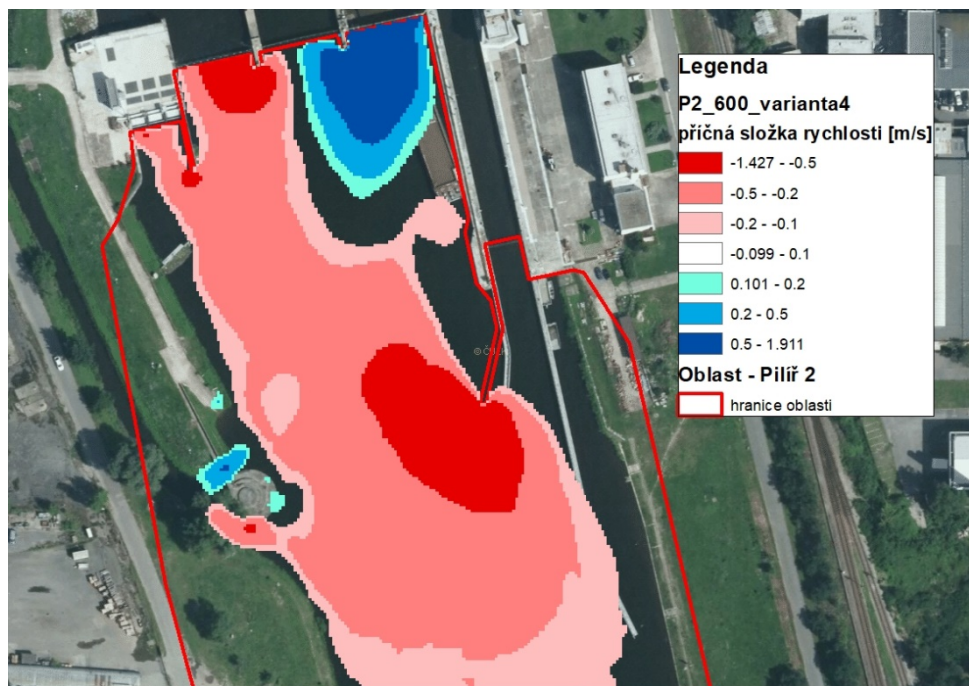
Obrázek 77: Píliř 2 - Příčné složky rychlosti pro průtok $Q = 600 \text{ m}^3/\text{s}$, varianta 3

Varianta č. 4:

Ve variantě č. 4 je průtok převáděn pouze 1. a 3. jezovým polem a přes MVE, která je v provozu. Model proudění vody je zobrazen na Obrázku 78 a příčné složky rychlosti na Obrázku 79.



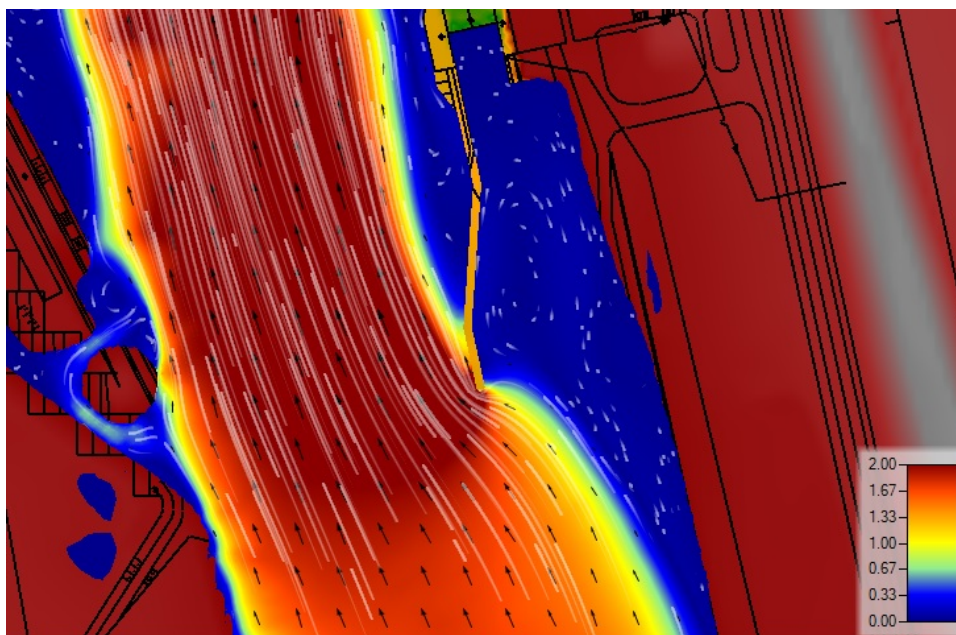
Obrázek 78: Pilíř 2 - Model proudění vody pro průtok $Q = 600 \text{ m}^3/\text{s}$, varianta 4



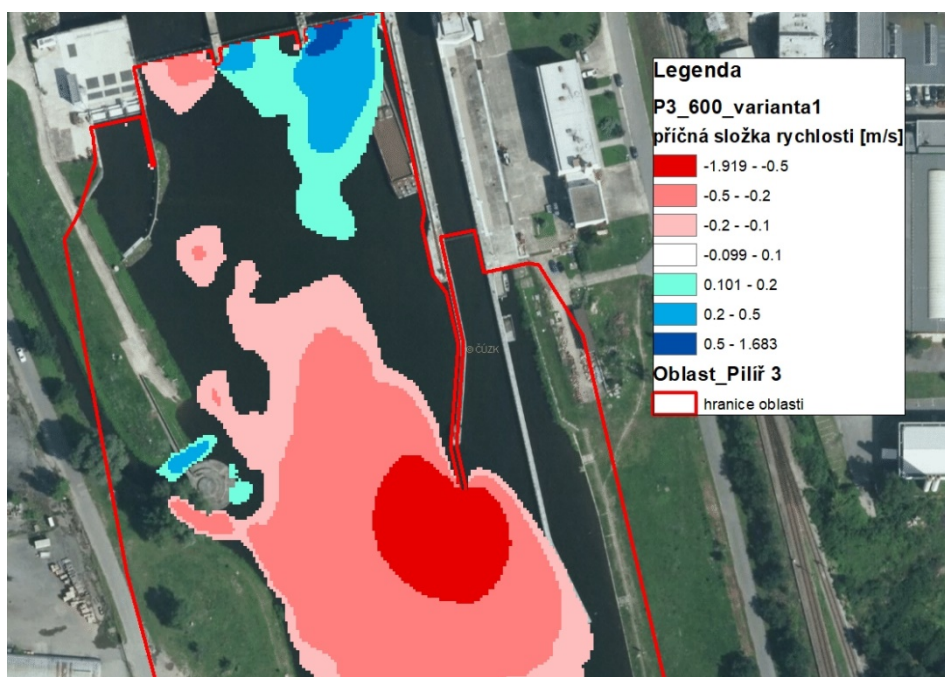
Obrázek 79: Pilíř 2 - Příčné složky rychlosti pro průtok $Q = 600 \text{ m}^3/\text{s}$, varianta 4

9.3 Pilíř 3

Třetí navržená plná dělicí zeď geometrií vychází z Pilíře 1. Jedná se tedy o plnou zeď v místě stávajícího svodidla, která je prodloužena o 15 m rovný úsek. Šířka dělicí zdi je 2 m. Geometrie dělicí zdi je patrná z modelu proudění (Obrázek 80) i z vyhodnocení příčných složek rychlosti (Obrázek 81).



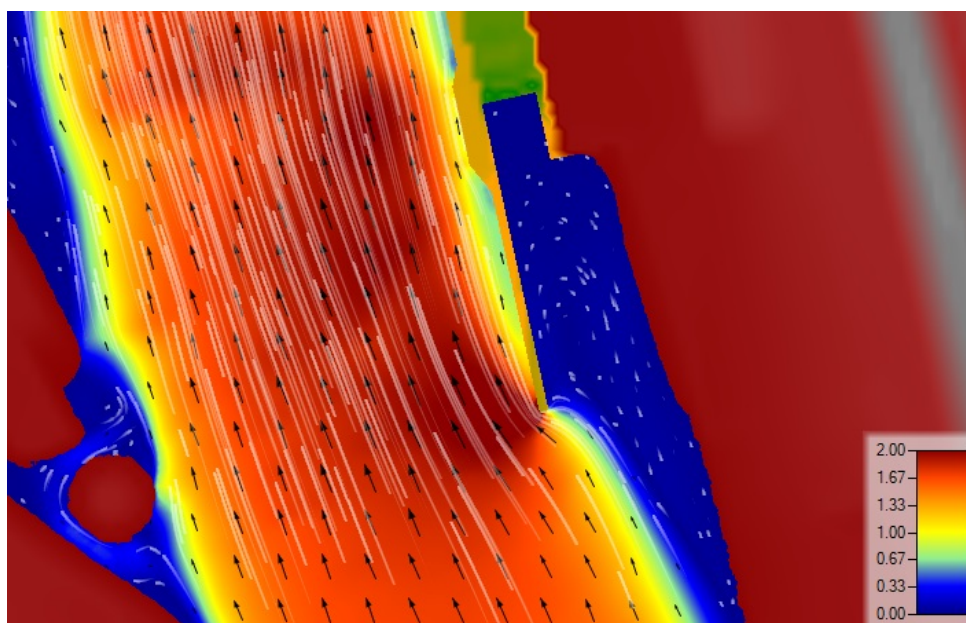
Obrázek 80: Pilíř 3 - Model proudění vody pro průtok $Q = 600 \text{ m}^3/\text{s}$, varianta 1



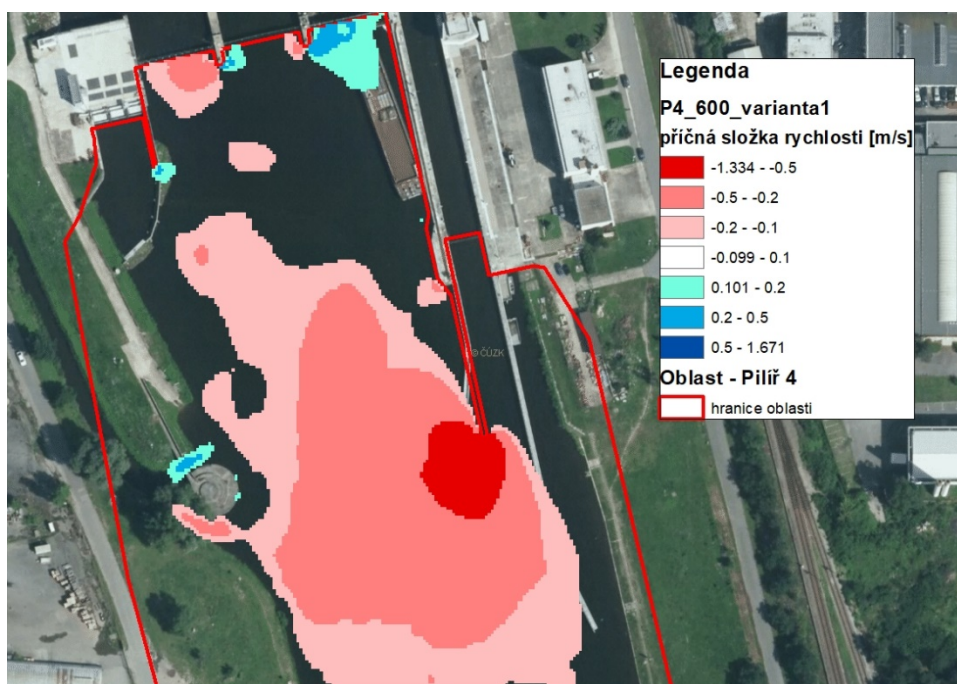
Obrázek 81: Pilíř 3 - Příčné složky rychlosti pro průtok $Q = 600 \text{ m}^3/\text{s}$, varianta 1

9.4 Pilíř 4

Jedná se o prodloužení pilíře mezi plavební komorou a jezem o 50 m dlouhou rovnou dělicí zedí. Šířka dělicí zdi je 2 m. Geometrie je znázorněna na modelu proudění (Obrázek 82) i na vyhodnocení příčných složek rychlosti, které je vyhodnoceno pro průtok $Q = 600 \text{ m}^3/\text{s}$ a manipulační variantu 1 (Obrázek 83).



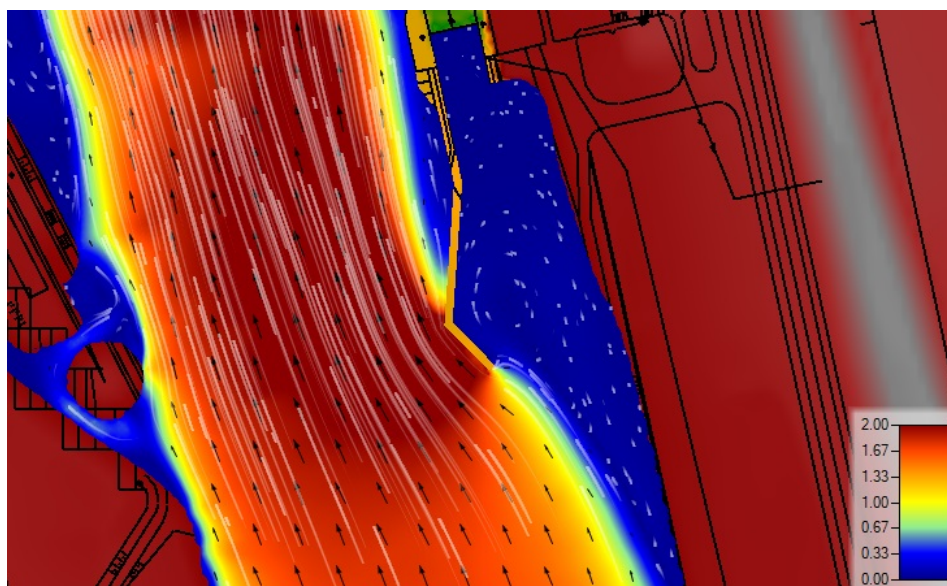
Obrázek 82: Pilíř 4 - Model proudění vody pro průtok $Q = 600 \text{ m}^3/\text{s}$, varianta 1



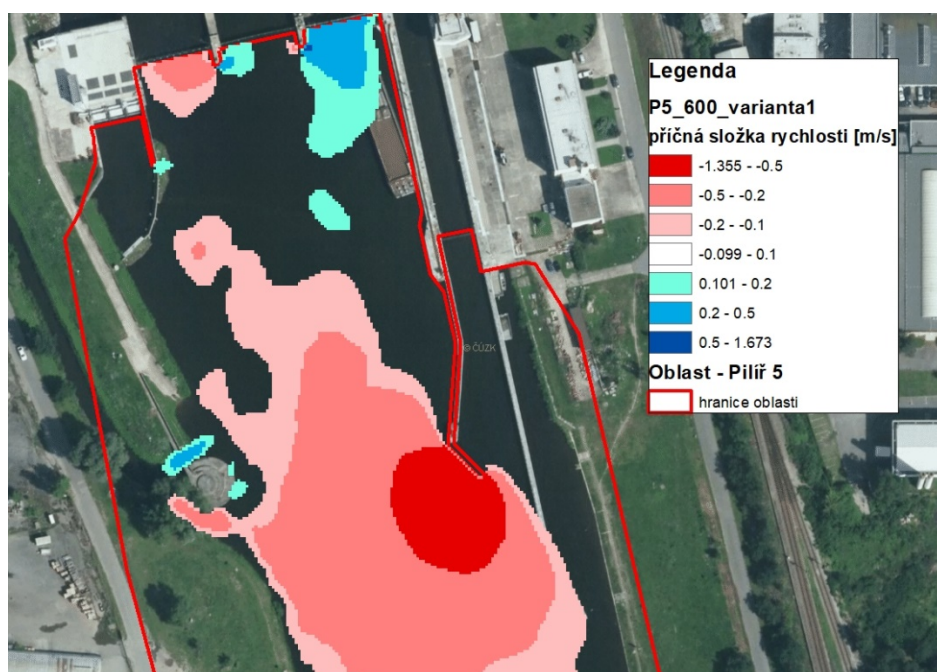
Obrázek 83: Pilíř 4 - Příčné složky rychlosti pro průtok $Q = 600 \text{ m}^3/\text{s}$, varianta 1

9.5 Pilíř 5

Pátá navržená varianta plné dělící zdi geometrií opět vychází z Pilíře 1. Jedná se tedy o plnou zeď v místě stávajícího svodidla. Na tuto zeď navazuje 15 m dlouhý úsek směřující zpět do plavební dráhy. Šířka dělící zdi je 2 m. Geometrie je znázorněna na modelu proudění (Obrázek 84) i na vyhodnocení příčných složek rychlosti, které je vyhodnoceno pro průtok $Q = 600 \text{ m}^3/\text{s}$ a manipulační variantu 1 (Obrázek 85).



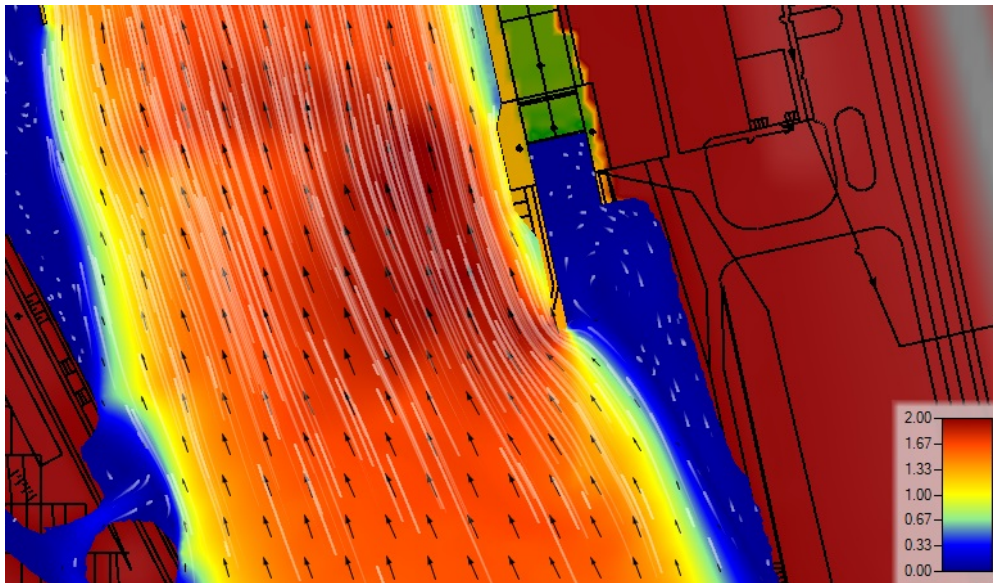
Obrázek 84: Pilíř 5 - Model proudění vody pro průtok $Q = 600 \text{ m}^3/\text{s}$, varianta 1



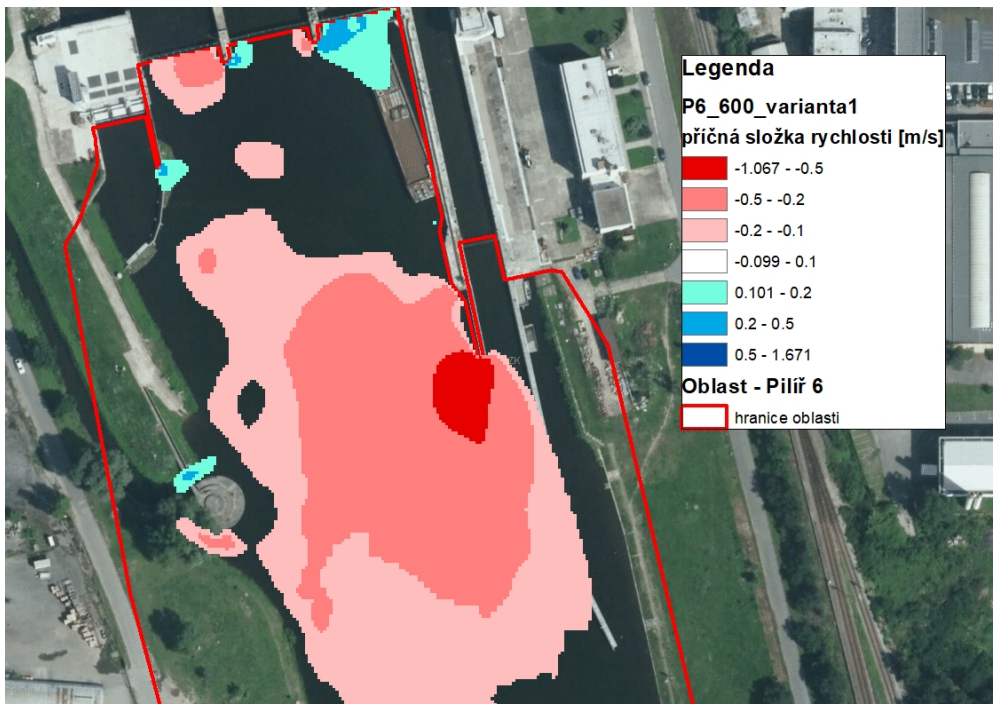
Obrázek 85: Pilíř 5 - Příčné složky rychlosti pro průtok $Q = 600 \text{ m}^3/\text{s}$, varianta 1

9.6 Pilíř 6

Jedná se o prodloužení pilíře mezi plavební komorou a jezem o 19 m dlouhou rovnou dělicí zedí. Šířka dělicí zdi je 2 m. Geometrie je znázorněna na modelu proudění (Obrázek 86) i na vyhodnocení příčných složek rychlosti, které je vyhodnoceno pro průtok $Q = 600 \text{ m}^3/\text{s}$ a manipulační variantu 1 (Obrázek 87).



Obrázek 86: Pilíř 6 - Model proudění vody pro průtok $Q = 600 \text{ m}^3/\text{s}$, varianta 1



Obrázek 87: Pilíř 6 - Příčné složky rychlosti pro průtok $Q = 600 \text{ m}^3/\text{s}$, varianta 1

9.7 Zhodnocení plných dělicích zdí

Bylo navrženo šest variant plných dělicích zdí. Návrhy vycházejí ze stávajících podmínek, především stávajících svodidel. Dále byla testována svodidla navržená v projektové dokumentaci a různě dlouhé rovné a zalomené dělicí zdi.

Žádná z variant nesplňuje podmínku, aby hodnoty příčné složky rychlosti v okolí ohlaví dělicí zdi byly menší než 0,2 m/s. Nejmenší hodnoty příčných složek rychlosti v okolí zhlaví dělicí zdi vycházejí u variant Pilíř 4 a Pilíř 6, kdy se jedná o rovné plné různě dlouhé dělicí zdi.

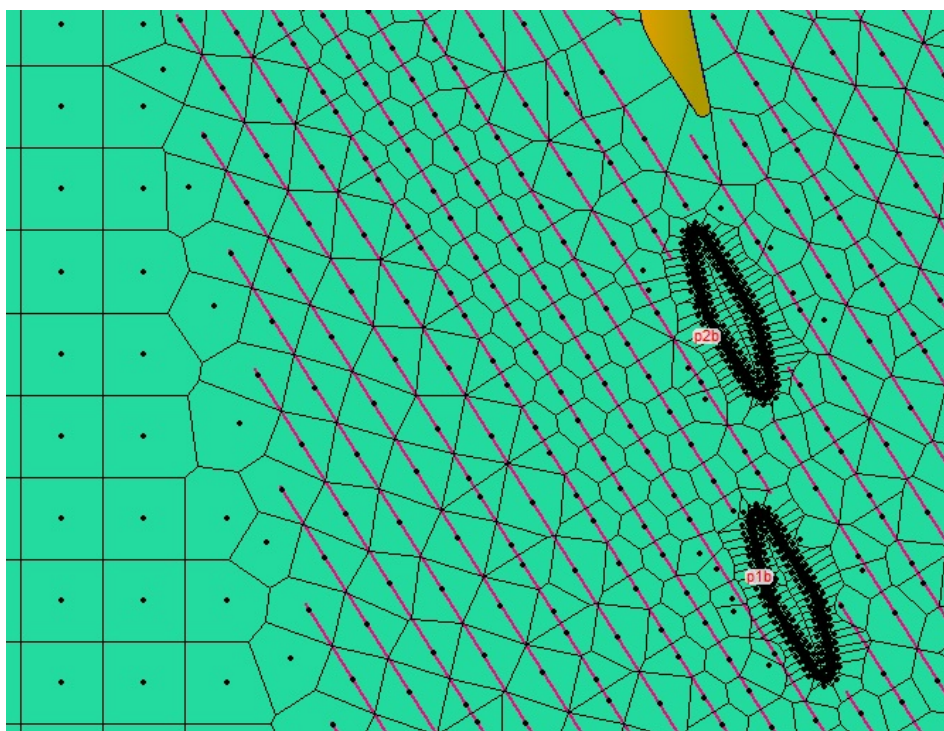
Naopak u zbylých variant, které vycházejí ze stávajících svodidel nebo navržených svodidel dle projektové dokumentace, jsou hodnoty příčných složek rychlosti větší. Důvodem je zásah dělicí zdi směrem do středu koryta řeky a tedy do míst, kde jsou vyšší rychlosti. Přitékající voda musí více měnit svoji trajektorii a obtékat navrženou dělicí zeď.

10 DĚLÍCÍ ZDI S PRŮTOČNÝMI OKNY

Další opatření ke snížení hodnot příčných složek rychlosti v okolí ohlaví dělící zdi, aby bylo možné zvýšit plavební průtok přes VD Modřany na $600 \text{ m}^3/\text{s}$, je navržení dělící zdi s průtočnými okny.

První varianta dělící zdi s průtočnými okny vychází z řešení nových plavebních komor na Českém Vrbném a Hluboké nad Vltavou. Dále byla testována varianta dělící zdi ve tvaru stávajících svodidel (Pilíř 1) se třemi průtočnými okny v šikmé části. Další varianty dělících zdí s průtočnými okny vychází prodloužení nebo zkrácení již navržených řešení a úpravy počtu průtočných oken.

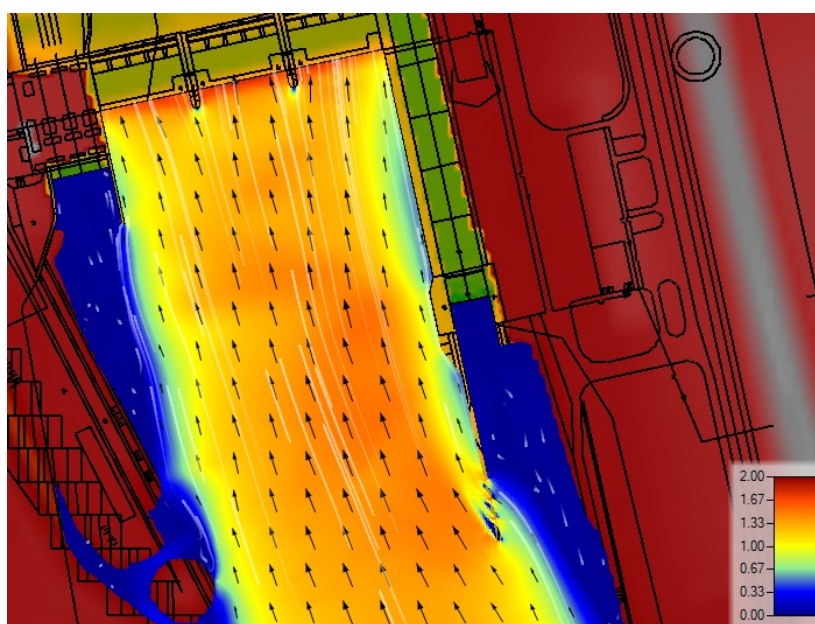
Technické zpracování variant dělící zdi s průtočnými okny v programu HEC-RAS je náročnější než u plné dělící zdi. Samostatné pilířky, které ohraničují průtočná okna, jsou navrženy jako příliš vysoké jezové těleso tak, aby nikdy nedošlo k jeho přelití. Pro výpočet byla v okolí pilířků a průtočných oken zhuštěna výpočetní síť (Obrázek 88).



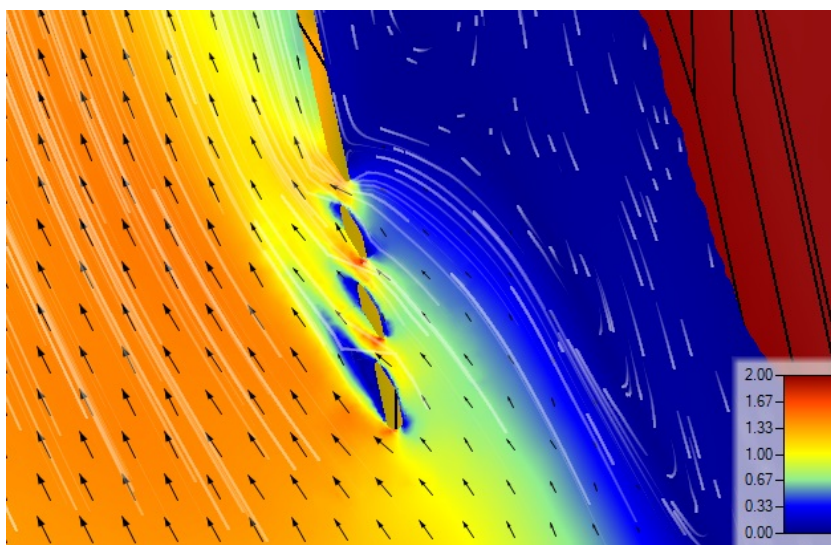
Obrázek 88: Ukázka zhuštěné výpočetní sítě v okolí průtočných oken a pilířků

10.1 Dělicí zeď s průtočnými okny 01

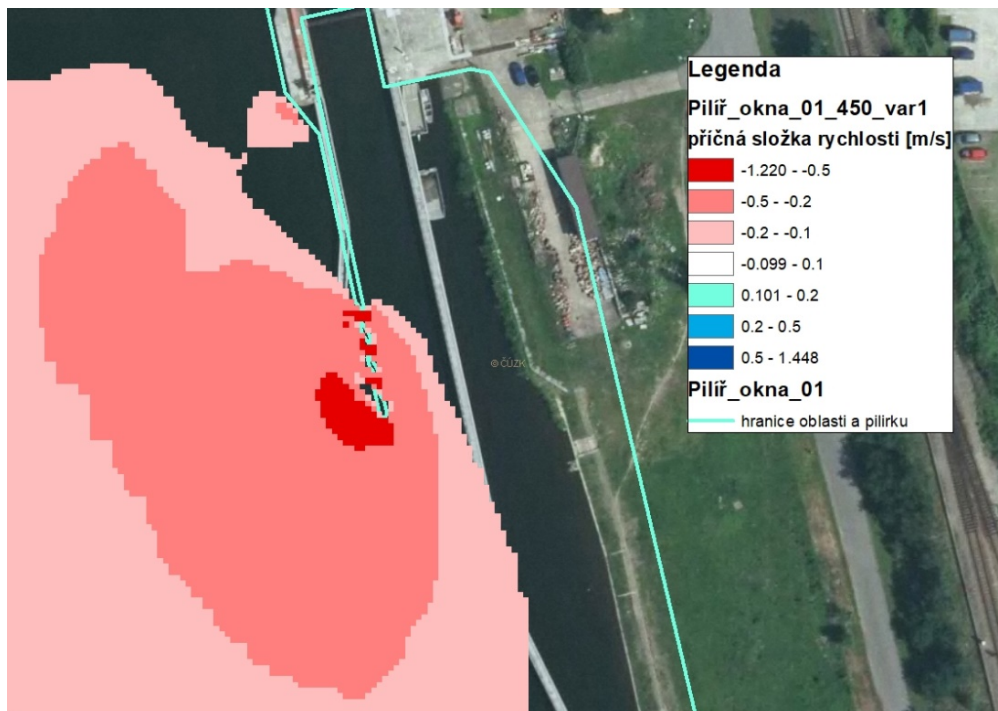
První varianta dělicí zdi s průtočnými okny byla navržena na základě stávajících plavebních komor na Českém Vrbném a Hluboké nad Vltavou. Jedná se o 51 m dlouhou rovnou dělicí zeď, která má v prvních 20 m navržena tři průtočná okna. Geometrie celé oblasti je zobrazena na modelu proudění (Obrázek 89) i na vyhodnocení příčné složky rychlosti pro stávající maximální plavební průtok $450 \text{ m}^3/\text{s}$ (Obrázek 91) a pro výhledový maximální plavební průtok $600 \text{ m}^3/\text{s}$ (Obrázek 92). Dále je uveden detail proudění vody v okolí průtočných oken (Obrázek 90).



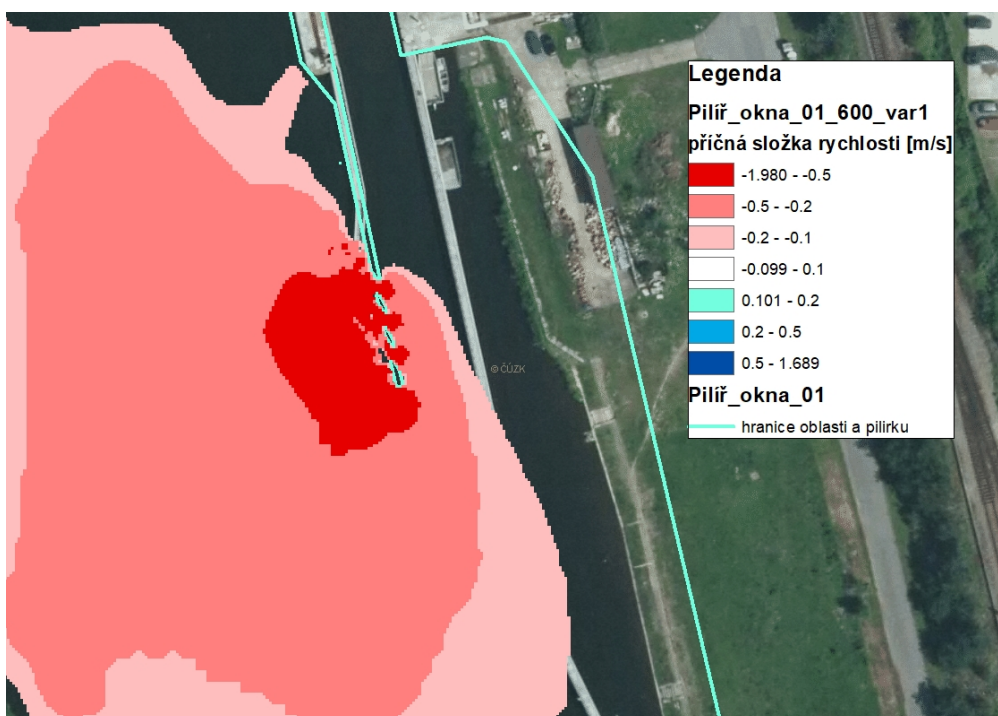
Obrázek 89: Pilíř okna 01 - Model proudění vody pro průtok $Q = 450 \text{ m}^3/\text{s}$, varianta 1



Obrázek 90: Pilíř okna 01 – Detail proudění vody skrz průtočná okna



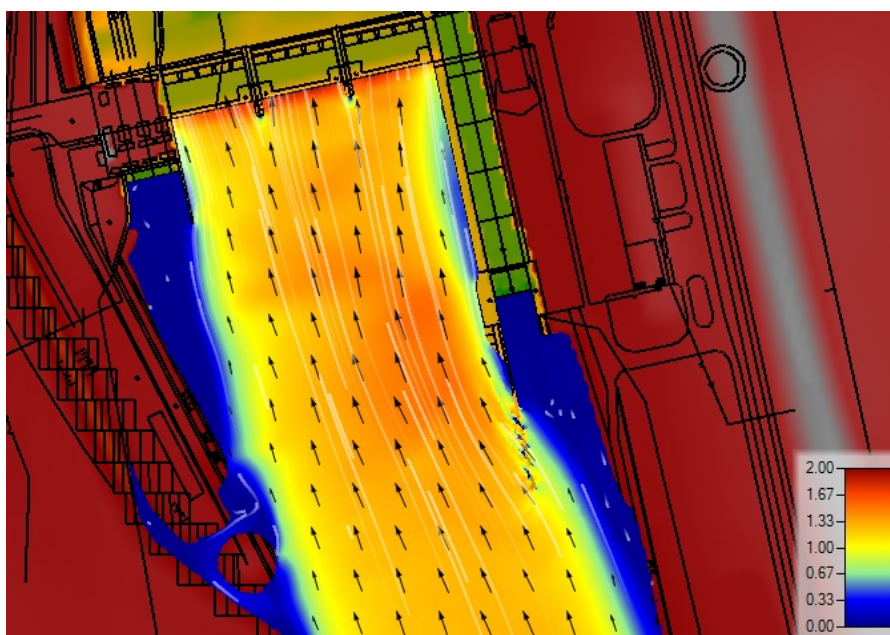
Obrázek 91: Piliř okna 01 - Příčné složky rychlosti pro průtok $Q = 450 \text{ m}^3/\text{s}$, varianta 1



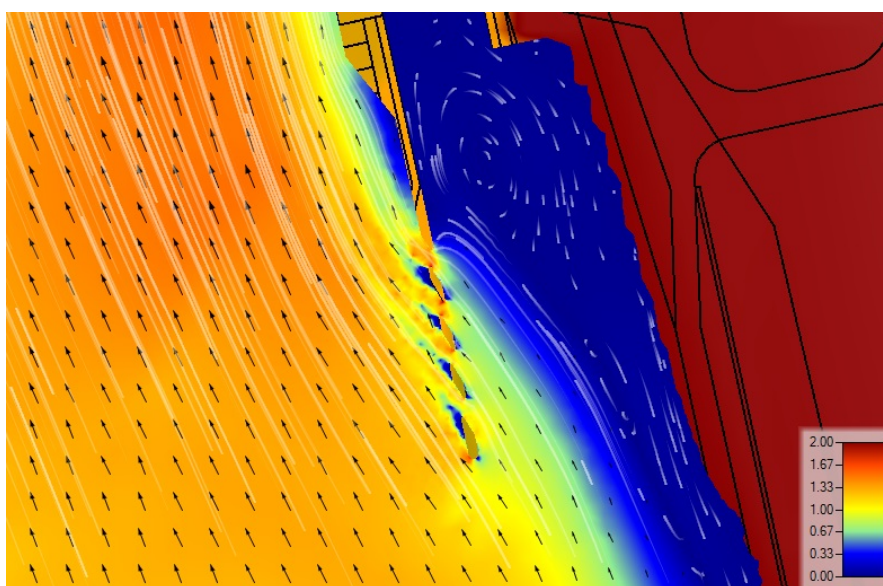
Obrázek 92: Piliř okna 01 - Příčné složky rychlosti pro průtok $Q = 600 \text{ m}^3/\text{s}$, varianta 1

10.2 Dělicí zeď s průtočnými okny 02

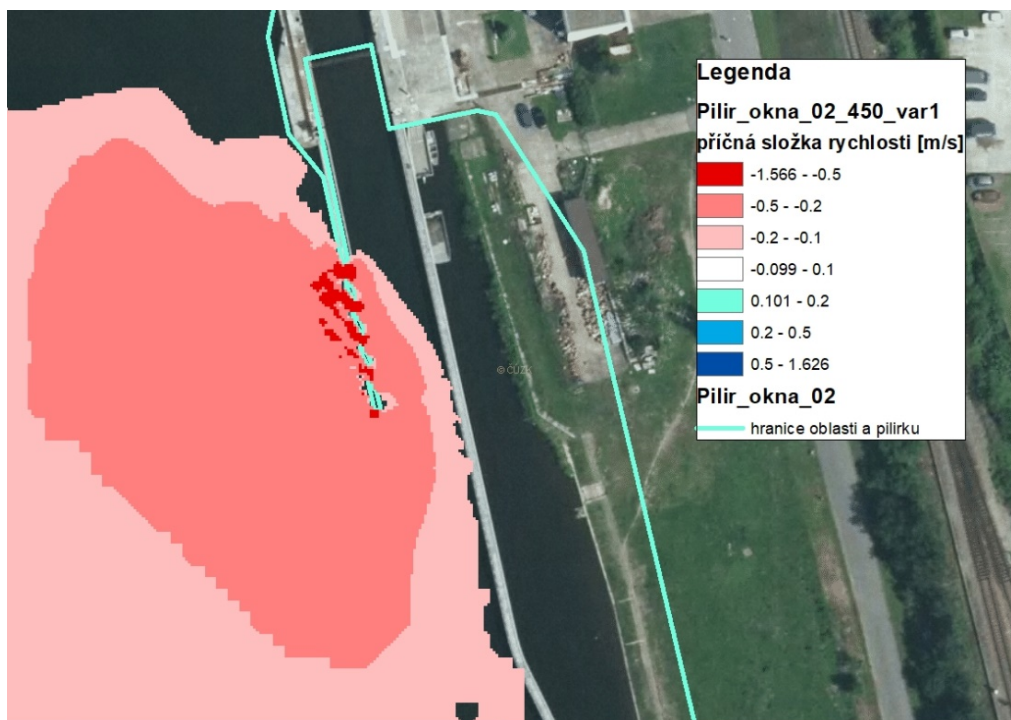
Druhá varianta dělicí zdi s průtočnými okny vychází z varianty první. Jedná se o 42 m dlouhou rovnou dělicí zeď, která má v prvních 25 m navržena čtyři průtočná okna. Geometrie celé oblasti je zobrazena na modelu proudění (Obrázek 93) i na vyhodnocení příčné složky rychlosti pro stávající maximální plavební průtok $450 \text{ m}^3/\text{s}$ (Obrázek 95) a pro výhledový maximální plavební průtok $600 \text{ m}^3/\text{s}$ (Obrázek 96). Dále je uveden detail proudění vody v okolí průtočných oken (Obrázek 94).



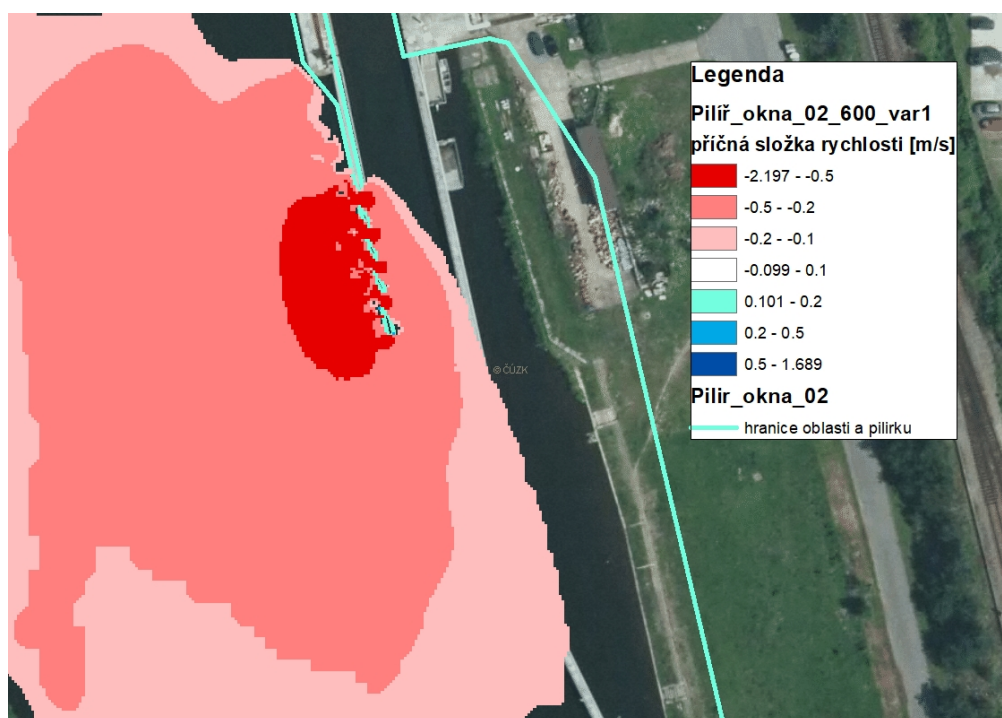
Obrázek 93: Pilíř okna 02 - Model proudění vody pro průtok $Q = 450 \text{ m}^3/\text{s}$, varianta 1



Obrázek 94: Pilíř okna 02 - Detail proudění vody skrz průtočná okna



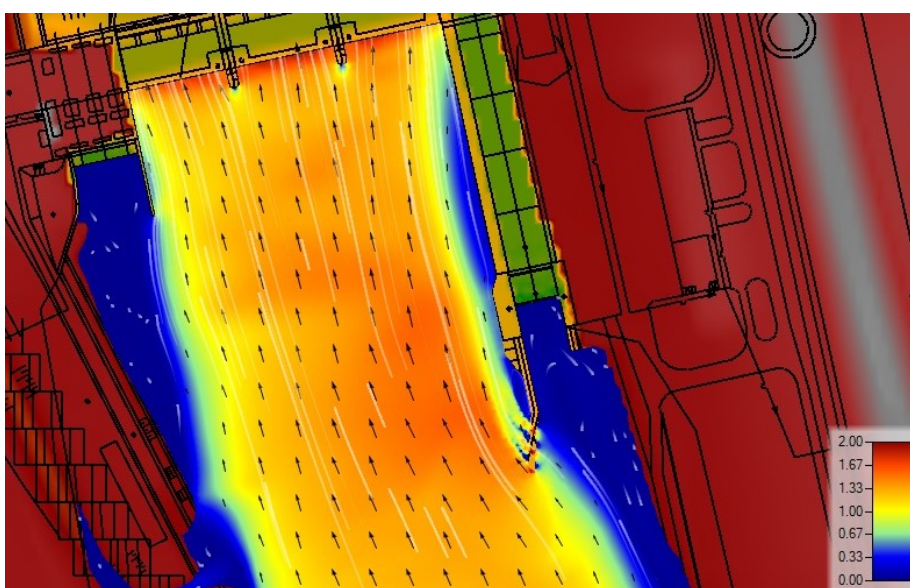
Obrázek 95: Pilíř okna 02 - Přičné složky rychlosti pro průtok $Q = 450 \text{ m}^3/\text{s}$, varianta 1



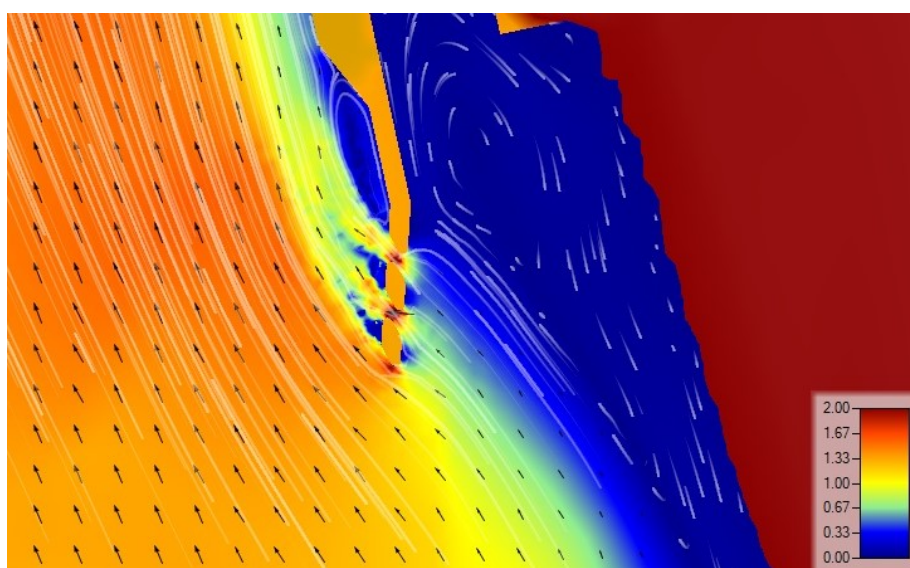
Obrázek 96: Pilíř okna 02 - Přičné složky rychlosti pro průtok $Q = 600 \text{ m}^3/\text{s}$, varianta 1

10.3 Dělicí zeď s průtočnými okny 03

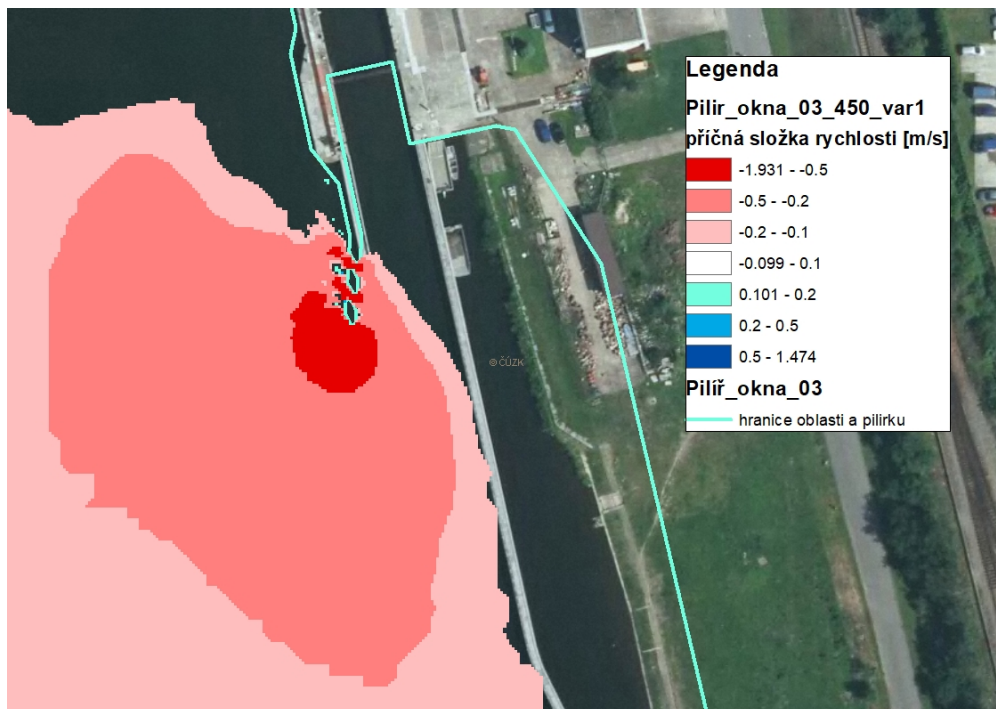
Ve třetí variantě je navržena zalomená dělicí zeď. Na pilíř mezi plavební komorou a jezem navazuje 10 m rovná dlouhá plná zeď a poté pokračuje šikmý 15 m dlouhý úsek, který směřuje do středu koryta. V šikmém úseku jsou navržena dvě průtočná okna. Geometrie celé oblasti je zobrazena na modelu proudění (Obrázek 97) i na vyhodnocení příčné složky rychlosti pro stávající maximální plavební průtok $450 \text{ m}^3/\text{s}$ (Obrázek 99) a pro výhledový maximální plavební průtok $600 \text{ m}^3/\text{s}$ (Obrázek 100). Dále je uveden detail proudění vody v okolí průtočných oken (Obrázek 98).



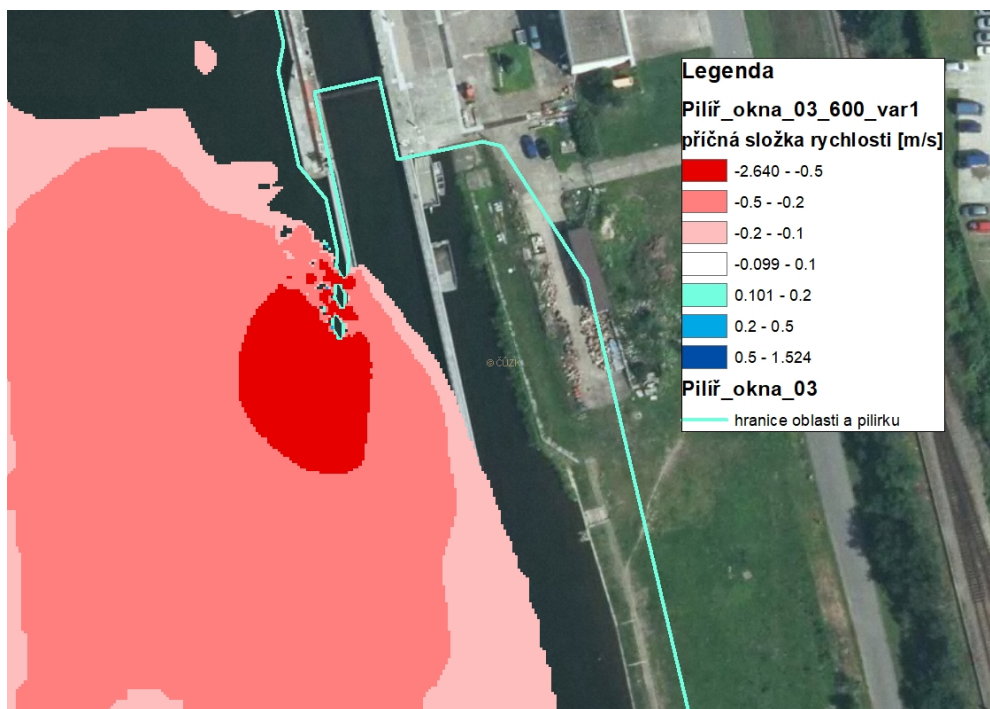
Obrázek 97: Pilíř okna 03 - Model proudění vody pro průtok $Q = 450 \text{ m}^3/\text{s}$, varianta 1



Obrázek 98: Pilíř okna 03 - Detail proudění vody skrz průtočná okna



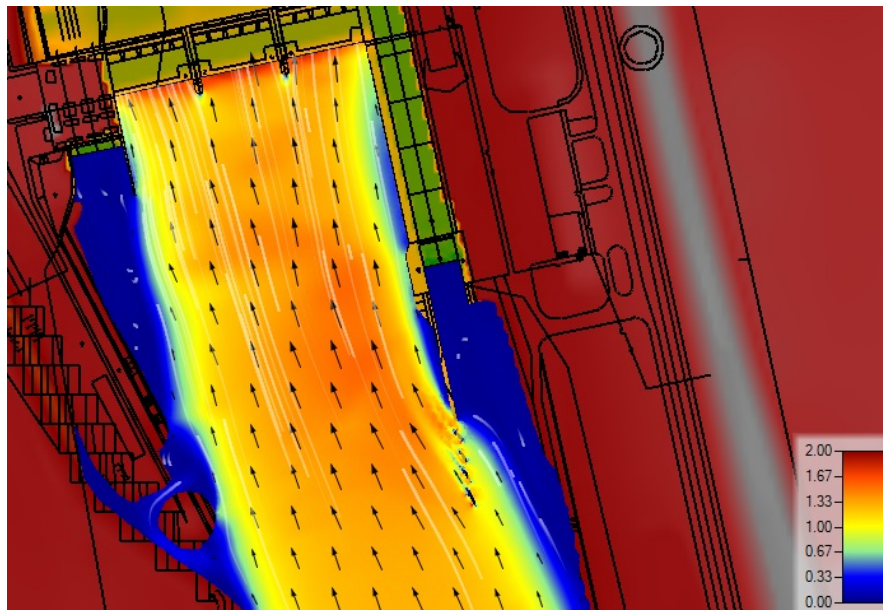
Obrázek 99: Pilíř okna 03 - Přičné složky rychlosti pro průtok $Q = 450 \text{ m}^3/\text{s}$, varianta 1



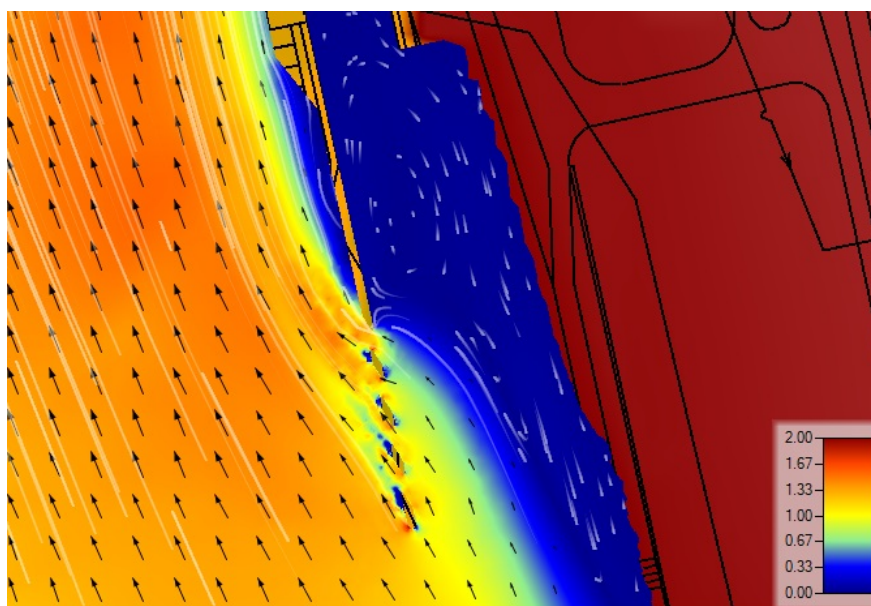
Obrázek 100: Pilíř okna 03 - Přičné složky rychlosti pro průtok $Q = 600 \text{ m}^3/\text{s}$, varianta 1

10.4 Dělicí zeď s průtočnými okny 04

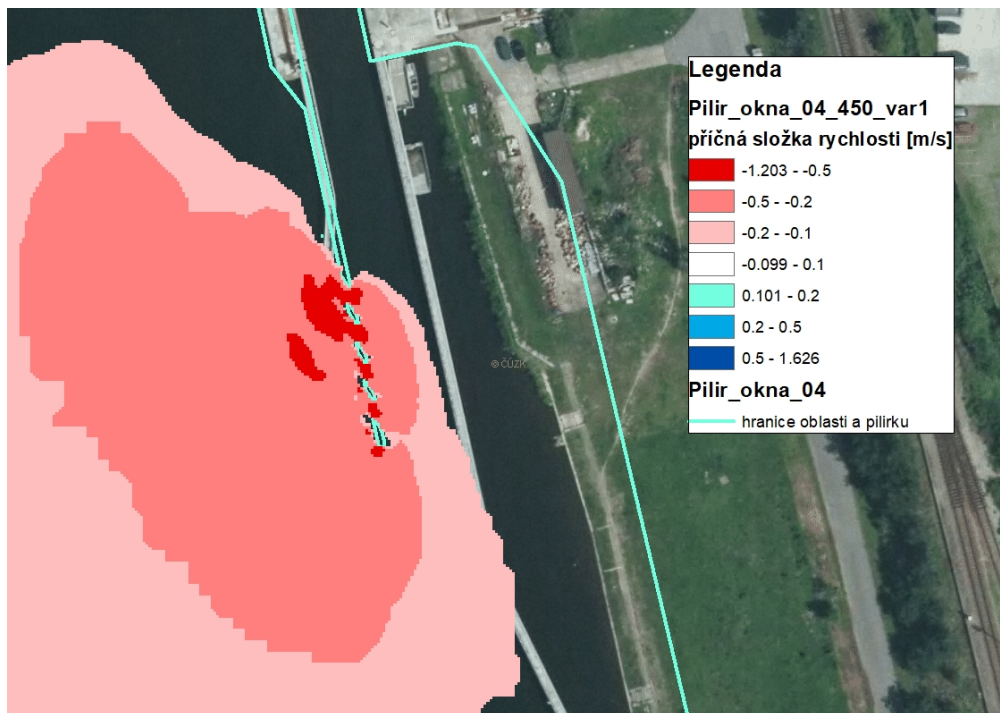
Čtvrtá navržená varianta dělicí zdi s průtočnými okny opět vychází varianty první. Jedná se o 61 m dlouhou rovnou dělicí zeď, která má v prvních 30 m navržena čtyři průtočná okna. Geometrie celé oblasti je zobrazena na modelu proudění (Obrázek 101) i na vyhodnocení příčné složky rychlosti pro stávající maximální plavební průtok $450 \text{ m}^3/\text{s}$ (Obrázek 103) a pro výhledový maximální plavební průtok $600 \text{ m}^3/\text{s}$ (Obrázek 104). Dále je uveden detail proudění vody v okolí průtočných oken (Obrázek 102).



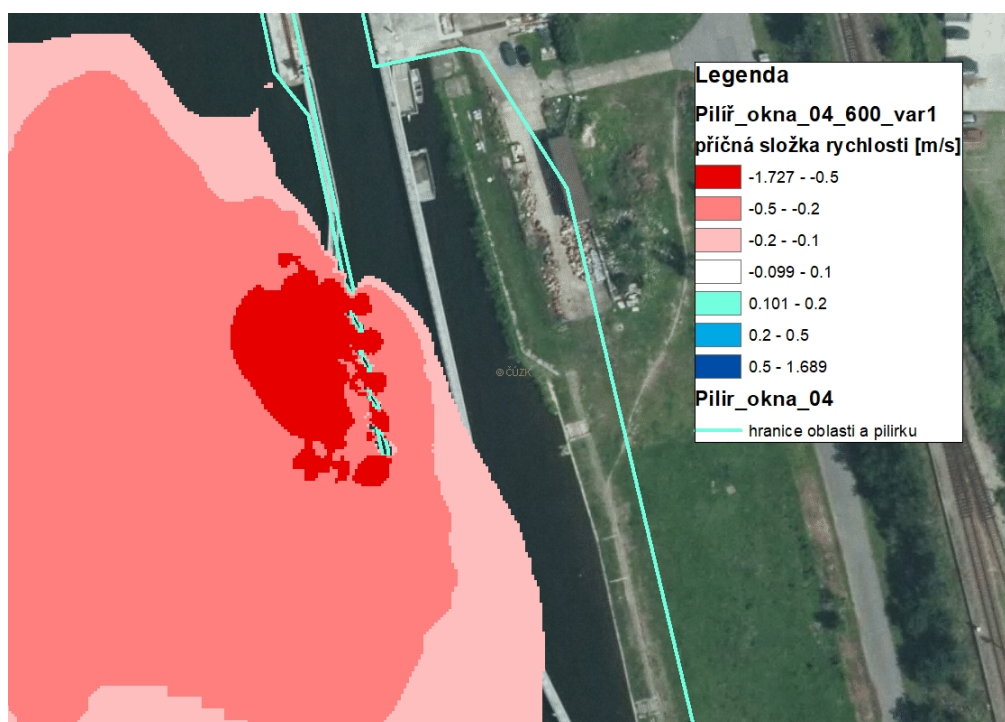
Obrázek 101: Pilíř okna 04 - Model proudění vody pro průtok $Q = 450 \text{ m}^3/\text{s}$, varianta 1



Obrázek 102: Pilíř okna 04 - Detail proudění vody skrz průtočná okna



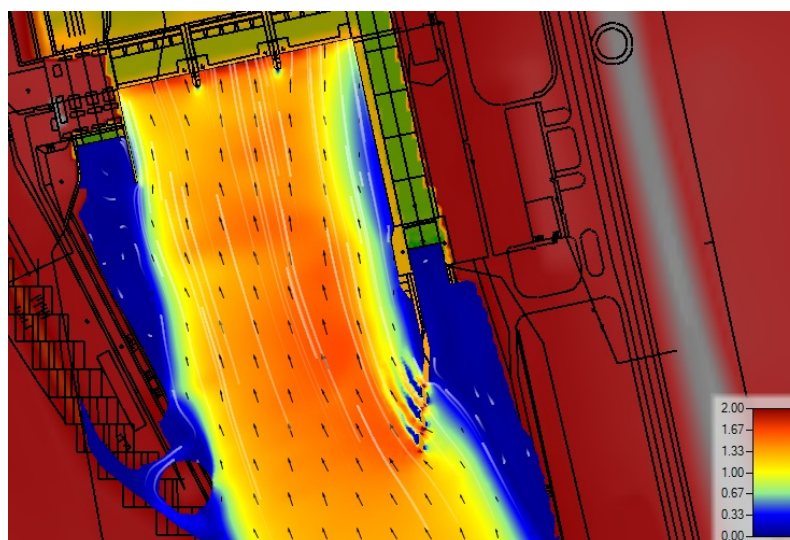
Obrázek 103: Pilíř okna 04 - Přičné složky rychlosti pro průtok $Q = 450 \text{ m}^3/\text{s}$, varianta 1



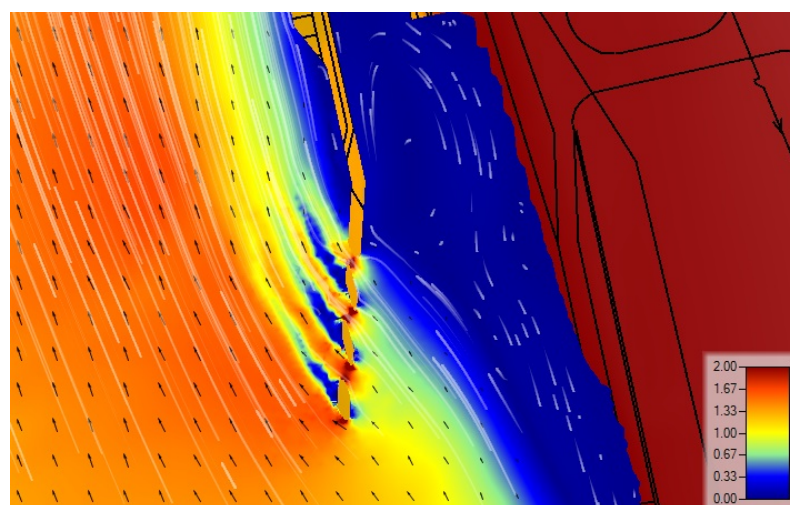
Obrázek 104: Pilíř okna 04 - Přičné složky rychlosti pro průtok $Q = 600 \text{ m}^3/\text{s}$, varianta 1

10.5 Dělicí zeď s průtočnými okny 05

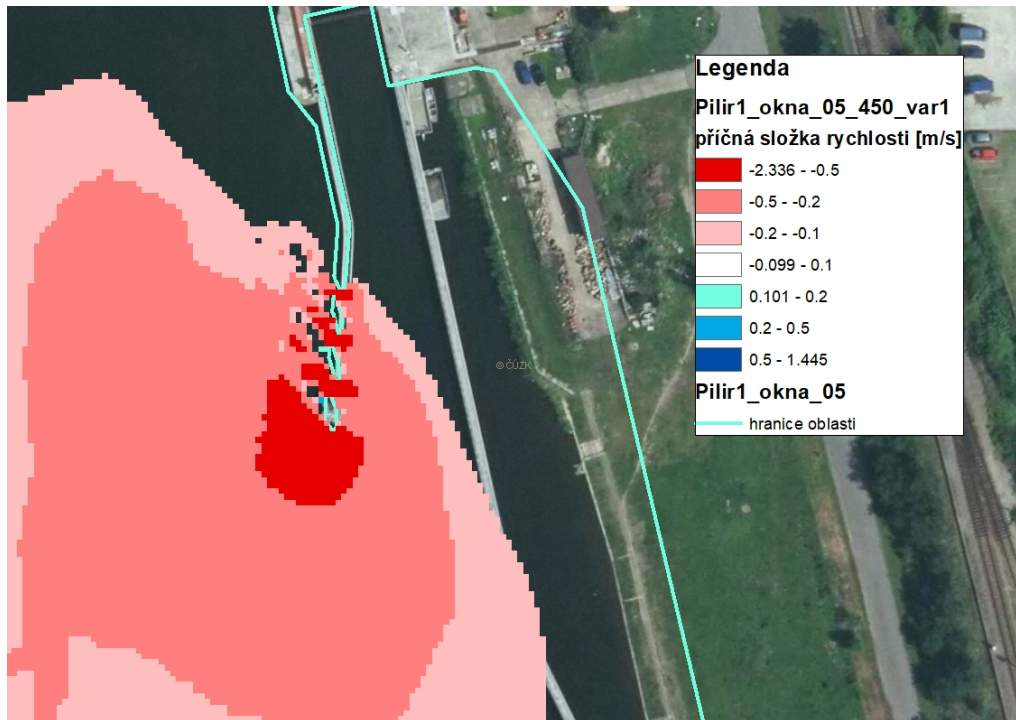
V páté variantě je navržena opět zalomená dělicí zeď, která se nachází v místě stávajících svodidel. Jedná se tedy o stejnou geometrii jako Pilíř 1 doplněnou o tři průtočná okna. Na pilíř mezi plavební komorou a jezem navazuje 18 m rovná dlouhá plná zeď a poté pokračuje šikmý 35 m dlouhý úsek, který směřuje do středu koryta. V šikmém úseku jsou navržena tři průtočná okna. Geometrie celé oblasti je zobrazena na modelu proudění (Obrázek 105) i na vyhodnocení příčné složky rychlosti pro stávající maximální plavební průtok $450 \text{ m}^3/\text{s}$ (Obrázek 107) a pro výhledový maximální plavební průtok $600 \text{ m}^3/\text{s}$ (Obrázek 108). Dále je uveden detail proudění vody v okolí průtočných oken (Obrázek 106).



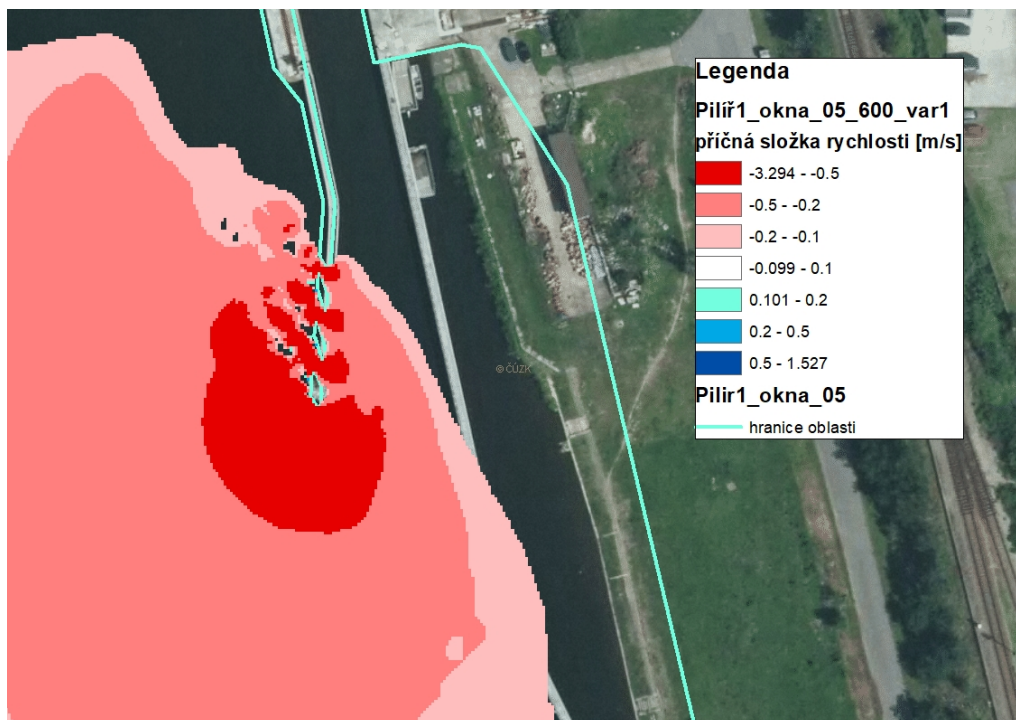
Obrázek 105: Pilíř okna 05 - Model proudění vody pro průtok $Q = 450 \text{ m}^3/\text{s}$, varianta 1



Obrázek 106: Pilíř okna 05 - Detail proudění vody skrz průtočná okna



Obrázek 107: Pilíř okna 05 - Příčné složky rychlosti pro průtok $Q = 450 \text{ m}^3/\text{s}$, varianta 1



Obrázek 108: Pilíř okna 05 - Příčné složky rychlosti pro průtok $Q = 600 \text{ m}^3/\text{s}$, varianta 1

10.6 Zhodnocení dělicích zdí s průtočnými okny

Bylo navrženo pět typů dělicích zdí s průtočnými okny. U třech variant dělicích zdí s průtočnými okny se jedná o rovné prodloužení stávajícího pilíře mezi plavební komorou a jezem. Tyto varianty se liší délkou rovné dělicí stěny a také počtem průtočných oken. Další dvě varianty mají dělicí zeď zalomenou, kde šikmá část zdi směřuje směrem do středu koryta vodního toku. I tyto dvě varianty se liší délkou rovné i šikmé části zdi a také počtem průtočných oken.

Vyhodnocení ukazuje, že žádná z navržených dělicích zdí s průtočnými okny nedokáže snížit hodnotu příčné složky rychlosti v okolí ohlaví dělicí zdi na 0,2 m/s ani při současném maximálním plavebním průtoku 450 m³/s.

Vyhodnocení dále ukazuje, že nižší hodnoty příčné složky rychlosti se vyskytují u variant s rovnou dělicí zdí, tedy variant 1, 2 a 4. Naopak u variant se zalomenou dělicí zdí nabývají hodnoty příčné složky rychlosti v okolí zhlaví dělicí zdi vyšších hodnot. Pozitivní vliv má i umístění čtyř průtočných oken u variant 2 a 4, místo pouze tří průtočných oken u varianty 1. Maximální hodnoty, kterých nabývají příčné složky rychlosti v okolí zhlaví dělicí zdi, jsou uvedeny v Tabulce 4.

Dělicí zeď s průtočnými okny	Maximální hodnota příčné složky rychlosti v okolí zhlaví dělicí zdi při průtoku 450 m ³ /s [m/s]	Maximální hodnota příčné složky rychlosti v okolí zhlaví dělicí zdi při průtoku 600 m ³ /s [m/s]
1	0,41	0,57
2	0,28	0,33
3	0,86	0,93
4	0,32	0,41
5	0,72	0,95

Tabulka 4: Maximální hodnoty příčné složky rychlosti při stávajícím i výhledovém maximálním průtoku

11 ZÁVĚR

Plavba je přes vodní dílo Modřany zastavována již při průtoku $450 \text{ m}^3/\text{s}$. Důvodem jsou příliš vysoké hodnoty příčné složky rychlosti v okolí zhlaví dělicí zdi. Aby bylo možné zvýšit průtok na $600 \text{ m}^3/\text{s}$, je třeba vhodně umístit plnou dělicí zeď nebo dělicí zeď s průtočnými okny. Nejprve byl posouzen současný stav a poté byly testovány různé varianty dělicích zdí. Proudění bylo simulováno v programu HEC-RAS 2D.

Při posouzení současného stavu byl model rozdělen na dvě oblasti: horní a dolní vodu. Bylo zjištěno, že v oblasti pod vodním dílem jsou hodnoty příčné složky rychlosti v rozmezí 0 až $0,1 \text{ m/s}$ i při výhledovém maximálním plavebním průtoku $600 \text{ m}^3/\text{s}$, a tedy nejsou nutné žádné úpravy dělicí zdi v podjezí. Dále bylo ale zjištěno, že v nadjezí jsou hodnoty příčné složky v okolí zhlaví dělicího pilíře vyšší než $0,2 \text{ m/s}$ i při současném maximálním plavebním průtoku $450 \text{ m}^3/\text{s}$. Příčné složky rychlosti zde nabývají hodnot $0,5$ až $0,6 \text{ m/s}$. Aby byla možná plavba aspoň do tohoto průtoku, jsou na dělicí pilíř mezi jezem a plavební komorou napojena průtočná svodidla, jejichž konec zasahuje do míst, kde jsou hodnoty příčné složky nižší než $0,2 \text{ m/s}$. V oblasti horní vody je tedy nutné navrhnout určitá opatření.

Nejprve bylo navrženo šest variant plné dělicí zdi. První varianta má navrženou plnou dělicí zeď v místech stávajících svodidel. Druhá varianta má zeď umístěnou podle navržených svodidel v projektové dokumentaci. Ostatní varianty mají buď různě dlouhou rovnou zeď, nebo upravenou zeď, která geometrií vychází v první varianty. Po vyhodnocení bylo zjištěno, že žádná z těchto navržených plných dělicích zdí nedokáže snížit hodnoty příčné složky rychlosti pod $0,2 \text{ m/s}$. Nejmenší hodnoty příčných složek rychlosti v okolí zhlaví dělicí zdi vycházejí u variant s různě dlouhou rovnou dělicí zdi. Naopak u zbylých variant, kde zeď vybíhá směrem do středu koryta řeky, jsou hodnoty příčné složky rychlosti vyšší. Proudící voda musí více měnit svoji trajektorii a obtékat navrženou dělicí zeď. Rozpětí hodnot, kterých nabývají příčné složky rychlosti v okolí zhlaví dělicí zdi při výhledovém maximálním průtoku $600 \text{ m}^3/\text{s}$ a manipulační variantě 1, je uvedeno v Tabulce 5.

Plná dělicí zeď	Hodnoty příčné složky rychlosti v okolí zhlaví dělicí zdi při průtoku 600 m ³ /s [m/s]
1	0,9 - 1,1
2	0,9 - 1,4
3	1,0 - 1,4
4	0,6 - 0,8
5	0,6 - 0,9
6	0,6 - 0,8

Tabulka 5: Hodnoty příčných složek rychlosti u variant s plnou dělicí zdi při průtoku 600 m³/s a variantě 1

Dále bylo navrženo pět variant dělicích zdí s průtočnými okny. Tři varianty mají různě dlouhou rovnou dělicí zeď se třemi nebo čtyřmi průtočnými okny. Další dvě varianty mají dělicí zeď zalomenou tak, že šikmá část směřuje do středu koryta toku a v této šikmé části jsou navržena průtočná okna. Po vyhodnocení bylo zjištěno, že ani po aplikaci průtočných oken, nedošlo ke snížení hodnot příčné složky rychlosti pod 0,2 m/s. Hodnoty příčné složky rychlosti jsou opět nižší u variant s rovnou dělicí zdi než u variant se zalomenou dělicí zdi, která směřuje do středu koryta. Nejnížší hodnoty příčné složky rychlosti v okolí zhlaví dělicí zdi jsou u varianty: Dělicí zeď s průtočnými okny 2. Rozpětí hodnot, kterých nabývají příčné složky rychlosti v okolí zhlaví dělicí zdi u variant s průtočnými okny při stávajícím maximálním plavebním průtoku 450 m³/s a při výhledovém maximálním plavebním průtok 600 m³/s (oboje manipulační varianta 1), je uvedeno v Tabulce 6.

Dělicí zeď s průtočnými okny	Hodnoty příčné složky rychlosti v okolí zhlaví dělicí zdi [m/s]	Hodnoty příčné složky rychlosti v okolí zhlaví dělicí zdi při průtoku 600 m ³ /s [m/s]
1	0,36 - 0,41	0,40 - 0,57
2	0,19 - 0,28	0,25 - 0,33
3	0,55 - 0,86	0,63 - 0,93
4	0,18 - 0,32	0,26 - 0,41
5	0,52 - 0,72	0,55 - 0,95

Tabulka 6: Hodnoty příčné složky rychlosti u dělicích zdí s průtočnými okny

Závěrem této diplomové práce je, že nebylo nalezeno žádné řešení, díky kterému by byly hodnoty příčné složky rychlosti v okolí zhlaví dělící zdi horní rejdy menší než 0,2 m/s dle požadavku vyhlášky č. 222/1995 Sb. Dispoziční uspořádání vodního díla a umístění plavební komory to neumožňuje pro žádnou z širokého spektra testovaných variant uspořádání dělící zdi v horní rejdě. S ohledem na plavební zkušenosti z jiných vodních děl se lze oprávněně domnívat, že limit příčné složky rychlosti o velikosti 0,2 m/s je příliš přísný a vždy také záleží na konkrétních nautických podmínkách dispozičního uspořádání vodního díla. Na labsko-vltavské vodní cestě existuje mnoho vodních děl, kde tento limit není dodržen a plavební podmínky jsou zde považovány přesto za bezpečné.

POUŽITÁ LITERATURA A PRAMENY

- [1] SUK, J. *Stavba zdymadla Modřany*. 1898.
- [2] CENTRÁLNÍ VODOHOSPODÁŘSKÝ DISPEČINK, Povodí Vltavy, státní podnik. *Manipulační řád pro vodní dílo Modřany na Vltavě*. 2014.
- [3] POVODÍ VLTAVY, státní podnik. *Vodní cesta* [online]. Dostupné z: <http://www.pvl.cz/vodohospodarske-informace/informace-k-plavbe>
- [4] LAVDIS – Labsko – Vltavský dopravně informační systém. *Vodní cesty v České republice: Vltavská vodní cesta* [online]. Dostupné z: <http://www.lavdis.cz/vodni-cesty/vodni-cesty-v-ceske-republice>
- [5] ČÁBELKA, Jaroslav. *Vodní cesty a plavba*. Druhé vydání. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1976.
- [6] ČÁBELKA, Jaroslav a Pavel GABRIEL. *Matematické a fyzikální modelování v hydrotechnice*. Praha: Academia, 1987.
- [7] BRUNNER, Gary W. *HEC-RAS, River Analysis System, 2D Modeling User's Manual: Version 5.0* [online]. US Army Corps of Engineers, Institut for Water Resources. February 2016. Dostupné z: <http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/documentation.aspx>
- [8] MATOUŠEK, Václav. *Neustálené proudění v otevřených korytech* [přednáška]. Praha: Fakulta stavební ČVUT [online]. Dostupné z: http://hydraulika.fsv.cvut.cz/Hydraulika/Users/Matousek/downloads/web_HY3V_06_Neustalene_proudeni_v_koryte.protected.pdf
- [9] JAHODA, M. *Počítačová dynamika tekutin – užitečný nástroj pro inženýry*. [online]. Dostupné z: http://uchi.vscht.cz/uploads/pedagogika/bezpecnostni_inzenyrstvi/CFD.shrnuti.pdf

SEZNAM PŘÍLOH

- Příloha 1 Plavební mapa, č. V44, mapový list Praha – Zdymadlo Modřany
- Příloha 2 Měrná křivka přepadu přes klapku, hladina horní vody 189,30 m n. m.
- Příloha 3 Měrná křivka přepadu přes klapku, hladina horní vody 189,40 m n. m.

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1: Mapa širších vztahů	6
Obrázek 2: Ortofotomapa VD Modřany	6
Obrázek 3: Pohled proti vodě na jez VD Modřany	8
Obrázek 4: Pohled na střední vrata plavební komory a velín VD Modřany	9
Obrázek 5: Pohled po vodě na malou vodní elektrárnu	10
Obrázek 6: Vyměřovací loď Valentýna II	18
Obrázek 7: Geometrie terénu	21
Obrázek 8: Oblast horní voda	22
Obrázek 9: Oblast dolní voda	22
Obrázek 10: Ukázka výpočetní sítě.....	23
Obrázek 11: Ukázka simulace rychlosti proudění v horní vodě.....	27
Obrázek 12: Ukázka vyhodnocení příčné složky rychlosti	28
Obrázek 13: Model proudění vody v oblasti dolní vody pro průtok $Q = 450 \text{ m}^3/\text{s}$, varianta 1.....	30
Obrázek 14: Příčné složky rychlosti v oblasti dolní vody pro průtok $Q = 450 \text{ m}^3/\text{s}$, varianta 1	30
Obrázek 15: Model proudění vody v oblasti dolní vody pro průtok $Q = 450 \text{ m}^3/\text{s}$, varianta 2.....	31
Obrázek 16: Příčné složky rychlosti v oblasti dolní vody pro průtok $Q = 450 \text{ m}^3/\text{s}$, varianta 2	31
Obrázek 17: Model proudění vody v oblasti dolní vody pro průtok $Q = 450 \text{ m}^3/\text{s}$, varianta 3.....	32
Obrázek 18: Příčné složky rychlosti v oblasti dolní vody pro průtok $Q = 450 \text{ m}^3/\text{s}$, varianta 3	32
Obrázek 19: Model proudění vody v oblasti dolní vody pro průtok $Q = 450 \text{ m}^3/\text{s}$, varianta 4	33
Obrázek 20: Příčné složky rychlosti v oblasti dolní vody pro průtok $Q = 450 \text{ m}^3/\text{s}$, varianta 4	33
Obrázek 21: Model proudění vody v oblasti dolní vody pro průtok $Q = 600 \text{ m}^3/\text{s}$, varianta 1	34
Obrázek 22: Příčné složky rychlosti v oblasti dolní vody pro průtok $Q = 600 \text{ m}^3/\text{s}$, varianta 1	34
Obrázek 23: Model proudění vody v oblasti dolní vody pro průtok $Q = 600 \text{ m}^3/\text{s}$, varianta 2.....	35
Obrázek 24: Příčné složky rychlosti v oblasti dolní vody pro průtok $Q = 600 \text{ m}^3/\text{s}$, varianta 2	35
Obrázek 25: Model proudění vody v oblasti dolní vody pro průtok $Q = 600 \text{ m}^3/\text{s}$, varianta 3.....	36
Obrázek 26: Příčné složky rychlosti v oblasti dolní vody pro průtok $Q = 600 \text{ m}^3/\text{s}$, varianta 3	36
Obrázek 27: Model proudění vody v oblasti dolní vody pro průtok $Q = 600 \text{ m}^3/\text{s}$, varianta 4.....	37
Obrázek 28: Příčné složky rychlosti v oblasti dolní vody pro průtok $Q = 600 \text{ m}^3/\text{s}$, varianta 4	37
Obrázek 29: Model proudění vody v oblasti horní vody pro průtok $Q = 450 \text{ m}^3/\text{s}$, varianta 1	39

Obrázek 30: Příčné složky rychlosti v oblasti horní vody pro průtok $Q = 450 \text{ m}^3/\text{s}$, varianta 1.....	39
Obrázek 31: Model proudění vody v oblasti horní vody pro průtok $Q = 450 \text{ m}^3/\text{s}$, varianta 2	40
Obrázek 32: Příčné složky rychlosti v oblasti horní vody pro průtok $Q = 450 \text{ m}^3/\text{s}$, varianta 2.....	40
Obrázek 33: Model proudění vody v oblasti horní vody pro průtok $Q = 450 \text{ m}^3/\text{s}$, varianta 3	41
Obrázek 34: Příčné složky rychlosti v oblasti horní vody pro průtok $Q = 450 \text{ m}^3/\text{s}$, varianta 3.....	41
Obrázek 35: Model proudění vody v oblasti horní vody pro průtok $Q = 450 \text{ m}^3/\text{s}$, varianta 4	42
Obrázek 36: Příčné složky rychlosti v oblasti horní vody pro průtok $Q = 450 \text{ m}^3/\text{s}$, varianta 4.....	42
Obrázek 37: Model proudění vody v oblasti horní vody pro průtok $Q = 600 \text{ m}^3/\text{s}$, varianta 1	43
Obrázek 38: Příčné složky rychlosti v oblasti horní vody pro průtok $Q = 600 \text{ m}^3/\text{s}$, varianta 1.....	43
Obrázek 39: Model proudění vody v oblasti horní vody pro průtok $Q = 600 \text{ m}^3/\text{s}$, varianta 2	44
Obrázek 40: Příčné složky rychlosti v oblasti horní vody pro průtok $Q = 600 \text{ m}^3/\text{s}$, varianta 2.....	44
Obrázek 41: Model proudění vody v oblasti horní vody pro průtok $Q = 600 \text{ m}^3/\text{s}$, varianta 3	45
Obrázek 42: Příčné složky rychlosti v oblasti horní vody pro průtok $Q = 600 \text{ m}^3/\text{s}$, varianta 3.....	45
Obrázek 43: Model proudění vody v oblasti horní vody pro průtok $Q = 600 \text{ m}^3/\text{s}$, varianta 4	46
Obrázek 44: Příčné složky rychlosti v oblasti horní vody pro průtok $Q = 600 \text{ m}^3/\text{s}$, varianta 4.....	46
Obrázek 45: Geometrie plné dělicí zdi ve tvaru stávajících svodidel	49
Obrázek 46: Pilíř 1 - Model proudění vody pro průtok $Q = 450 \text{ m}^3/\text{s}$, varianta 1.....	50
Obrázek 47: Pilíř 1 - Příčné složky rychlosti pro průtok $Q = 450 \text{ m}^3/\text{s}$, varianta 1	50
Obrázek 48: Pilíř 1 - Model proudění vody pro průtok $Q = 450 \text{ m}^3/\text{s}$, varianta 2.....	51
Obrázek 49: Pilíř 1 - Příčné složky rychlosti pro průtok $Q = 450 \text{ m}^3/\text{s}$, varianta 2	51
Obrázek 50: Pilíř 1 - Model proudění vody pro průtok $Q = 450 \text{ m}^3/\text{s}$, varianta 3.....	52
Obrázek 51: Pilíř 1 - Příčné složky rychlosti pro průtok $Q = 450 \text{ m}^3/\text{s}$, varianta 3	52
Obrázek 52: Pilíř 1 - Model proudění vody pro průtok $Q = 450 \text{ m}^3/\text{s}$, varianta 4.....	53
Obrázek 53: Pilíř 1 - Příčné složky rychlosti pro průtok $Q = 450 \text{ m}^3/\text{s}$, varianta 4	53
Obrázek 54: Pilíř 1 - Model proudění vody pro průtok $Q = 600 \text{ m}^3/\text{s}$, varianta 1.....	54
Obrázek 55: Pilíř 1 - Příčné složky rychlosti pro průtok $Q = 600 \text{ m}^3/\text{s}$, varianta 1	54
Obrázek 56: Pilíř 1 - Model proudění vody pro průtok $Q = 600 \text{ m}^3/\text{s}$, varianta 2.....	55
Obrázek 57: Pilíř 1 - Příčné složky rychlosti pro průtok $Q = 600 \text{ m}^3/\text{s}$, varianta 2	55
Obrázek 58: Pilíř 1 - Model proudění vody pro průtok $Q = 600 \text{ m}^3/\text{s}$, varianta 3.....	56
Obrázek 59: Pilíř 1 - Příčné složky rychlosti pro průtok $Q = 600 \text{ m}^3/\text{s}$, varianta 3	56
Obrázek 60: Pilíř 1 - Model proudění vody pro průtok $Q = 600 \text{ m}^3/\text{s}$, varianta 4.....	57
Obrázek 61: Pilíř 1 - Příčné složky rychlosti pro průtok $Q = 600 \text{ m}^3/\text{s}$, varianta 4	57
Obrázek 62: Výřez ze situace.....	58
Obrázek 63: Rozdíl mezi svodidly v projektové dokumentaci a na ortofoto mapě.....	58
Obrázek 64: Pilíř 2 - Model proudění vody pro průtok $Q = 450 \text{ m}^3/\text{s}$, varianta 1.....	59
Obrázek 65: Pilíř 2 - Příčné složky rychlosti pro průtok $Q = 450 \text{ m}^3/\text{s}$, varianta 1	59
Obrázek 66: Pilíř 2 - Model proudění vody pro průtok $Q = 450 \text{ m}^3/\text{s}$, varianta 2.....	60
Obrázek 67: Pilíř 2 - Příčné složky rychlosti pro průtok $Q = 450 \text{ m}^3/\text{s}$, varianta 2	60

Obrázek 68: Pilíř 2 - Model proudění vody pro průtok $Q = 450 \text{ m}^3/\text{s}$, varianta 3.....	61
Obrázek 69: Pilíř 2 - Příčné složky rychlosti pro průtok $Q = 450 \text{ m}^3/\text{s}$, varianta 3	61
Obrázek 70: Pilíř 2 - Model proudění vody pro průtok $Q = 450 \text{ m}^3/\text{s}$, varianta 4.....	62
Obrázek 71: Pilíř 2 - Příčné složky rychlosti pro průtok $Q = 450 \text{ m}^3/\text{s}$, varianta 4	62
Obrázek 72: Pilíř 2 - Model proudění vody pro průtok $Q = 600 \text{ m}^3/\text{s}$, varianta 1.....	63
Obrázek 73: Pilíř 2 - Příčné složky rychlosti pro průtok $Q = 600 \text{ m}^3/\text{s}$, varianta 1	63
Obrázek 74: Pilíř 2 - Model proudění vody pro průtok $Q = 600 \text{ m}^3/\text{s}$, varianta 2.....	64
Obrázek 75: Pilíř 2 - Příčné složky rychlosti pro průtok $Q = 600 \text{ m}^3/\text{s}$, varianta 2	64
Obrázek 76: Pilíř 2 - Model proudění vody pro průtok $Q = 600 \text{ m}^3/\text{s}$, varianta 3.....	65
Obrázek 77: Pilíř 2 - Příčné složky rychlosti pro průtok $Q = 600 \text{ m}^3/\text{s}$, varianta 3	65
Obrázek 78: Pilíř 2 - Model proudění vody pro průtok $Q = 600 \text{ m}^3/\text{s}$, varianta 4.....	66
Obrázek 79: Pilíř 2 - Příčné složky rychlosti pro průtok $Q = 600 \text{ m}^3/\text{s}$, varianta 4	66
Obrázek 80: Pilíř 3 - Model proudění vody pro průtok $Q = 600 \text{ m}^3/\text{s}$, varianta 1.....	67
Obrázek 81: Pilíř 3 - Příčné složky rychlosti pro průtok $Q = 600 \text{ m}^3/\text{s}$, varianta 1	67
Obrázek 82: Pilíř 4 - Model proudění vody pro průtok $Q = 600 \text{ m}^3/\text{s}$, varianta 1.....	68
Obrázek 83: Pilíř 4 - Příčné složky rychlosti pro průtok $Q = 600 \text{ m}^3/\text{s}$, varianta 1	68
Obrázek 84: Pilíř 5 - Model proudění vody pro průtok $Q = 600 \text{ m}^3/\text{s}$, varianta 1.....	69
Obrázek 85: Pilíř 5 - Příčné složky rychlosti pro průtok $Q = 600 \text{ m}^3/\text{s}$, varianta 1	69
Obrázek 86: Pilíř 6 - Model proudění vody pro průtok $Q = 600 \text{ m}^3/\text{s}$, varianta 1.....	70
Obrázek 87: Pilíř 6 - Příčné složky rychlosti pro průtok $Q = 600 \text{ m}^3/\text{s}$, varianta 1	70
Obrázek 88: Ukázka zhuštěné výpočetní sítě v okolí průtočných oken a pilířků.....	72
Obrázek 89: Pilíř okna 01 - Model proudění vody pro průtok $Q = 450 \text{ m}^3/\text{s}$, varianta 1.....	73
Obrázek 90: Pilíř okna 01 – Detail proudění vody skrz průtočná okna	73
Obrázek 91: Pilíř okna 01 - Příčné složky rychlosti pro průtok $Q = 450 \text{ m}^3/\text{s}$, varianta 1	74
Obrázek 92: Pilíř okna 01 - Příčné složky rychlosti pro průtok $Q = 600 \text{ m}^3/\text{s}$, varianta 1	74
Obrázek 93: Pilíř okna 02 - Model proudění vody pro průtok $Q = 450 \text{ m}^3/\text{s}$, varianta 1.....	75
Obrázek 94: Pilíř okna 02 - Detail proudění vody skrz průtočná okna	75
Obrázek 95: Pilíř okna 02 - Příčné složky rychlosti pro průtok $Q = 450 \text{ m}^3/\text{s}$, varianta 1	76
Obrázek 96: Pilíř okna 02 - Příčné složky rychlosti pro průtok $Q = 600 \text{ m}^3/\text{s}$, varianta 1	76
Obrázek 97: Pilíř okna 03 - Model proudění vody pro průtok $Q = 450 \text{ m}^3/\text{s}$, varianta 1.....	77
Obrázek 98: Pilíř okna 03 - Detail proudění vody skrz průtočná okna	77
Obrázek 99: Pilíř okna 03 - Příčné složky rychlosti pro průtok $Q = 450 \text{ m}^3/\text{s}$, varianta 1	78
Obrázek 100: Pilíř okna 03 - Příčné složky rychlosti pro průtok $Q = 600 \text{ m}^3/\text{s}$, varianta 1	78
Obrázek 101: Pilíř okna 04 - Model proudění vody pro průtok $Q = 450 \text{ m}^3/\text{s}$, varianta 1.....	79
Obrázek 102: Pilíř okna 04 - Detail proudění vody skrz průtočná okna	79
Obrázek 103: Pilíř okna 04 - Příčné složky rychlosti pro průtok $Q = 450 \text{ m}^3/\text{s}$, varianta 1	80
Obrázek 104: Pilíř okna 04 - Příčné složky rychlosti pro průtok $Q = 600 \text{ m}^3/\text{s}$, varianta 1	80
Obrázek 105: Pilíř okna 05 - Model proudění vody pro průtok $Q = 450 \text{ m}^3/\text{s}$, varianta 1.....	81

Obrázek 106: Pilíř okna 05 - Detail proudění vody skrz průtočná okna	81
Obrázek 107: Pilíř okna 05 - Příčné složky rychlosti pro průtok $Q = 450 \text{ m}^3/\text{s}$, varianta 1	82
Obrázek 108: Pilíř okna 05 - Příčné složky rychlosti pro průtok $Q = 600 \text{ m}^3/\text{s}$, varianta 1	82