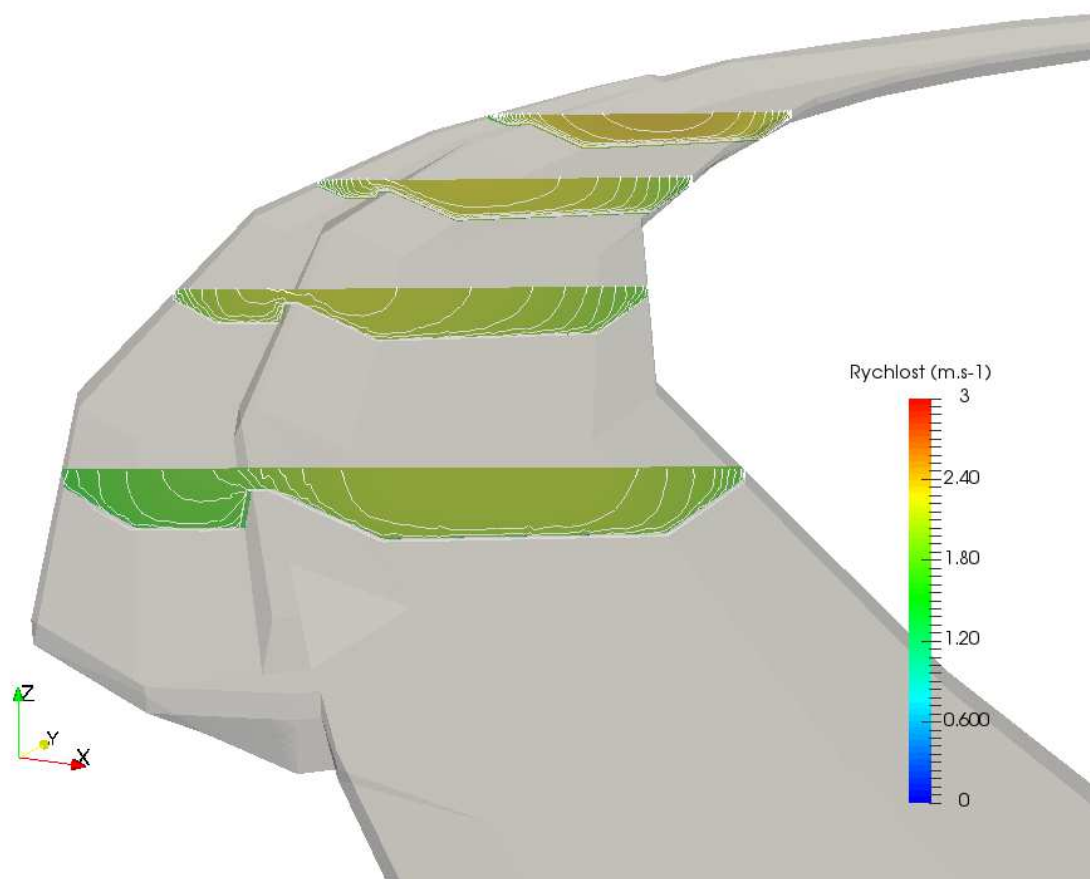


ZÁCHYTNÝ PROFIL PLAVENIN NAD MĚSTEM PŘEROVEM



MATEMATICKÝ MODEL ROZŠÍŘENÉHO ÚSEKU

DUBEN 2016



Vodohospodářský rozvoj a výstavba
akciová společnost
Nábřeží 4, Praha 5, 150 56

**VODOHOSPODÁŘSKÝ ROZVOJ A VÝSTAVBA
akciová společnost**

150 56 Praha 5 - Smíchov, Nábřeží 4
DIVIZE 02

tel: 257 110 334 fax : 257 319 398

e-mail: urban@vrv.cz

**ZÁCHYTNÝ PROFIL PLAVENIN NAD MĚSTEM
PŘEROVEM**

MATEMATICKÝ MODEL ROZŠÍŘENÉHO ÚSEKU

Zpracoval: Ing. Filip Urban

Schválil: Ing. Jan Cihlář
ředitel divize 02

V Praze, dne 29. dubna 2016

OBSAH:

1	Základní údaje.....	5
1.1	Předmět zpracování studie.....	5
1.2	Seznam zkratk	6
2	Podklady	7
2.1	Geodetické podklady.....	7
2.2	Mapové podklady	7
2.3	Ostatní (Projektové dokumentace, studie a další)	7
3	Popis zájmové lokality	8
3.1	Vymezení řešeného území.....	8
3.2	Hydrologická situace	8
3.3	Navrhovaná opatření.....	9
4	Hydrotechnické posouzení	11
4.1	Popis matematického modelu	11
4.2	Přehled posuzovaných variant	12
4.3	Metodika vyhodnocení	12
4.4	Výsledky posouzení	13
4.4.1	Vyhodnocení rychlostního pole	13
4.4.2	Vyhodnocení proudnic.....	15
4.5	Doplňkové průtokové scénáře pro optimální variantu	18
4.5.1	Průtokové scénář Q_2	18
4.5.2	Průtokové scénář Q_{50}	19
5	Závěr.....	21

1 Základní údaje

Název akce	Záchytný profil plavenin nad městem Přerovem - Matematický model rozšířeného úseku
Kraj	Olomoucký kraj (CZ071)
Místo	Přerov (511382)
Vodní tok	Bečva, ř.km 16,920 – 17,515
Stupeň projektové dokumentace	Studie
Objednatel	Povodí Moravy, s.p. Dřevařská 11 602 00 Brno
Zpracovatel dokumentace	Vodohospodářský rozvoj a výstavba, a.s. Nábřeží 4 Praha 5, 150 56
Datum	Duben 2016

1.1 Předmět zpracování studie

Předmětem zpracování je hydrotechnické posouzení variantních návrhů protipovodňových opatření 3D matematickým modelem. Plaveninový profil nad Přerovem má za cíl zachytit maximální množství plavenin nad městem a tím snížit riziko ucpání mostních profilů za povodně. Návrhy opatření jsou vždy ve dvou variantách pro dvě vytipované lokality. Cílem matematického modelu je zjistit, která z navrhovaných variant opatření bude nejvhodnější pro zachytávání plavenin.

1.2 Seznam zkratek

AKM	Administrativní kilometráž
AZZU	Aktivní zóna záplavového území
Bpv	Balt po vyrovnání
ČHMÚ	Český hydrometeorologický ústav
ČR	Česká republika
ČÚZK	Český úřad zeměměřický a katastrální
CHKO	Chráněná krajinná oblast
CHOPAV	Chráněná oblast přirozené akumulace vod
DIBAVOD	Digitální báze vodohospodářských dat
DKM	Digitální kilometráž
DMT	Digitální model terénu
DMR 4G	Digitální model reliéfu 4. Generace
DMR 5G	Digitální model reliéfu 5. Generace
DSP	Dokumentace pro stavební povolení
DUR	Dokumentace pro územní rozhodnutí
PD	Projektová dokumentace
PHO	Pásma hygienické ochrany vod
Př	Příčný profil
PP	Podélný profil
PPO	Protipovodňové opatření
Q _M	M-denní průtok je průměrný denní průtok, který je dosažen nebo překročen během M dní v roce
Q _N	N-letá povodeň jejíž kulminační průtok je v dlouhodobém průměru dosažen nebo překročen jedenkrát za N let (N-letý průtok)
Q ₅	Pětiletá povodeň jejíž kulminační průtok je v dlouhodobém průměru dosažen nebo překročen jedenkrát za 5 let (pětiletý průtok)
Q ₂₀	Dvacetiletá povodeň jejíž kulminační průtok je v dlouhodobém průměru dosažen nebo překročen jedenkrát za 20 let (dvacetiletý průtok)
Q ₁₀₀	Stoletá povodeň jejíž kulminační průtok je v dlouhodobém průměru dosažen nebo překročen jedenkrát za 100 let (stoletý průtok)
Ř.KM	Říční kilometr
S-JTSK	Systém jednotné trigonometrické sítě katastrální
ÚS	Územní studie
VPS	Veřejně prospěšná stavba
VRV	Vodohospodářský rozvoj a výstavba a.s.
VÚMOP	Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v.v.i
VUT	Vysoké Učení Technické v Brně
VÚV TGM	Výzkumný ústav vodohospodářský Tomáše Garrigua Masaryka
ZABAGED	Základní báze geografických dat
ZM	Základní mapa

2 Podklady

2.1 Geodetické podklady

Záplavové území Bečvy km 0.000 - 57.320

Pozemní geodetické zaměření příčných profilů použité pro modelaci koryta

- zpracovatel: Povodí Moravy, s.p.
- objednatel: Povodí Moravy, s.p.
- datum zpracování: 03/2003

2.2 Mapové podklady

Digitální katastrální mapa

- Zdroj: Český úřad zeměměřický a katastrální

Základní Mapa ČR 1:10 000

Rastrový mapový podklad v měřítku 1:10 000 v celém rozsahu zájmového území. Základní státní mapové dílo obsahující polohopis (sídla, objekty, komunikace, vodstvo, porost, povrch půdy, atd.), výškopis (vrstevnice a terénní stupně) a popis.

- zdroj: Zeměměřický úřad
- datum zpracování: aktualizace 2009
- měřítko: 1:10 000

Ortofoto České republiky

Sada periodicky aktualizovaných barevných ortofoto v rozměrech a kladu mapových listů.

- Zdroj: ČÚZK
- datum zpracování: aktualizace 2011
- měřítko: 1 : 5 000

2.3 Ostatní (Projektové dokumentace, studie a další)

Projektová dokumentace „Bečva, Přerov - protipovodňová ochrana města nad jezem, DÚR“

- zpracovatel: Vodohospodářský rozvoj a výstavba a.s. + Agroprojekce Litomyšl, spol. s.r.o.
- objednatel: Povodí Moravy, s.p.
- datum zpracování: 06/2016

3 Popis zájmové lokality

3.1 Vymezení řešeného území

Řešené území se nachází nad Přerovem na vodním toce Bečva. V lokalitě se navrhuje opatření v podobě záchytného plaveninového profilu. Jak ukázaly povodňové průtoky v letech 1997, 2006, 2007 a 2010, je průchod množství plavenin přes Přerov, a to zejména vzhledem k mostním konstrukcím, velmi rizikový.



Obr. 3-1 Přehledná situace zájmové lokality

3.2 Hydrologická situace

Základní hydrologické údaje podle ČSN 75 1400 - hydrologický profil Dluhonice, ř.km 9,300

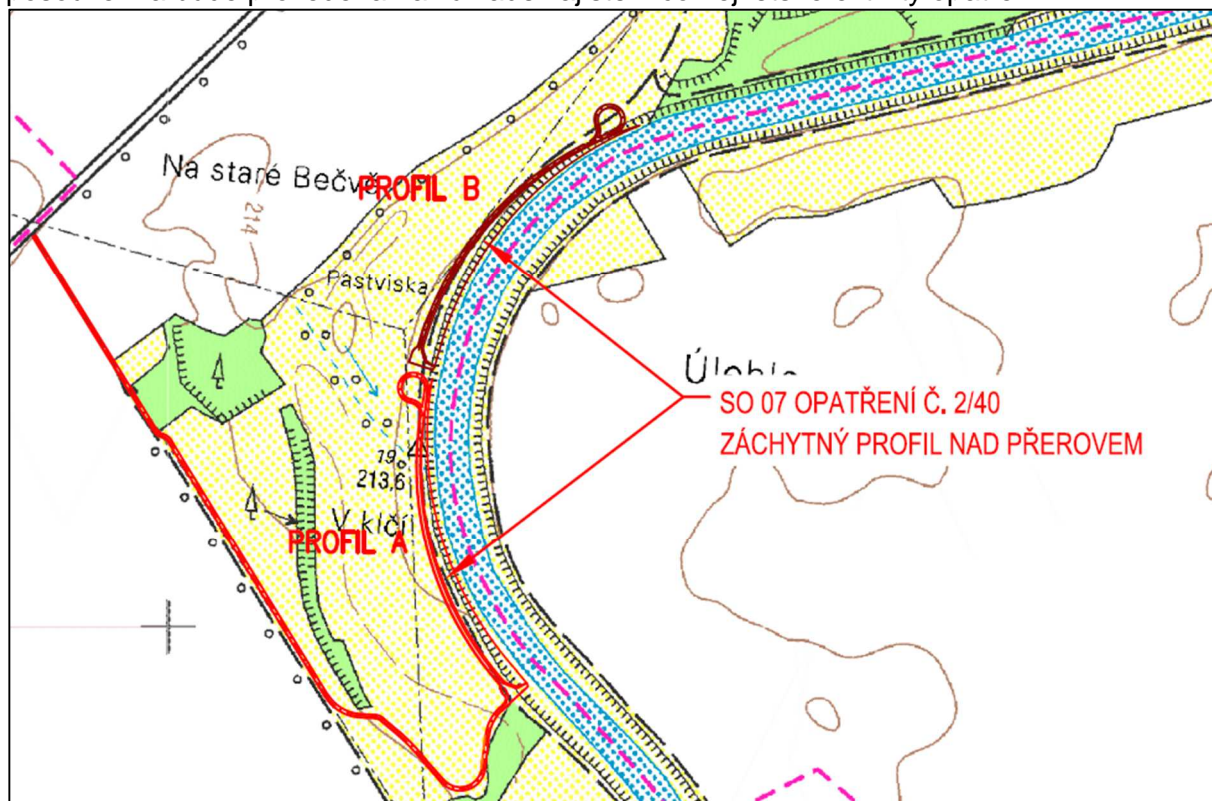
Vodní tok	Bečva
Profil	Dluhonice, ř.km 9,300
Hydrologické číslo povodí	4-11-02-0700
Plocha povodí	1598,79 km ²
Průměrné roční srážky	862 mm
Dlouhodobý průměrný roční průtok	17,3 m ³ /s

Tabulka 3-1 Hydrologická data N-letých průtoků

N	1	2	5	10	20	50	100
QN [m ³ /s]	239	337	466	564	662	792	892

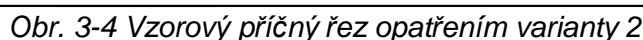
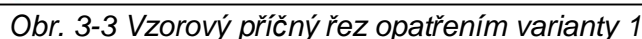
3.3 Navrhovaná opatření

Opatření je situované nad městem Přerov v blízkosti obce Prosenice v úseku toku Bečvy ř.km 16,920 – 17,515. Opatření je pro posouzení uvažováno ve dvou variantních profilech A a B – profil A je směřován na konec oblouku ve směru toku, profil B naopak na počátek oblouku (viz následující obrázek). Oba profily jsou řešeny prostorově a technicky shodným řešením včetně provozního řešení a příjezdu. Volba profilu je cílem tohoto hydrotechnického posouzení a bude provedena na základě zajištění co největší efektivity opatření.



Obr. 3-2 Situace variantních profilů opatření

Opatření spočívá ve vhodném profilování pravého konkávního břehu toku Bečvy pro maximální koncentraci a zachycení plavenin v daném místě v době zvýšených povodňových průtoků. V břehu bude vytvořena ve směru toku postupně se rozšiřující opevněná berma maximální šířky ve dně 15 m a výšky mezi dnem bermy a novou břehovou hranou do 2,0 m. Výšková úroveň bermy je navržena na kótě hladiny Q_1 . Délka profilování břehu - bermy bude 317 resp. 315 m. Variantní provedení profilu ve stejném šířkovém a plošném pojetí bude vytvoření s tokem se postupně zahlubujícího souběžného koryta, které bude v počátku opatření výškově končit se stávajícím dnem koryta Bečvy a bude s ním zde propojené pro možnost přirozeného odtoku. Opevnění bermy variantně zahlubeného koryta je uvažováno těžkou kamennou rovinaninou v kombinaci s dlažbou do betonového lože. Přístupová komunikace je navržena jako zpevněná z hutněné a vibrované vrstvy štěrku s vrchním tenkovrstvým asfaltovým nátěrem.



Základní parametry:

- 10

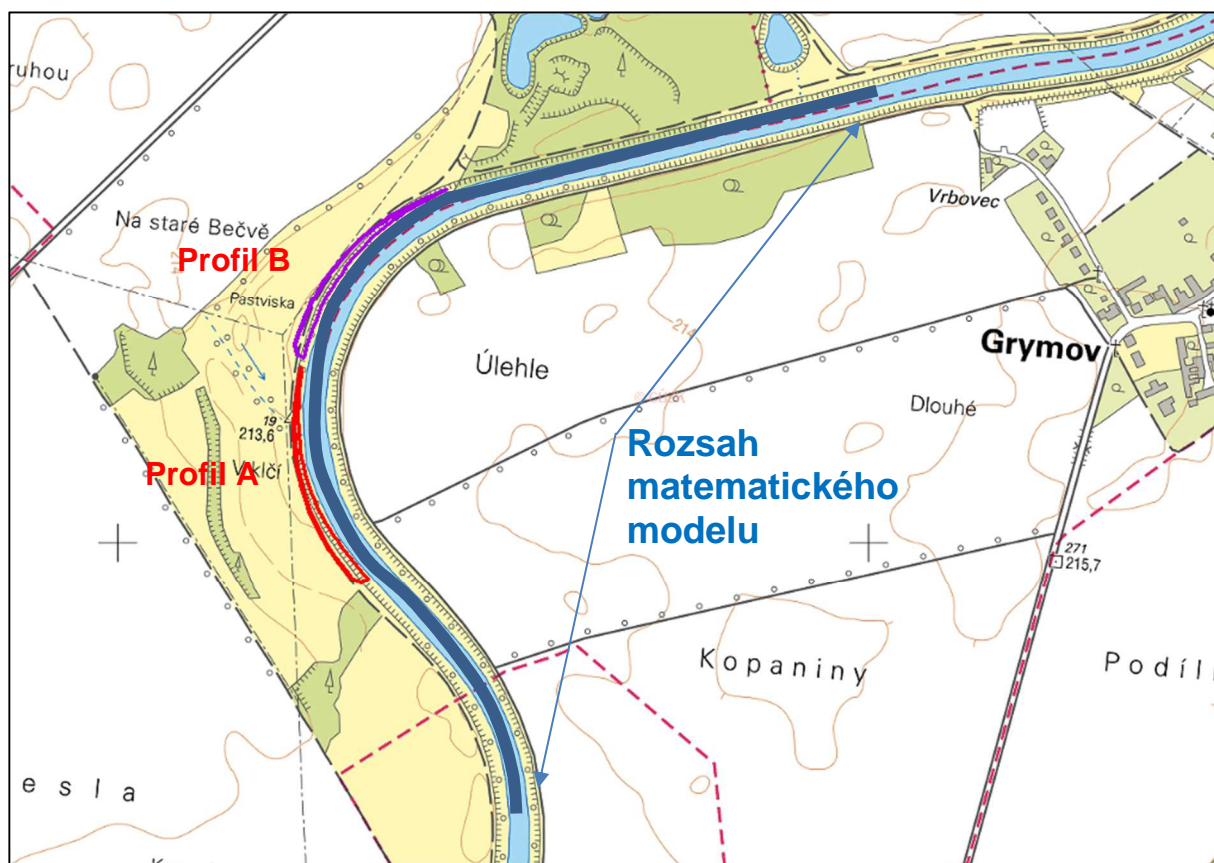
4 Hydrotechnické posouzení

4.1 Popis matematického modelu

Vzhledem k prostorovému proudění, ke kterému na daném opatření dochází bylo nutné řešit posouzení opatření pomocí 3D CFD modelu. Pro řešení byl použit matematický 3D CFD model OpenFOAM® (Open Field Operation and Manipulation). Model dokáže simulovat procesy od kapalného proudění, chemických reakcí, turbulencí a tepelného přenosu až k dynamice pevných částí a elektromagnetice. Pro využití ve vodním hospodářství je důležitá 3D simulace hydrodynamického proudění kapaliny v ustáleném i neustáleném stavu.

Pro danou lokalitu byl použit výpočet turbulentní ustálený jednofázový (voda). Turbulentní model byl využit k- ϵ , který je založený na časovém průměrování fluktuací a na konceptu turbulentní viskozity (RANS). Tekutina byla uvažována jako nestlačitelná.

Matematický model byl proveden v dostatečném přesahu pod i nad posuzované opatření z důvodu dostatečného ustálení výpočtů a eliminaci ovlivnění výsledků okrajovými podmínkami. Rozsah modelu je znázorněn na následujícím obrázku.



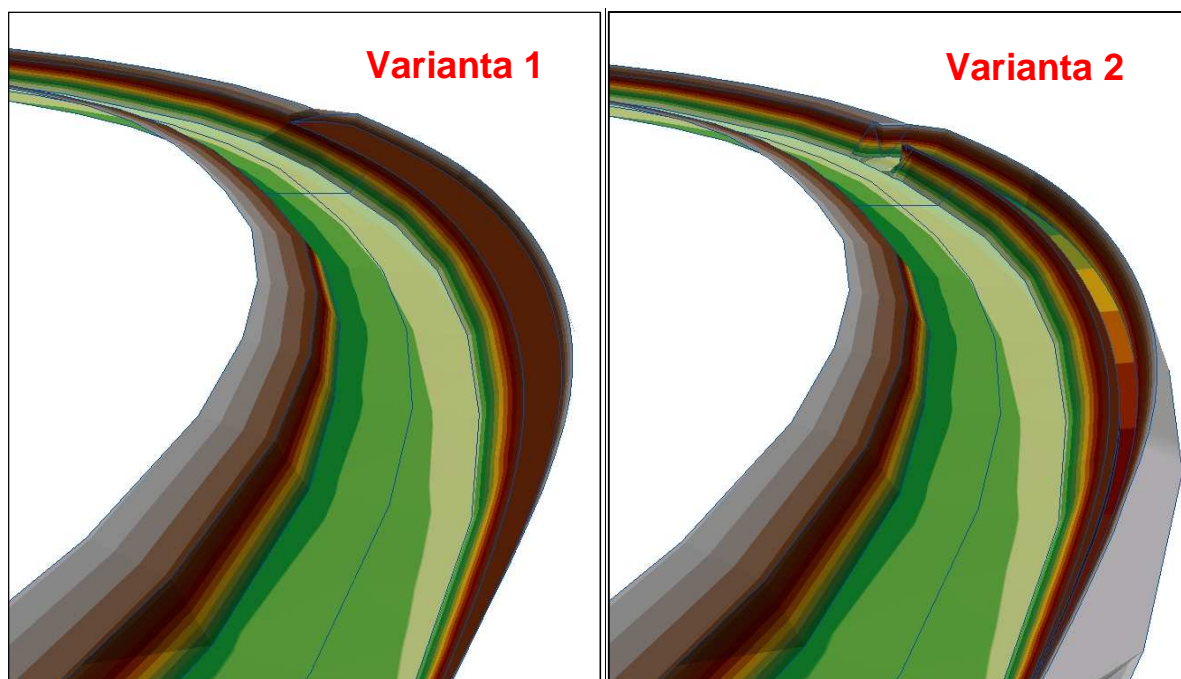
Obr. 4-1 Rozsah zpracování matematického modelu

4.2 Přehled posuzovaných variant

V projektové dokumentaci jsou navrženy dvě variantní lokality (profily) pro umístění opatření, které je navrženo ve dvou variantách. Pro posuzování jsou tedy celkově 4 varianty opatření, která jsou mezi sebou posuzována a vyhodnocena nejefektivnější varianta.

Přehled variant:

- Profil A
 - o Varianta 1 (**A1**)
 - o Varianta 2 (**A2**)
- Profil B
 - o Varianta 1 (**B1**)
 - o Varianta 2 (**B2**)

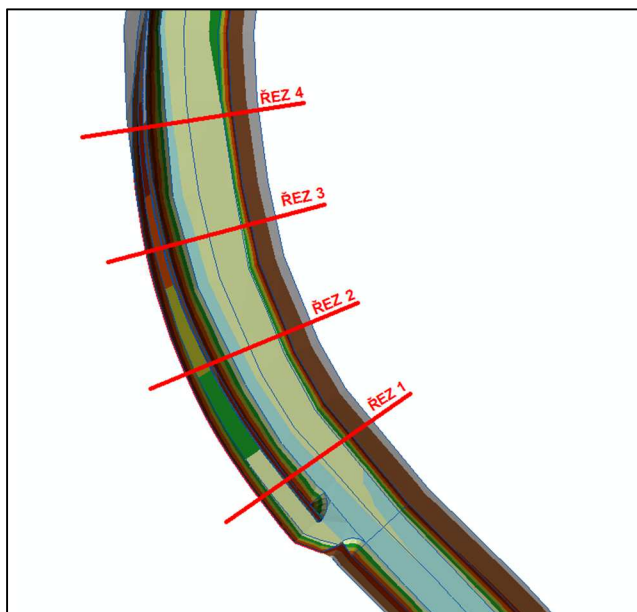


Obr. 4-2 Vizualizace variant opatření 1 a 2

4.3 Metodika vyhodnocení

Varianty navržených opatření byly posuzovány na návrhový průtok Q_5 . Vyhodnocení výsledků simulací bylo provedeno na základě srovnání rychlostních polí v příčných řezech, které byly voleny v místech navrhovaných opatření. Dále byly hodnoceny proudnice, které mohou zobrazovat tzv. „sací efekt“ navržených opatření.

Příčné řezy byly voleny pro oba profily A i B ve vzdálenosti cca 50 m od sebe. Řezy jsou vedeny kolmo na osu proudění.



Obr. 4-3 Situace posuzovaných příčných řezů

4.4 Výsledky posouzení

Posouzení výsledků je provedeno formou dvou typů výsledků. Jedním jsou příčné řezy rychlostním polem v místě navrhovaných variant opatření a druhým typem je zobrazení proudnic. Každý z typů výstupů je na určité hodnocení vhodnější a výsledná nejefektivnější varianta opatření je výsledkem právě zhodnocení obou typů výsledků.

4.4.1 Vyhodnocení rychlostního pole

Vyhodnocení rychlostního pole má zejména za cíl zvolení vhodného profilu navrhovaného opatření.

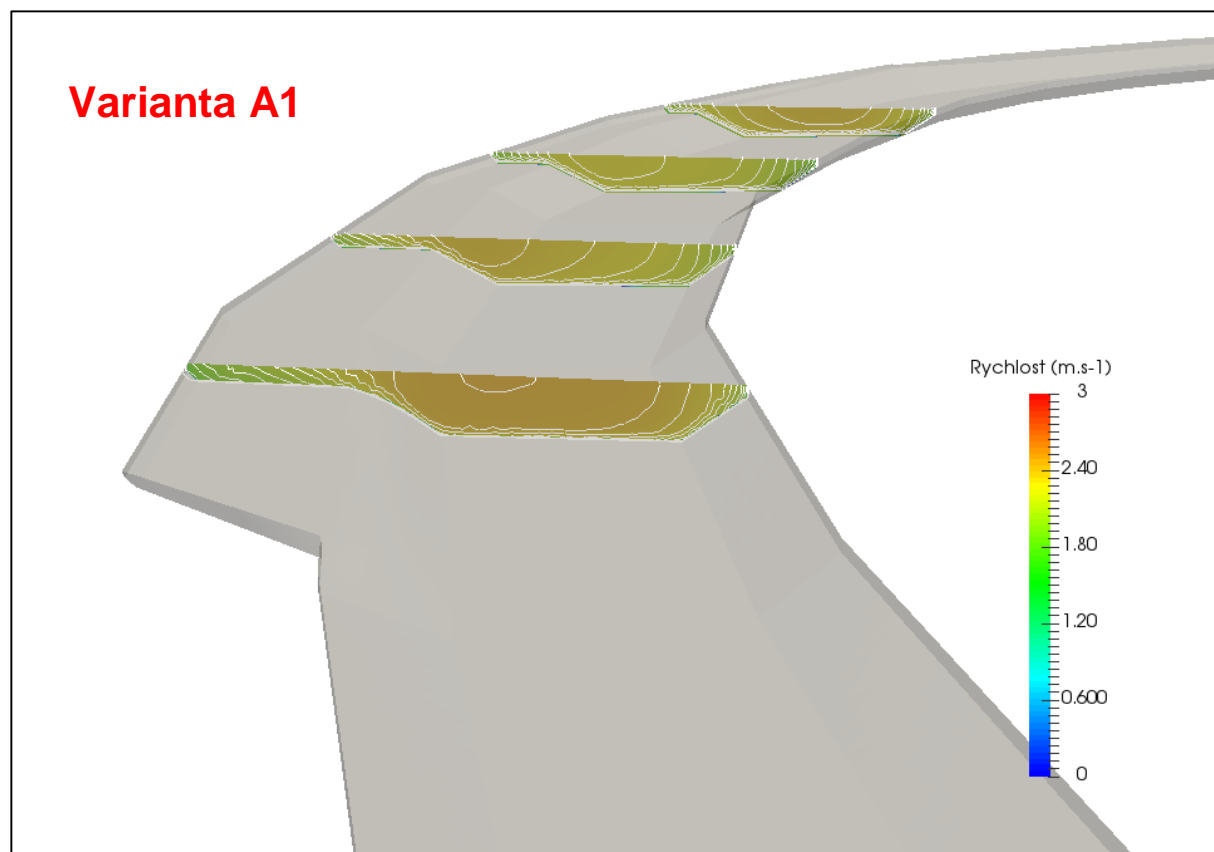
Ze zobrazených příčných profilů lze pozorovat, že na začátku opatření je rychlostní pole vyrovnané a v jeho průběhu dochází k posunu největších rychlostí směrem ke konkávnímu břehu. Ke konci opatření, kde se voda z bermy či souběžného koryta vrací zpět, se rychlost u konkávního břehu mírně zpomaluje.

Profil B je lokalizován na konci dlouhého rovného úseku. Při vtoku do úseku s opatřením se začíná koryto stáčet do levotočivé zákruty a na konkávním břehu se začíná rozšiřovat o navrhované opatření. Z tohoto důvodu dojde k mírnému oddálení nejvyšších rychlostí od opatření. V úseku s opatřením se pak nejvyšší rychlost přibližuje ke konkávnímu břehu, resp. k opatření.

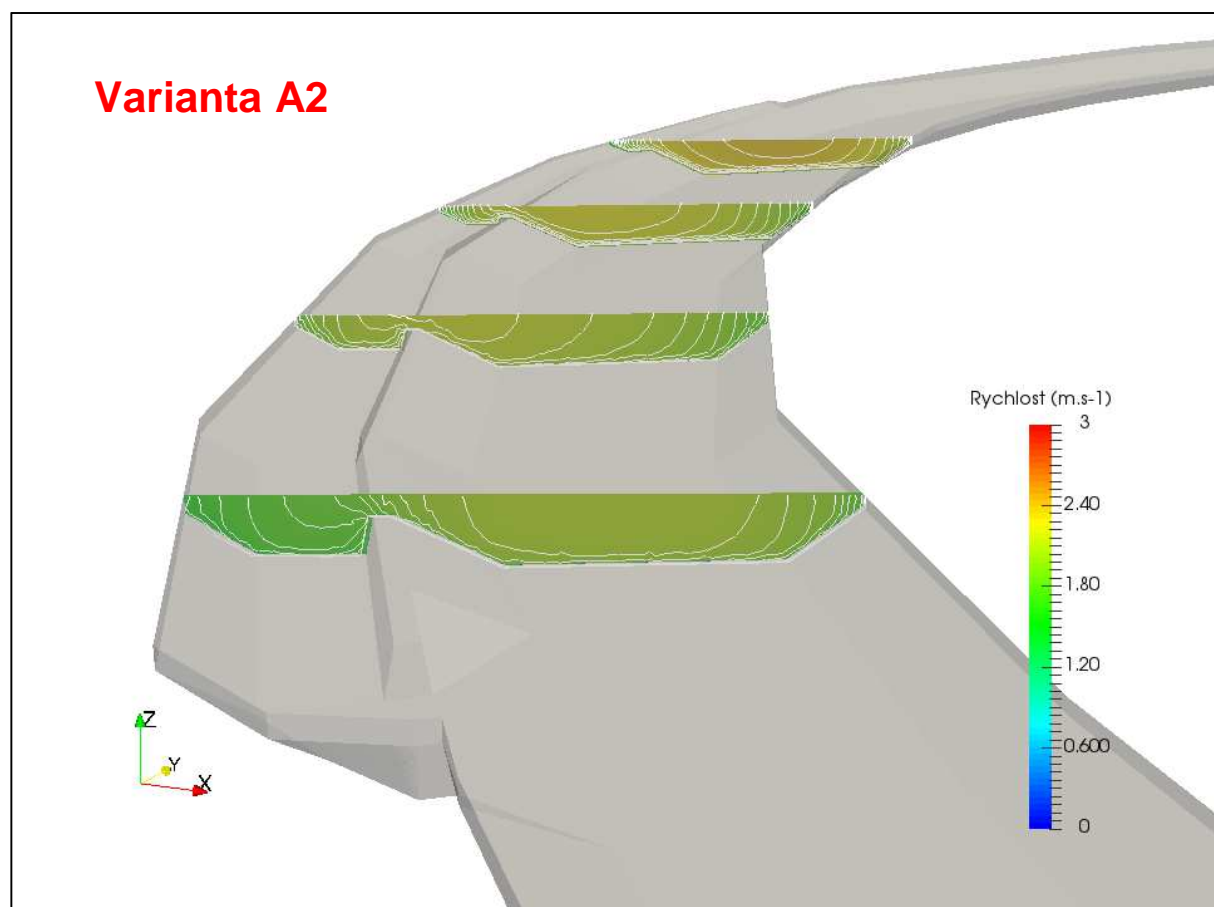
Zatímco opatření v profilu A je již v druhé polovině zákruty a maximální rychlosti se více přibližují ke konkávnímu břehu, resp. k opatření. Zároveň do opatření proudí větší množství a tím i větší rychlost proudění.

Při porovnání variant opatření 1 a 2 je z rychlostních polí zřetelné, že v případě varianty 2, souběžného koryta, že v opatření rozvine vyšší rychlost, než v případě opatření varianty 1. Většími rychlostmi a zároveň i větší průtočnou plochou se dosáhne většího „sacího“ efektu.

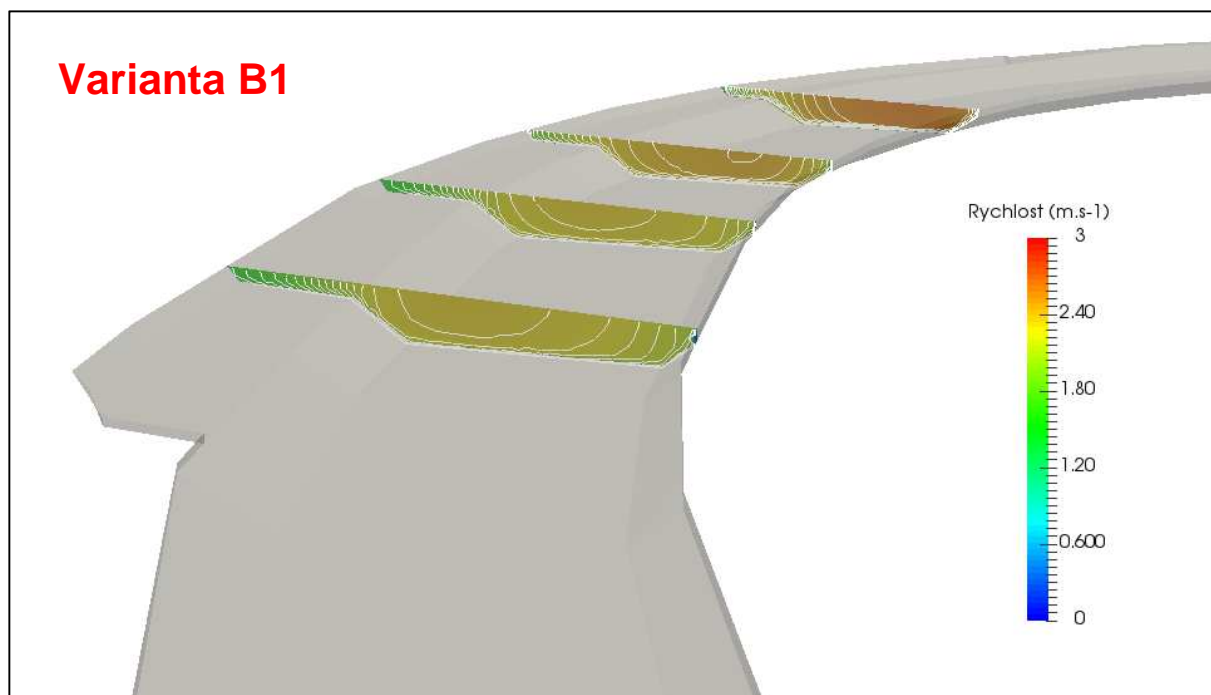
Doporučuje se navrhnout variantu opatření 2 do profilu A (**opatření A2**). Z výsledků porovnání je toto opatření nejefektivnější.



Obr. 4-4 Příčné řezy rychlostním polem varianty A1



Obr. 4-5 Příčné řezy rychlostním polem varianty A2



Obr. 4-6 Příčné řezy rychlostním polem varianty B1



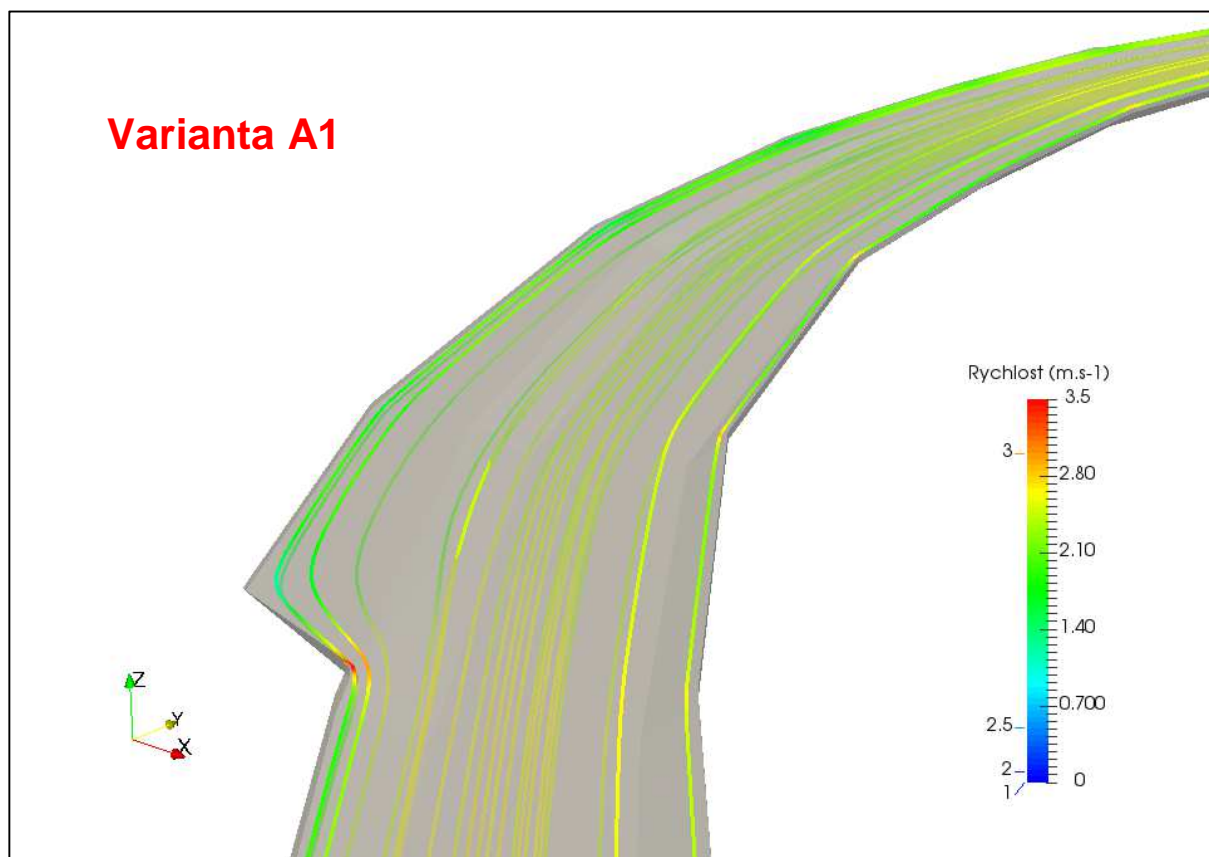
Obr. 4-7 Příčné řezy rychlostním polem varianty B2

4.4.2 Vyhodnocení proudnic

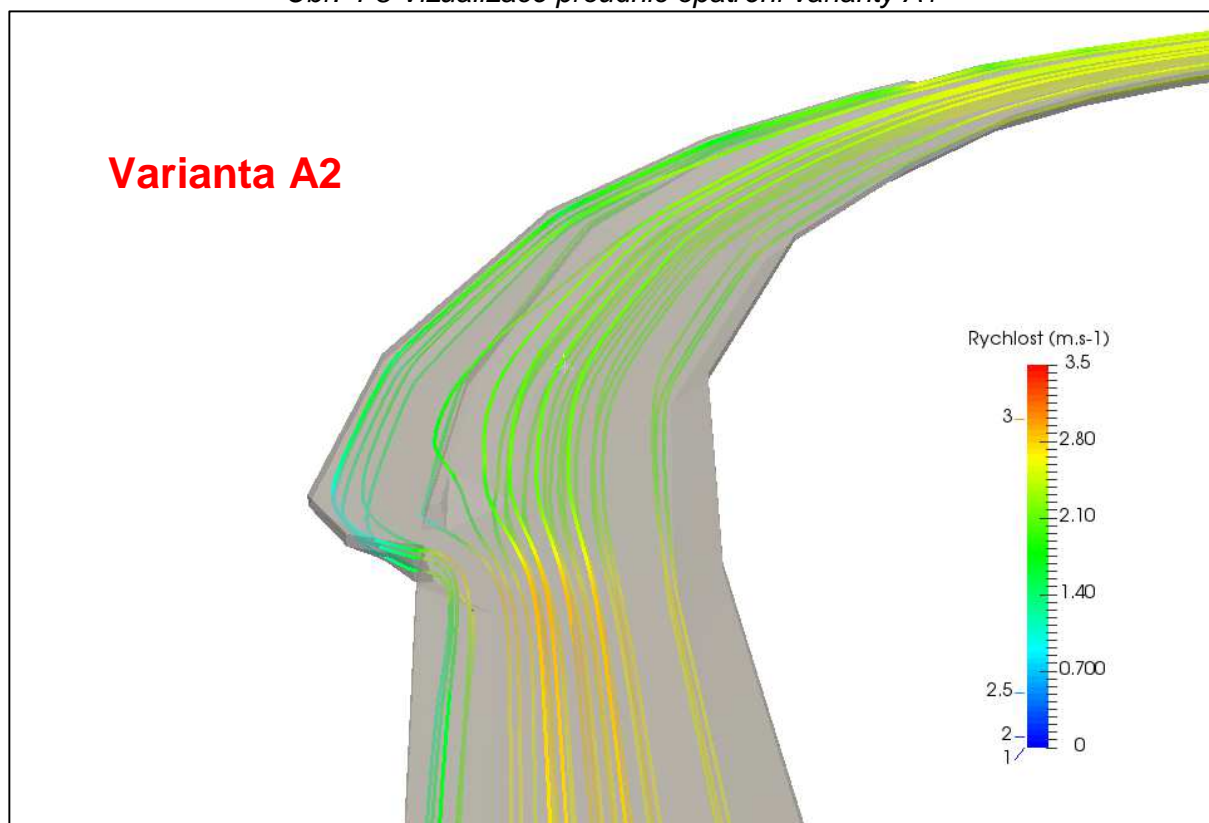
Na následující sadě obrázků jsou zobrazeny proudnice při návrhovém průtoku Q_5 . Lze pozorovat v jakých místech a jakou intenzitou do navržených variant opatření natéká povodňová voda.

Z průběhu proudnic lze vyhodnotit efektivnější typ opatření, kterým je opatření **varianty 2**. Tato varianta spočívá s postupným rozšiřováním a zahlubováním konkávní bermy (vytvoření souběžného koryta) až na úroveň dna koryta. Postupné zahlubování má za důsledek tzv. „přísávání“ průtoku v celé délce opatření. Na zobrazených vizualizacích lze tento efekt pozorovat tak, že v celé délce opatření resp. přelivné hrany do zahlubující bermy, přitéká významná část průtoku, kterou charakterizují proudnice. Zatímco u varianty opatření 1, která

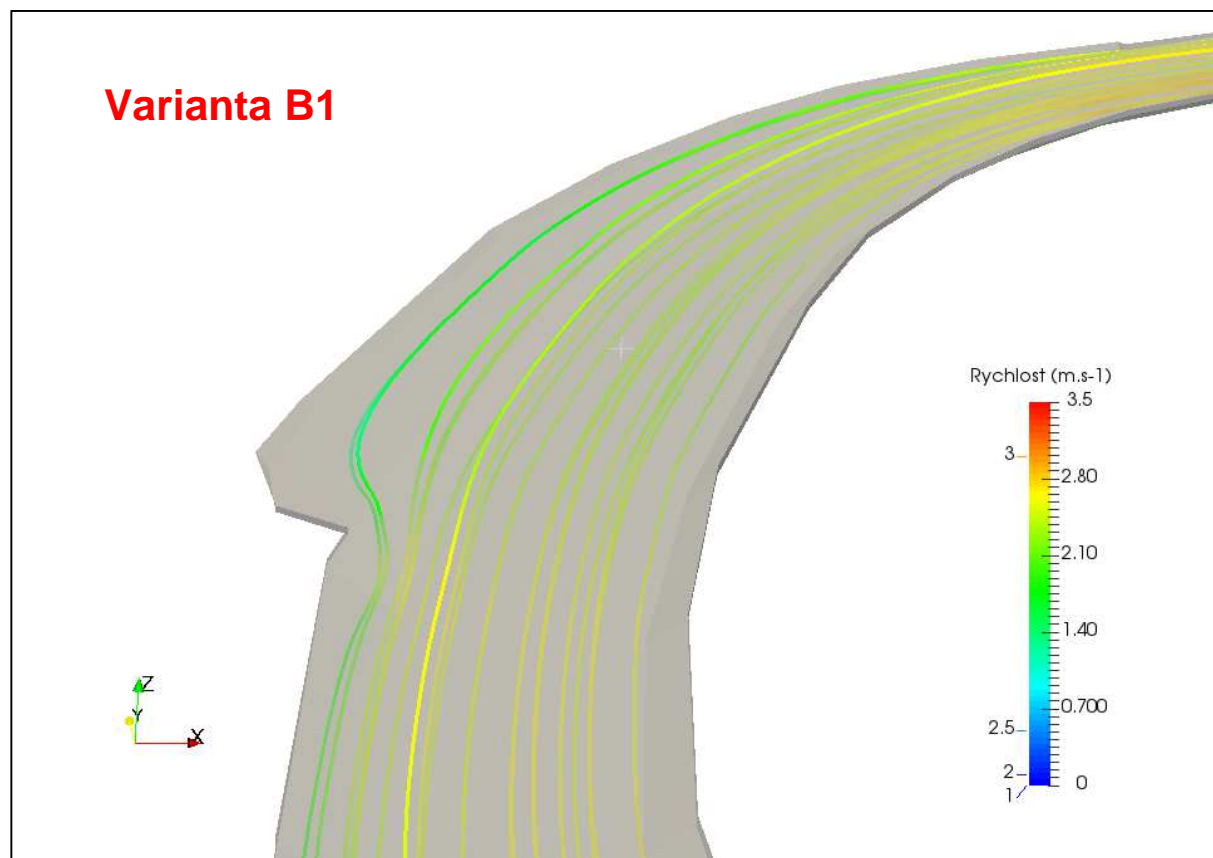
spočívá pouze s vytvořením bermy na úrovni hladiny Q_1 , dojde k přítoku vody na začátku opatření a dále již do opatření nevtéká významnější část průtoku.



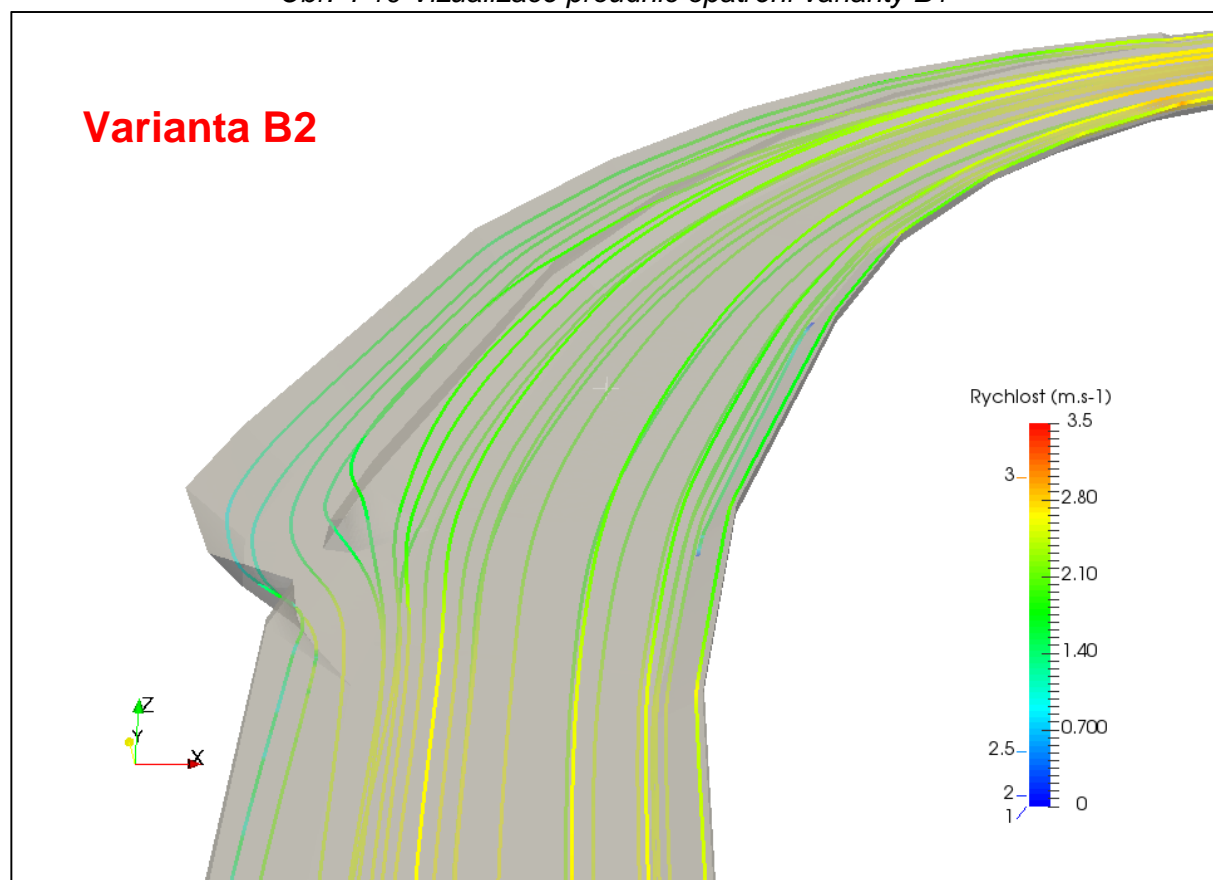
Obr. 4-8 Vizualizace proudnic opatření varianty A1



Obr. 4-9 Vizualizace proudnic opatření varianty A2



Obr. 4-10 Vizualizace proudnic opatření varianty B1



Obr. 4-11 Vizualizace proudnic opatření varianty B2

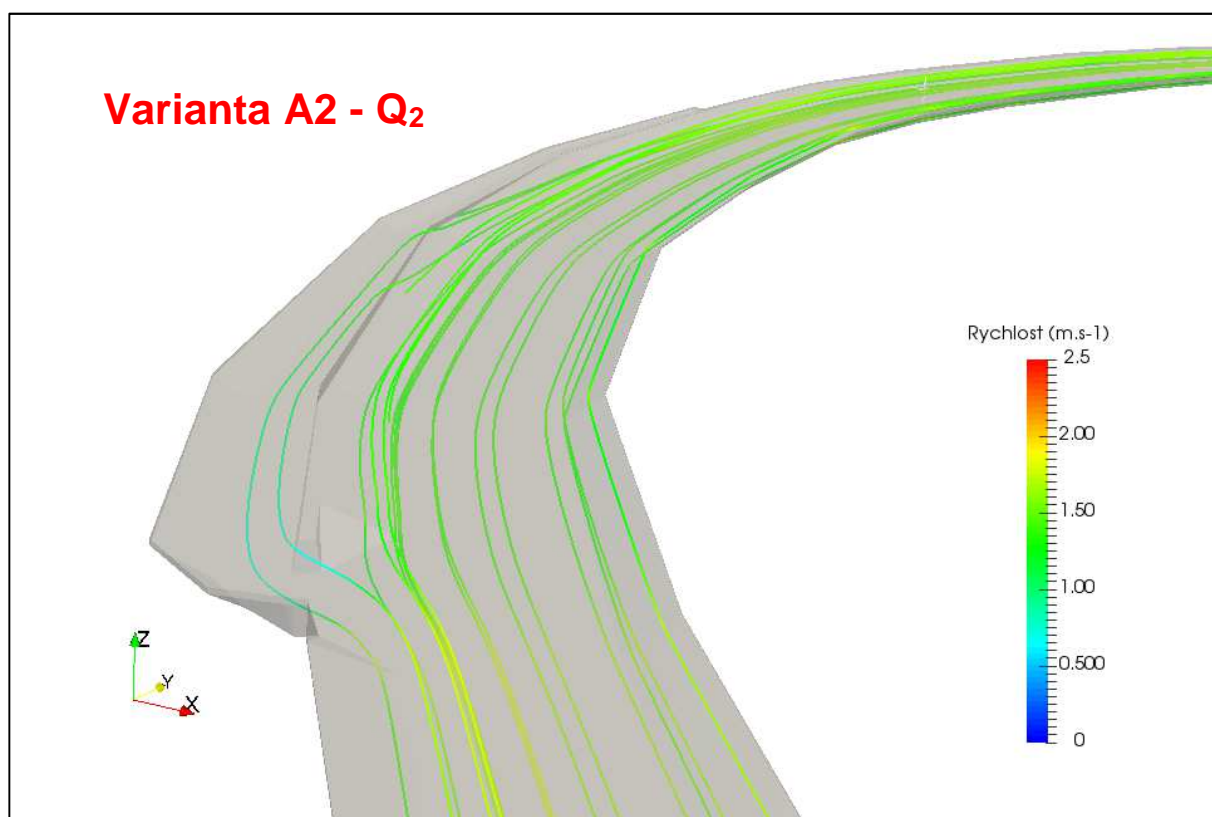
4.5 Doplnkové průtokové scénáře pro optimální variantu

Posouzení výsledků

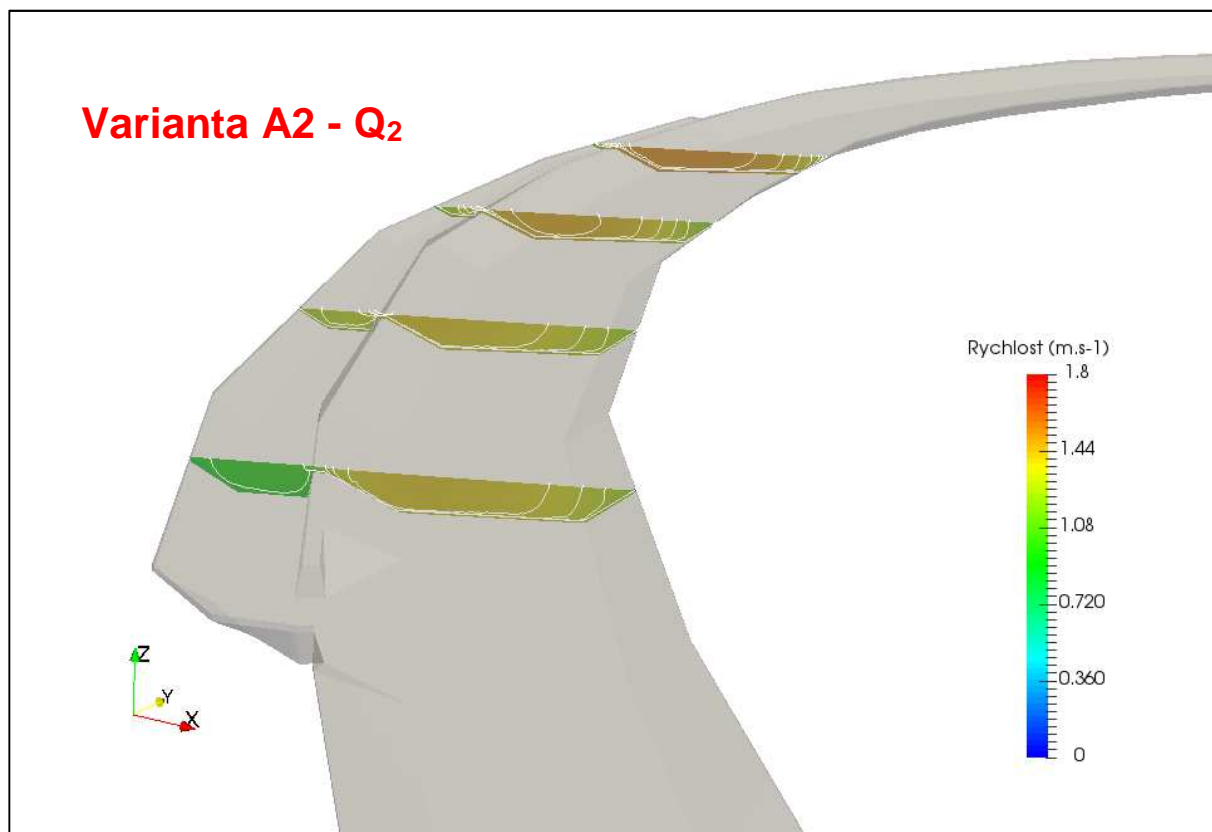
Pro doporučenou variantu opatření (**opatření A2**) jsou dále simulovány dva průtokové scénáře. Jeden průtokový scénář je nižší a druhý vyšší, než návrhový. Konkrétně se jedná o průtoky Q_2 a Q_{50} .

4.5.1 Průtokový scénář Q_2

Při průtokovém scénáři Q_2 je veškerý průtok v korytě vodního toku a v navrhovaném opatření v podobě zahlubujícího se souběžného koryta. Jelikož je při nižším průtoku nižší hladina, dochází k nižším rychlostem proudění, menšímu množství vody proudící do opatření. Avšak lze ve výsledcích simulace pozorovat, že do opatření proudí podél celé přelivné hrany voda z koryta a rychlostní pole se přimyká ke konkávnímu břehu. Dle výsledků simulace je zřejmé, že opatření bude plnit svou funkci i při tomto nižším průtokovém scénáři.



Obr. 4-12 Vizualizace proudnic opatření varianty A2 - průtok Q_2

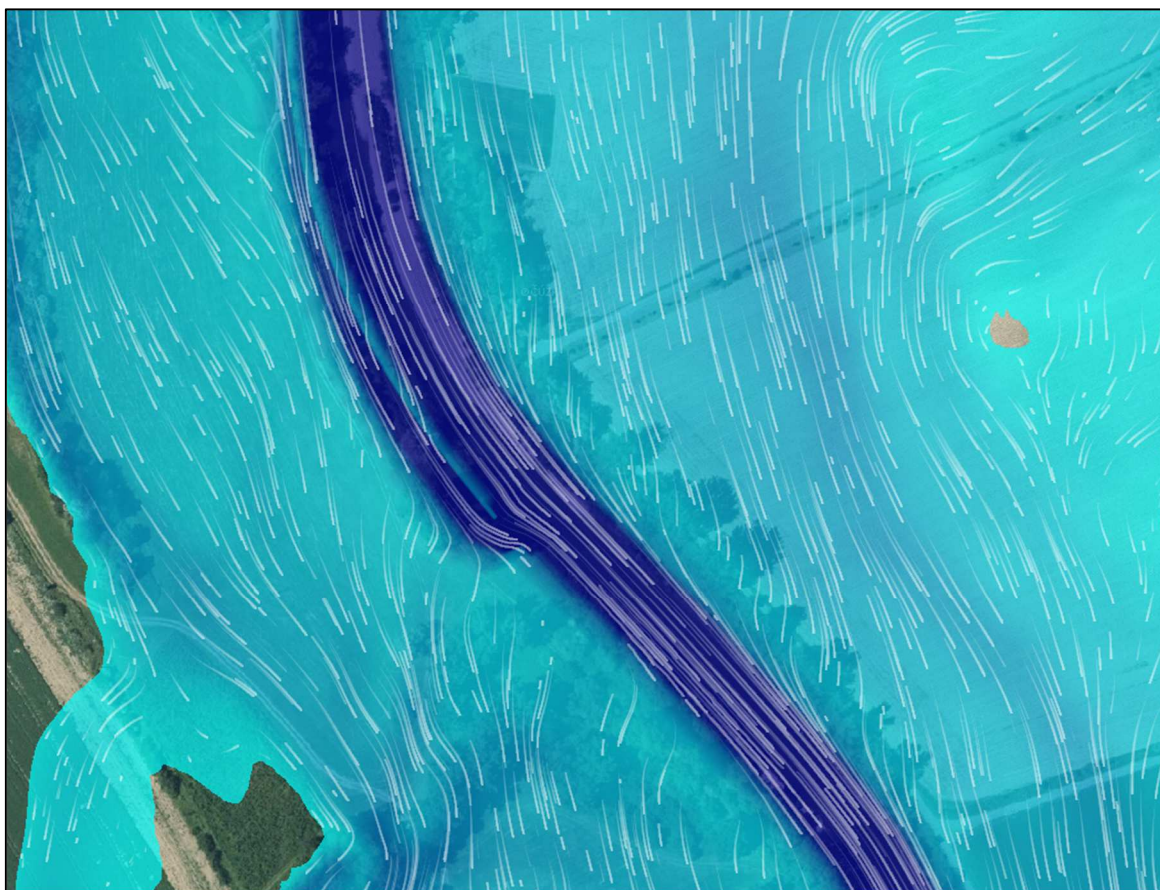


Obr. 4-13 Příčné řezy rychlostním polem varianty A2 - průtok Q_2

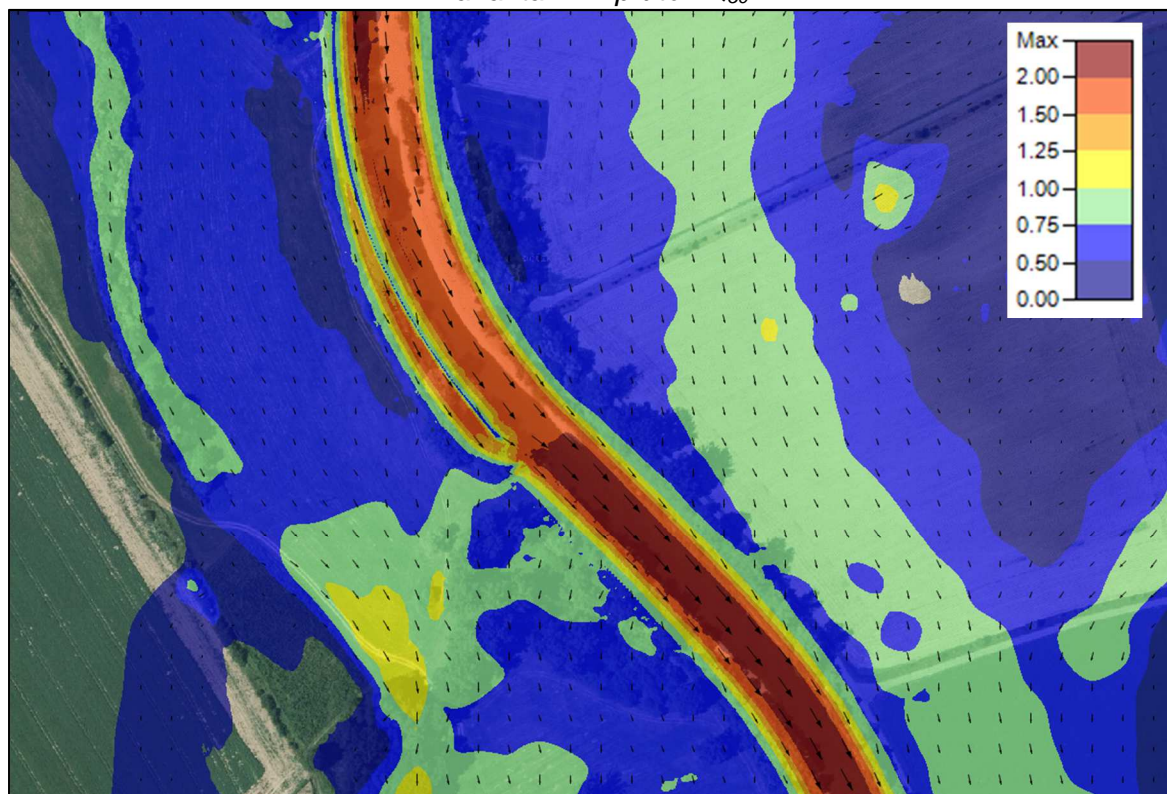
4.5.2 Průtokové scénář Q_{50}

Z důvodu rozsáhlého rozsahu zátopy při povodňovém scénáři Q_{50} byl pro výpočet použit 2D matematický model. Při takovéto povodni jsou pro funkčnost opatření důležitější směry rychlostí v celém rozsahu zátopy místo rychlostního pole v korytě toku a opatření. Z tohoto důvodu je právě použití 2D modelu vhodnější.

Na výsledcích zobrazující proudnice lze pozorovat funkčnost opatření i při zvýšených průtocích. Výsledky v místě opatření odpovídají svým trendem nižším průtokovým scénářům, které byly posuzovány 3D modelem. V průběhu celé délky opatření dochází k přítoku vody z koryta u konkávního břehu a následnému proudění souběžným korytem. Na konci opatření se majoritní část průtoku vrací zpět do koryta toku. Při návrhu opatření je potřeba zajistit, aby se zachycené plaveniny při nižších povodňových průtocích (kdy nedochází k vybřežování) zachycených na konci opatření, neodplavily vybřežením na konci opatření do inundačního území. Případně je možné s tímto faktem odplavování plavenin do inundačního území počítat a zachytit ho v přilehlé vzrostlé vegetaci.



Obr. 4-14 Vizualizace proudnic opatření na podkladu ortofotomapy a mapy hloubek, varianta A2 - průtok Q_{50}



Obr. 4-15 Mapa rychlosti proudění s vektory rychlostí na podkladu ortofotomapy, varianta A2 - průtok Q_{50}
(rychlosti proudění v zobrazeném korytě Bečvy dosahují maximálně $2,3 \text{ m.s}^{-1}$)

5 Závěr

Předmětem zpracování bylo hydrotechnické posouzení variantních návrhů protipovodňových opatření 3D matematickým modelem. Plaveninový profil nad Přerovem má za cíl zachytit maximální množství plavenin nad městem a tím snížit riziko ucpání mostních profilů za povodně. Návrhy opatření byly ve dvou variantách pro dvě vytipované lokality. Cílem matematického modelu bylo zjistit, která z navrhovaných variant opatření bude nejvhodnější pro zachytávání plavenin.

Pro zhodnocení navržených opatření byl zpracován matematický 3D model, ve kterém byly posuzovány celkem 4 varianty opatření. Hodnocení opatření bylo provedeno na základě rychlostního pole v příčných řezech a proudnic v místě opatření.

Bylo zjištěno, že nejefektivnější posuzované opatření je **opatření A2**. Jedná se o opatření v podobě souběžného koryta, které se ve směru toku zahlubuje až na úroveň dna koryta a zároveň rozšiřuje. Lokalizace opatření je v druhé polovině levotočivé zákruty ve směru toku. Právě v tomto opatření dochází k největším rychlostem v samotném opatření i k přiblížení rychlostního pole ke konkávnímu břehu, resp. k opatření. Postupně zahlubující koryto způsobuje tzv. „sací“ efekt, který v průběhu celého úseku opatření nasává vodu a tím i plaveniny. Při všech simulování průtokových scénářů, Q_2 , Q_5 a Q_{50} , byla zjištěna funkčnost opatření.

Doporučovaná varianta se souběžným korytem má zároveň výhodu za povodní, kdy bude docházet k postupnému zachytávání plavenin. Tím, že bude souběžné koryto zahlobeno, bude opatřením stále proudit voda a opatření bude stále plnit svou funkci. V případě opatření v podobě bermy by došlo k zachycení plavenin, zneprůtočnění celého opatření a snížení funkčnosti opatření.

Pro případ vyšších průtokových scénářů, kdy již bude docházet k vybřežování vody z koryta Bečvy do zejména pravého inundačního území, je potřeba počítat s opatřením, které zajistí, aby zachycené plaveniny nevnikly zpět do koryta. Jednou variantou je opatření na konci PPO, tj. u zpětného výtoku vody do koryta, kde dochází k odtoku vody z PPO směrem do inundačního opatření. V tomto místě na březích PPO by muselo být opatření, které by udrželo plaveniny v PPO, např. obdoba kůlů, které jsou u výtoku z PPO do koryta toku. Druhou variantou je možnost odplavení plavenin z PPO do inundačního území, ve kterém by docházelo k přirozenému zachytávání plavenin na hustějším porostu.