



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV VODNÍCH STAVEB

INSTITUTE OF WATER STRUCTURES

ROZDĚLOVACÍ OBJEKT NA SMOLINCE

DIVERSION HEADWORK ON SMOLINKA RIVER

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Jan Juriga

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Zbyněk Zachoval, Ph.D.

BRNO 2024

Zadání diplomové práce

Ústav: Ústav vodních staveb
Student: **Bc. Jan Juriga**
Vedoucí práce: **doc. Ing. Zbyněk Zachoval, Ph.D.**
Akademický rok: 2023/24
Studijní program: N0732A260025 Stavební inženýrství – vodní hospodářství a vodní stavby

Děkan Fakulty Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Rozdělovací objekt na Smolince

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

V rámci přípravy VD Vlachovice se na řece Smolince plánuje zhotovení rozdělovacího objektu k zabezpečení převodu vody z povodí Smolinky do nádrže VD Vlachovice. Rozdělovací objekt navržený firmou AQUATIS a.s. je vybaven proplachovací propustí a přelivem s odběrem na koruně. Práce je zaměřena na stanovení doporučení k provedení úpravy návrhu rozdělovacího objektu, která zabezpečí jeho spolehlivou funkčnost jak z pohledu odběru vody, tak z pohledu plynulého transportu splavenin korytem Smolinky. Pro stanovení doporučení k úpravě návrhu bude použit dvojrozměrný numerický model simulující transport splavenin.

Cíle a výstupy diplomové práce:

Cílem práce je stanovení doporučení k provedení úpravy návrhu rozdělovacího objektu na toku Smolinka, která zabezpečí jeho spolehlivou funkčnost jak z pohledu odběru vody, tak z pohledu plynulého transportu splavenin korytem Smolinky.

Seznam doporučené literatury a podklady:

AQUATIS, 2020. Vlára, Vodní dílo Vlachovice – předprojektová příprava, technické řešení.

Zachoval, Z., 2016. Splaveniny ve vodních tocích. Studijní opora. Vysoké učení technické v Brně.

Zachoval, Z., 2023. S17 – Návrh a posouzení možností managementu splaveninového režimu. Vlára, Vodní dílo Vlachovice – dokumentace pro povolení stavby včetně souvisejících činností, průzkumných prací a dokumentace EIA. Brno: VUT, FAST, ÚVST, LVV.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku.

V Brně, dne 20. 3. 2023

L. S.

doc. Ing. Aleš Dráb, Ph.D.
vedoucí ústavu

doc. Ing. Zbyněk Zachoval, Ph.D.
vedoucí práce

prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA, dr. h. c.
děkan

ABSTRAKT

V rámci přípravy vodního díla Vlachovice se na toku Smolinka plánuje zhotovení rozdělovacího objektu k zabezpečení převodu vody z povodí Smolinky do nádrže vodního díla Vlachovice. Rozdělovací objekt je navržen firmou AQUATIS a.s., je vybaven proplachovací propustí a přelivem s odběrem na koruně. Diplomová práce se zabývá stanovením doporučení k provedení úprav návrhu rozdělovacího objektu. Doporučení vyplývající z práce by měla vést ke spolehlivé funkčnosti objektu jak z pohledu odběru vody, tak z pohledu plynulého transportu splavenin korytem Smolinky. Pro stanovení doporučení k úpravě návrhu je v práci použit dvojrozměrný numerický model simulující transport splavenin a trojrozměrný model simulující proudění vody objektem. Podklady potřebné pro zpracování práce byly poskytnuty společností AQUATIS a.s. se svolením Povodí Moravy, s.p.

KLÍČOVÁ SLOVA

Rozdělovací objekt, splaveniny, numerické simulace, Smolinka

ABSTRACT

Within the preparation of the dam Vlachovice, it is planned to construct a diversion work on the Smolinka river to ensure the transfer of water from the Smolinka basin to the Vlachovice reservoir. The diversion work is designed by AQUATIS a.s. and is equipped with a sluice gate and a spillway with a crest intake. This thesis deals with the determination of recommendations for the implementation of modifications to the design of the diversion work. Recommendations resulting from the work should lead to reliable functionality of the object both from the point of view of water intake and from the point of view of continuous transport of sediments through the Smolinka river. A two-dimensional numerical model simulating sediment transport and three-dimensional numerical model simulating water flow are used in the thesis to determine recommendations for design modifications. The documents necessary for the creation of the work were provided by company AQUATIS a.s. with the permission of Povodí Moravy, s.p

KEYWORDS

Diversion work, sediments, numerical simulations, Smolinka river

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

JURIGA, Jan. *Rozdělovací objekt na Smolince*. Brno, 2024. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodních staveb. Vedoucí doc. Ing. Zbyněk Zachoval, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané diplomové práce s názvem *Rozdělovací objekt na Smolince* je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 11. 1. 2024

Bc. Jan Juriga
autor práce

PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci s názvem *Rozdělovací objekt na Smolince* zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 11. 1. 2024

Bc. Jan Juriga
autor

PODĚKOVÁNÍ

V první řadě bych chtěl poděkovat vedoucímu mé diplomové práce, panu doc. Ing. Zbyňku Zachovalovi, Ph.D., za odborné vedení, užitečné rady, trpělivost a za čas strávený při konzultacích. Také bych rád poděkoval společnosti AQUATIS a.s. za podklady, které mi se svolením Povodí Moravy, s.p., poskytli. Dále bych rád poděkoval panu Ing. Davidu Duchanovi, Ph.D., za cenné rady při tvorbě numerických modelů. V neposlední řadě děkuji celé mé rodině a přítelkyni za podporu při studiu.

OBSAH

1	ÚVOD	1
1.1	Vodní dílo Vlachovice.....	1
1.2	Smolinka.....	2
1.3	Navržený rozdělovací objekt na Smolince.....	3
1.3.1	Vodohospodářské řešení rozdělovacího objektu.....	4
1.3.2	Základní technické parametry rozdělovacího objektu.....	5
2	CÍL PRÁCE A METODA ŘEŠENÍ	7
2.1	Cíl práce.....	7
2.2	Metoda řešení.....	7
2.3	Použité prostředky.....	9
2.4	Poskytnutí dat.....	9
3	ROZDĚLOVACÍ OBJEKTY	10
3.1	Přeliv.....	10
3.2	Odběrné objekty vody.....	11
3.2.1	Boční odběrné objekty.....	11
3.2.2	Čelní odběrné objekty.....	12
3.2.3	Dnové odběrné objekty.....	12
3.2.4	Příslušenství odběrných objektů.....	13
3.3	Splaveninové propusti.....	14
3.3.1	Splaveninové propusti s výhony.....	14
3.3.2	Splaveninové propusti s dělicími stěnami.....	15
3.3.3	Splaveninové propusti s usměřovači.....	16
3.4	Rybí přechod.....	16
3.5	Vodácká propust.....	17
4	TRANSPORT SPLAVENIN	18
4.1	Základní pojmy.....	18
4.2	Počátek pohybu splavenin.....	19
4.3	Usazování splavenin.....	19
4.4	Transport splavenin.....	20
4.5	Zanášení zdrží.....	20
5	PODKLADOVÁ DATA	22
5.1	Geodetická data.....	22
5.2	Inženýrskogeologické a hydrogeologické poměry.....	23
5.3	Hydrologické poměry.....	25
5.4	Charakteristika splavenin a usazenin.....	26
6	REKOGNOSKACE ÚZEMÍ	28
7	POUŽITÉ NUMERICKÉ MODELY	32
7.1	2D model.....	32
7.1.1	2D proudění vody.....	32

7.1.2	2D transport splavenin	33
7.1.3	Model.....	35
7.2	3D model	46
7.2.1	3D Model proudění vody rozdělovacím objektem.....	46
7.2.2	Model.....	49
8	TRANSPORT SPLAVENIN ZA STÁVAJÍCÍHO STAVU BEZ ROZDĚLOVACÍHO OBJEKTU.....	54
8.1	Simulace.....	54
8.2	Výsledky.....	54
8.3	Zhodnocení.....	58
9	TRANSPORT SPLAVENIN ZA NÁVRHOVÉHO STAVU S ROZDĚLOVACÍM OBJEKTEM AQT.....	59
9.1	2D Analýza proudění vody	59
9.1.1	Simulace	59
9.1.2	Výsledky	59
9.1.3	Zhodnocení.....	65
9.2	3D analýza proudění vody.....	66
9.2.1	Simulace	66
9.2.2	Výsledky	66
9.2.3	Zhodnocení.....	69
9.3	Analýza splaveninového režimu	70
9.3.1	Simulace	70
9.3.2	Výsledky	71
9.3.3	Zhodnocení.....	78
10	TRANSPORT SPLAVENIN ZA NÁVRHOVÉHO STAVU S ÚPRAVOU ROZDĚLOVACÍHO OBJEKTU	80
10.1	Návrhy úprav.....	80
10.1.1	Úpravy rozdělovacího objektu.....	80
10.1.2	Změna trasy koryta toku, úprava zdrže a zemní hráze	82
10.2	2D Analýza proudění vody	86
10.2.1	Simulace	86
10.2.2	Výsledky	86
10.2.3	Zhodnocení.....	92
10.3	3D Analýza proudění vody.....	93
10.3.1	Simulace	93
10.3.2	Výsledky	93
10.3.3	Zhodnocení.....	95
10.4	Analýza proudění splavenin.....	95
10.4.1	Simulace	95
10.4.2	Výsledky	96
10.4.3	Zhodnocení.....	98
11	ZHODNOCENÍ	100
11.1	Zhodnocení úprav.....	100
11.2	Porovnání	101

12	ZÁVĚR	103
13	SEZNAMY	105
13.1	Literatura.....	105
13.2	Seznam veličin.....	107
13.3	Seznam zkratek.....	110
13.4	Seznam obrázků.....	111
13.5	Seznam tabulek.....	113

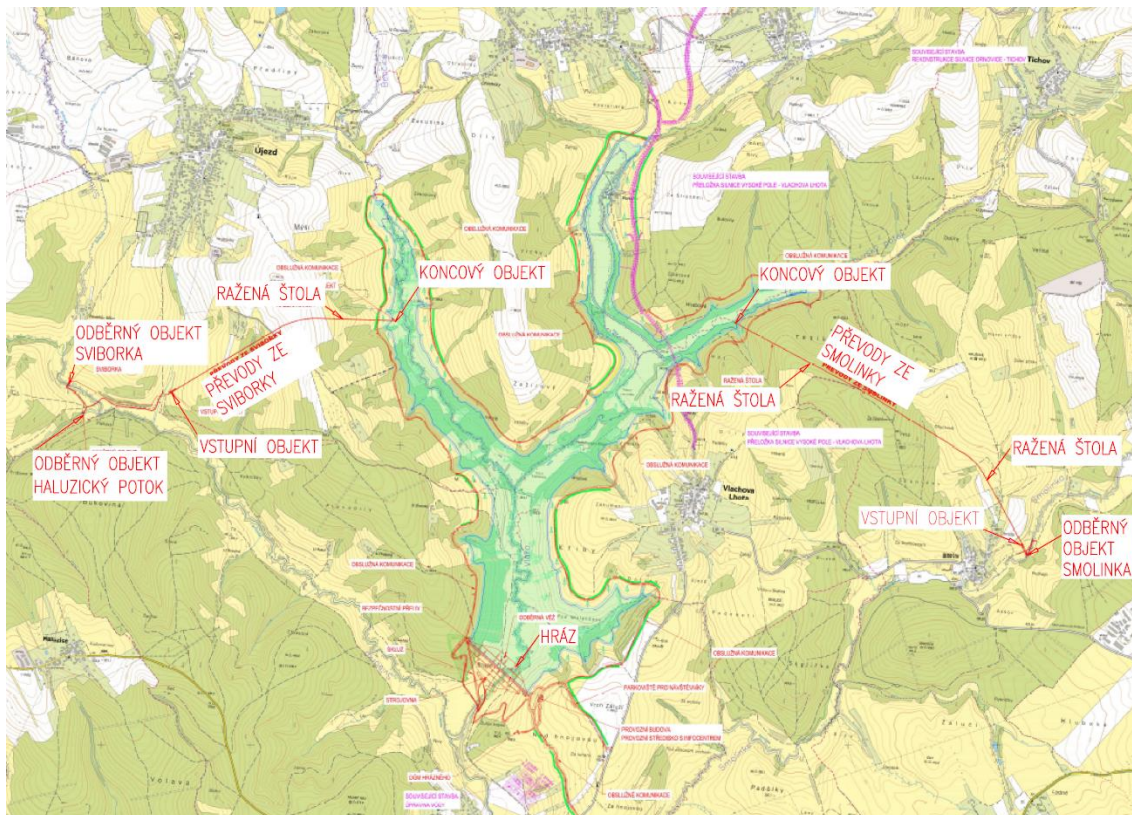
1 ÚVOD

1.1 VODNÍ DÍLO VLACHOVICE

Vodní dílo (VD) Vlachovice je nově připravovaná přehrada na řece Vláře. VD Vlachovice vytvoří nádrž o celkovém objemu $V_c = 29,12$ mil. m^3 a bude plnit více funkcí současně, především se jedná o vodárenské využití, protipovodňovou ochranu, nadlepšení minimálních průtoků v řece Vláře a další. [25]

Nádrž je situovaná v horním povodí řeky Vlárý (viz Obr. 1.1). Plocha povodí Vlárý nad přehradním profilem je 37,5 km^2 . V rámci přípravy je uvažováno s převody vody z okolních povodí Sviborky a Smolinky, které budou štolovými přivaděči s prouděním o volné hladině doplňovat vodu do nádrže v období běžných a zvýšených průtoků v tocích. [25]

Návrh VD Vlachovice včetně rozdělovacích objektů je vypracován firmou AQUATIS a.s. (AQT).



Obr. 1.1 Výstřižek z celkového situačního výkresu VD Vlachovice [V]

Jednou ze stavebních částí převodů vody budou rozdělovací objekty, které budou situovány v korytech toku Smolinky, Sviborky a Haluzického potoka a pomocí nich bude voda odebírána z vodních toků do nádrže. Rozdělovací objekty při realizaci odběru způsobí zmenšení průtoků vody a zároveň zmenšení transportu splavenin v korytech pod nimi, jelikož podstatná část dnových splavenin se bude usazovat v jejich zdržích. Pro zajištění funkčnosti odběrů vody bude nutné usazeniny těžit. [1]

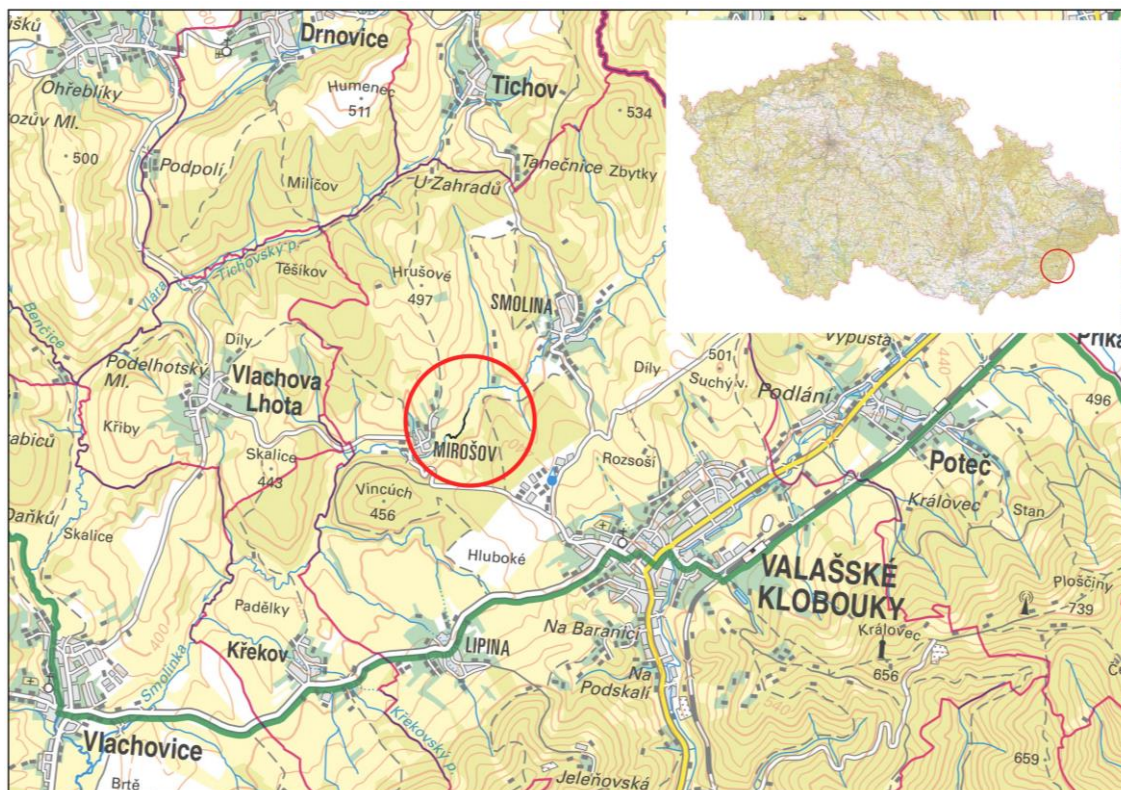
1.2 SMOLINKA

Správní údaje jsou [18]:

Tok:	Smolinka
IDVT:	10186143
Celková délka toku:	15,874 km
Kraj:	Zlínský kraj
Okres:	Zlín
Katastrální území:	Mirošov u Valašských Klobouk
Číslo hydrologického pořadí:	4-21-08-0550
Správce toku:	Povodí Moravy, s.p.

Řeka Smolinka pramení na Vařákových pasekách v Komonecké hornatině. Mezi obcemi Vlachovice a Vrbětice se vlévá do řeky Vlárky. Terén podél toku je vertikálně velmi členitý, s převahou zemědělsky využívaných ploch. V těsné blízkosti toku se vyskytují náletové dřeviny. Smolinka spadá do oblasti povodí Dunaje. Plocha povodí k závěrnému profilu je 27,7 km². [18]

Lokalizace zájmového území je zobrazena na Obr. 1.2 červenou kružnicí.



Obr. 1.2 Zájmové území

1.3 NAVRŽENÝ ROZDĚLOVACÍ OBJEKT NA SMOLINCE

Rozdělovací objekt na Smolince je navržen jako betonová přehrážka se zahraditelnou propustí a nehrazeným přelivem s odběrem vody z koruny. Odvedení odebírané vody k ražené štoli je navrženo gravitační. Propust je hrazená stavidlovým uzávěrem. Při plném otevření propusti se požaduje minimální omezení transportu splavenin rozdělovacím objektem a zároveň se předpokládá, že bude docházet k částečnému proplachování zdrže. [III]

Přeliv má v podélném směru lichoběžníkový tvar se svislým návodním lícem. Koruna přelivu je poproudně skloněná, na korunu navazuje skloněný povodní líc. V příčném směru má přeliv lichoběžníkový tvar. V poproudně skloněné koruně přelivu jsou navrženy dva žlaby. První žlab slouží ke zbavení vody jemných částic, druhý žlab slouží k odběru vody, oba žlaby jsou kryty česlemi. Žlaby jsou zaústěny do komory, která je rozdělena mobilní přehrážkou. Z první komory vede potrubí odběru, kterým je převáděná voda do nádrže VD Vlachovice, z druhé komory vede proplachovací

potrubí, kterým jsou odváděny zachycené jemné částice zpět do koryta toku. V okolí profilu rozdělovacího objektu bude dno koryta rozšířeno na rozsah přelivu a propusti. Poproudě nad i pod rozdělovacím objektem bude dno opevněno kamenným pohozením. [III]

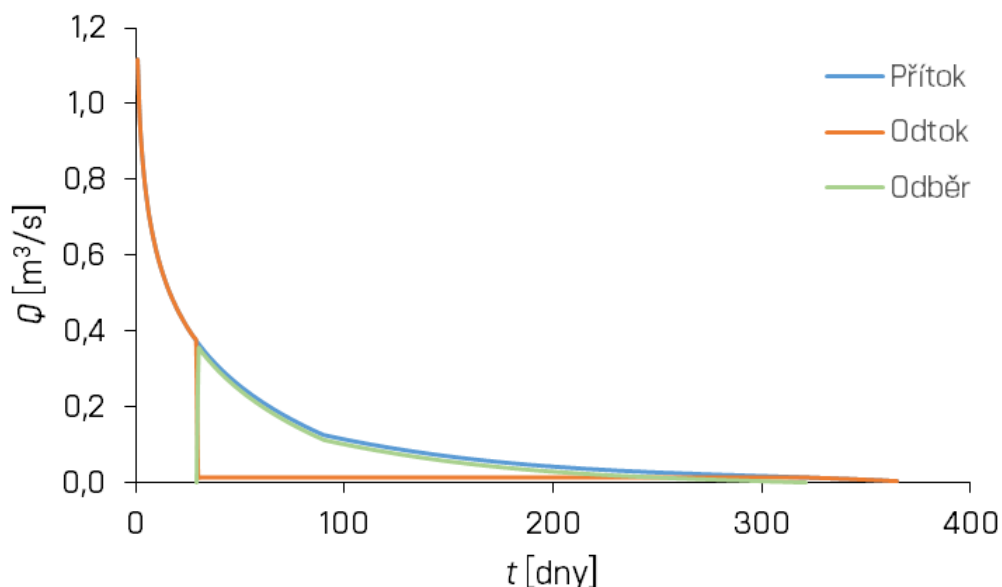
1.3.1 Vodohospodářské řešení rozdělovacího objektu

V rámci vodohospodářského řešení nádrže včetně převodů vody byla zkoumána intenzita využití převáděných průtoků v různých variantách, a to v závislosti na omezujících podmínkách pro funkci převodů. Výsledky byly zhodnoceny pro stávající a výhledový stav, kde je uvažováno s klimatickými změnami. [X]

Omezující podmínkou v korytě toku pod rozdělovacím objektem je požadavek pro zachování minimálního zůstatkového průtoku (MZP), který je Q_{330d} . Převádět je tedy možné jen průtoky převyšující tuto hodnotu. [X]

Omezující podmínkou je i hodnota průtoku při maximálním odběru, která je dána technickým provedením odběru a vlastního převodu, kde se uvažuje s průtokem Q_{30d} [X].

Na Obr. 1.3 je pro tok Smolinka v profilu odběru zobrazen graf s čarou přítoku, čarou odtoku a čarou odběru při maximálním možném odběru [X].



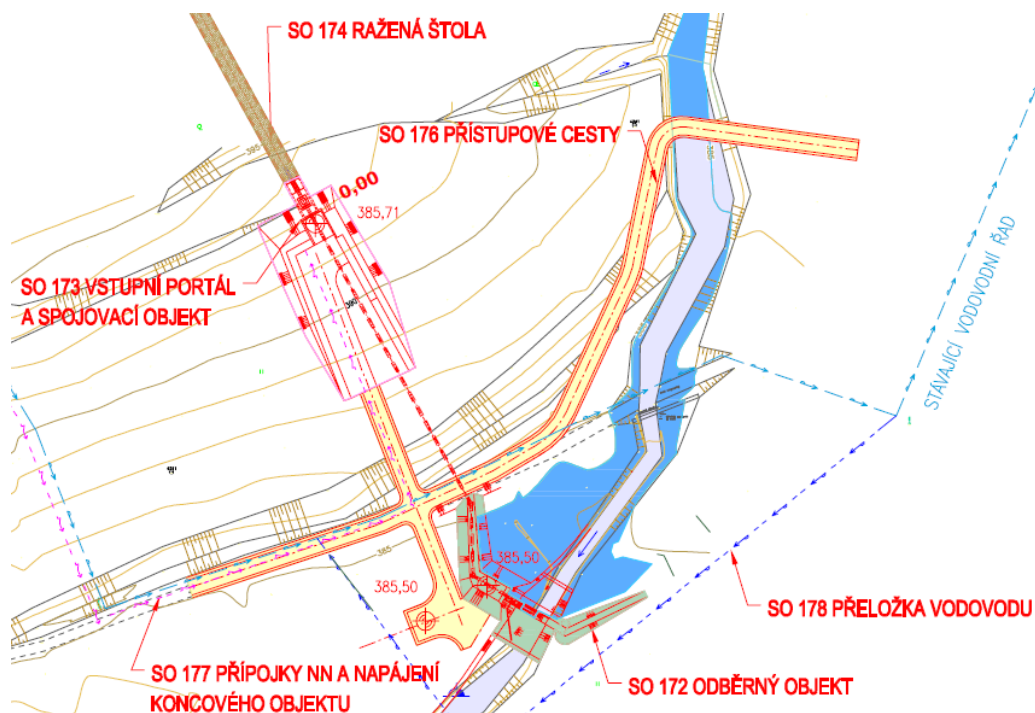
Obr. 1.3 Čáry překročení průtoků – Smolinka [X]

1.3.2 Základní technické parametry rozdělovacího objektu

Jedná se o betonový vzdouvací objekt, který je na obou březích zavázán do terénu. V místě zavázání objektu do terénu navazuje na objekt zemní sypaná hráz lichoběžníkového příčného profilu. Koruna hráze a koruna objektu jsou navrženy v jedné výškové úrovni 385,50 m n. m. Půdorysná šířka rozdělovacího objektu je 13,2 m a délka ve směru proudění 2,1 m. Koruna přelivu nehrazeného přelivu má šířku 3,0 m a je umístěna v úrovni 384,94 m n. m. Na přelivné ploše jsou navrženy dva žlaby, po proudě první žlab má čtvercový příčný profil s délkou strany 0,20 m, druhý žlab má přibližně obdélníkový příčný profil s šířkou 0,30 m a výškou 0,50 m. Komora, do které je odběrný žlab zaústěn, má výšku 1,4 m. Potrubí, které odvádí vodu zbavenou splavenin, má průměr 0,50 m a sklon 1 ‰. Dno potrubí na odtoku z objektu je umístěno v úrovni 384,50 m n. m. Šířka propusti je 1,0 m. [VI]

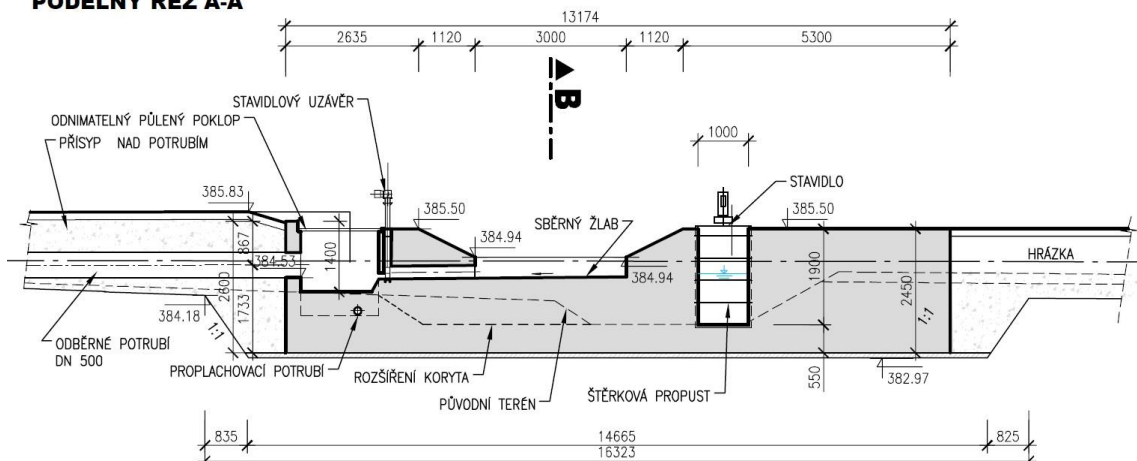
Na Obr. 1.4 je zobrazen výstřižek ze situačního výkresu. Na Obr. 1.5 je zobrazen příčný a podélný řez. Výkresy jsou převzaty ze studie technického řešení vypracované firmou AQT. [V]

Na Obr. 1.6 je zobrazena zjednodušená vizualizace navrženého rozdělovacího objektu. Vizualizace byla vytvořena autorem práce v softwarovém prostředí Blender. Vizualizace umožní získat prostorovou představu o navrženém objektu.

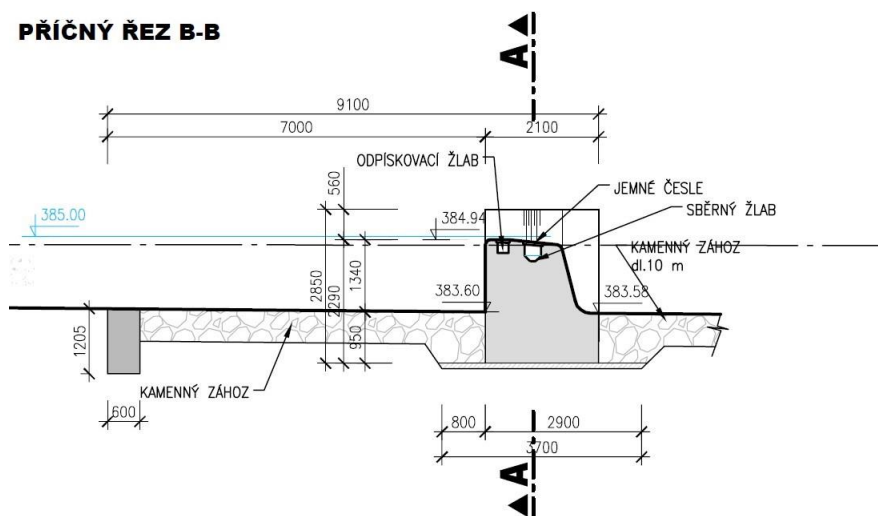


Obr. 1.4 Výstřižek ze situačního výkresu [V]

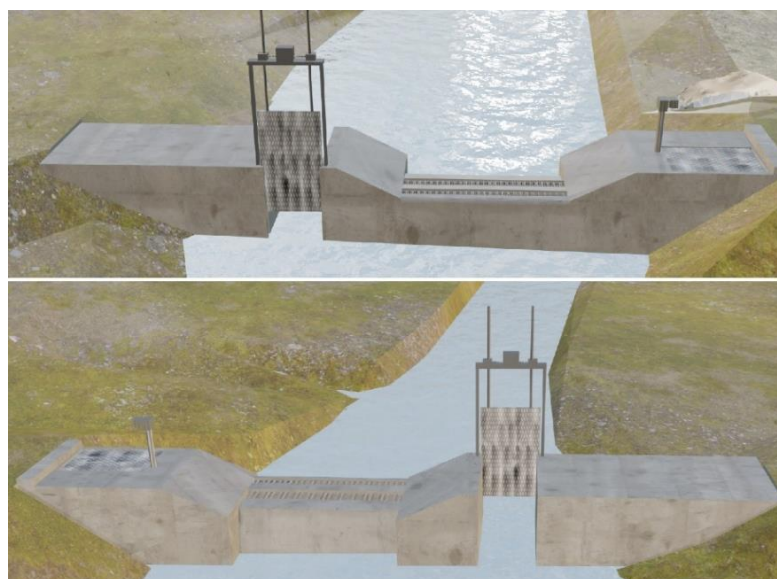
**ODBĚR ZE SMOLINKY
PODÉLNÝ ŘEZ A-A**



PŘÍČNÝ ŘEZ B-B



Obr. 1.5 Podélný a příčný řez rozdělovacím objektem [V]



Obr. 1.6 Vizualizace rozdělovacího objektu

2 CÍL PRÁCE A METODA ŘEŠENÍ

2.1 CÍL PRÁCE

Cílem práce bylo stanovení doporučení k provedení úpravy návrhu rozdělovacího objektu na toku Smolinka, která zabezpečí jeho spolehlivou funkčnost jak z pohledu odběru vody, tak z pohledu plynulého transportu splavenin korytem Smolinky.

2.2 METODA ŘEŠENÍ

Metoda řešení se skládala ze tří základních částí. První částí byla analýza podkladových dat a soudobých znalostí, druhou částí byla vlastní rekognoskace území a třetí bylo provedení numerických simulací sloužících pro splnění cíle. První dvě části byly podpůrné pro provedení třetí části.

Hlavní metoda řešení se opírala o dvojrozměrné (2D) numerické simulace proudění vody a transportu splavenin a trojrozměrné (3D) numerické simulace proudění vody. Na základě jejich výsledků byly navrženy úpravy návrhu rozdělovacího objektu a přilehlých úseků koryta toku Smolinka.

2D numerické simulace popisující proudění vody a transport splavenin popisovaly proudění za:

- stávajícího stavu bez rozdělovacího objektu,
- návrhového stavu s rozdělovacím objektem AQT
- a návrhového stavu s úpravou rozdělovacího objektu autorem práce.

V rámci provozu odběru jsou možné různé manipulace na objektu a průtokové scénáře odpovídající aktuálnímu stavu průtoků ve Smolince, stavu hladiny v nádrži a rovněž potřebě převodu. Vzhledem k jejich značnému množství byly vybrány pouze ty, které vymezují jejich teoreticky možný rozsah. Manipulace na rozdělovacím objektu zahrnovaly stav odběru:

- bez odběru vody
- a s odběrem vody (maximálním možným)

a stav propusti:

- otevřená propust,
- uzavřená propust.

3D simulace se zaměřily především na eliminaci úplavů, v nichž by se mohly splaveniny usazovat a omezovat tak funkčnost hradicí konstrukce propusti. Rovněž umožnily vizualizovat proudění objektem při odběru.

Vzhledem ke složitosti proudění v odpískovacím žlabu a odběrném žlabu při odběru nebylo možné na základě zvolených numerických simulací jejich návrh upravit. Proudění je zde tříslučkové s velkou intenzitou turbulence. V daném případě je vhodnější metodou experimentální výzkum s použitím fyzikálního modelu.

Na základě dosažených výsledků ze simulací byla navržena doporučení pro úpravu návrhu rozdělovacího objektu vedoucí ke spolehlivější funkčnosti objektu, a to jak z pohledu odběru vody, tak plynulého transportu splavenin korytem Smolinky. Prokázání vhodnosti navržených úprav objektu bylo provedeno opět pomocí simulace proudění vody a transportu splavenin a následného porovnání obou stavů (upraveného s neupraveným).

2.3 POUŽITÉ PROSTŘEDKY

Pro vypracování práce byly využity následující softwarové prostředky:

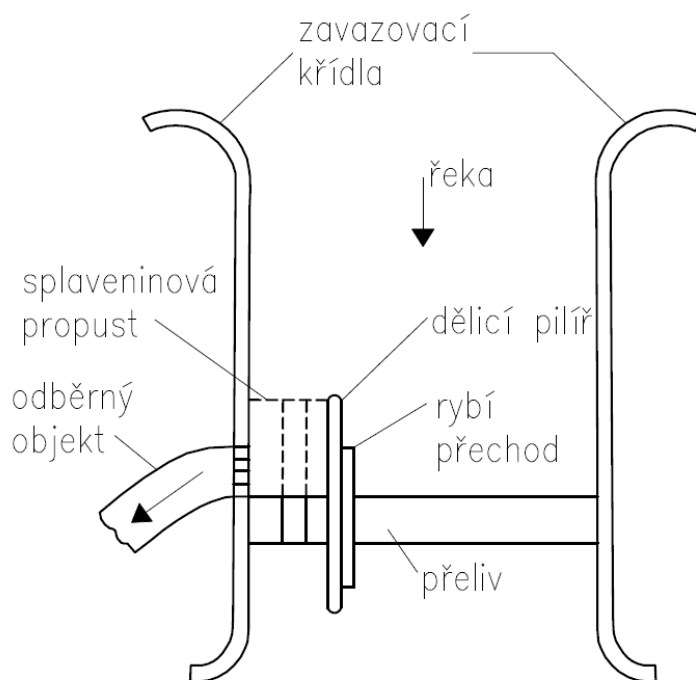
- Autodesk AutoCAD – (Autodesk [3]) použit byl pro vyhotovení 3D modelu rozdělovacího objektu.
- Autodesk Civil 3D – (Autodesk [4]) použit byl pro vytvoření modelu terénu a pro následné operace s ním.
- Blender 3.6 – (open source software [7]) využit byl pro kontrolu a opravu 3D modelu vytvořeného v softwaru AUTOCAD a pro vytváření zjednodušené vizualizace rozdělovacího objektu.
- FLOW 3D – (Flow Science [12]) byl využit pro 3D simulace proudění vody rozdělovacím objektem.
- HEC-RAS 6.4.1 – (U. S. Army Corps of Engineers [2]) byl využit k 2D modelování proudění vody a transportu splavenin.
- MS OFFICE – (Microsoft) byl použit pro doprovodné výpočty a psaní dokumentu.
- QGIS 3.32.3 – (open source software [22]) byl použit především pro analýzu výsledků.
- SMS – (AQUAVEO [1]) byl použit především pro analýzu výsledků a úpravu modelu terénu.

2.4 POSKYTNUTÍ DAT

O poskytnutí dat bylo mezi společnostmi AQT, se zodpovědnou osobou Ing. Jiřím Švancarou, a Bc. Janem Jurigou sjednáno dne 4. 4. 2023 ujednání [IV]. K dohodě byl připojen také vedoucí práce doc. Ing. Zbyněk Zachoval, Ph.D.

3 ROZDĚLOVACÍ OBJEKTY

Jezové rozdělovací objekty jsou stavby, které se budují na vodních tocích za účelem rozdělení průtoku vody. Voda je zde odváděna odběrným objektem z jejího přirozeného toku do odtokových koryt nebo nádrží. Jez je zde pevná překážka umístěná v korytě toku, která trvale nebo dočasně vzdouvá vodní hladinu a tím umožňuje provedení odběru. Rozdělovací objekty na tocích s transportem splavenin obsahují přeliv, splaveninovou propust a odběrný objekt. Může se jednat o odběrný objekt vody nebo splavenin. V práci je pojednáno pouze o rozdělovacích objektech s odběrem vody. Rozdělovací objekty jsou doplněny úpravou přítokového a odtokového koryta. Součástí rozdělovacích objektů může být (dle potřeby) rybí přechod a vodácká propust. Na Obr. 3.1 je zobrazeno schéma typického uspořádání rozdělovacího objektu. [23]



Obr. 3.1 Typické uspořádání rozdělovacího objektu [23]

3.1 PŘELIV

Přelivy lze dělit na hrazené a nehrazené, pro hrazené přelivy se používají hladinové uzávěry, při transportu splavenin se doporučují zdvižné hladinové uzávěry např. segmentové. Nehrazené přelivy jsou konstrukčně jednodušší a v porovnání

s hrazenými vyžadují minimální údržbu. Přelivné plochy se konstruují tak, aby zabezpečovaly co největší průtočnost, životnost a provozní spolehlivost (proudnicové plochy, obložení, opancéřování, minimalizace odtržení atd.). Přelivy používané u rozdělovacích objektů lze podle půdorysného tvaru osy koruny přelivu členit na přímé, obloukové, zalomené atd. [6]

3.2 ODBĚRNÉ OBJEKTY VODY

Odběrné objekty vody jsou navrhovány tak, aby byl s vysokým stupněm zabezpečení zajištěn požadovaný odběr relativně čisté vody. Při návrhu by měly být dodrženy zásady, které zajistí jejich funkčnost. Objekty nemají být zanášeny splaveninami, proto musí být vhodně situovány, jejich práh se vyvyšuje nade dno horní zdrže atd. Pokud nelze zamezit vnikání splavenin, navrhuje se za odběrným objektem usazovací nádrž s proplachováním. Odběrné objekty musí být chráněny před vnikáním pláví, které by mohlo odběrný objekt částečně nebo úplně ucpat. Pokud je potřeba regulace odběru vody, je na vtoku objekt vybaven provozními uzávěry a pro umožnění oprav provizorním hrazením. [13]

Existuje mnoho různých typů odběrných objektů, každý typ může mít různé modifikace, které vedou ke zlepšení funkčnosti. Jaký typ odběrného objektu zvolit závisí na mnoha faktorech, zejména na charakteru příslušného úseku toku, na splaveninovém a hydrologickém režimu a také na konfiguraci koryta toku v místě, kde má být odběr situován. [13]

3.2.1 Boční odběrné objekty

Boční odběrné objekty zajišťují odběr části průtoku vody z koryta toku do koryta odběru pod úhlem až 90°. Člení se dle pozice odběru na jednostranné odběry, které je vhodné situovat do konkávního břehu, a oboustranné odběry, které se navrhují do přímého úseku koryta toku. [13]

Pokud je vzduť jezu relativně velké, pak se pro omezení vnikání především dnových splavenin do odběru používá vtokových prahů a vyvýšené pozice odběru. Splaveniny usazované před vtokovým prahem jsou proplachovány do dolní zdrže. [13]

Pokud je vzduť jezu relativně malé, je možné využít příčného proudění v korytě toku k omezení vniku především dnových splavenin do odběrného objektu. Příčné

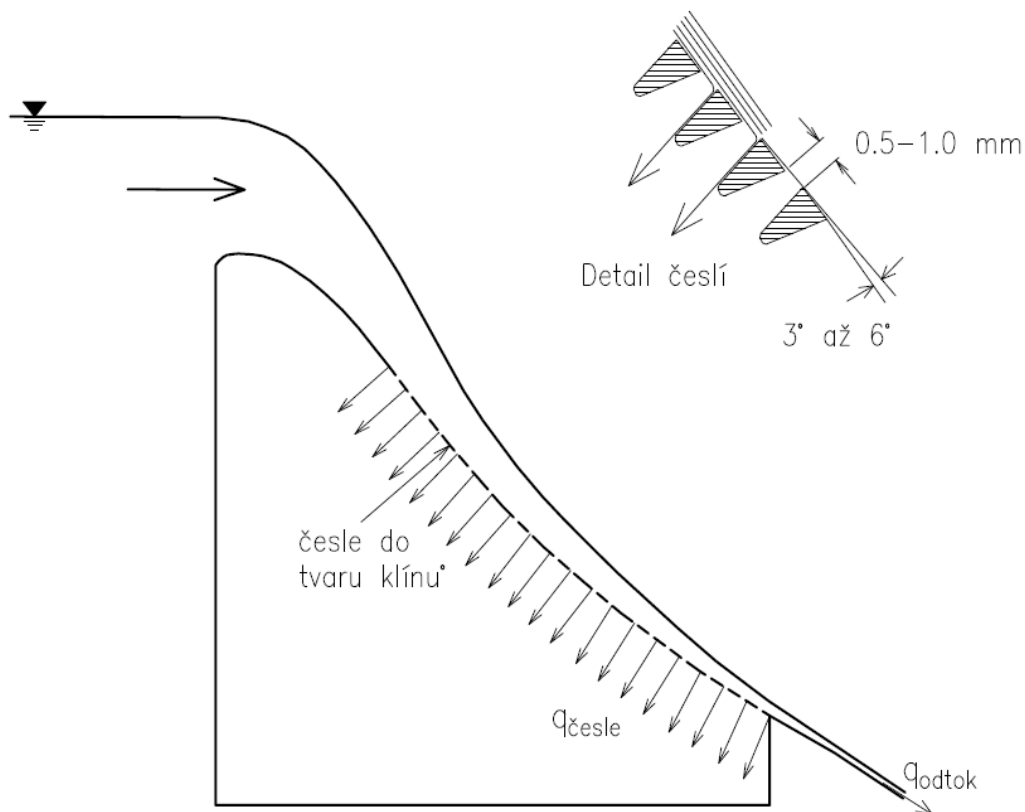
proudění nastává vhodným zakřivením přívodního koryta nebo vzájemným situováním jezu a odběrného objektu. Odběr je umístován do konkávního břehu koryta. [13] [19]

3.2.2 Čelní odběrné objekty

Navrhují se v přímých úsecích štěrkonosných toků, nejčastěji jsou oboustranné, ale vyskytují se také jako jednostranné, jsou označovány jako odběry Elsdanova typu. Používají se obvykle pro dodávku vody do systémů zavlažovacích kanálů. [13]

3.2.3 Dnové odběrné objekty

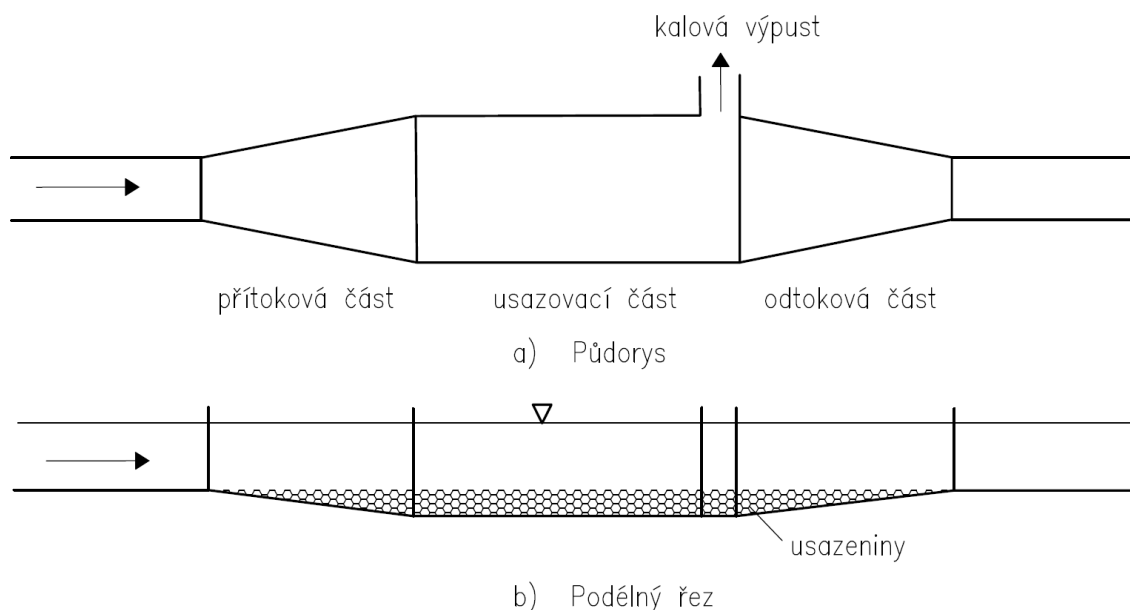
Dnové odběry neboli odběry tyrolského typu jsou využívány na tocích, kde dochází k častému nebo trvalému pohybu dnových splavenin s převažujícím podílem velkých částic. Nejčastěji se jedná o horské toky s bystřinným prouděním. Dnový odběr je tvořen žlabem, který se umísťuje v koruně tělesa pevného jezu nebo přímo ve dně koryta a je zakryt roštem z podélně nebo příčně umístěných česlic nebo ocelovým sítem s otvory. Mezery mezi česlicemi bývají voleny v závislosti na požadované velikosti separace částic splavenin. Jednou z typických konstrukcí, která se v současné době hojně využívá, je rošt s Coandovým efektem. Jedná se o specifický typ klínového česlového panelu, u něhož je každá česlice nakloněná o několik stupňů po proudu, aby se vytvořil odklon částic splavenin od česlic a maximalizoval se odběr vody. Boční pohled a detail česlí s Coandovým efektem je zobrazen na Obr. 3.2. [8]. Částice větší, než je mezičeslicová mezera, jsou následně zbylým proudem v korytě nebo na přelivu transportovány do dolní zdrže (koryta). Odebraná voda se splaveninami menších průměrů je odváděna do žlabu odběru. Tyto částice se usazují v usazovacím prostoru, který je vhodné navrhovat s proplachováním. [13]



Obr. 3.2 Česle s Coandovým efektem [8]

3.2.4 Příslušenství odběrných objektů

Zřídka kdy je odebraná voda zbavená všech splavenin. Většinou obsahuje nezanedbatelné množství plavenin, které je třeba v případě potřeby oddělit. Z uvedeného důvodu se bezprostředně za odběr umísťují oddělovače splavenin. Nejpoužívanějšími oddělovači splavenin jsou usazovací objekty. Usazování plavenin zde nastává v rozšířené části, kde dochází k poklesu rychlosti, a plaveniny se tak mohou usadit. Objekt se skládá ze tří částí z přítokové, usazovací a odtokové. Přítoková část je navržena tak, aby docházelo k rovnoměrnému rozdělení průtoku a plavenin do usazovací části. Přítoková část by se měla postupně rozšiřovat. Usazovací část musí být navržena tak, aby v ní docházelo k usazování částic s jejich požadovaným průměrem. Odtoková část by měla být tvarována tak, aby nedocházelo k opětovnému vymílání usazenin v usazovací části. Schéma usazovacího objektu je zobrazeno na Obr. 3.3. Základní koncepci návrhu za použití analytických vztahů popisuje např. James [19].



Obr. 3.3 Schéma usazovacího objektu [19]

3.3 SPLAVENINOVÉ PROPUSTI

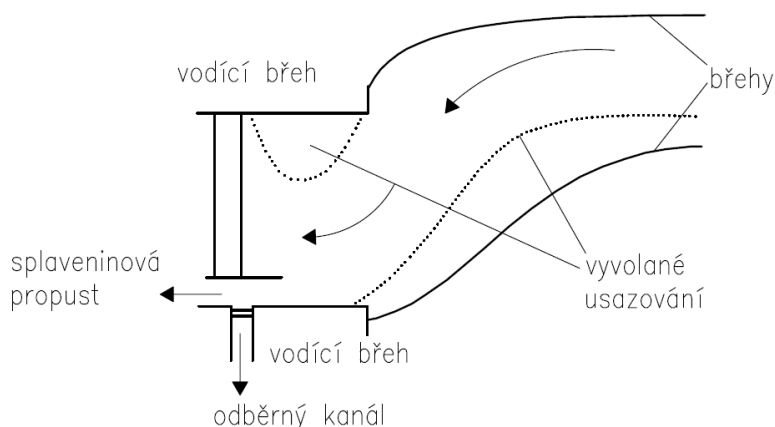
Splaveninové propusti jsou objekty, které slouží k zabránění vnosu splavenin do vtoku odběrného objektu a umožňují neškodný transport splavenin z horní zdrže do dolní zdrže (koryta). V průběhu mnoha let bylo vyvinuto mnoho různých typů splaveninových propustí, z nichž většina využívá přirozené změny koncentrace a velikosti částic splavenin po výšce profilu (koncentrační profil splavenin). Podrobný návrh objektů je vždy ztížen mnoha nejistotami, a to zejména proměnlivostí budoucích průtoků vody a koncentrací splavenin. [19]

Splaveninové propusti jsou doplňovány konstrukcemi, které zlepšují jejich funkčnost a zabraňují vnikání splavenin do vtoku odběrného objektu. Níže jsou některé z nich uvedeny.

3.3.1 Splaveninové propusti s výhony

Příčné a podélné výhony umístované v přítokovém korytě bezprostředně před splaveninovou propustí směřují a koncentrují proud vody transportující dnové splaveniny směrem do splaveninové propusti. V případě vyvolání příčného proudění se odběrný objekt situuje na vnější straně uměle vytvořeného oblouku. Pomocí výhonů je proud vody transportující dnové splaveniny směřován do splaveninové

propusti. Šířka uměle vytvořeného proudu s transportem dnových splavenin musí být navržena tak, aby byla zajištěna jeho dostatečná rychlost pro transport dnových splavenin [19]. Na Obr. 3.4 je uvedena konfigurace uměle vytvořeného proudu s příčným prouděním pomocí výhonů (vyvolané usazování).

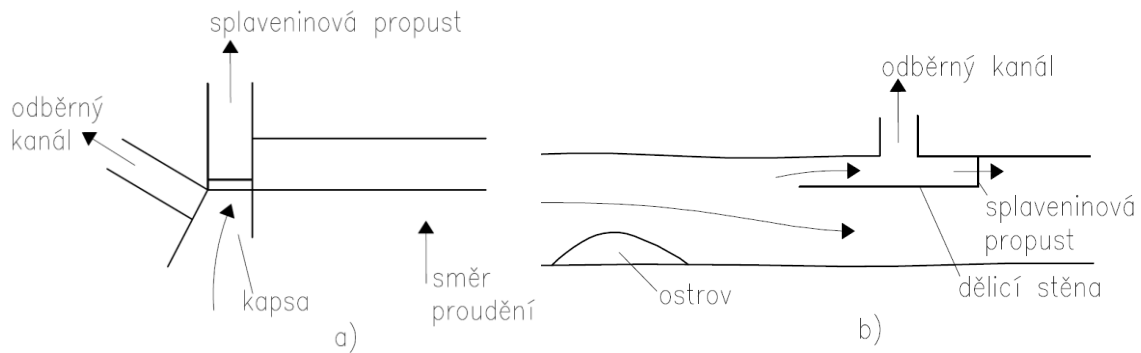


Obr. 3.4 Konfigurace vodících břehů [19]

3.3.2 Splaveninové propusti s dělicími stěnami

Dělicí stěny se využívají ke zmenšení hodnoty rychlosti v prostoru odděleném dělicí stěnou (kapsa) od koryta toku, aniž by ovlivnily přirozený transport splavenin tokem. Snížením rychlosti v prostoru dojde k usazování částic, které je nutné proplachovat, čímž umožňují odběr vody s relativně malou koncentrací plavenin. [19]

Dělicí stěna, která je situována proti proudu, vytváří před odběrem kapsu, jak je znázorněno na Obr. 3.5, která slouží pro usazování splavenin. Usazené splaveniny jsou následně odváděny splaveninovou propustí, a to buď přerušovaně nebo kontinuálně v závislosti na dostupném průtoku. Vtok do odběrného objektu musí být umístěn v dostatečné výšce nade dnem, uvádí se alespoň v jedné třetině hloubky. Délka dělicí stěny se určuje poměrem průtoku v toku a průtoku, který je odebírán. [19]



Obr. 3.5 a) kapsa s přepážkou b) uspořádání s dělicí stěnou [19]

3.3.3 Splaveninové propusti s usměrňovači

Usměrňovače se používají k vyvolání příčného proudění vody a transportu splavenin buď v přímé trati vodního toku směrem k protějšímu břehu odběrného objektu, nebo do splaveninové propusti. Usměrňovače se umísťují buď do dna koryta toku (dnové), nebo na vodní hladinu (hladinové, plovoucí). Hladinové usměrňovače usměrňují relativně čistou vodu k vyvýšenému vtoku do odběrného objektu, což vyvolá protiproud v blízkosti dna, který je směřován do proplachovací propusti nebo na protější břeh. Nevýhodou hladinových usměrňovačů však je, že zachycují plávi. Dnové usměrňovače se používají k odchýlení proudu transportujícího dnové splaveniny od vtoku do odběrného objektu, čímž vyvolají usměrnění relativně čisté vody do vtoku odběrného objektu. Nevýhodou je jejich relativně krátká životnost z důvodu obrusu. [19]

3.4 RYBÍ PŘECHOD

Výstavbou vysokých příčných staveb v korytech toků vzniká ve většině případů nepřekonatelná překážka pro migraci ryb proti proudu. Pro možnost překonání soustředěného spádu se proto u příčných staveb navrhují rybí přechody, které umožňují migraci ryb. [13]

Rybí přechody lze rozdělit na dvě základní skupiny, technické a přírodě blízké. Přírodě blízké jsou velmi blízké poměrům v přirozených tocích, dle typu se dělí na obtoková koryta, dnové peřeje a migrační rampy. Technické se budují u vysokých překážek na větších tocích, kde není možnost vybudovat jeden z typů přírodě blízkých rybích

přechodů. Dělí se na žlabové, štěrbinové, žlabové z přepážek z různých materiálů a kombinované. [16]

Podrobné informace jsou uvedeny v normě TNV 75 2321 [16] a v metodice Migrace ryb, rybí přechody a způsob jejich testování vydané Ministerstvem životního prostředí v roce 2021 [24].

3.5 VODÁCKÁ PROPUST

Zvýšený zájem veřejnosti o vodní turistiku vede k nutnosti zřizovat u nově budovaných ale i stávajících rozdělovacích objektů vodácké propusti. Propusti by měly mít symetricky rozšířený předsazený vtok. Ve vtokové části se navrhují drážky pro provizorní hrazení. Šikmý skluz propusti je navrhován s obdélníkovým průřezem a s konstantní šířkou, sklon dna by měl být 6 až 8 %. Pro zvětšení drsnosti se na dno skluzu umisťují prahy. Výtok do dolní vody bývá řešen v závislosti na charakteru proudění pod propustí. [13]

4 TRANSPORT SPLAVENIN

Kapitola slouží především pro jednoznačné vysvětlení terminologie a dějů použitých v práci.

4.1 ZÁKLADNÍ POJMY

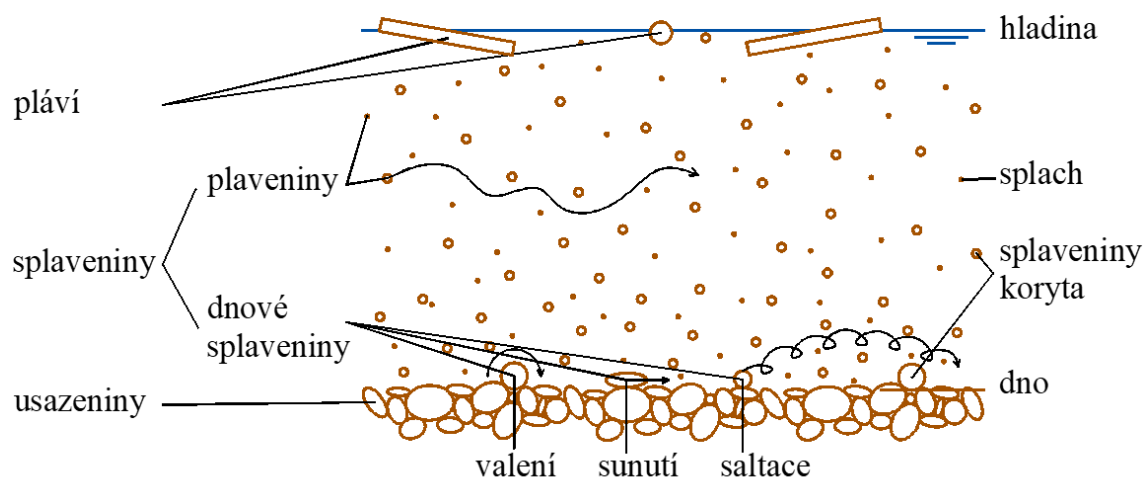
Pevné částice (nerozpuštěné látky) organického i neorganického původu, které jsou přemísťovány toky se dle charakteru pohybu v proudu dělí na (Obr. 4.1):

- Plávi (splávi) – plovoucí částice pohybující se po hladině (část částice je nad hladinou).
- Splaveniny – neplovoucí částice pohybující se v proudu (částice je celá pod hladinou).

Splaveniny se dále dělí na:

- Dnové splaveniny – splaveniny, které se pohybují v proudu při dně.
- Plaveniny – splaveniny, které se pohybují v proudu v suspenzi (vznáší se).

Usazeniny jsou obecně pevné částice anorganického nebo organického původu vzniklé usazením v tekutině. [26]



Obr. 4.1 Dělení částic v korytě toku dle jejich pohybu v proudu [26]

Mezi základní mechanické děje spojené s existencí splavenin se řadí: vymílání, transport a usazování. Vymílání se z prostorového hlediska dělí na vymílání břehů a vymílání dna. Při vymílání koryta vzniká výmol, který se vyznačuje jako místní

prohlubeň v korytě nebo v inundačním území. Vymílání je omezeno výmolovou základnou. [26]

Následkem usazování splavenin je vzniku nánosů. Nános je specifikován jako místní vyvýšenina z usazenin v korytě toku a v inundačním území. Při zaústění toku do stojaté vody vzniká nános známý jako delta. Pokud dochází k nánosům nesoudržných usazenin s přibližně vodorovnou plošně rozlehlou plošinou a strmými svahy, tak se jedná o lavice. [26]

4.2 POČÁTEK POHYBU SPLAVENIN

Počátek pohybu splavenin je dán uvedením částice do pohybu proudem vody. Každá částice, která je usazena na dně, je uvedena do pohybu při jiných podmínkách, proto je obtížné stanovit počátek pohybu jako celku. [26]

V současné době se pro hodnocení počátku pohybu splavenin používá nejčastěji bezrozměrné smykové napětí

$$\tau^* = \frac{\tau_d}{g \cdot d \cdot (\rho_s - \rho)}, \quad (4-1)$$

které je dané hustotou ρ , velikostí částice d , hustotou částice ρ_s , tíhovým zrychlením g a smykovým napětím na dně τ_d . Při dosažení jeho kritické hodnoty dochází k počátku pohybu splavenin. [26]

Kritická hodnota

$$\tau_c^* = 0,047 \cdot (4,5 \cdot e^{-d^*/3} + e^{-5/d^*}), \quad (4-2)$$

je závislá na bezrozměrné velikosti částice

$$d^* = \left(\frac{\rho_s - \rho}{\rho} \cdot \frac{g}{v^2} \right)^{1/3} \cdot d, \quad (4-3)$$

kde v je kinematická viskozita. [26]

4.3 USAZOVÁNÍ SPLAVENIN

Usazování částic je děj klesání částic v tekutině, je závislé na vlastnostech částic a vlastnostech kapaliny. Jedná se o neustálený děj, který lze v praktických úlohách spojených s pohybem splavenin považovat za ustálený. Usazování se v současné době popisuje pomocí bezrozměrné usazovací rychlosti

$$w^* = \frac{\rho}{\rho_s - \rho} \cdot \frac{w^3}{g \cdot v} \quad (4-4)$$

kde w je usazovací rychlost. Pro obecný tvar částice vyjádřené Coreyho tvarovým indexem Co , je bezrozměrná usazovací rychlost daná rovnicí

$$w^* = \frac{d^{*6}}{[18 + (1,6 - Co) \cdot d^{*3/2}]^3} \quad (4-5)$$

Rovnice je platná do $d^* = 2400$ v rozsahu $0,02 < Co < 1,0$. [26]

4.4 TRANSPORT SPLAVENIN

Splaveniny se ve vodním proudu pohybují v závislosti na poměru mezi usazovací rychlostí w a třecí rychlostí u^* , která působí proti usazování. Když $u^*/w \leq 1$ pohybují se splaveniny u dna, jedná se o dnové splaveniny, pokud je $u^*/w > 1$ pohybují se splaveniny v proudu a jedná se o plaveniny. [1]

Dnové splaveniny se pohybují sunutím válením a saltací nebo kombinací sunutí a válení. Způsob pohybu závisí na tvaru částice, Rousově čísle a na počtu vrstev, ve kterých se pohybují. [26]

Plaveniny se pohybují ve vlnosku neuspořádaně, ovlivňuje je turbulence. Vytvářejí po výšce proudu typický koncentrační profil, kdy největší koncentrace plavenin je při dně a nejmenší při hladině. [26]

Průtok splavenin závisí na změně podmínek, za kterých vzniká. Mění se především se změnou průtoku vody. Průtok splavenin Q_s při průtoku vody Q se stanovuje dvěma způsoby, a to odděleně pro dnové splaveniny a plaveniny nebo komplexně pro splaveniny. [26]

Existuje značné množství rovnic, které lze použít pro stanovení průtoku splavenin. Mezi nejpoužívanější rovnice pro dnové splaveniny, které jsou pro Smolince typické, se řadí rovnice Meyer-Petera a Müllera (1948). [26]

4.5 ZANÁŠENÍ ZDRŽÍ

Většina přirozených toků je z hlediska přítoku a odtoku splavenin vyvážená, ale výstavbou vzdouvací konstrukce se rovnováha naruší. Vytvoří se zdrž, ve které se splaveniny částečně usadí. Rychlost zanášení zdrže se s časem postupně zmenšuje v závislosti na zmenšujícím se objemu zdrže. Ve stádiu, kdy dochází k zanášení zdrže,

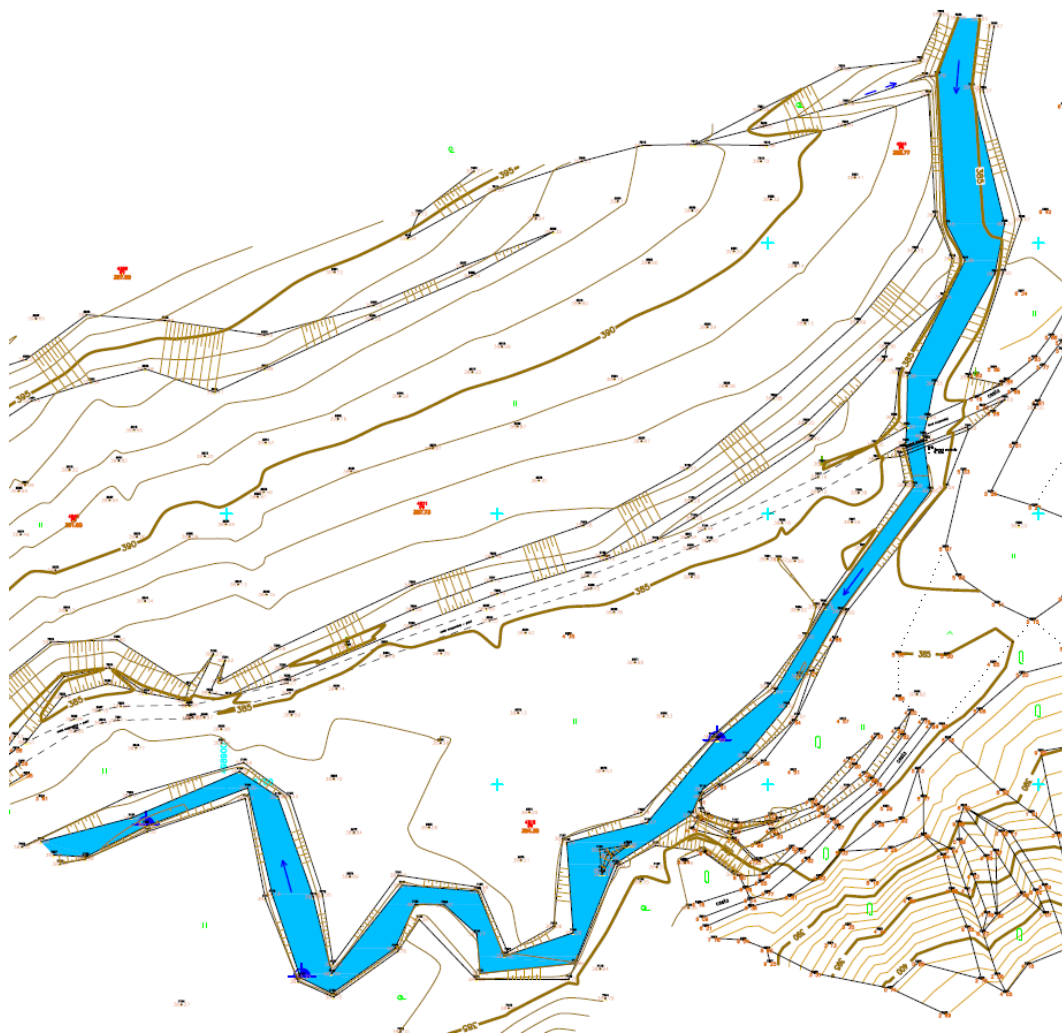
dochází k ovlivnění transportu především dnových splavenin za vzniku hladové vody v korytě pod vzdouvacím objektem. [26] [21]

Mezi základní způsoby, jak omezit zanášení zdrží, patří vybudování splaveninové propusti. Propusti umožňují neškodné odvedení splavenin přes jez. Dno propusti by mělo být na úrovni dna horní zdrže. Ve většině případů jsou splaveninové propusti hrazeny zdvižným stavidly nebo segmenty za účelem manipulace s vodou. Splaveninové propusti se otevírají při průtocích, které vyvolávají průtok splavenin. [26]

5 PODKLADOVÁ DATA

5.1 GEODETICKÁ DATA

Jako hlavní geodetický podklad byl využit výškový popis Smolinky a blízkého okolí vyhotovený firmou AQT. Na Obr. 5.1 je zobrazen výřez z geodetického zaměření, dodaného firmou AQT. Sklon dna koryta Smolinky odvozený z geodetického zaměření se pohybuje v rozmezí od 0,8 % do 1,0 %. Šířka koryta se pohybuje od 3 m do 10 m. Pro doplnění výškového popisu oblasti, která je položena protiproudě, byl použit digitální model reliéfu České republiky 5. generace (DMR5G), který je volně dostupný z veřejné databáze Českého úřadu zeměměřického a katastrálního (ČÚZK). Z Geoportálu ČÚZK – WMS byly využity ortofoto a základní mapy [10].

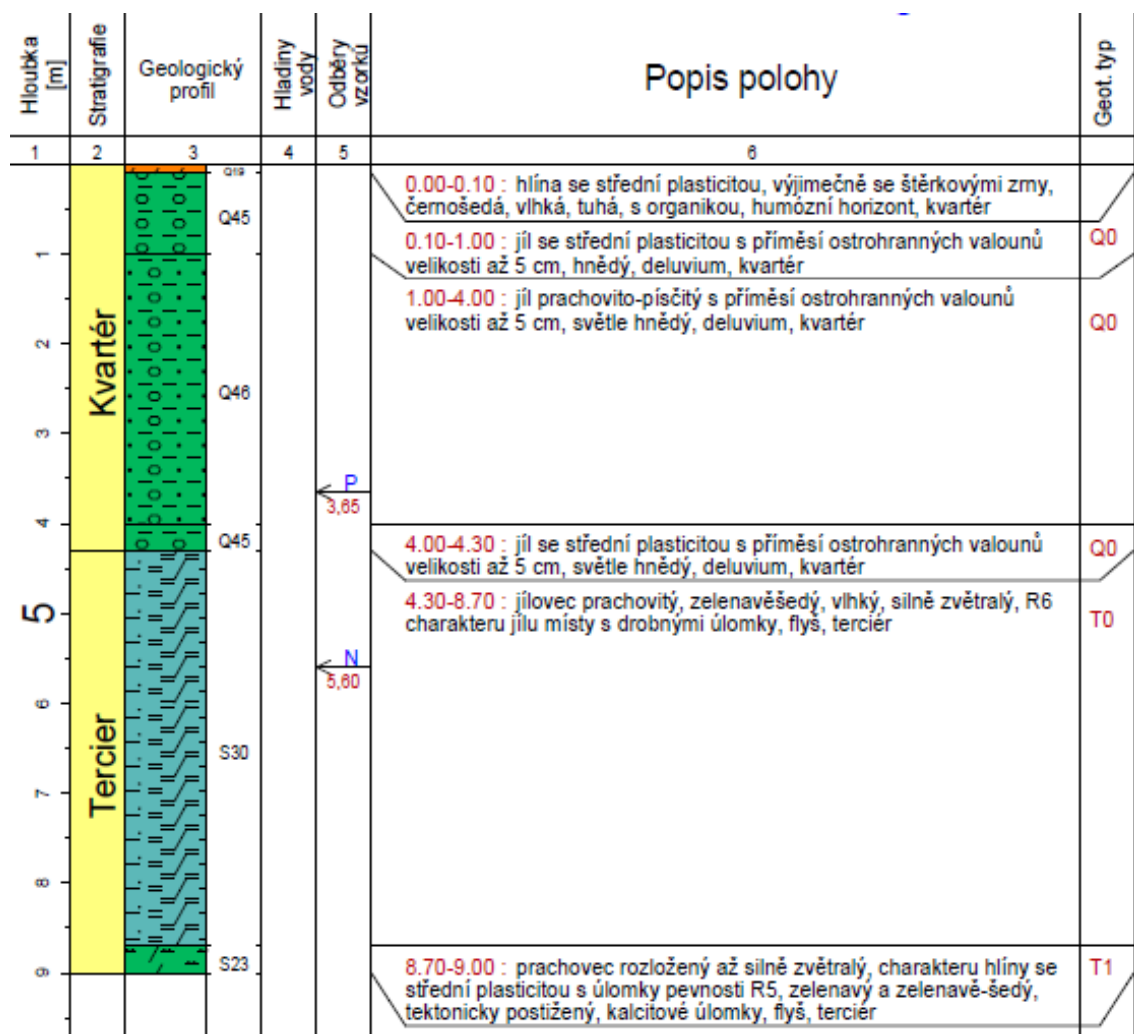


Obr. 5.1 Výřez geodetické zaměření zájmové oblasti [VII]

5.2 INŽENÝRSKOGEOLOGICKÉ A HYDROGEOLOGICKÉ POMĚRY

V blízkosti zájmové lokality nebyly v minulosti provedeny dostatečné inženýrskogeologické a hydrogeologické průzkumy. Jednalo se pouze o průzkumy v širším okolí, podle kterých byla zpřesněna geologická stavba při návrhu trasy převodu vody. [IX]

V současné době je nejaktuálnější předběžný inženýrsko – geologický (IG) průzkum z 10/2019, který byl poskytnut jako podklad pro vypracování této práce. K dispozici jsou pouze data z oblasti vstupního portálu, jelikož v místě odběrného objektu nebyly provedeny vrtné práce, a nejbližší vrty, které se v území nachází, jsou v místě portálu. Na Obr. 5.2 je zobrazen příčný řez vrtem JV-SM1, který je situován v místě vstupního portálu na Smolince. [IX]



Obr. 5.2 Řez vrtu JV-SM1 [IX]

Z Obr. 5.2 lze pozorovat skladbu geologického profilu, který je složen ze zpevněných usazenin, které jsou charakteru písčitých a štěrkových hlín a hlinitých písků. Hluběji uložené vrstvy jsou v podobě prachovců, jílovců a s vrstvami pískovců. [IX]

Geodetické parametry zemin a hornin pro geotechnické typy, které jsou v zájmovém území nejvíce zastoupeny, jsou uvedeny v Tab. 5.1.

Tab. 5.1 Geotechnické parametry zemin a hornin [IX]

Geotech. podtypy	Smykové efektivní parametry		Deformační modul přetvárnosti	Youngův modul pružnosti	Smykový modul pružnosti	Poissonovo číslo	Pevnost v prostém tlaku
	φ_{ef}	c_{ef}					
Symbol	φ_{ef}	c_{ef}	E_{def}	E	G	ν	σ
Jednotka	°	kPa	MPa	GPa	GPa	-	MPa
Q0	19	14	3-6	8,0-9,3	3,3-4,0	0,41	-
Q1	21	18	6-11	9,5-10,8	4,1-4,6	0,40	-
T0	19-20	16-18	12-17	9,0-10,5	3,9-4,3	0,40	0,1-0,5
T1	21-23	22-25	20-35	10,1-13,0	4,1-5,6	0,36	1,5-5,0

Zájmové území je víceméně náchylné ke svahovým pohybům. V místě rozdělovacího objektu nejsou pozorovány žádné pohyby, drobné plouživé pohyby se projevují až od začátku navrženého převaděče. [VI]

Hydrogeologické poměry jsou popsány zejména v místě plánovaného převaděče.

Zájmovou oblast lze charakterizovat jako zvodněný systém potenciálně kolektorské polohy pískovců a nevětralých prachovců, které jsou izolovány polohami zvětralých a rozložených jílovců a prachovců. Zvětralé až rozložené usazeniny tvoří hydrogeologické izolátory. Propustnost terciálních usazenin ve směru kolmém na průběh vrstev je značně omezena a kolektory mohou být odvodňovány do jílovitých svahových pokryvů, za vzniku častých výskytů sesuvů. Na celkový oběh podzemní vody má zásadní vliv značná variabilita stupně puklinové propustnosti. Běžným kolektorem flyšových oblastí je podpovrchová vrstva se zvýšenou propustností, která dosahuje do hloubek okolo 30 m až 40 m, zatímco hlubší partie horninového masivu vykazují nižší propustnost. [IX]

Měření stavů hladiny podzemní vody bylo prováděno ve studnách v širším okolí plánovaného převodu vody a také v dočasně vystrojených vrtech vyhloubených v prostoru vstupního portálu na Smolince. Ve vrtech byla hladina podzemní vody

zastižena v paleogenních horninách v hloubkách 6,5 m až 10,0 m pod terénem, hladina podzemní vody byla mírně napjatá až volná. V širším okolí přivaděče se nenachází žádný zdroj podzemní vody využívaný pro hromadné zásobování obyvatel. Podzemní voda v dané lokalitě je z hlediska působení na beton slabě agresivní a lze ji zařadit do třídy XA1. [IX]

5.3 HYDROLOGICKÉ POMĚRY

Hydrologické údaje pro profil na Smolince v místě odběrného objektu byly poskytnuty Českým hydrometeorologickým ústavem (ČHMÚ) v 12/2017, objednavatelem podkladů byla firma AQT [VI].

Data m -denních průtoků, které jsou ve třídě přesnosti III., jsou odvozena z pozorovaných průtoků ve vodoměrných stanicích za období 1981-2010. N -leté průtoky jsou odvozeny z dat staniční sítě ČHMÚ za maximální období pozorování podle reálného režimu odtoku v povodí s orientační hodnotou střední kvadratické chyby 40 %. Dostupné údaje jsou zobrazeny v Tab. 5.2. [VII]

Tab. 5.2 Hydrologické údaje pro profil na Smolince [VII]

Vodní tok:	Smolinka		Plocha povodí:				13,60 [km ²]	
Profil:	40 m nad hospodářským mostkem v Mirošově		Průměrné srážky:				[mm]	
č. h. p.	4-21-08-0550		Průměrný dlouhodobý průtok:				0,117 [m ³ /s]	
m [dny]	30	60	90	120	150	180	210	
Q_m [m³/s]	0,306	0,185	0,125	0,09	0,068	0,053	0,04	
m [dny]	240	270	300	330	355	364		
Q_m [m³/s]	0,02	0,022	0,017	0,012	0,005	0,001		
třída	III.							
N [let]	Q_1	Q_2	Q_5	Q_{10}	Q_{20}	Q_{50}	Q_{100}	
Q_N [m³/s]	4,2	7,7	14	20	27	39	49	
třída	III.							

K dispozici byla i teoretická povodňová vlna (TPV) Q_{100} pro profil rozdělovacího objektu. Objem a kulminační průtok TPV Q_{100} zobrazuje Tab. 5.3. [VII]

Tab. 5.3 Objem a kulminační průtok TPV Q_{100} [VII]

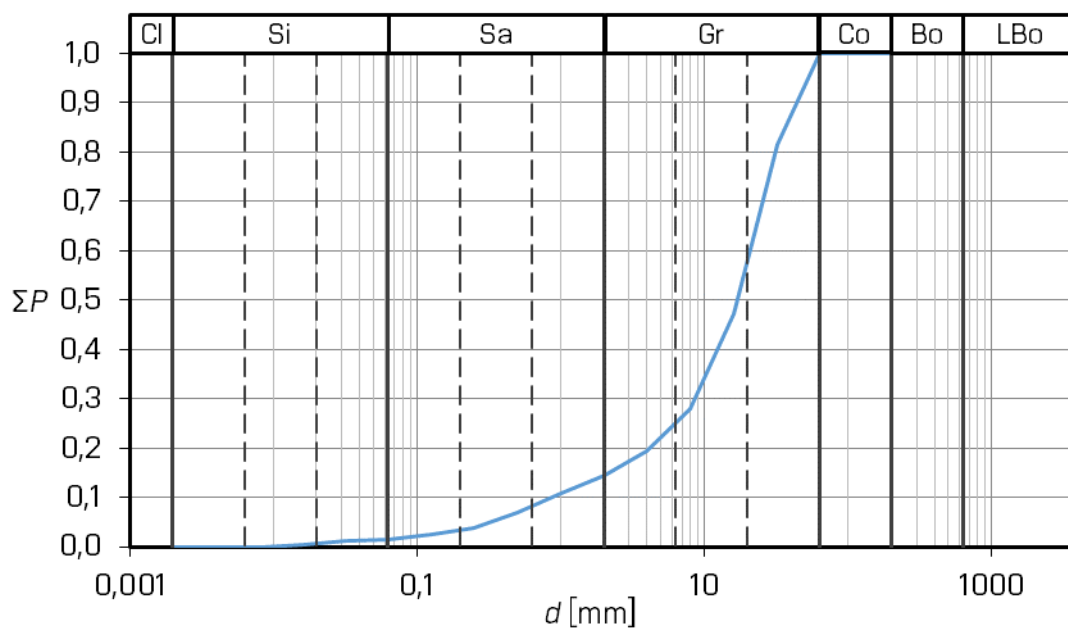
	TPV Q_{100}
Q_N [m ³ /s]	49
V [m ³]	880 000

5.4 CHARAKTERISTIKA SPLAVENIN A USAZENIN

Součástí dodaných podkladů byly 3 studie. První z nich byla studie zabývající se posuzováním a prognózami splaveninového režimu, byla vypracována v rámci akce Vlára, VD Vlachovice – předprojektová příprava, technické řešení. Další dvě studie se zabývají sledováním a posuzováním splaveninového režimu a návrhem posouzení možnosti managementu splaveninového režimu, vypracované v rámci akce Vlára, Vodní dílo Vlachovice – dokumentace pro povolení stavby včetně souvisejících činností, průzkumných prací a dokumentace EIA. Ve studiích je vždy popsán současný stav, který je popsán na základě provedených a vyhodnocených odběrů usazenin a vývoje koryta za běžných průtoků simulovaný 1D numerickým modelem. Taktéž byl simulován budoucí vývoj, který je vždy vypracován pro několik stavů území a odběrů. Veškeré informace o splaveninovém režimu širšího okolí nebo informace o usazeninách, potřebné pro vypracování práce, byly převzaty z těchto studií. [I] [II] [III]

Koryto toku Smolinky nad Mirošovem je v dynamickém vývoji. Střídají se výmoly a nánosy ovlivněné existencí dřevin na březích s brodovými úseky. Proměnnost zrnitosti po délce toku nebyla pozorována a ve dně se nevytváří vytříděná krycí vrstva. Biofilm se na částicích usazenin nenachází, tedy částice jsou při větších průtocích transportovány. [II]

Odběr vzorku usazenin ze dna Smolinky byl odebrán Laboratoří vodohospodářského výzkumu (LVV) Ústavu vodních staveb (ÚVST) Fakulty stavební (FAST) Vysokého učení technického v Brně (VUT). Odběr vzorku usazenin ze dna Smolinky byl proveden v profilu km 0,97, jednalo se celkový odběr usazenin bez dělení dle vrstev. Křivka zrnitosti vyhodnocená z odebraných usazenin má plynulý tvar (Obr. 5.3). [I]



Obr. 5.3 Křivka zrnitosti usazenin [I]

6 REKOGNOSKACE ÚZEMÍ

Pochůzka terénu s pořízením fotodokumentace byla autorem práce realizována 7. dubna 2023. Rekognoskace byla provedena v jarním období, jelikož v tomto období je možné zaznamenat zájmovou oblast bez růstové fáze vegetace. Při průzkumu bylo postupováno systematicky, a to za účelem přesné lokalizace jednotlivých míst, na kterých byly fotografie pořízeny. Na Obr. 6.1 je zobrazena ortofoto mapa zájmového území s osou toku a se značenými místy, ze kterých byla pořízena fotodokumentace. Fotografie byly pořízeny mobilním telefonem Apple iPhone 7.

Z rekognoskace území lze vyvodit následující poznatky. Je patrné, že koryto toku je minimálně ovlivněno lidskou činností. Dále je patrné, že koryto se neustále vyvíjí, tomu naznačují zejména často se vyskytující břehové nátrže. Také byly pozorovány často se vyskytující nánosy. V zájmovém úseku nebyly pozorovány žádné významné přírodní překážky, kterými by byl omezován transport splavenin. Pouze v místě brodu bylo dno opevněno betonovými panely.



Obr. 6.1 Ortofotomapa se značenými místy, kde byla pořízena fotodokumentace

Na následujících obrázcích jsou zobrazeny fotografie z rekognoskace zájmového území. Z fotografií lze pozorovat především morfologii koryta toku Smolinka a také

skladbu usazenin. Čtvercový profil o délce strany 0,50 m, který je vidět na fotografiích, má sloužit pro lepší představu o velikosti částic. Pozice místa pořízení jednotlivých fotografií jsou na Obr. 6.1 vyznačeny čísly od 1 do 9 v závorce.



Obr. 6.2 Hlásný profil s vodočetnou latí (1)



Obr. 6.3 Nános pod mostem (1)



Obr. 6.4 Upravená část koryta (2)



Obr. 6.5 Provizorní stabilizace svahu (3)



Obr. 6.6 Usazeniny (4)



Obr. 6.7 Usazeniny (5)



Obr. 6.8 Usazeniny (6)



Obr. 6.9 Brod a stupeň ve dně (7)



Obr. 6.10 Usazeniny a svahové nátrže (8 a 9)

7 POUŽITÉ NUMERICKÉ MODELY

Kapitola uvádí 2D numerické modely, které popisují proudění vody a transport splavenin, a 3D numerické modely, které popisují pouze proudění vody.

7.1 2D MODEL

Každý softwarový prostředek používá mírně odlišné rovnice pro popis proudění vody a transportu splavenin, proto jsou zde uvedeny rovnice, které používá zvolený software, kterým byl HEC-RAS vyvinutý společností U.S. Army Corps of Engineers.

7.1.1 2D proudění vody

Rovnice kontinuity pro 2D proudění vody (uvažuje se nestlačitelná) má tvar

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial(hu)}{\partial x} + \frac{\partial(hv)}{\partial y} = \pm q, \quad (7-1)$$

kde t je čas, h je hloubka vody, u a v jsou složky vektoru rychlosti ve směru x, y , a q je přítok nebo odtok. [2]

Rovnice mělkého proudu vyjadřující změnu hybnosti způsobenou vnějšími silami má tvar [20]

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} - f_c v = -g \frac{\partial z_s}{\partial x} + \frac{1}{h} \frac{\partial}{\partial x} \left(v_{t,x} h \frac{\partial u}{\partial x} \right) + \frac{1}{h} \frac{\partial}{\partial y} \left(v_{t,y} h \frac{\partial u}{\partial y} \right) - \frac{\tau_{b,x}}{\rho R} + \frac{\tau_{s,x}}{\rho h} - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p_a}{\partial x}, \quad (7-2)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + f_c u = -g \frac{\partial z_s}{\partial y} + \frac{1}{h} \frac{\partial}{\partial x} \left(v_{t,x} h \frac{\partial v}{\partial x} \right) + \frac{1}{h} \frac{\partial}{\partial y} \left(v_{t,y} h \frac{\partial v}{\partial y} \right) - \frac{\tau_{b,y}}{\rho R} + \frac{\tau_{s,y}}{\rho h} - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p_a}{\partial y}, \quad (7-3)$$

kde R je hydraulický poloměr, f_c je Coriolisův parametr, p_a je atmosférický tlak, g je tíhové zrychlení, Z_s je úroveň hladiny, ρ je hustota, $v_{t,x}$ a $v_{t,y}$ jsou složky turbulentní viskozity ve směru x, y , $\tau_{s,x}$ a $\tau_{s,y}$ jsou smyková napětí na hladině ve směru x, y , $\tau_{b,x}$ a $\tau_{b,y}$ jsou složky smykového napětí na dně ve směru x, y [2].

Smykové napětí na dně je

$$\tau_b = \rho \cdot C_D \cdot |v| \cdot v, \quad (7-4)$$

kde C_D je součinitel odporu

$$C_D = \frac{n^2 g}{R^{1/3}}, \quad (7-5)$$

kde n je Manningův součinitel drsnosti. [2]

Třecí rychlost je dána vztahem

$$u_* = \sqrt{\tau_b / \rho}. \quad (7-6)$$

Coriolisův parametr je

$$f_C = 2 \cdot \omega \cdot \sin \varphi, \quad (7-7)$$

kde ω je úhlová rychlost a $\sin \varphi$ je sinus zeměpisné šířky. [2]

Při modelování turbulence ve 2D modelech byl použit Smagorinského turbulentní model, který zavádí turbulentní viskozitu do pohybových rovnic

$$v_t = D \cdot u_* \cdot h + (C_s \cdot \Delta)^2 \cdot |\bar{S}|, \quad (7-8)$$

kde D je směšovací součinitel, C_s je Smagorinského součinitel, Δ je charakteristický rozměr buňky a $|\bar{S}|$ je rychlost deformace [2]

$$|\bar{S}| = \sqrt{2 \left(\frac{\partial v_u}{\partial x} \right)^2 + 2 \left(\frac{\partial v_v}{\partial y} \right)^2 + \left(\frac{\partial v_u}{\partial y} + \frac{\partial v_v}{\partial x} \right)^2}. \quad (7-9)$$

Směšovací součinitel je dán vztahem

$$D = \begin{bmatrix} D_L \cos^2 \theta + D_T \sin^2 \theta & 0 \\ 0 & D_L \sin^2 \theta + D_T \cos^2 \theta \end{bmatrix}, \quad (7-10)$$

kde θ je směr vektoru rychlosti, D_L a D_T jsou směšovací součinitele v podélném a v příčném směru, pokud jsou stejné, tak se jedná o izotropní směšování. [2]

7.1.2 2D transport splavenin

Transport splavenin souvisí s prouděním vody, jelikož splaveniny jsou transportovány proudem vody. Jedná se o sdružený děj, neboť dochází ke vzájemnému ovlivňování. [26]

V softwarovém prostředí je pro řešení transportu splavenin použita transportní rovnice ve tvaru

$$\frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{h C_{t,k}}{\beta_{t,k}} \right) + \nabla \cdot (h U C_{t,k}) = \nabla \cdot (\varepsilon_{t,k} h \nabla C_{t,k}) + E_{t,k} - D_{t,k} + S_{t,k}, \quad (7-11)$$

kde $C_{t,k}$ je celková koncentrace splavenin k -té frakce částic, $\beta_{t,k}$ součinitel celkového zatížení k -té frakce částic, U je svislicová rychlost proudu (splavenin), h je hloubka

vody, $\varepsilon_{t,k}$ je součinitel difuze k -té frakce částic, $E_{t,k}$ je specifický hmotnostní vymílací tok k -té frakce částic, $D_{t,k}$ je specifický hmotnostní usazovací tok k -té frakce částic, $S_{t,k}$ je specifický hmotnostní externí tok (zdroj) k -té frakce částic. Při výpočtech byla použita Meyer-Peter Müllerova rovnice

$$\frac{q_{b k}^*}{\sqrt{\left(\frac{\rho_{s k}-1}{\rho_w}\right) g d_k^3}} = A_M \rho_{s k} \left[\frac{\tau_b'}{(\rho_{s k}-\rho_w) g d_k} - \theta_{c r k} \right]^{E_M}, \quad (7-12)$$

kde $\rho_{s k}$ je hustota splavenin, ρ_w hustota vody, d_k je průměr zrna, g je tíhové zrychlení, $q_{b k}^*$ je bezrozměrný specifický průtok dnových splavenin, $\theta_{c r k}$ je kritický parametr Shields, E_M a A_M jsou součinitelé. Rovnice je vhodná pro dnové splaveniny v podobě štěrků a má tendenci podhodnocovat transport písků a jílu. [2]

Pro třídění částic v krycí vrstvě byl zvolen Thomasův model. Jedná se o model, který rozděluje dno na 3 vrstvy, a zohledňuje statické třídění částic v krycí vrstvě. Aktivní vrstvu, která se podílí na korytotvorných procesech, rozděluje na krycí a podpovrchovou vrstvu. To umožňuje, aby se zrnitost v krycí vrstvě vytřídila a omezila vymílání částic z hlubších vrstev. Splaveniny se usazují do krycí vrstvy a vymílají se z ní. [2]

Thomasův model má 5 základních kroků v kontrolním objemu:

- výpočet nerovnováhy transportu částic podle jednotlivých frakcí částic,
- změna hmotnosti frakcí částic v krycí vrstvě,
- výpočet míry vytřídění částic v krycí vrstvě,
- přesun frakcí částic z podpovrchové vrstvy, čímž se zmenší změna vytřídění krycí vrstvy. [2]

Pro rychlost usazování částic byla použita rovnice Soulsby

$$\omega_{s d} = \frac{v}{d} \left[(10,36^2 + 1,049 d_*^3)^{1/2} - 10,36 \right], \quad (7-13)$$

kde v je kinematická viskozita, d je průměr částice a d_* je bezrozměrná velikost částice. [2]

Z důvodu rozsahu práce jsou zde uváděny pouze základní rovnice, které byly při řešení použity. Rovnice jsou v softwaru řešeny pomocí metody konečných objemů. Všechny dostupné rovnice, odvození a podrobné informace o způsobu řešení lze nalézt v Technickém referenčním manuálu HEC-RAS 2D Sediment [2].

7.1.3 Model

Vytvoření modelu se skládalo z jednotlivých částí, které jsou dále uvedeny jako nečíslované podkapitoly.

Modely terénu

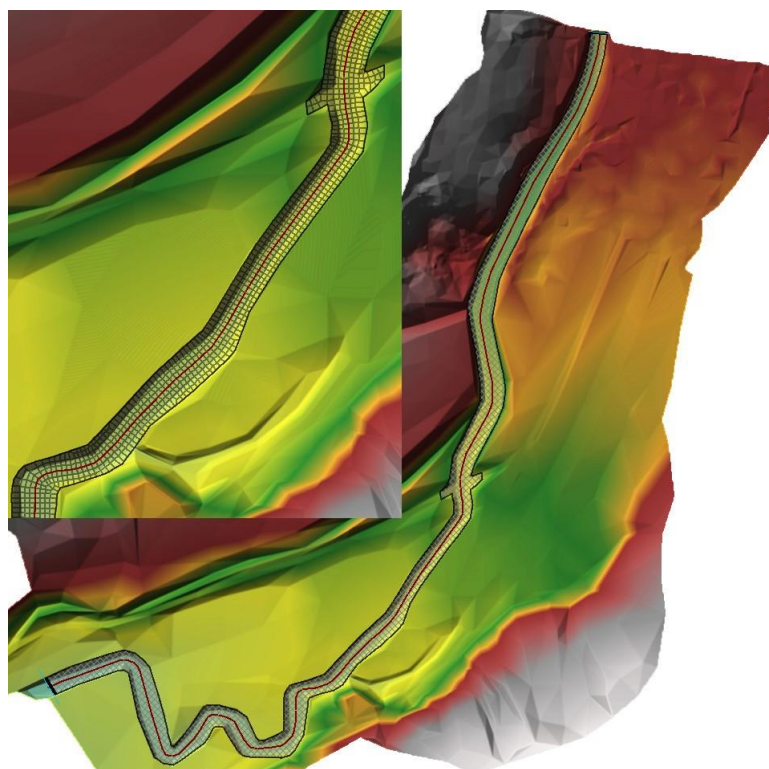
Byly vytvořeny 3 hlavní modely terénu. Jednalo se o model terénu stávajícího stavu (SS), návrhového stavu společnosti AQT (NS) a návrhového stavu autora práce (NSJ). Tvorba terénu probíhala z velké části v programu CIVIL 3D. Detailní úpravy objektu byly prováděny v programu SMS. Šířka propusti byla upravována v HEC-RAS Mapperu.

Jako vstupní podklad pro tvorbu modelu terénu bylo použito geodetické zaměření dodané firmou AQT a DMR5G. DMR5G byl použit pouze pro doplnění chybějícího geodetického zaměření výše po toku, tak aby bylo možné umístit profil se zadáním horní okrajové podmínky (HOP) dostatečně daleko, aby nedocházelo k ovlivnění proudění v místě dotčeném rozdělovacím objektem. Model terénu byl v rozlišení rastru 0,05 m exportován do formátu GeoTIFF a importován do programu HEC-RAS. Rozsah modelů terénu byl volen vždy takový, aby zahrnoval celou výpočtovou oblast s přesahem. Modely terénu jsou vyobrazeny na Obr. 7.1 až Obr. 7.3.

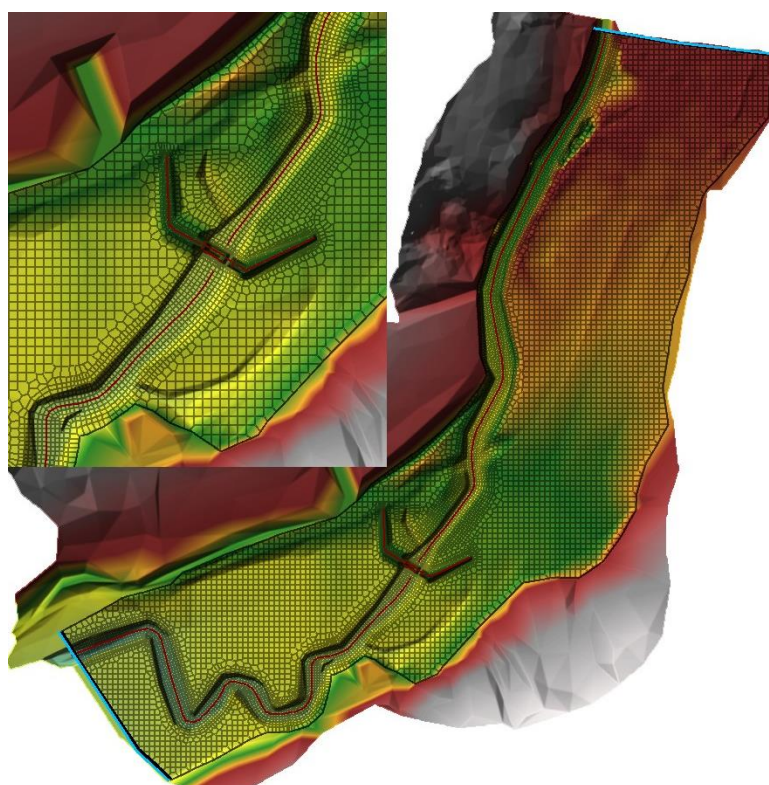
Výpočetní síť

Pro simulaci transportu splavenin byla vytvořena jiná výpočetní síť než pro simulaci proudění vody z důvodu různé časové náročnosti výpočtu a požadavcích na jeho přesnost.

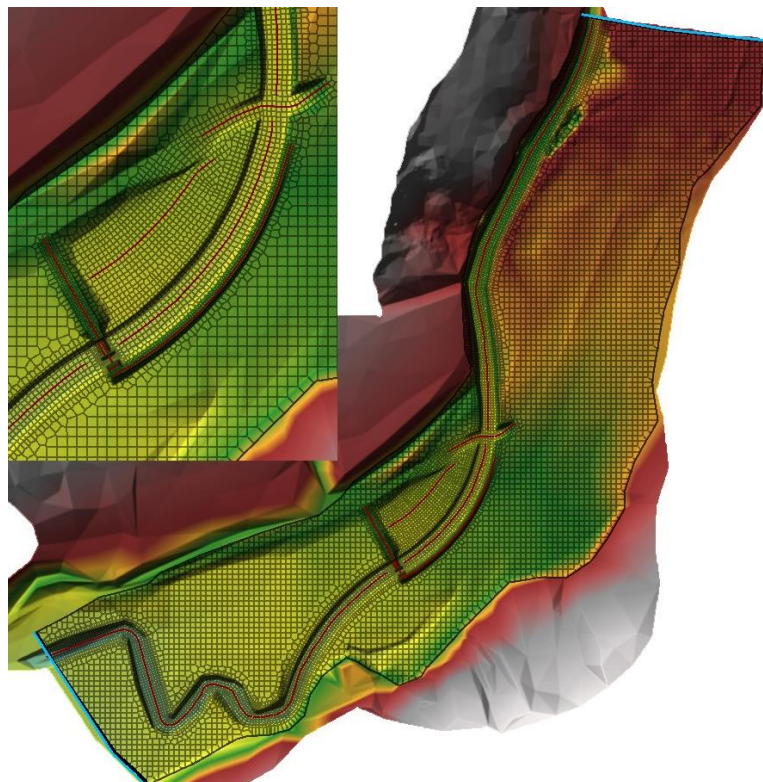
Síť pro proudění vody byla vytvořena s ohledem na podrobnost modelu terénu (rozlišení rastu bylo 0,05 m) a výstižnost popisu proudění. Rozsah výpočetní oblasti byl dán rozsahem rozlivů a odhadnutým dosahem vlivu okrajových podmínek. Souhrnně platí, že se zvětšováním buněk se zkracuje doba výpočtu, ale zároveň se zmenšuje výpočetní přesnost [2]. Velikost buněk byla po výpočetní síti proměnná. Základní velikost buněk byla volena 2 m v inundačním území a v korytě 1 m. V oblasti propusti byly použity buňky 0,1 m. Výpočetní síť použité pro simulaci proudění vody jsou uvedeny na Obr. 7.1 až Obr. 7.3.



Obr. 7.1 Výpočetní síť použitá pro simulaci proudění vody (SS)



Obr. 7.2 Výpočetní síť použitá pro simulaci proudění vody (NS)

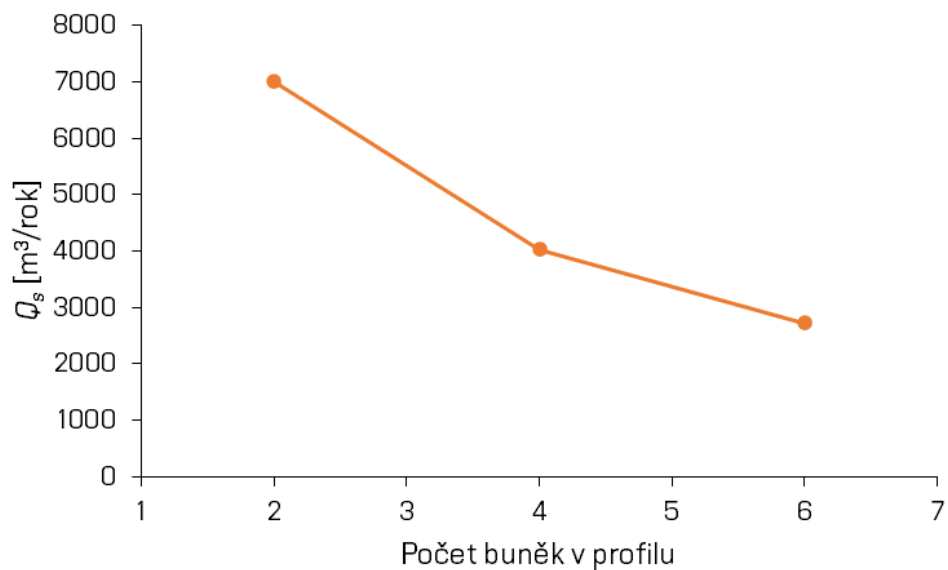


Obr. 7.3 Výpočetní síť použitá pro simulaci proudění vody (NSJ)

Síť pro transport splavenin byla vytvořena na základě analýzy stanovení průtoku splavenin. Obecně platí, že čím větší počet buněk je použit, tím přesněji se získá hodnota průtoku splavenin korytem, ale prodlužuje se tak doba výpočtu. Proto byla provedena analýza vlivu počtu buněk po příčném profilu na hodnotu vypočítaného průtoku. Analyzovány byly sítě s 2, 4 a 6 buňkami po příčném profilu. V grafu na Obr. 7.4 je uveden vliv velikosti buněk na průtok splavenin. Z grafu vyplývá, že vliv je poměrně velký a není lineární. Platí, že se zvětšujícím se počtem buněk se hodnota průtoku mění méně. Z uvedené analýzy vyplynulo, že simulace musí být provedeny za všech stavů území se stejnou sítí v přítokové části modelu, aby výsledky byly porovnatelné. Ve výsledné výpočetní síti byly použity minimálně 4 buňky po šířce profilu, které jsou natočeny ve směru proudění. Jednalo se o kompromis mezi přesností a časovou náročností výpočtu.

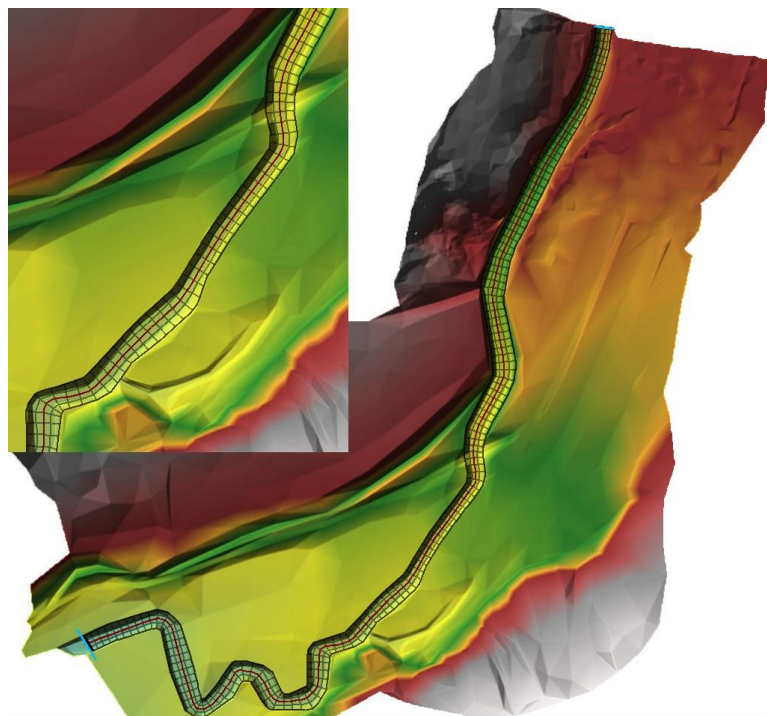
Z důvodu zkrácení časové náročnosti výpočtu bylo přistoupeno k úpravě přibližně čtvercových buněk na obdélníkové buňky s natočením delší strany ve směru

proudění. HEC-RAS doporučuje používat výpočetní buňky do maximálního poměru délek stran obdélníkových buněk 1:3, což bylo splněno.

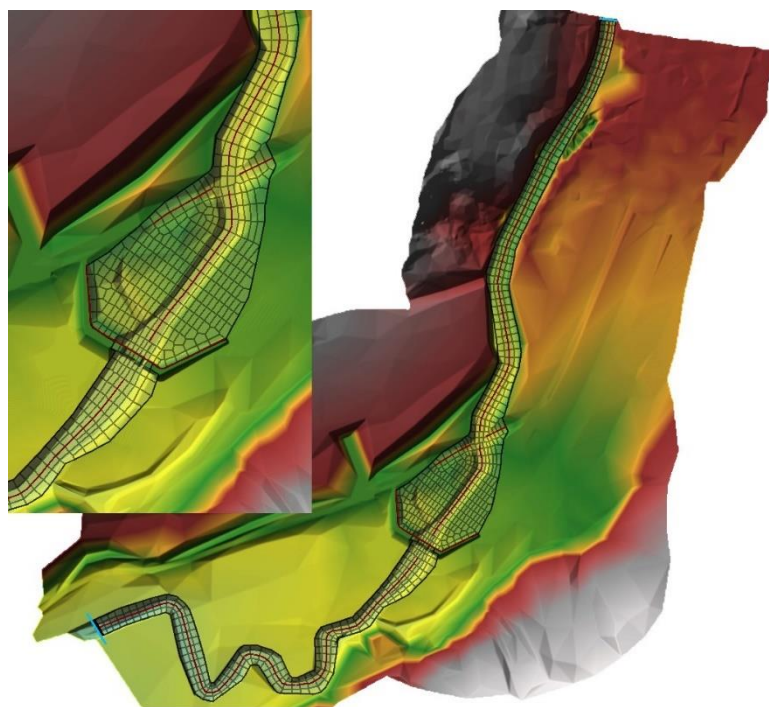


Obr. 7.4 Vliv velikosti buněk výpočetní sítě na průtok splavenin

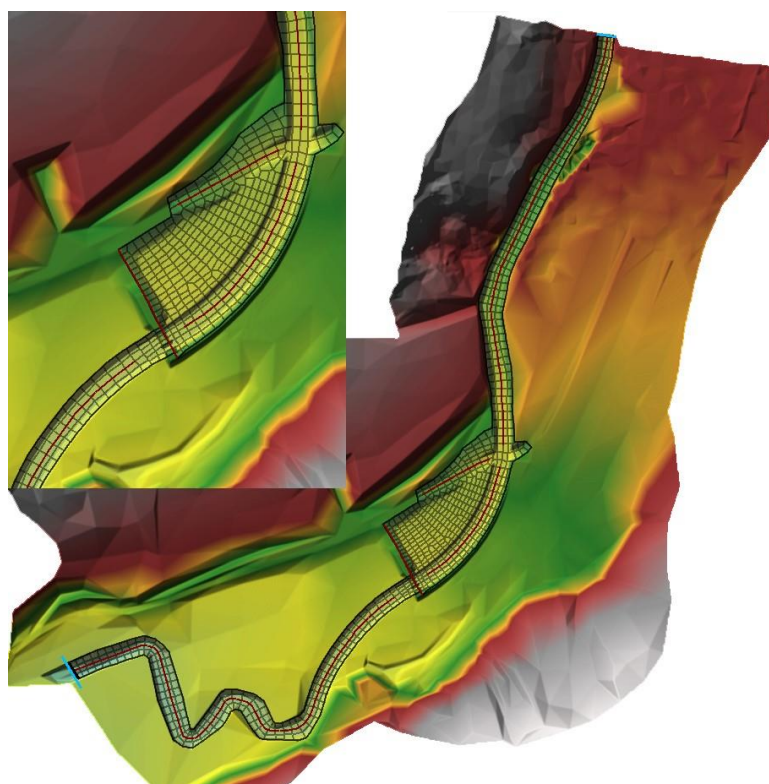
Výpočetní sítě, které byly použity pro simulaci transportu splavenin, jsou zobrazeny na Obr. 7.5 až Obr. 7.7.



Obr. 7.5 Výpočetní síť použitá pro simulaci transportu splavenin (SS)



Obr. 7.6 Výpočetní síť použitá pro simulaci transportu splavenin (NS)



Obr. 7.7 Výpočetní síť použitá pro simulaci transportu splavenin (NSJ)

Drsnost povrchu

Polygony vymezuující plochy s různými drsnostmi povrchu byly vytvořeny v softwaru QGIS. Poté byly polygony importovány do RAS Mapperu. Součinitel drsnosti dna byl s ohledem na vznik splaveninových lavic a lokálních výmolů pozorovaných při rekognoskaci odhadnut $n = 0,04 \text{ s/m}^{1/3}$. Součinitel drsnosti svahů koryta byl odhadnut obdobně $n = 0,06 \text{ s/m}^{1/3}$. Součinitel drsnosti inundačního území byl stanoven odhadem dle vegetačního pokryvu v rozsahu $0,04 \text{ s/m}^{1/3} < n < 0,06 \text{ s/m}^{1/3}$.

Způsob řešení transportu splavenin

Zvolena byla transportní rovnice Meyer-Peter a Müller, která dobře vystihuje průtok především dnových splavenin v České republice, jelikož rozsah platnosti rovnice je $0,4 \text{ mm} < d < 30 \text{ mm}$ [26]. Pro třídění zrn v krycí vrstvě byla zvolena metoda Thomasova a pro výpočet konečné usazovací rychlosti se použila rovnice Soulsbyho. Aplikována byla na celém úseku jednotná křivka zrnitosti usazenin, která je uvedena na Obr. 5.3 [1].

Okrajové a počáteční podmínky

Horní okrajovou podmínkou byl vždy hydrogram průtoku, a to v podobě NRPV nebo TPV.

Poskytnuté průtoky vody pro profil Smolinka jsou uvedeny v Tab. 5.2. Aby bylo možné určit libovolný denní průtok Q_d , bylo zapotřebí dodané denní průtoky aproximovat a extrapolovat. Aproximační křivka se skládá ze dvou částí, a to vzhledem k tvaru křivky čáry dosažení a překročení denních průtoků $Q = f\{m\}$. V MS EXCELU se z čáry dosažení a překročení denních průtoků vygenerovala roční řada denních průtoků pro $m = 1$ až 365. Následně se z roční průtokové řady připravila NRPV (viz Obr. 7.9), tak že se průtoky za jeden rok setřídily dle tvaru typické průtokové vlny, to znamená $1/3$ průtoků je na vzestupné větvi a $2/3$ průtoků je na sestupné větvi. Tento postup odvození byl použit, jelikož nebyla k dispozici změřená data.

První část křivky pro $m < 90$ popisuje extrapoláční logaritmická křivka

$$Q = a_1 \cdot \ln m + b_1 \quad (7-14)$$

s parametry a_1 a b_1 , hodnoty jsou uvedeny v Tab. 7.1.

Tab. 7.1 Parametry

a_1	-0,2203
b_1	1,1158

Druhá část křivky pro $m > 90$ byla aproximována polynomem třetího stupně

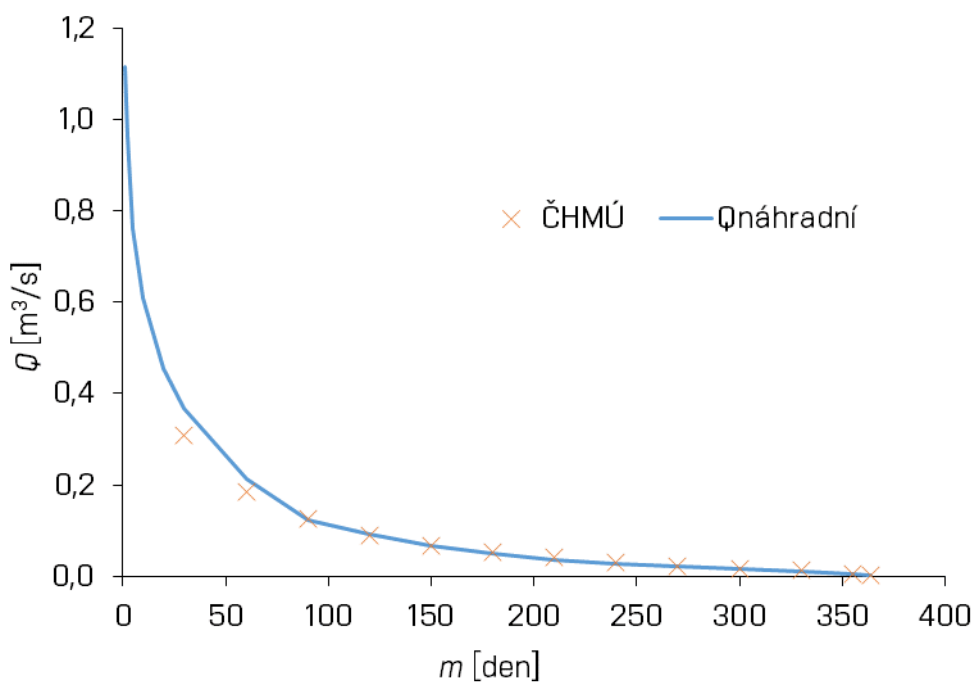
$$Q = a_2 \cdot m^3 + b_2 \cdot m^2 + c_2 \cdot m + d_2 \quad (7-15)$$

s parametry a_2, b_2, c_2 a d_2 , hodnoty jsou uvedeny v Tab. 7.2.

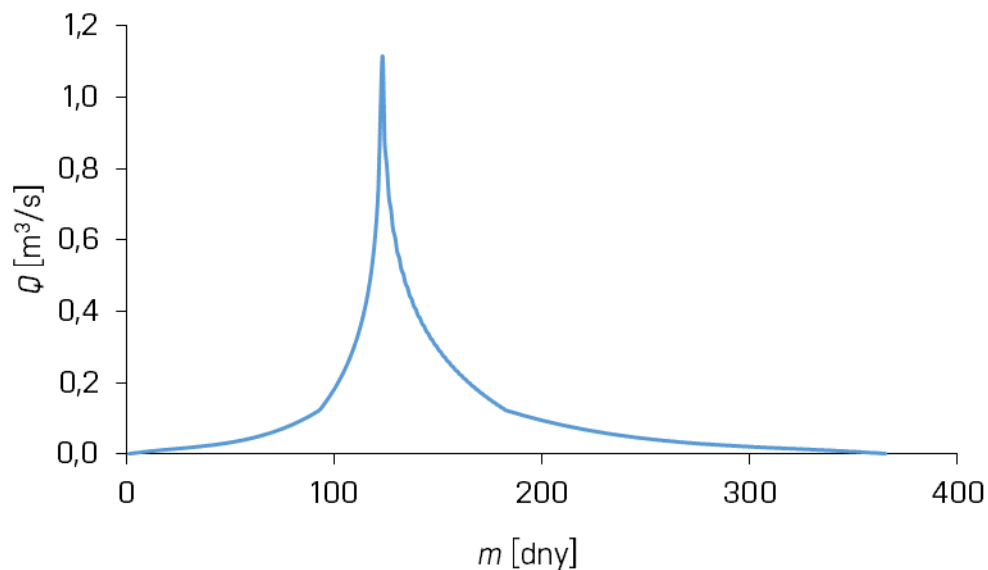
Tab. 7.2 Parametry

a_2	-0,00000000786
b_2	0,000007061
c_2	-0,002287670
d_2	0,278707759

Parametry extrapolační křivky byly upraveny tak, aby průměrná hodnota ze všech denních průtoků byla průměrným ročním průtokem. Průměrný roční průtok stanovený ČHMÚ byl $Q_a = 0,117 \text{ m}^3/\text{s}$ a průměrná hodnota ze všech denních průtoků byla $Q = 0,115 \text{ m}^3/\text{s}$, tedy s chybou do 2 %. Na Obr. 7.8 je vyobrazena náhradní funkce

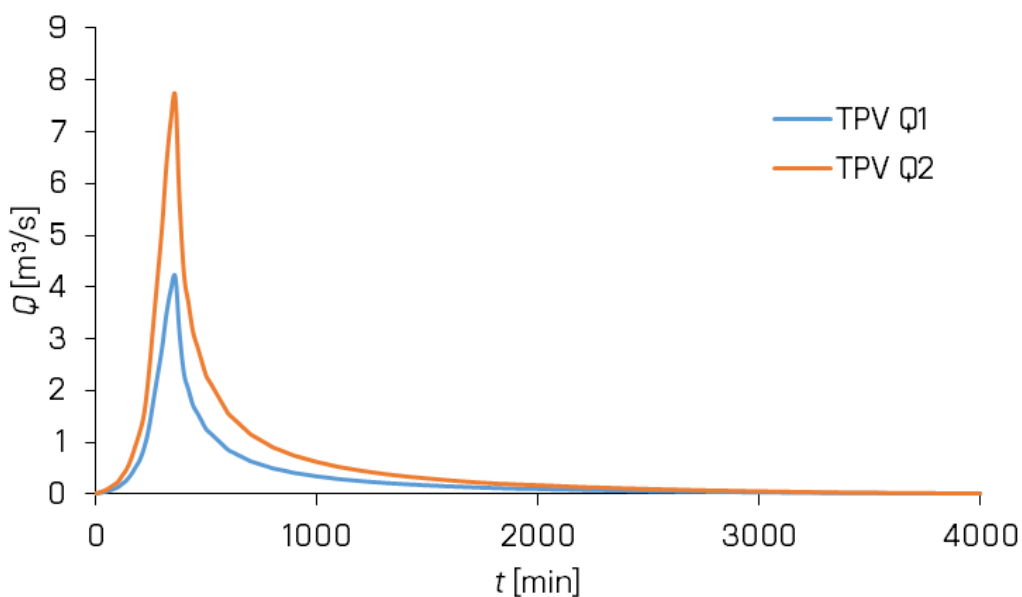


Obr. 7.8 Náhradní funkce



Obr. 7.9 NRPV

TPV Q_1 a TPV Q_2 byly odvozeny z TPV Q_{100} , která byla jediná k dispozici v rámci hydrologických údajů, které byly součástí dodaných podkladů [VII]. Hodnoty odečtené z křivky TPV Q_{100} byly vynásobeny příslušným součinitelem tak, aby maximální průtok odpovídal N – letým průtokům stanoveným ČHMÚ. TPV Q_1 a Q_2 jsou zobrazeny v grafu na Obr. 7.10.

Obr. 7.10 TPV Q_1 a Q_2

Do dolních profilů modelů byla zadána dolní okrajová podmínka v podobě úrovně hladiny, a to buď neměnné v čase, nebo hladiny při rovnoměrném proudění se zadáním podélného sklonu.

Teplota vody byla nastavena konstantní po celou dobu simulace, byla zadána hodnota 7 °C. Průměrná teplota vody byla převzata z Hydrologické ročenky 2021 České republiky vydané ČHMÚ [15].

Horní okrajovou podmínkou pro transport splavenin byl rovnoměrný transport splavenin s definovaným součinitelem kapacity. Zadání součinitele kapacity rovnoměrného transportu splavenin bylo předmětem kalibrace modelu.

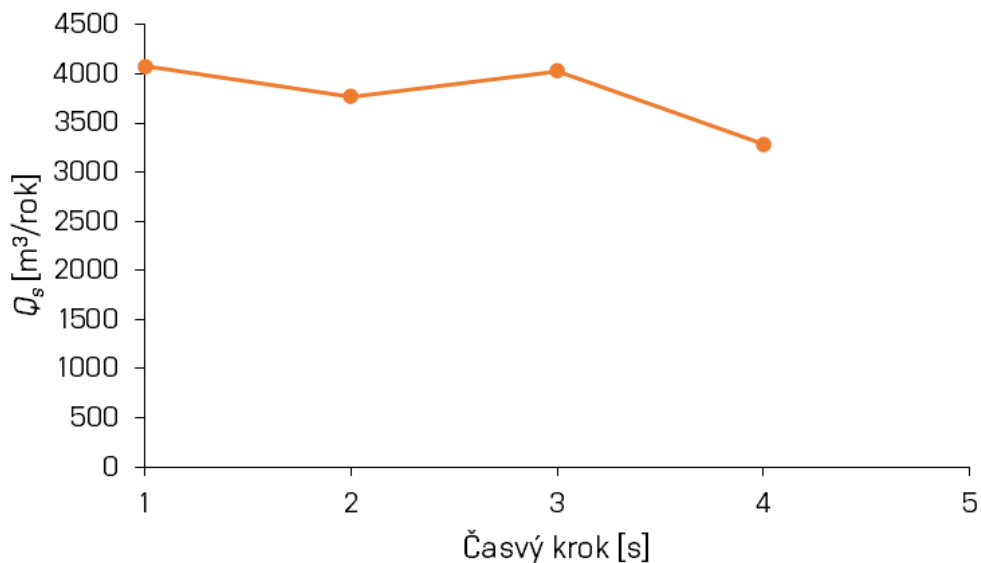
Nastavení parametrů výpočtu

Délka simulace NRPV byla nastavena 1 rok, délka simulace TPV byla nastavena 66 h v souladu s jejich trváním.

Velikost časového kroku byla zvolena neměnná v čase, jelikož při použití proměnné hodnoty řízené softwarem docházelo k anomáliím, které neumožňovaly provedení porovnání.

Pro vyhodnocení vlivu velikosti výpočetního kroku neměnného v čase na hodnotu průtoku splavenin byly provedeny čtyři výpočty, při kterých byl časový krok měněn po jedné sekundě od 1 s do 4 s. Ve všech výpočtech byla použita výpočetní síť se čtyřmi buňkami po šířce koryta. V grafu na Obr. 7.11 je uveden vliv velikosti výpočetního kroku na hodnotu průtoku splavenin. Z grafu vyplývá, že změna průtoku splavenin od 1 s do 3 s je relativně malá a je v rámci rozsahu jiných chyb, ale hodnota pro 4 s se již podstatně liší. Z uvedeného důvodu byl zvolen interval výpočtového kroku 3 s.

Parametr tolerance úrovně hladiny byl nastaven na 0,001 m. Metoda řešení rovnic byla zvolena SWE-ELM [2]. Nastaveny byly parametry výstupů.



Obr. 7.11 Vliv výpočetního kroku na průtok splavenin

Analýzy modelu

Modelování transportu splavenin je z mnoha hledisek obtížné, jelikož teorie transportu splavenin je založena na polo empirických rovnicích, které jsou citlivé na řadu fyzikálních proměnných a parametrů modelů, které se obtížně kvantifikují. Z uvedených důvodů je nezbytné provedení analýz modelu, aby byla zaručena dostatečná stabilita výpočtu, věrohodnost, jednoznačnost a opakovatelnost simulací. Níže jsou z důvodu rozsahu práce uvedeny pouze ty nejvýznamnější. Ve všech analýzách byl pro hodnocení použit průtok splavenin, který bylo nutné pro každý zvolený profil externě dopočítat. [2]

Analýza vlivu prvotního vytřídění krycí vrstvy a dotvarování dna koryta měla kvantifikovat, jak významný je efekt vytřídění krycí vrstvy a dotvarování dna první průtokovou vlnou na výsledné průtoky splavenin v následujících vlnách. Sestaven byl proto výpočet, který simuloval opakující se NRPV v délce trvání 5 let. V každém roce byl vyhodnocen průtok splavenin a ty byly následně porovnány s průtokem splavenin v prvním roce, jak je uvedeno v Tab. 7.3. Ukázalo se, že efekt je pro první vlnu relativně velký a s každou další průtokovou vlnou se zmenšuje. Z hodnot vyplývá, že úsek od profilu s horní okrajovou podmínkou po profil rozdělovacího objektu se postupně zanáší.

Tab. 7.3 Efekt vytrídění krycí vrstvy první průtokovou vlnou

i	Q_s	Q_{si}/Q_{s1}
[-]	[m ³ /rok]	[-]
1	22851	-
2	32395	1,4
3	42076	1,8
4	43871	1,9
5	44169	1,9

Analýza vhodnosti transportní rovnice měla určit takovou rovnici, která bude poskytovat dostatečně stabilní a věrohodné výsledky. Proto byly provedeny výpočty, u nichž byly měněny transportní rovnice. Jednalo se o rovnice Meyer-Peter a Müller, Ackers-White, Engelud-Hansen, Yang, Wu a van Rijn. Ze zde uvedených transportních rovnic dopočítaly NRPV pouze výpočty s rovnicí Meyer-Peter a Müller (MPM) a Engelud-Hansen (E-H). Transportní rovnice E–H je vhodná z kvalitativního pohledu, ale ne z pohledu kvantitativního. Z důvodu značné velikosti hodnoty průtoku splavenin lze říci, že rovnice E–H nadhodnocuje průtok splavenin v daném případě. Tedy z celkového hlediska je pro konkrétní příklad nejvhodnější rovnice MPM.

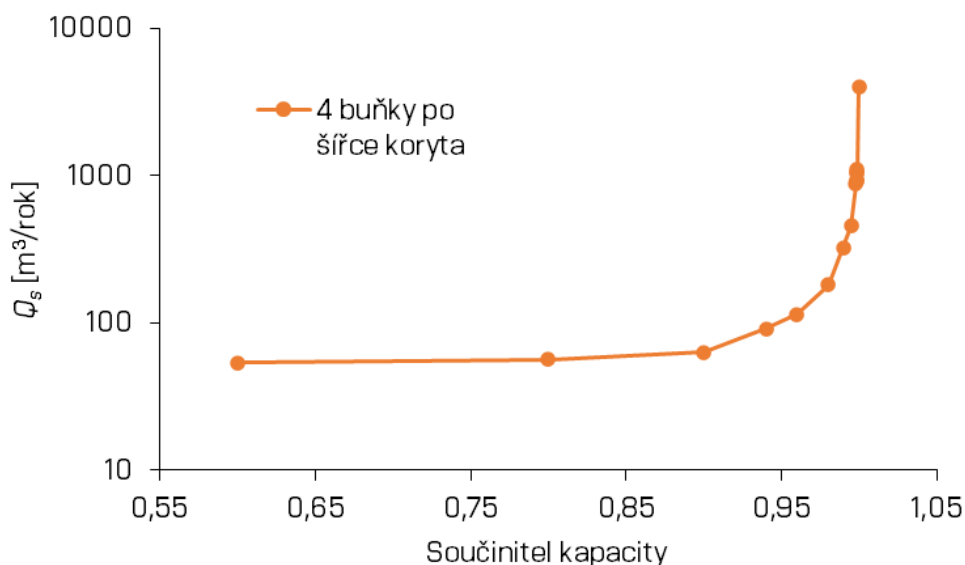
Pro vyhodnocení vlivu součinitele průtoku splavenin při použití rovnice MPM na vypočtené hodnoty průtoku splavenin byly provedeny tři výpočty, a to s hodnotou součinitele 1,0, 0,9 a 0,8. Ukázalo se, že změna součinitele vede k zvětšení vymílání na úseku, proto se od případné modifikace pro použití při kalibraci upustilo.

Kalibrace

Jelikož není z měření stanoven průtok splavenin v korytě Smolinky, bylo nutné pro kalibraci modelu použít hodnotu určenou jinak. Pro kalibraci proto byla použita hodnota průtoku splavenin v korytě Smolinky určená pomocí jednorozměrného (1D) numerického modelu použitého ve studii S10 – Sledování a vyhodnocování splaveninového režimu [II] zahrnujícího významně delší úsek koryta toku a kalibrovaného na dlouhodobý historický vývoj. 1D numerický model určil hodnotu $Q_s = 957 \text{ m}^3/\text{rok}$.

Na základě výše uvedených analýz byl pro kalibrační proces zvolen přístup změny okrajové podmínky přítoku splavenin k dosažení požadovaného průtoku splavenin v úseku. Změna byla dosažena změnou součinitele kapacity při rovnoměrném přítoku

splavenin. Jelikož závislost nebyla lineární bylo zapotřebí postupně měnit součinitel podle odchylky od kalibrační hodnoty tak, aby se docílilo požadované hodnoty. Závislost průtoku splavenin na hodnotě součinitele kapacity je uvedena na Obr. 7.12. Dle vyhodnocených dat byla hodnota součinitele 0,9983, při které je průtok splavenin dostatečně blízky kalibračnímu průtoku v profilu rozdělovacího objektu.



Obr. 7.12 Vliv změny součinitele kapacity na průtok splavenin

7.2 3D MODEL

I zde platí, že každý softwarový prostředek používá mírně odlišné rovnice pro popis proudění vody ve 3D, proto jsou zde uvedeny rovnice, které používá zvolený software, kterým byl FLOW 3D ve verzi 11.0.4. Software je vyvinutý společností Flow Science, Inc. [12]

7.2.1 3D Model proudění vody rozdělovacím objektem

Řídící rovnice

V softwaru FLOW 3D je využívána pro modelování geometrie objektů metoda FAVOR™ (Fractional Area-Volume Obstacle Representation). Tato metoda je založena na konceptu plošných a objemových složek na pravoúhlé strukturované výpočetní síti. Plošné a objemové složky jsou uplatněny v rovnicích proudění tekutin. Přesnost

vypočítaných hodnot plošných a objemových složek je tím přesnější, čím je využita menší velikost výpočetní buňky. [12]

Níže jsou uvedené základní řídicí rovnice používané k řešení proudění tekutin. První z nich je rovnice kontinuity pro výpočtovou buňku

$$\frac{\partial}{\partial x} (uA_x) + \frac{\partial}{\partial y} (vA_y) + \frac{\partial}{\partial z} (wA_z) = 0, \quad (7-16)$$

kde u, v, w jsou složky rychlosti proudění v jednotlivých směrech souřadného systému x, y, z a A_i ($i = x, y, z$) je poměr plochy buňky v příslušném směru, ve kterém může proudit kapalina. [12]

Pohybové rovnice ve třech souřadnicových směrech jsou

$$\begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial t} + \frac{1}{V_F} &= \left\{ uA_x \frac{\partial u}{\partial x} + vA_y \frac{\partial u}{\partial y} + wA_z \frac{\partial u}{\partial z} \right\} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + G_x + f_x, \\ \frac{\partial v}{\partial t} + \frac{1}{V_F} &= \left\{ uA_x \frac{\partial v}{\partial x} + vA_y \frac{\partial v}{\partial y} + wA_z \frac{\partial v}{\partial z} \right\} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + G_y + f_y, \\ \frac{\partial w}{\partial t} + \frac{1}{V_F} &= \left\{ uA_x \frac{\partial w}{\partial x} + vA_y \frac{\partial w}{\partial y} + wA_z \frac{\partial w}{\partial z} \right\} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} + G_z + f_z, \end{aligned} \quad (7-17)$$

kde V_F je poměr objemu kapaliny v objemu buňky, ρ je hustota kapaliny, G_i je zrychlení způsobené objemovými silami, f_i je zrychlení vyvolané viskózními silami, které je určeno rovnicemi

$$\begin{aligned} \rho V_F f_x &= \tau_{sx} - \left\{ \frac{\partial}{\partial x} (A_x \tau_{xx}) + \frac{\partial}{\partial y} (A_y \tau_{xy}) + \frac{\partial}{\partial z} (A_z \tau_{xz}) \right\}, \\ \rho V_F f_y &= \tau_{sy} - \left\{ \frac{\partial}{\partial x} (A_x \tau_{xy}) + \frac{\partial}{\partial y} (A_y \tau_{yy}) + \frac{\partial}{\partial z} (A_z \tau_{yz}) \right\}, \\ \rho V_F f_z &= \tau_{sz} - \left\{ \frac{\partial}{\partial x} (A_x \tau_{xz}) + \frac{\partial}{\partial y} (A_y \tau_{yz}) + \frac{\partial}{\partial z} (A_z \tau_{zz}) \right\}, \end{aligned} \quad (7-18)$$

kde $\tau_{sx}, \tau_{sy}, \tau_{sz}$ jsou smyková napětí na stěně. [12]

Smyková napětí τ_{ij} jsou

$$\begin{aligned} \tau_{xx} &= -2\mu \left\{ \frac{\partial u}{\partial x} - \frac{1}{3} \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} \right) \right\}, \\ \tau_{yy} &= -2\mu \left\{ \frac{\partial v}{\partial y} - \frac{1}{3} \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} \right) \right\}, \end{aligned} \quad (7-19)$$

$$\tau_{zz} = -2\mu \left\{ \frac{\partial w}{\partial z} - \frac{1}{3} \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} \right) \right\},$$

$$\tau_{xy} = -\mu \left\{ \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y} \right\},$$

$$\tau_{xz} = -\mu \left\{ \frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x} \right\},$$

$$\tau_{yz} = -\mu \left\{ \frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial y} \right\},$$

kde μ je dynamická viskozita

$$\mu = \mu_{\infty} + \frac{\mu_0 E_T - \mu_{\infty}}{\lambda_{00} + [\lambda_0 + (\lambda_1 E_T)^2 e_{ij} e_{ij}]^{\frac{1-n}{2}}} + \frac{\lambda_2}{\sqrt{e_{ij} e_{ij}}} \quad (7-20)$$

kde

$$e_{ij} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \quad (7-21)$$

je míra deformace, μ_{∞} , μ_0 , λ_0 , λ_1 , λ_2 a n jsou konstanty a

$$E_T = \exp \left[a \left(\frac{T^*}{T - b} - c \right) \right], \quad (7-22)$$

kde T^* , a , b a c jsou konstanty a T je teplota kapaliny. [12]

Poslední z řídicích rovnic je rovnice popisující rozhraní tekutin (Volume of fluid) určované pomocí funkce F . Ta představuje zastoupení objemu kapaliny v jednotkovém objemu splňující rovnici

$$\frac{\partial F}{\partial t} + \frac{1}{V_F} \left[\frac{\partial}{\partial x} (F u A_x) + \frac{\partial}{\partial y} (F u A_y) + \frac{\partial}{\partial z} (F u A_z) \right] = F_{DIF}, \quad (7-23)$$

kde

$$F_{DIF} = \frac{1}{V_F} \left[\frac{\partial}{\partial x} \left(\vartheta_F A_x \frac{\partial F}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\vartheta_F A_y \frac{\partial F}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\vartheta_F A_z \frac{\partial F}{\partial z} \right) \right], \quad (7-24)$$

kde ϑ_F je difuzní součinitel určený z rovnice

$$\vartheta_F = C_F \frac{\mu}{\rho}, \quad (7-25)$$

kde C_F je konstanta. [12]

Možnost výskytu turbulence se obecně popisuje pomocí Reynoldsova čísla. Počet výpočtových objemů (buněk) potřebných k vyřešení všech vírů v trojrozměrném

výpočtu je daleko za současnými výpočetními možnostmi, z toho důvodu jsou konstruovány přibližné modely turbulence. Ve FLOW 3D je k dispozici několik turbulentních modelů a to Prandtlův model, jednorovnicový model, dvou rovnicový $k-\varepsilon$ model, Renormalized Group $k-\varepsilon$ (RNG) model, dvou rovnicový $k-\omega$ model a large eddy simulation (LES). [12]

Pro výpočet byl použit RNG model, který používá rovnice podobné rovnicím pro model $k-\varepsilon$. Rozdíl je ve stanovení konstant, které se vyskytují v rovnicích. V modelu $k-\varepsilon$ jsou stanoveny empiricky, zatímco v RNG modelu jsou odvozeny explicitně. [12]

Turbulentní kinetická energie k_T je

$$k_T = \frac{1}{2} (\overline{u'^2} + \overline{v'^2} + \overline{w'^2}), \quad (7-26)$$

kde u' , v' , a w' jsou fluktuace rychlostí v jednotlivých směrech souřadného systému [12].

Ve dvourovnicovém modelu turbulence jsou dvě transportní rovnice, jedna je pro k_T a druhá pro ε_T [12]

$$\frac{\partial \varepsilon_T}{\partial t} + \frac{1}{V_F} \left\{ u A_x \frac{\partial \varepsilon_T}{\partial x} + v A_y \frac{\partial \varepsilon_T}{\partial y} + w A_z \frac{\partial \varepsilon_T}{\partial z} \right\} = Diff_{\varepsilon}. \quad (7-27)$$

Difuze rozptylu $Diff_{\varepsilon}$ je určena vztahem

$$Diff_{\varepsilon} = \frac{1}{V_F} \left\{ \frac{\partial}{\partial x} \left(v_{\varepsilon} A_x \frac{\partial \varepsilon_T}{\partial x} \right) + R \frac{\partial}{\partial y} \left(v_{\varepsilon} A_y \frac{\partial \varepsilon_T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(v_{\varepsilon} A_z \frac{\partial \varepsilon_T}{\partial z} \right) \right\}, \quad (7-28)$$

kde v_{ε} je kinematická viskozita [12].

Turbulentní viskozita je stanovena vztahem

$$v_T = CNU \frac{k_T^2}{\varepsilon_T}, \quad (7-29)$$

kde v RNG modelu je $CNU = 0,085$ [12].

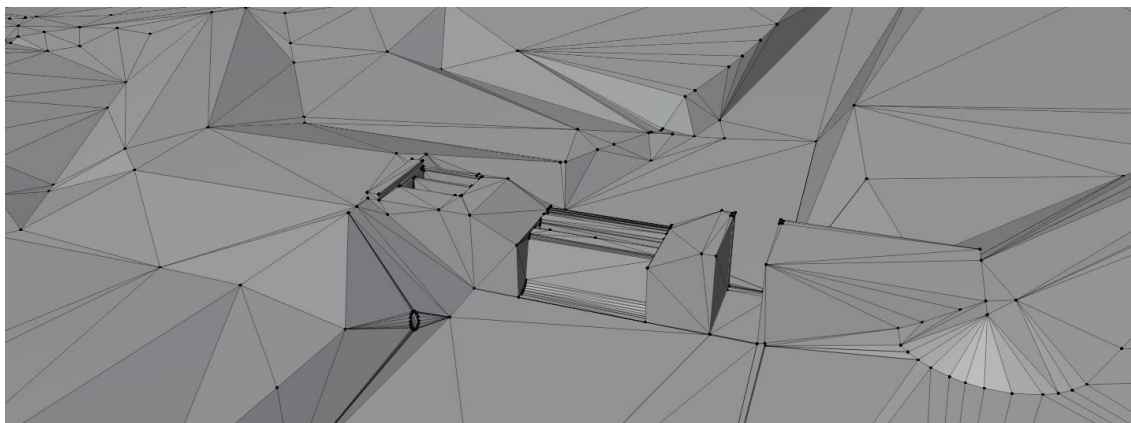
Bližší informace o softwaru zde nejsou z důvodu rozsahu práce uvedeny, veškeré informace lze dohledat v uživatelském manuálu [12].

7.2.2 Model

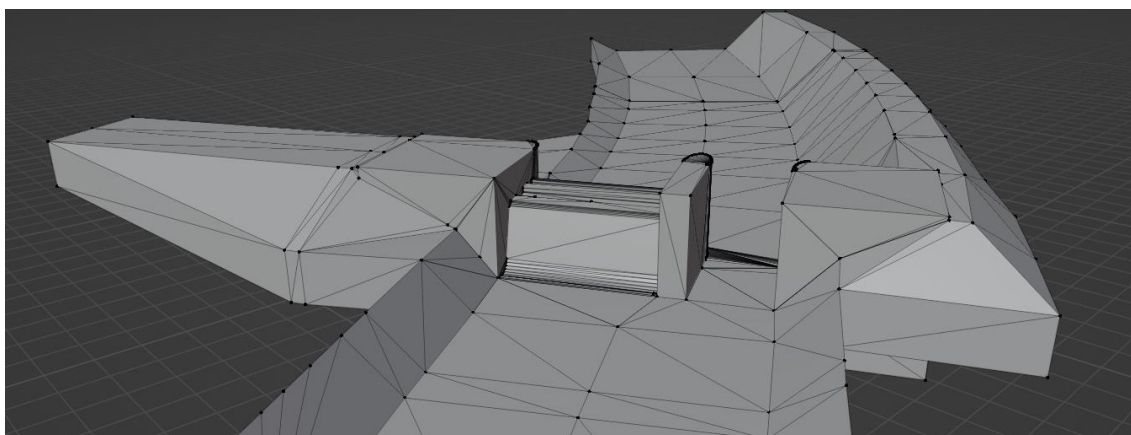
Níže jsou popsány jednotlivé kroky, které vedly k vytvoření modelu.

Model objektu

Pro tvorbu 3D geometrického modelu rozdělovacího objektu byl využit software AutoCAD. 3D model byl následně vložen do povrchového modelu terénu, který byl již vytvořen při tvorbě 2D modelu. Z nich bylo vyhotoveno jednotné těleso, které bylo možné vyexportovat do formátu STL (stereolithography) a importovat ho do programu Blender. Software Blender byl použit za účelem oprav detailů, které nelze v softwaru AutoCAD 3D vytvořit, ale pro správné fungování numerického modelu jsou tyto opravy nezbytné. Například mezi objekty trigonometrické sítě nesmí být mezery, normály polygonů musí být správně natočené atd. Celkem byly vyhotoveny dva modely geometrie popisující návrhové stavy, konkrétně model rozdělovacího objektu AQT a model navržený autorem práce, uvedeny jsou na Obr. 7.13 a Obr. 7.14.



Obr. 7.13 Návrhový stav AQT

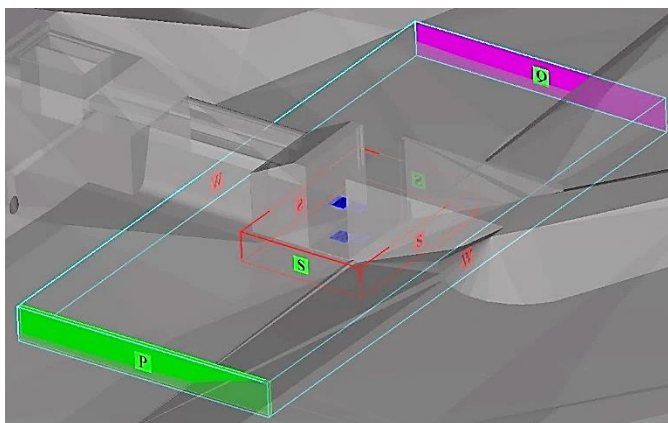


Obr. 7.14 Návrhový stav autora práce

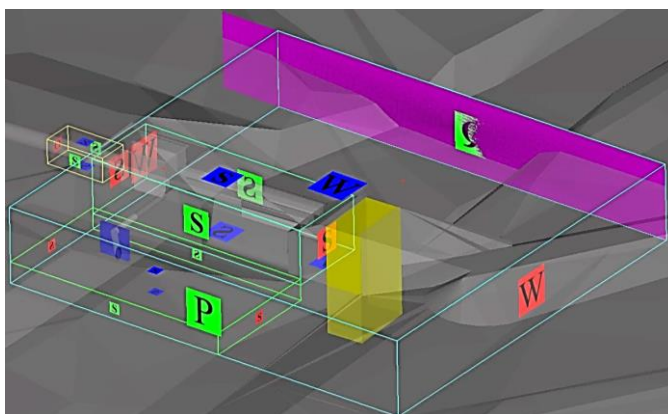
Výpočetní síť

Byly vyhotoveny dvě výpočetní sítě odpovídající dvěma rozdílným modelům. První síť byla provedena pro simulaci proudění vody ve splaveninové propusti, druhá síť byla provedena pro proudění vody rozdělovacím objektem při zavřené splaveninové propusti s průtokem pouze přes přelivnou plochu a volným odtokem odtokovým potrubím. Každá síť se skládala z bloků. Jejich sloučený objem charakterizoval výpočtový objem. Pro každý výpočetní blok byly nastaveny jiné velikosti buněk.

První síť (Obr. 7.15) se skládala ze dvou bloků, první blok (hlavní síť) měl velikost buněk 0,04 m, druhý blok (zjemnění) měl velikost buněk 0,02 m. Druhá síť (Obr. 7.16) se skládala ze čtyř bloků, první blok (hlavní síť) měl velikost buněk 0,10 m, druhý blok (zjemnění přeliv) měl velikost buněk 0,025 m, třetí blok (zjemnění odtok) měl velikost buněk 0,025 m a čtvrtý blok (zjemnění odběr) měl velikost buněk 0,05 m.



Obr. 7.15 Výpočetní oblast zaměřená na proudění propustí



Obr. 7.16 Výpočetní oblast zaměřená na celkové proudění rozdělovacím objektem

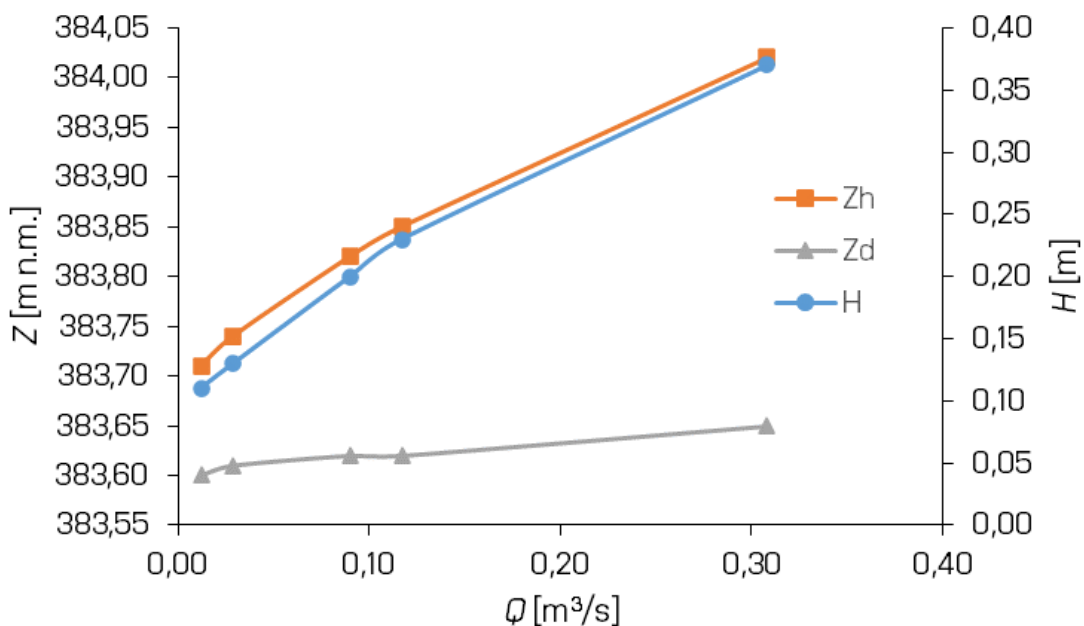
Materiálové vlastnosti

V simulaci byla uvažována čistá voda. Voda byla brána jako nestlačitelná, provzdušnění bylo zanedbáno. Voda byla uvažována s viskozitou $\eta = 0,001 \text{ Pa}\cdot\text{s}$ a hustotou $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$. Hodnota drsnosti používaná při výpočtech byla $k_s = 0,21 \text{ m}$, to odpovídá $n = 0,03 \text{ s/m}^{1/3}$ [17].

Okrajové a počáteční podmínky

Okrajové podmínky byly definovány na stěnách bloků, značeny jsou W – stěna, Q – průtok, O – volný odtok, S – symetrie a P – hydrostatický tlak. Horní okrajovou podmínkou byl vždy průtok s definovanou polohou hladiny převzatou z 2D simulací. Dolní okrajovou podmínkou byla poloha hladiny převzatá z 2D simulací. V grafu na Obr. 7.17 je zobrazena závislost průtoku na úrovni hladiny převzatá z 2D simulací. Zde Z_h je úroveň horní hladiny (hladina nad rozdělovacím objektem), Z_d je úroveň dolní hladiny (hladina pod rozdělovacím objektem) a H je rozdíl úrovní hladin. Z grafu je patrné vzduť způsobené rozdělovacím objektem. Okrajové podmínky jsou zobrazeny na Obr. 7.15 a Obr. 7.16.

Jako počáteční podmínka byla definována úroveň hladiny na výpočtové oblasti s hydrostatickým rozložením tlaků po hloubce.



Obr. 7.17 Úrovně hladiny nad a pod objektem vypočítané 2D modelem

Nastavení parametrů výpočtu

Pro simulaci proudění splaveninovou propustí byl nastaven časový krok výpočtu 0,005 s a doba simulace 200 s, kdy výpočet byl stabilní a proudění bylo ustálené.

Pro simulaci proudění celým rozdělovacím objektem byl nastaven časový krok výpočtu 0,001 s a doba simulace 200 s.

Jako turbulentní model byl zvolen RNG model.

8 TRANSPORT SPLAVENIN ZA STÁVAJÍCÍHO STAVU BEZ ROZDĚLOVACÍHO OBJEKTU

8.1 SIMULACE

K simulování režimu proudění splavenin byl použit 2D numerický model zpracovaný v softwarovém prostředí HEC-RAS (viz kapitolu 7.1).

Byla simulována NRPV v délce trvání 1 roku a TPV Q_1 a TPV Q_2 v délce trvání 400 minut. NRPV popisuje charakteristiky dlouhodobě časově střední, vypovídá o běžném transportu splavenin. Naproti tomu TPV popisují průtokové vlny, které krátkodobě významně deformují koryto toku, aniž by došlo k soustavnému rozlivu vody z koryta. Jednotlivé simulace popisuje Tab. 8.1.

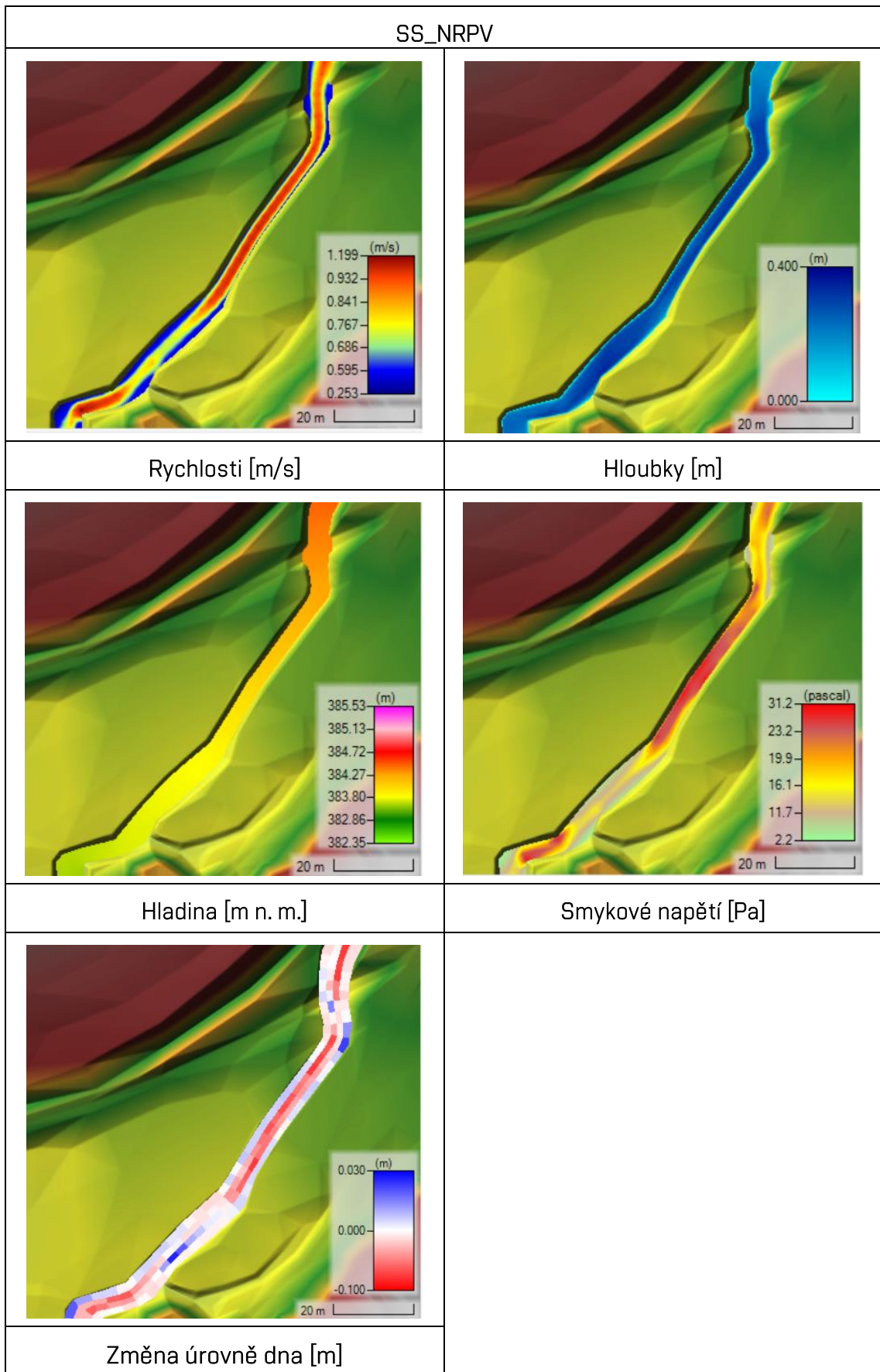
Tab. 8.1 Simulace transportu splavenin provedené pro případ bez rozdělovacího objektu

Označení simulace	Geometrie	Manipulace propust	Manipulace odběr	Průtok
SS_NRPV	SS	-	-	NRPV
SS_TPV Q_1	SS	-	-	TPV Q_1
SS_TPV Q_2	SS	-	-	TPV Q_2

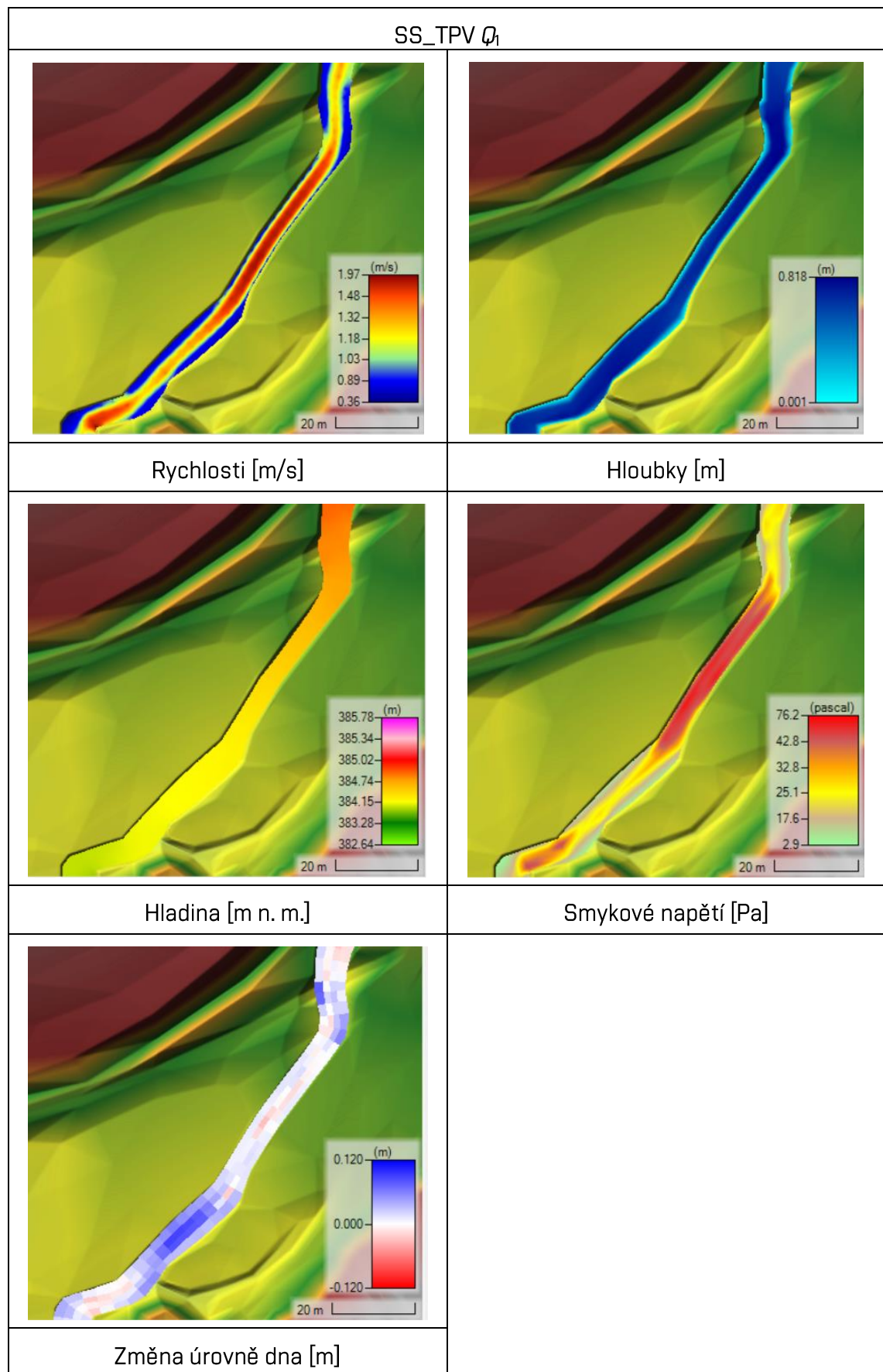
8.2 VÝSLEDKY

Výsledky simulace jsou zobrazeny v Tab. 8.2 až Tab. 8.4. V jednotlivých buňkách tabulky jsou zobrazeny mapy rychlostí, hloubek, úrovně hladiny a smykových napětí. Výsledky analýzy proudění vody jsou zobrazeny při maximálním průtoku. Při tomto průtoku nastávají v korytě toku největší změny. Dále jsou zobrazeny mapy se změnou úrovně dna. Výsledky změny úrovně dna jsou zobrazeny po době trvání simulace.

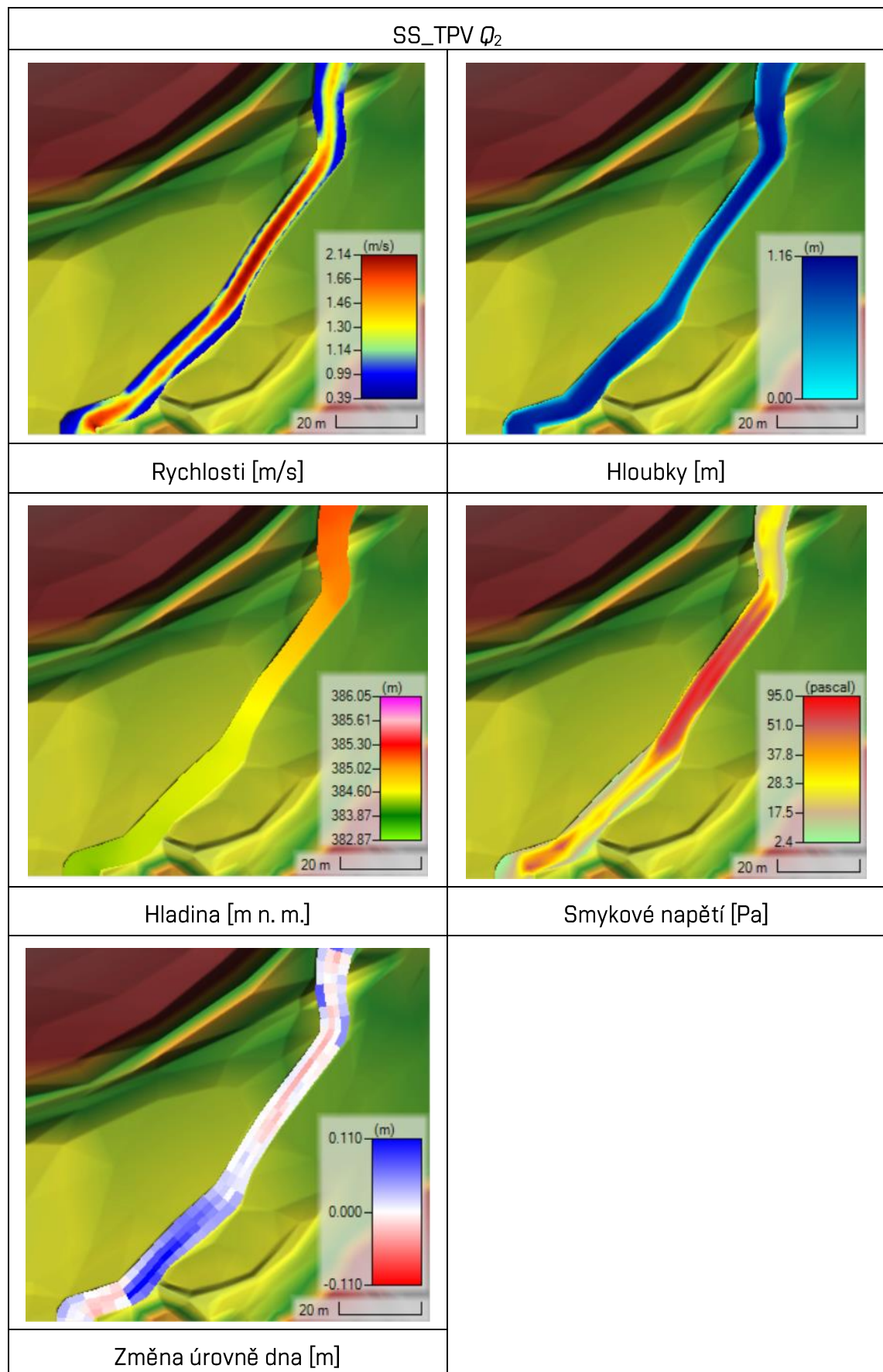
Tab. 8.2 Výsledky simulace NRPV



Tab. 8.3 Výsledky simulace TPV Q_1



Tab. 8.4 Výsledky simulace TPV Q_2



V Tab. 8.5 je zobrazena bilance objemu usazenin v toku po jednotlivých průtokových vlnách. Pokud je zde hodnota kladná tak se jedná o usazený materiál, pokud je záporná tak se jedná o vymletý materiál. Analýza výsledků byla provedena v softwarovém prostředí QGIS, kde bylo možné analyzovat výsledky ze softwaru HEC-RAS. Vyhodnocování bylo prováděno na oblasti od uvažovaného rozdělovacího objektu až po profil s HOP.

Tab. 8.5 Bilance objemu usazenin v úseku od rozdělovacího objektu po profil s HOP

Označení simulace	V [m ³]
SS_NRPV	-38,9
SS_TPV Q_1	-3,5
SS_TPV Q_2	0,9

8.3 ZHODNOCENÍ

Z výsledků je patrné, že koryto toku Smolinka se v daném úseku při běžných průtokových stavech mírně vymílá, ale při průtokových vlnách je v dynamické rovnováze. Střídají se zde výmoly a nánosy, které se pohybují v rozmezí od -0,1 m do 0,1 m. V úseku se vyskytují úplavy. Lze tedy konstatovat, že koryto je relativně stabilní bez očekávaných budoucích změn v souladu s konstatováním studie S10 [1]. K tomuto faktu přispívá také fotodokumentace stávajícího stavu zobrazena v kapitole 5.4, kde jsou patrné lokálně se vyskytující nánosy a výmoly. Korytový průtok se pohybuje mezi průtokem Q_1 a Q_2 .

9 TRANSPORT SPLAVENIN ZA NÁVRHOVÉHO STAVU S ROZDĚLOVACÍM OBJEKTEM AQT

9.1 2D ANALÝZA PROUDĚNÍ VODY

9.1.1 Simulace

K simulování režimu proudění vody rozdělovacím objektem byl použit 2D numerický model zpracovaný v softwarovém prostředí HEC-RAS (viz kapitolu 7.1). Model popisoval vliv navrženého rozdělovacího objektu na odtokové poměry v toku Smolinka. Provedené simulace měly prokázat vliv rozdělovacího objektu na průtokové poměry v zájmovém území při povodňových průtocích.

Řešena byla varianta s otevřenou splaveninovou propustí bez odběru vody. Odběr vody je realizován pouze do průtoku Q_{30d} , při větších průtocích není v provozu. Simulován byl průtok Q_{30d} a N -leté průtoky v délce trvání 6 hodin. Menší průtoky, než je průtok Q_{30d} nebyly zvoleny z důvodu relativně malého ovlivnění hladiny propustí. Větší průtoky, než je průtok Q_{20} nebyly zvoleny z důvodu relativně malého vlivu objektu na proudění v území. V Tab. 9.1 jsou zobrazeny provedené simulace.

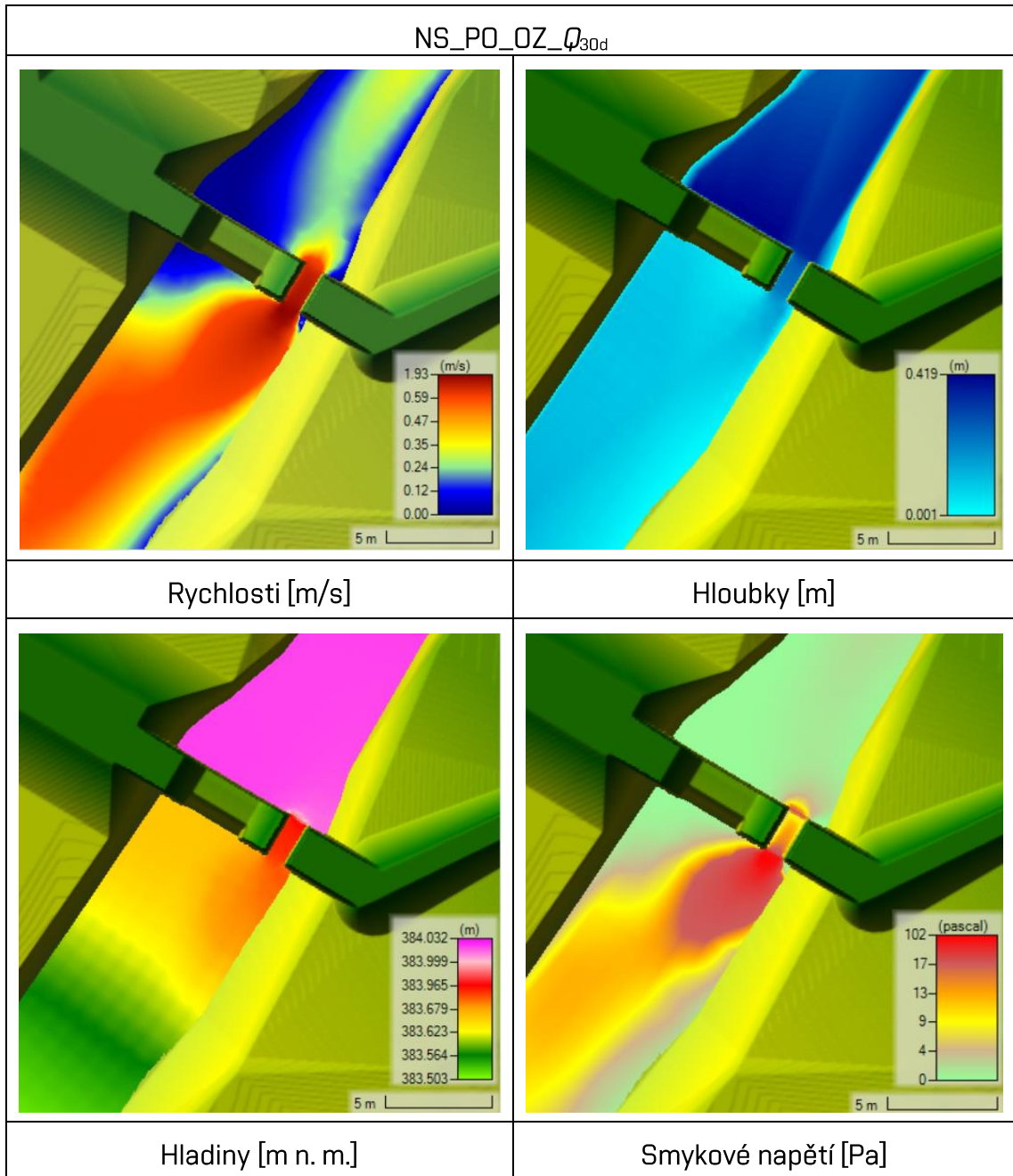
Tab. 9.1 Provedené simulace

Označení simulace	Geometrie	Manipulace propust	Manipulace odběr	Průtok
NS_PO_OZ_ Q_{30d}	NS	PO	OZ	Q_{30d}
NS_PO_OZ_ Q_1	NS	PO	OZ	Q_1
NS_PO_OZ_ Q_2	NS	PO	OZ	Q_2
NS_PO_OZ_ Q_5	NS	PO	OZ	Q_5
NS_PO_OZ_ Q_{10}	NS	PO	OZ	Q_{10}
NS_PO_OZ_ Q_{20}	NS	PO	OZ	Q_{20}

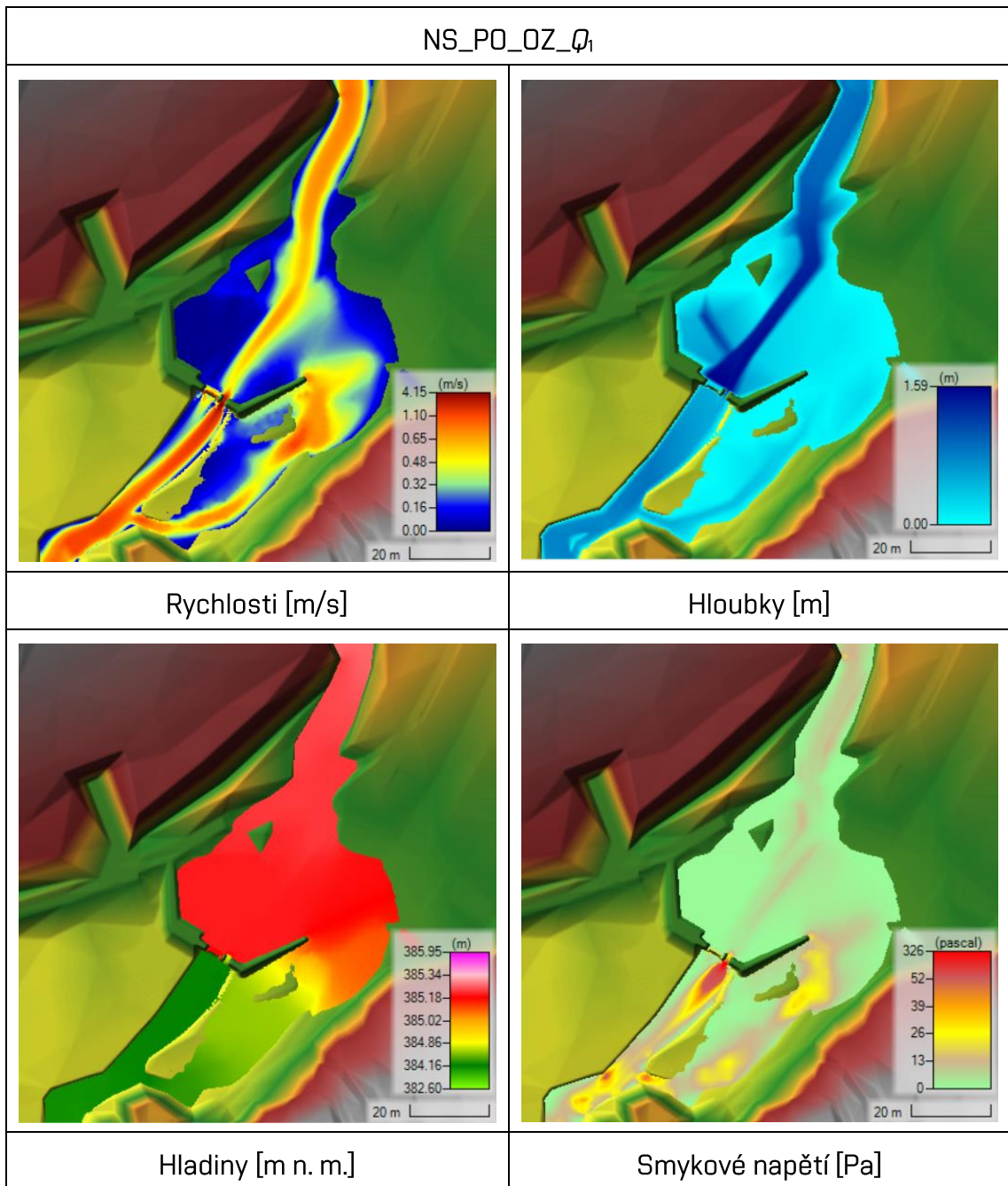
9.1.2 Výsledky

V Tab. 9.2 až Tab. 9.7 jsou zobrazeny výsledky simulace proudění vody při návrhovém stavu. Pro každý simulovaný průtok jsou uvedeny rychlosti, hloubky, hladiny a smykové napětí.

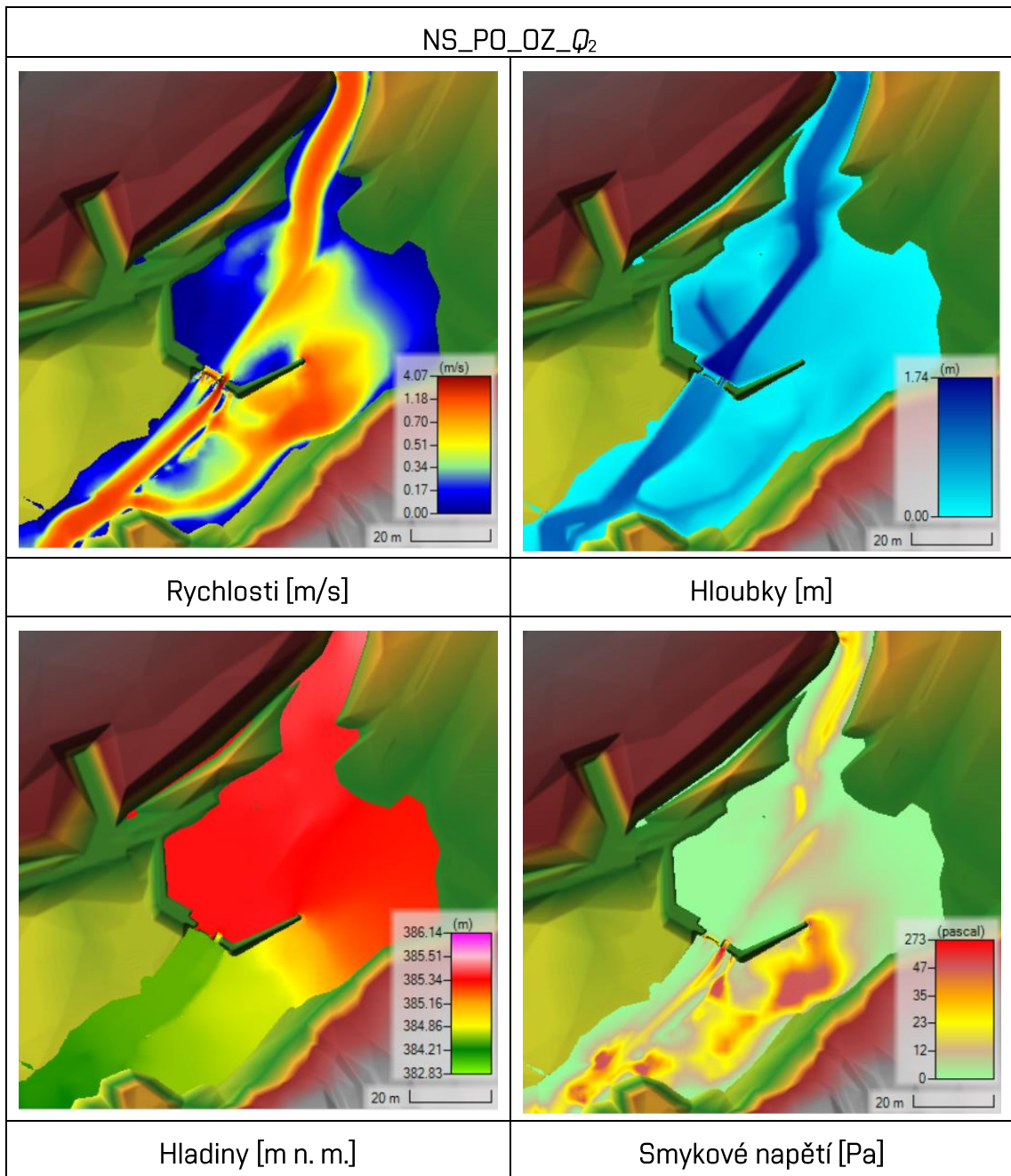
Tab. 9.2 Výsledky simulace Q_{30d}



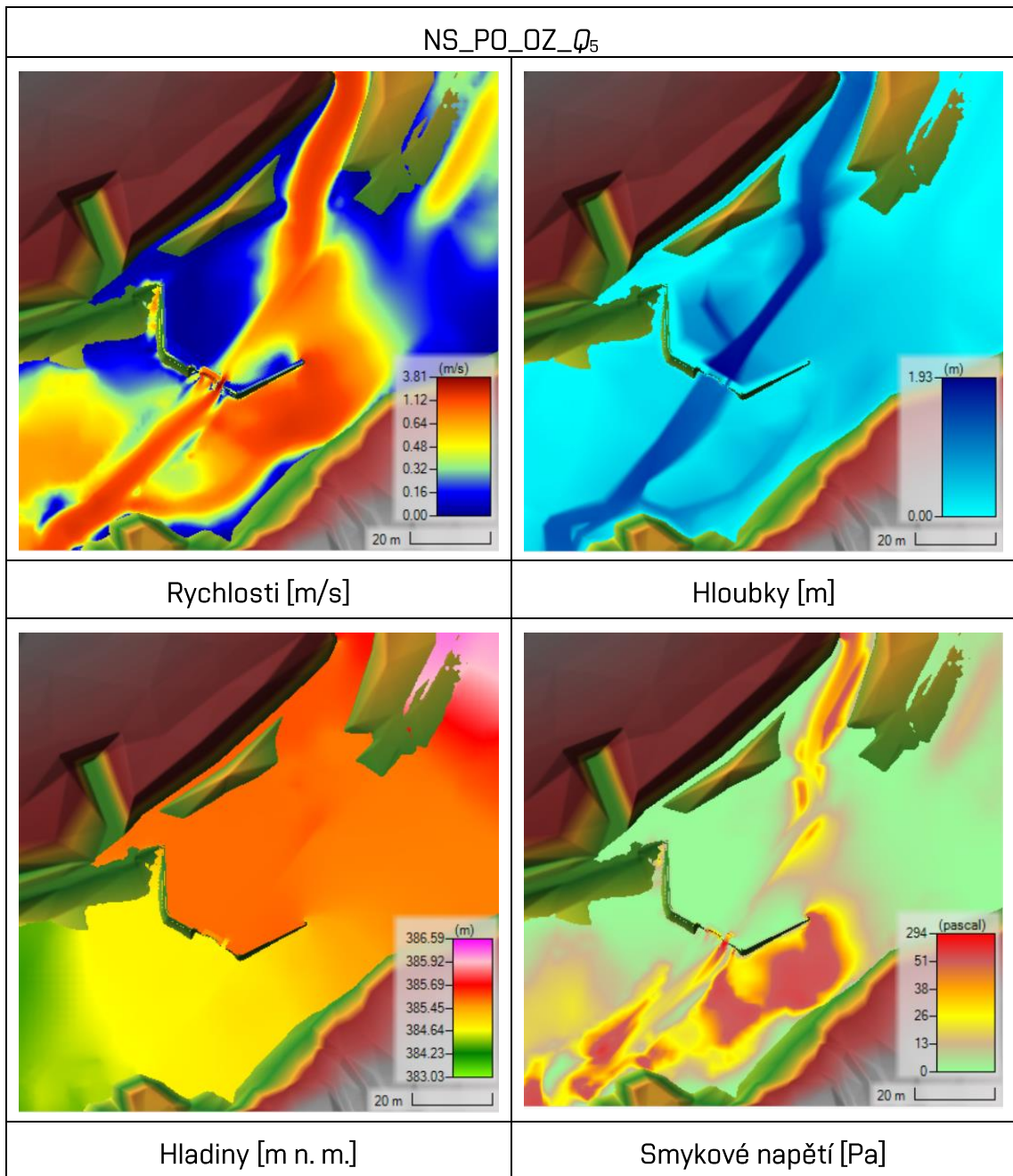
Tab. 9.3 Výsledky simulace Q_1



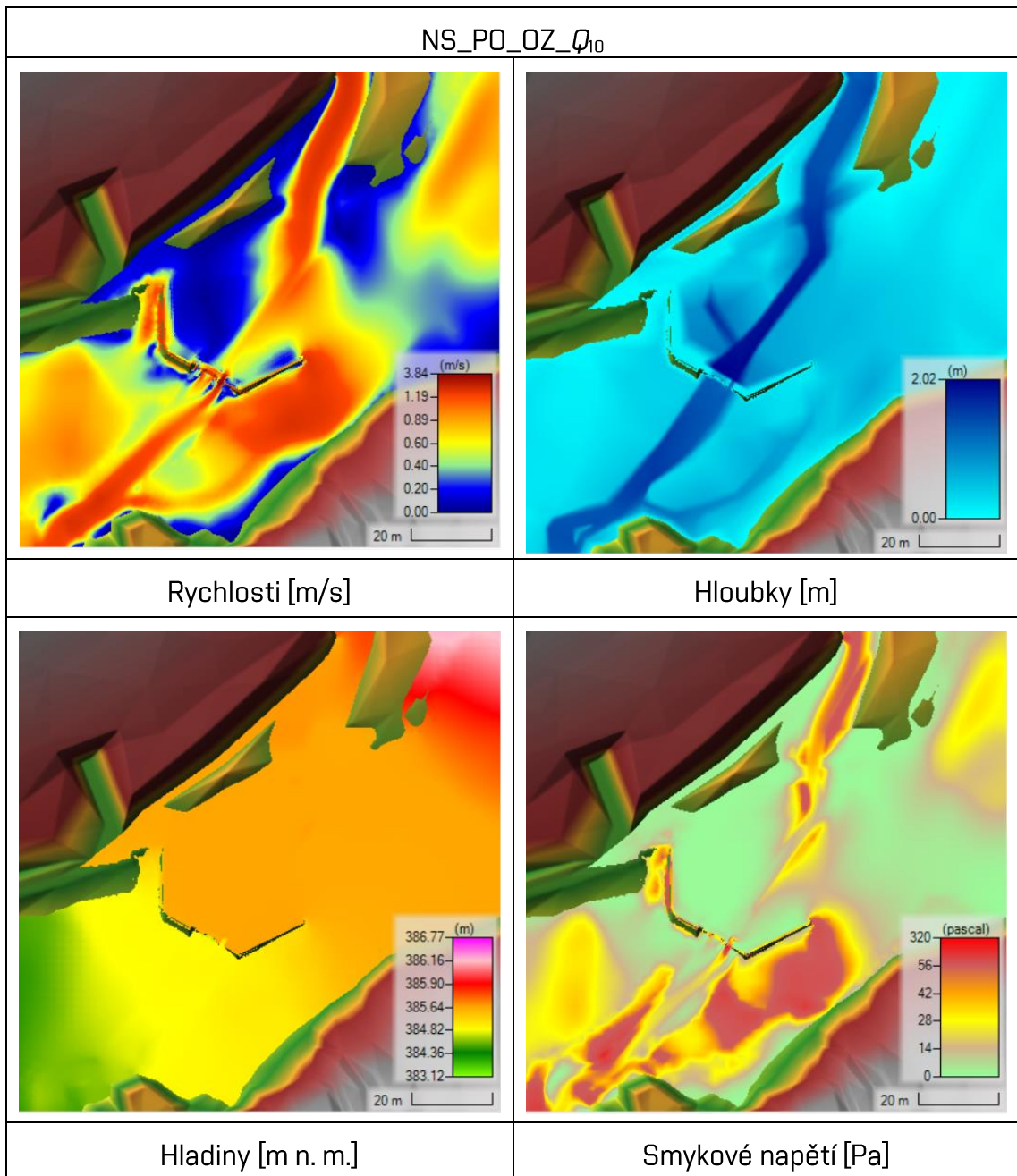
Tab. 9.4 Výsledky simulace Q_2

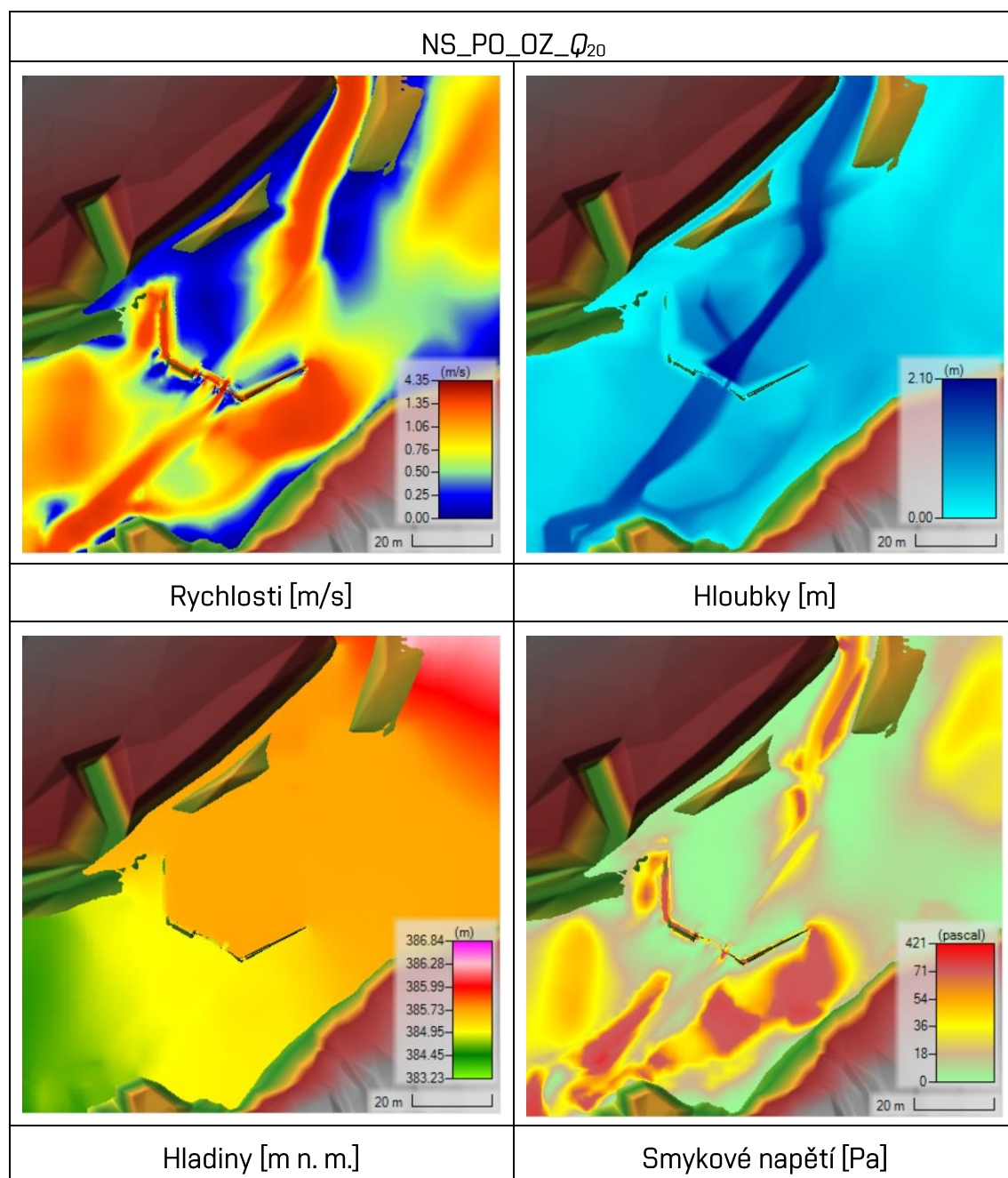


Tab. 9.5 Výsledky simulace Q_5



Tab. 9.6 Výsledky simulace Q_{10}



Tab. 9.7 Výsledky simulace Q_{20} 

9.1.3 Zhodnocení

Z uvedených výsledků lze určit, že již při jednoletém průtoku dochází k obtékání zemní hráze, která vzdouvá vodu. Při obtékání zemní hráze se voda dostává do sníženiny v terénu a postupně tvoří nové koryto. V místě hlavního proudu, který se tvoří v levé části inundačního území se vyskytují místa s rizikem překročení odolnosti travního pokryvu (cca > 60 Pa). Tedy povrch levého inundačního území může být vymílán.

Jelikož voda v pravé části zdrže téměř neproudí, tak je velice pravděpodobné, že při povodňových průtocích bude docházet k zanášení zdrže. Dosah vzduší hladiny je přibližně 70 m.

Ze simulace Q_{30d} je patrné, že navržené rozšíření koryta pod objektem se jeví jako nevhodné. Jelikož v místech, bezprostředně pod zdrží, kde rychlost je téměř nulová, bude docházet k usazování částic.

9.2 3D ANALÝZA PROUDĚNÍ VODY

9.2.1 Simulace

K simulování režimu proudění vody rozdělovacím objektem a splaveninovou propustí byl použit 3D numerický model zpracovaný v softwarovém prostředí FLOW 3D (viz kapitolu 7.2).

Pro popis proudění splaveninovou propustí byly zvoleny tři průtoky, které popisuje Tab. 9.8. Průměrný průtok byl zvolen z důvodu popisu proudění za běžného stavu a Q_{30d} byl zvolen ve dvou provozních variantách z důvodu popisu při očekávané manipulaci. Provedené simulace popisuje Tab. 9.8.

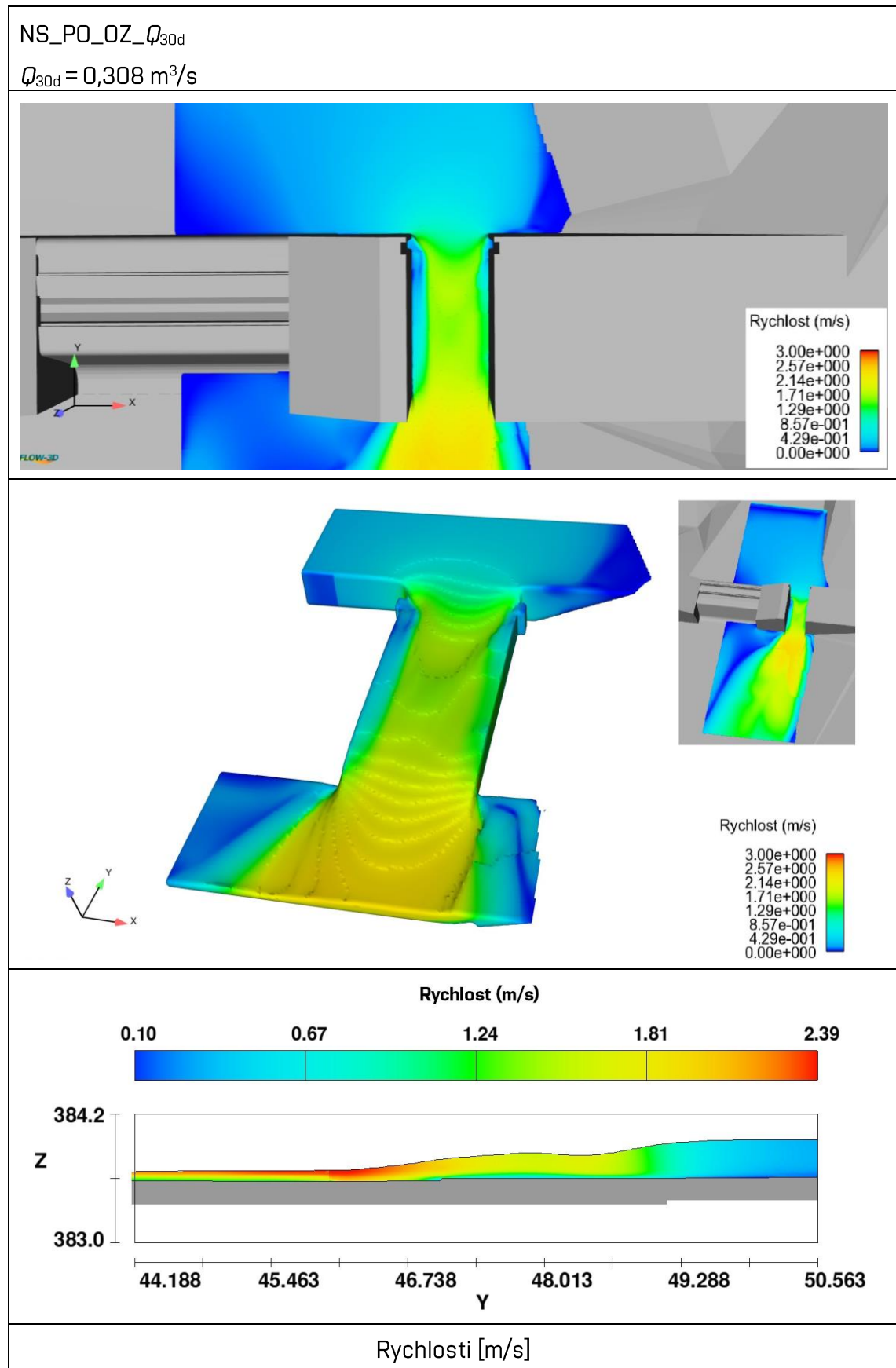
Tab. 9.8 Provedené simulace

Označení simulace	Geometrie	Manipulace propust	Manipulace odběr	Průtok
NS_PO_OZ_ Q_{30d}	NS	PO	OZ	Q_{30d}
NS_PO_OZ_ Q_a	NS	PO	OZ	Q_a
NS_PZ_OO_ Q_{30d}	NS	PZ	OO	Q_{30d}

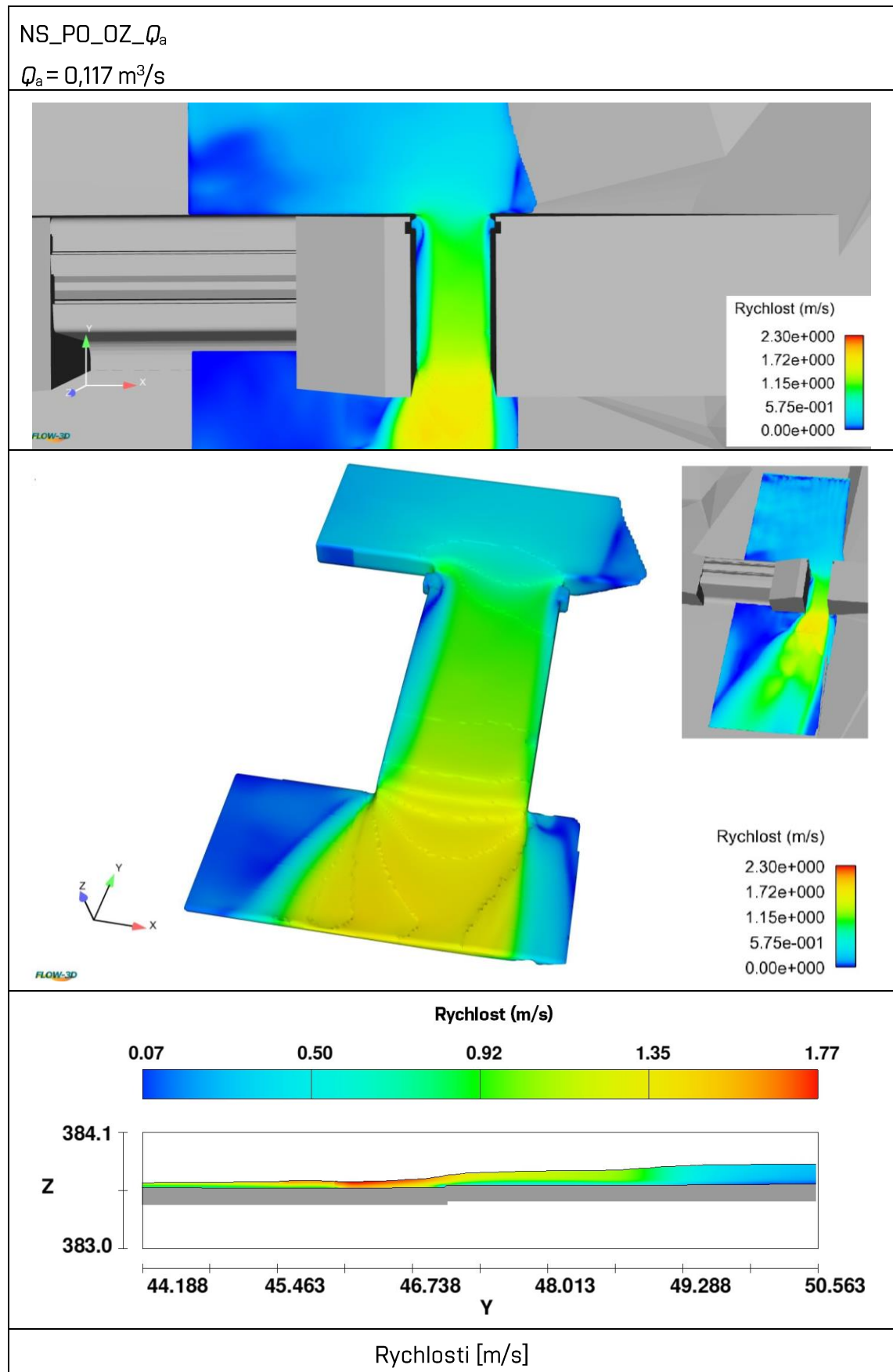
9.2.2 Výsledky

V Tab. 9.9 a Tab. 9.10 jsou zobrazeny výsledky 3D simulací proudění vody splaveninovou propustí při průtoku Q_a a při průtoku Q_{30d} . V Tab. 9.11 je zobrazen výsledek 3D simulace proudění vody rozdělovacím objektem při průtoku Q_{30d} .

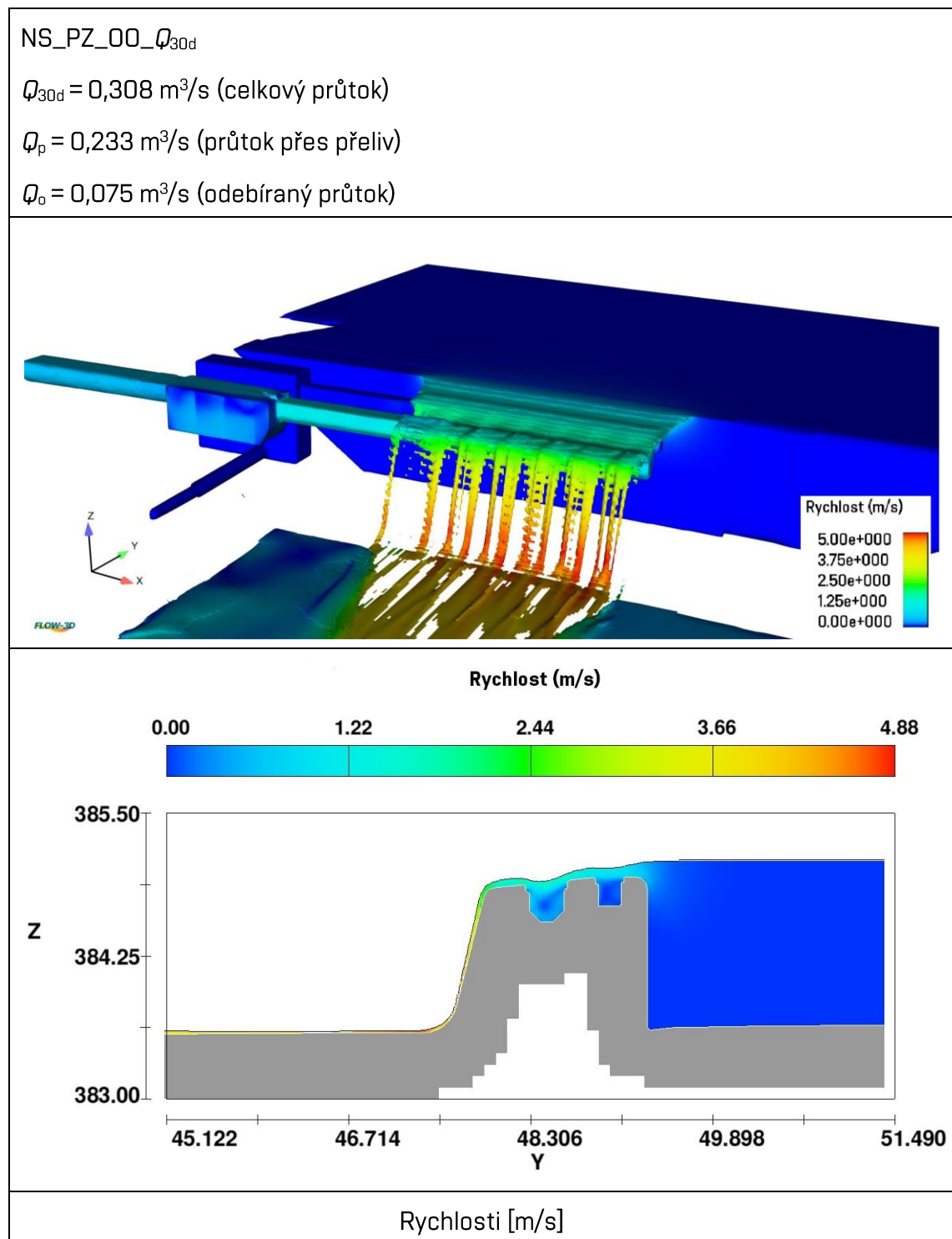
Tab. 9.9 Výsledky simulace proudění vody splaveninovou propustí při průtoku Q_{30d}



Tab. 9.10 Výsledky simulace proudění vody splaveninovou propustí při průtoku Q_a



Tab. 9.11 Výsledky simulace proudění vody odběrným objektem



9.2.3 Zhodnocení

Z uvedených výsledků lze určit, že rychlosti se mění v závislosti na simulovaném průtoku. Na vtoku a v propusti se rychlosti pohybují od 1 m/s do 1,5 m/s. V místě

vyústění z propusti se rychlosti pohybují od 1,8 m/s do 2,5 m/s. Také lze určit, že při zúžení proudu v propusti dochází na obou stranách k odtržení proudu od vnitřního povrchu a za drážkami uzávěru vzniká úplav. Je tedy patrné, že kvůli úplavům bude v místě drážek v propusti docházet k usazování splavenin. Úplavy zároveň snižují průtočnost propusti. Z podélného profilu lze pozorovat, že při použití splaveninové propusti šířky 1 m dochází při simulaci průtoku Q_{30d} ke vzdouvání vody, což není žádoucí z pohledu plynulého transportu splavenin. Dle výsledků je patrné, že šířka propusti 1 m není dostačující. Dále je patrné, že nezaoblené hrany vtoku propusti mají zásadní vliv na proudění uvnitř propusti, proto by bylo vhodné zaoblit hrany na vtoku, nejlépe v podobě předsazených pilířů s vhodným půdorysným tvarem. Rovněž by bylo vhodné zúžení koryta pod rozdělovacím objektem, aby nedocházelo k zanášení. Podobná doporučení uvádí i studie S17 [III].

9.3 ANALÝZA SPLAVENINOVÉHO REŽIMU

9.3.1 Simulace

K simulování režimu splavenin rozdělovacím objektem byl použit 2D numerický model zpracovaný v softwarovém prostředí HEC-RAS (viz kapitolu 7.1).

Simulovány byly dva limitní stavy, a to stav s otevřenou propustí bez odběru vody a stav se zavřenou propustí s odběrem vody.

Stav s plně otevřenou propustí nastává, pokud se neprovádí odběr. Za tohoto stavu by mělo docházet k plynulému transportu splavenin rozdělovacím objektem [III]. Ve zdrži by nemělo docházet k usazování splavenin a zdrž by se neměla zanášet. Na druhou stranu by mělo docházet k proplachování zdrže, jelikož se proud sytí splaveninami z nánosu usazenin ve zdrži. Šířka splaveninové propusti by měla být tak velká, aby nedocházelo k zanášení zdrže a současně tak malá, aby se nezanášela. V uvedeném stavu by nemělo dojít k ovlivnění hydromorfologického vývoje koryta poproudě pod objektem. Z výše uvedených důvodů bylo přistoupeno k simulaci několika variant výpočtů, kde byla v intervalu po 0,25 m měněna šířka propusti. Simulována byla NRPV v délce trvání 1 rok. Vymílání bylo umožněno v korytě toku a ve zdrži, zatímco v okolním území bylo z důvodu vegetačního pokryvu vymílání znemožněno.

Stav se zavřenou propustí nastává při odběru vody do nádrže VD Vlachovice. Jedná se o stav, kdy dochází k největšímu možnému ovlivnění průtokových poměrů a zároveň dochází ke změně splaveninového režimu, jelikož propust je plně zavřená a převážná část průtoků je převáděna do nádrže. Zdrž se bude zanášet a v korytě pod objektem bude zpomalen hydromorfologický vývoj koryta. Zdrž by měla být tak velká, aby se v ní usadily splaveniny za požadovanou dobu provozu odběru, po níž následuje těžba usazenin, zde se uvažuje 1 rok. A zároveň by měla mít takový tvar, aby byla využita její plocha co nejefektivněji, tedy aby se v ní usazovaly splaveniny rovnoměrně, a aby při otevření propusti docházelo k vytvoření koryta ve stejné pozici s plynulým transportem splavenin. [III] Provedené simulace popisuje Tab. 9.12.

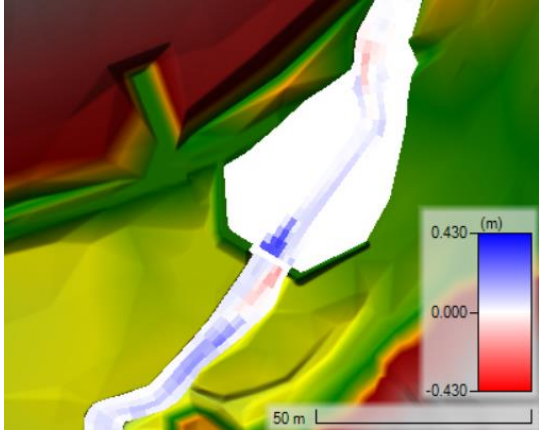
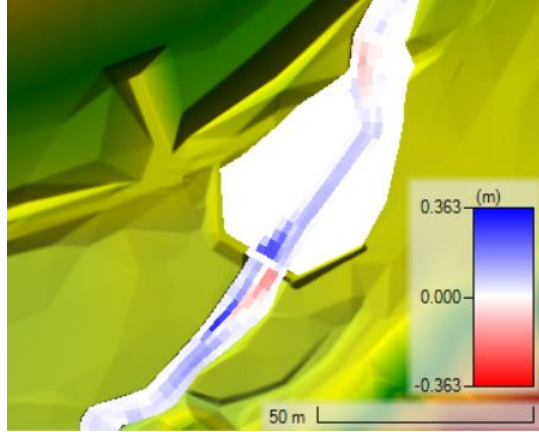
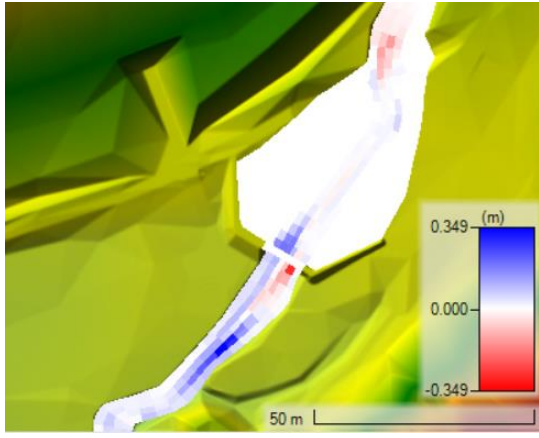
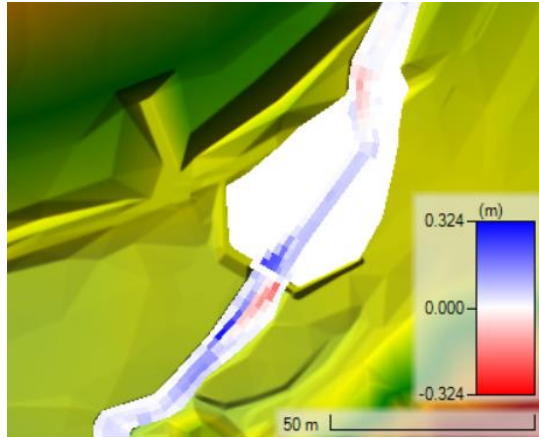
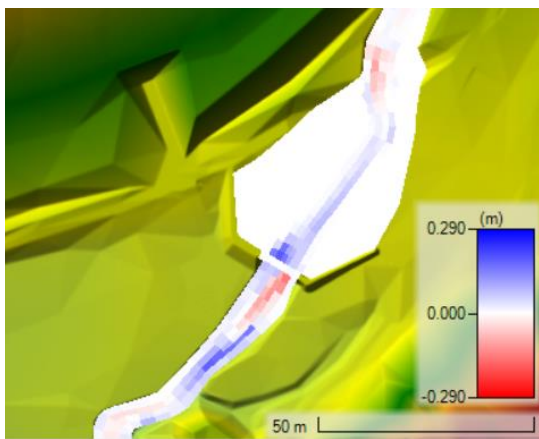
Tab. 9.12 Provedené simulace

Označení simulace	Geometrie	Manipulace propust	Manipulace odběr	Průtok
NS (b1)_PO_OZ_NRPV	NS ($b = 1$ m)	PO	OZ	NRPV
NS (b1,25)_PO_OZ_NRPV	NS ($b = 1,25$ m)	PO	OZ	NRPV
NS (b1,5)_PO_OZ_NRPV	NS ($b = 1,5$ m)	PO	OZ	NRPV
NS (b1,75)_PO_OZ_NRPV	NS ($b = 1,75$ m)	PO	OZ	NRPV
NS (b2)_PO_OZ_NRPV	NS ($b = 2$ m)	PO	OZ	NRPV
NS_PZ_OO_NRPV	NS	PZ	OO	NRPV
NS_PZ_OZ_TPV Q_1	NS	PZ	OZ	TPV Q_1
NS_PZ_OZ_TPV Q_2	NS	PZ	OZ	TPV Q_2
NS_PO_OZ_TPV Q_1	NS	PO	OZ	TPV Q_1
NS_PO_OZ_TPV Q_2	NS	PO	OZ	TPV Q_2

9.3.2 Výsledky

V Tab. 9.13 jsou zobrazeny výsledky ze simulování NRPV v délce trvání 1 roku, při otevření splaveninové propusti bez odběru.

Tab. 9.13 Výsledky simulací NRPV s různými šířkami propustí

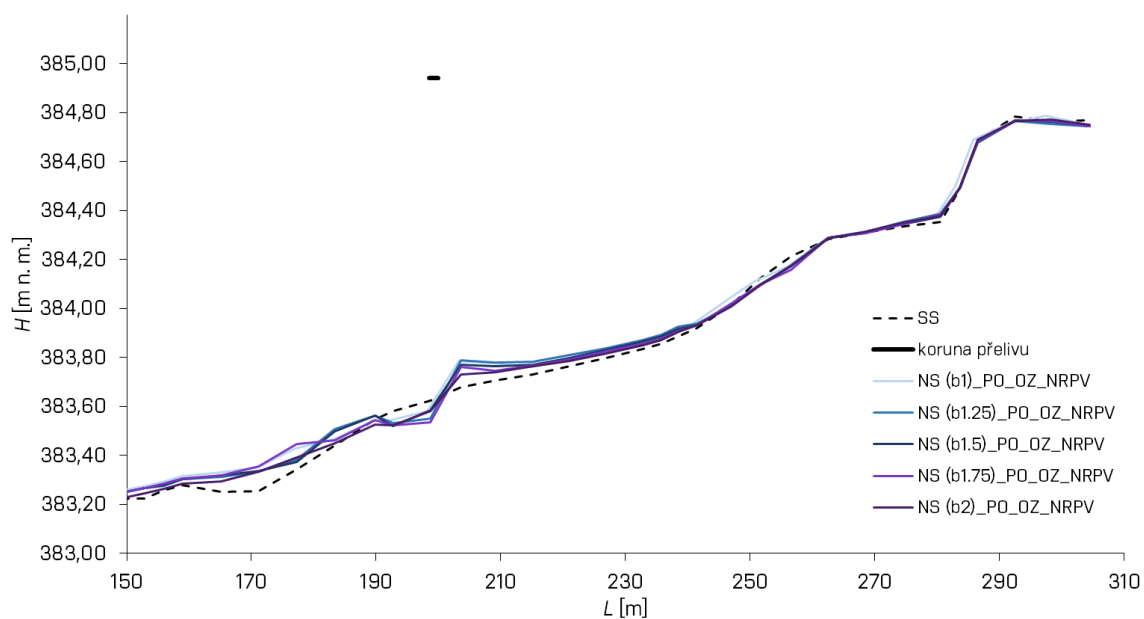
NS (b1)_PO_OZ_NRPV	NS (b1,25)_PO_OZ_NRPV
	
Změna úrovně dna [m]	Změna úrovně dna [m]
NS (b1,5)_PO_OZ_NRPV	NS (b1,75)_PO_OZ_NRPV
	
Změna úrovně dna [m]	Změna úrovně dna [m]
NS (b2)_PO_OZ_NRPV	
	
Změna úrovně dna [m]	

Výsledky uvedené v Tab. 9.14 vyjadřují bilanci transportu splavenin při změně šířky propusti. Hodnoty udávají, jak se změní zanášení nebo vymílání koryta oproti stávajícímu stavu. Analýza výsledků pro jednotlivé varianty šířky propustí byla provedena v softwarovém prostředí QGIS, kde bylo možné analyzovat výsledky ze softwaru HEC-RAS. Vyhodnocování bylo prováděno pro oblast od rozdělovacího objektu až po profil s HOP. Z hodnot uvedených v Tab. 9.14 je patrné, že za všech šířek splaveninové propusti dochází k zanášení, rozdíl je v množství usazeného materiálu. [22]

Tab. 9.14 Objemy usazenin

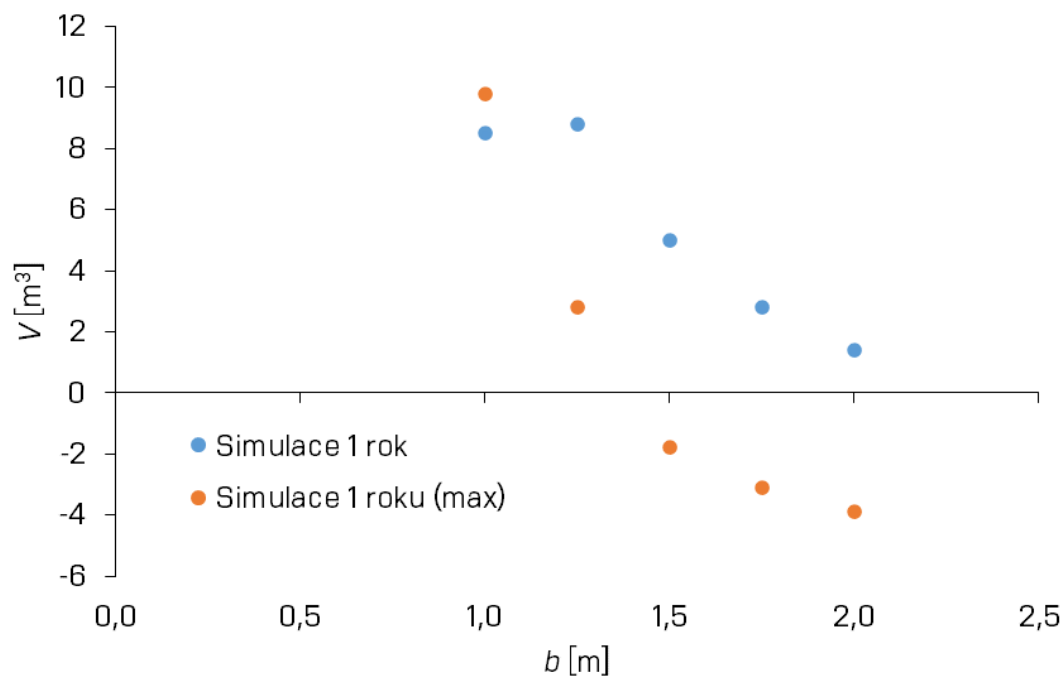
Označení simulace	V [m ³]
NS (b1)_PO_OZ_NRPV	37,1
NS (b1,25)_PO_OZ_NRPV	37,3
NS (b1,5)_PO_OZ_NRPV	33,9
NS (b1,75)_PO_OZ_NRPV	31,8
NS (b2)_PO_OZ_NRPV	30,2

V grafu na Obr. 9.1 je znázorněna změna úrovně dna pro různé šířky propustí při simulování NRPV v délce trvání 1 rok. Z důvodu lepší čitelnosti je zobrazena pouze část podélného profilu s rozdělovacím objektem. Jak je patrné z podélného profilu, tak se v případě změny šířky propusti úroveň dna oproti stávajícímu stavu zásadně nemění. Pouze lokálně se vyskytují výmoly nebo nánosy, které se pohybují v rozsahu jednotek centimetrů.



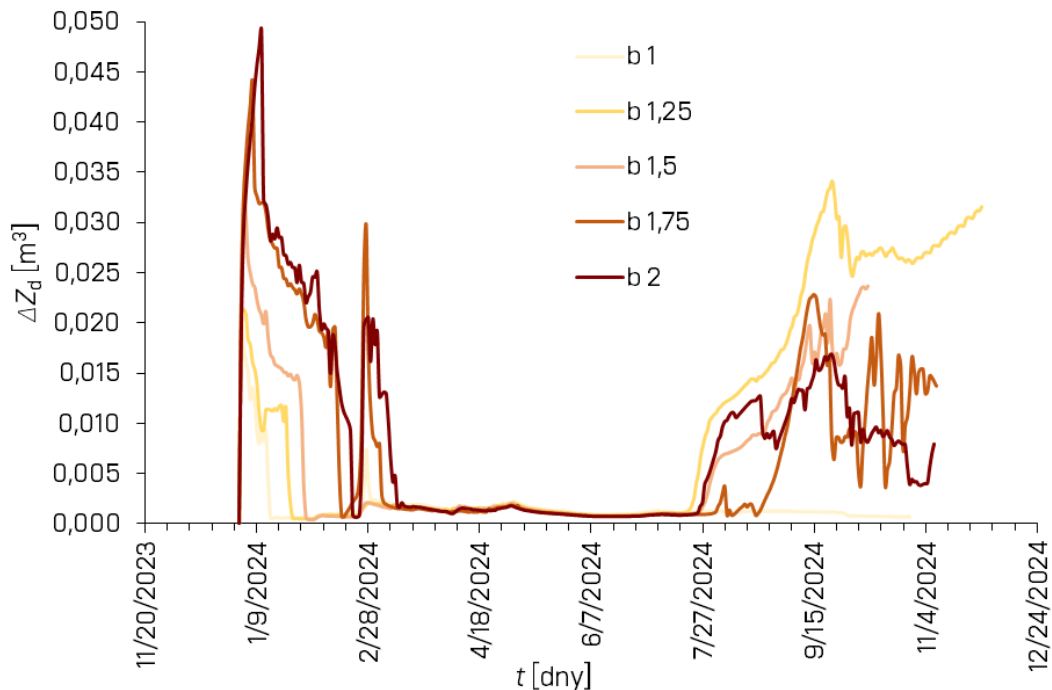
Obr. 9.1 Změna úrovně dna pro různé šířky propustí při simulování NRPV v délce trvání 1 rok

V grafu na Obr. 9.2 jsou zobrazeny objemy usazenin pro různé šířky propustí. Také jsou v grafu uvedeny hodnoty pro maximální průtoky.



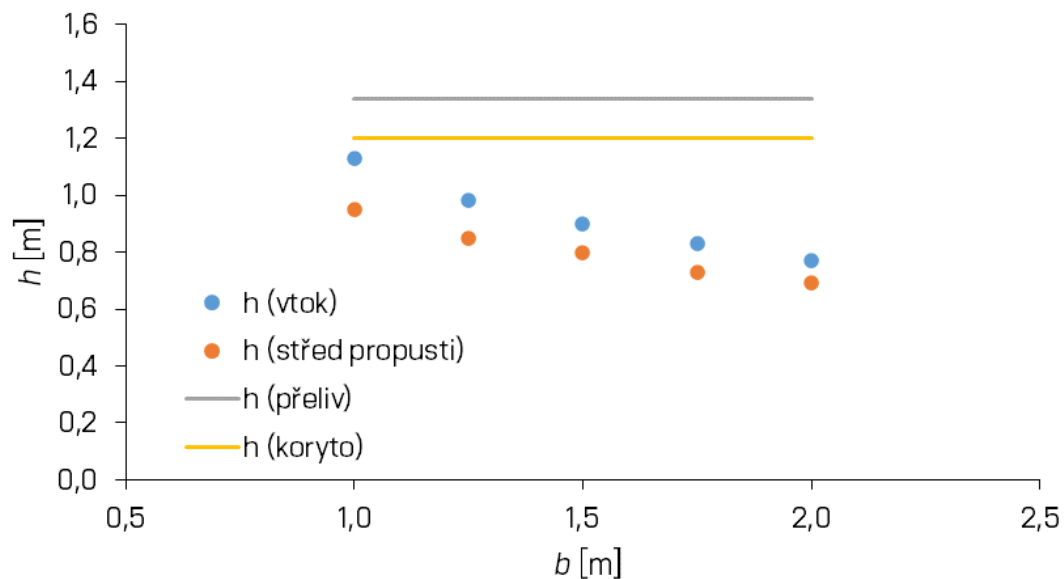
Obr. 9.2 Zanášení zdrže (oblast od rozdělovacího objektu až po profil s HOP)

V grafu na Obr. 9.3 je zobrazeno, jak se bude propust s různými šířkami zanášet během 1 roku. Z grafu lze určit, že zanášení bude probíhat zejména v měsících, kdy nastávají malé průtoky.

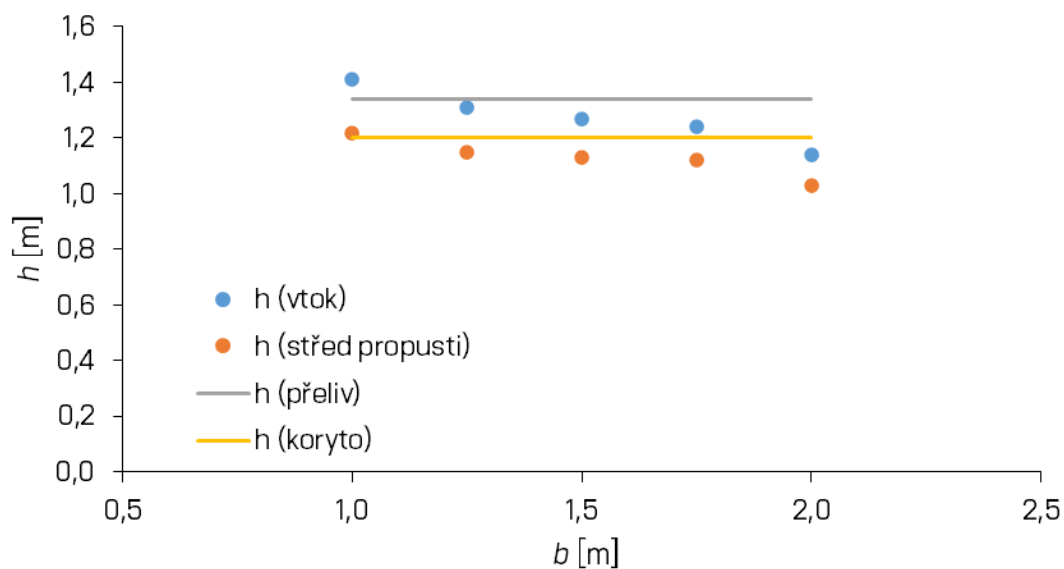


Obr. 9.3 Zanášení propustí

Níže v grafech jsou uvedeny hloubky vody v místě propusti při N – letých průtocích. Také je znázorněna výška přelivné hrany a výška břehové hrany koryta pod objektem. V grafu na Obr. 9.4 jsou znázorněny hodnoty pro N – letý průtok Q_1 . V grafu na Obr. 9.5 jsou znázorněny hodnoty pro N – letý průtok Q_2 .



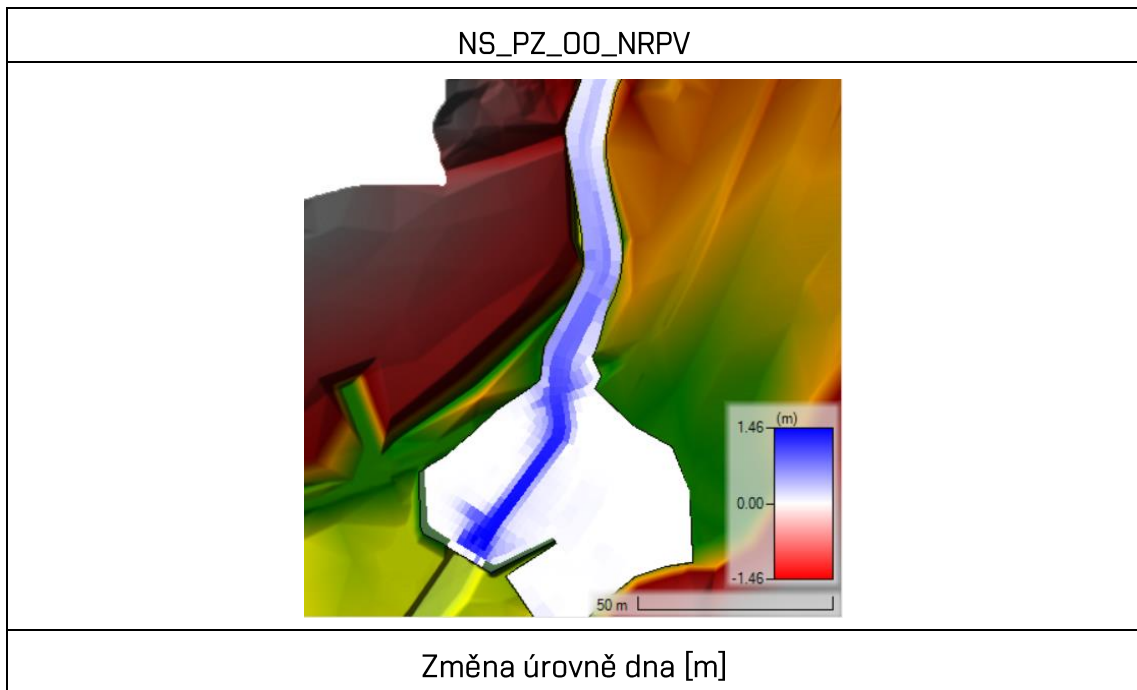
Obr. 9.4 Závislost hloubky vody na šířce splaveninové propusti



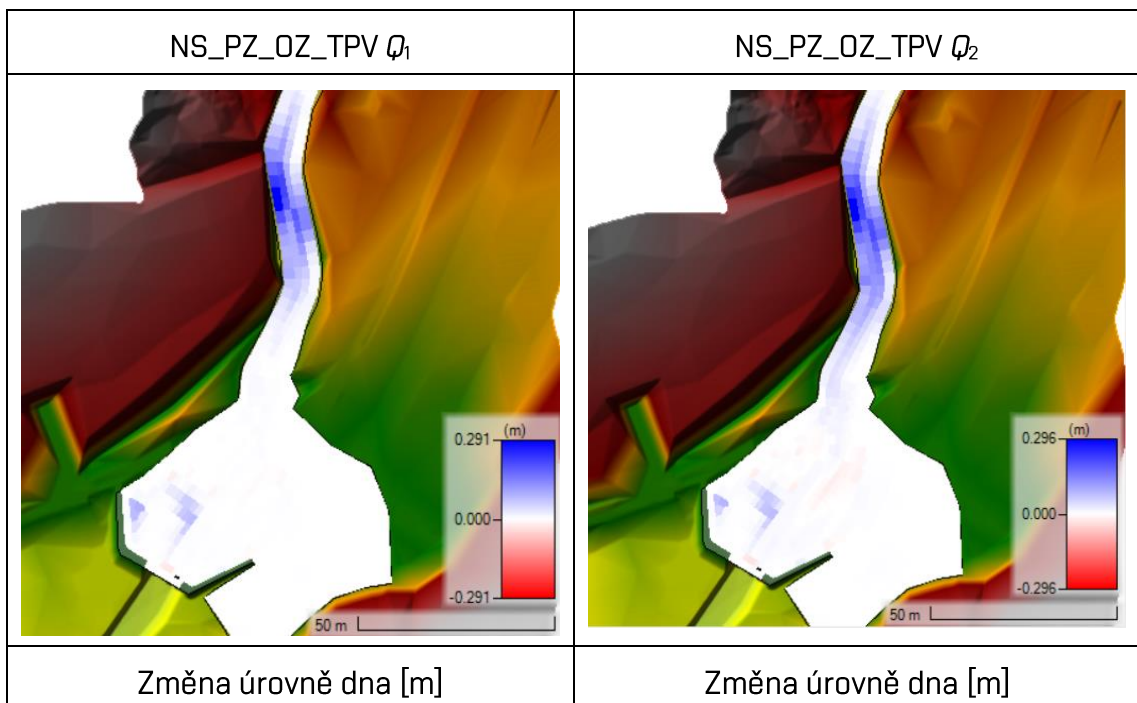
Obr. 9.5 Závislost hloubky vody na šířce splaveninové propusti

V Tab. 9.15 jsou zobrazeny výsledky ze simulování NRPV v délce trvání 1 roku. Odběr byl v provozu a splaveninová propust byla zavřená. Dále jsou v Tab. 9.16 uvedeny výsledky ze simulování TPV Q_1 a TPV Q_2 v délce trvání 400 minut, pro zavřenou propust a v Tab. 9.17 pro otevřenou propust.

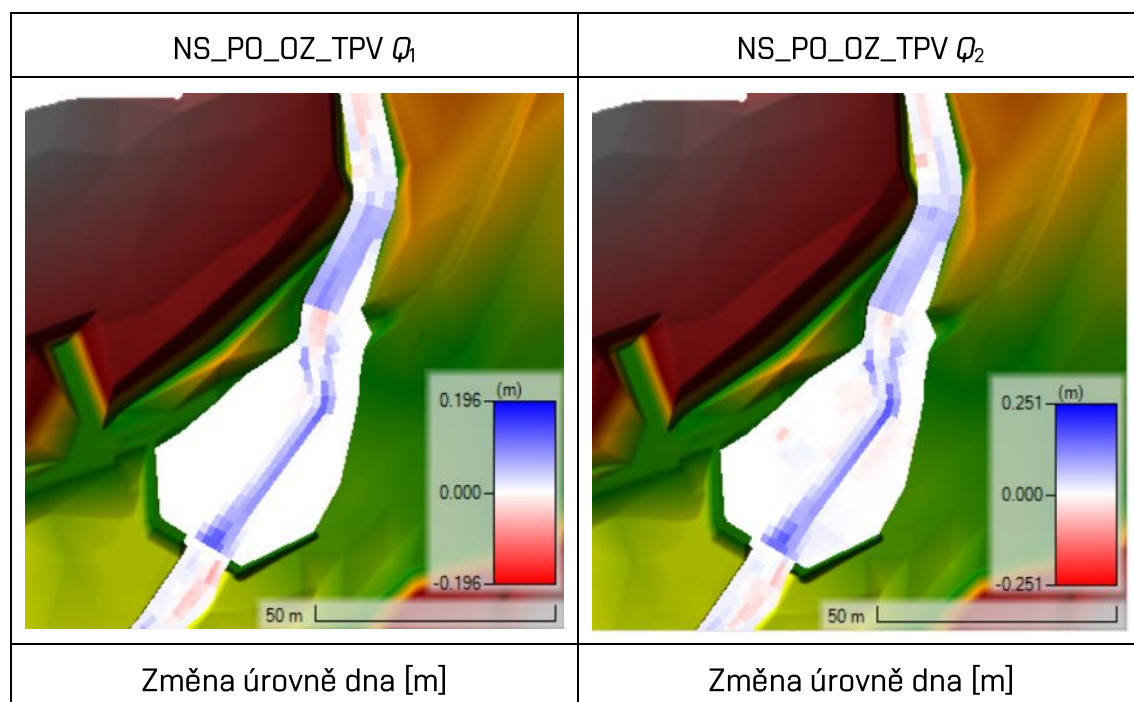
Tab. 9.15 Výsledky simulace NRPV (zavřená propust)



Tab. 9.16 Výsledky simulací TPV (zavřená propust)



Tab. 9.17 Výsledky simulací TPV (otevřená propust)



V Tab. 9.18 jsou zobrazeny hodnoty vyjadřující bilanci transportu splavenin při návrhovém stavu. Hodnoty udávají, jak se bude měnit vymílání nebo usazování oproti stávajícímu stavu.

Tab. 9.18 Objemy usazenin

Označení simulace	V [m ³]
NS_PZ_OO_NRPV	852,5
NS_PZ_OZ_TPV Q_1	50
NS_PZ_OZ_TPV Q_2	62,8
NS_PO_OZ_TPV Q_1	25,4
NS_PO_OZ_TPV Q_2	31

9.3.3 Zhodnocení

Z uvedeného vyhodnocení lze určit, že při simulaci NRPV se zavřenou propustí dojde k zanesení téměř celého objemu zdrže během 1 roku. Čelo nánosů dosahuje téměř koruny přelivu. Výsledky se shodují s výsledky uvedenými ve zprávě studie S17 [III].

Ze simulace TPV se zavřenou propustí lze pozorovat zanášení, které se začíná realizovat od místa dosahu vzduché hladiny. Je důležité podotknout, že se jedná o simulovaný stav, který by neměl nikdy nastat, jelikož za velkých průtoků ($>Q_{30d}$) by měla být propust vždy vyhrazena. Stav však může nastat v případě zanesení stavidlového uzávěru, kdy nebude možné jej vyhradit. Při zavřené propusti je zanášeno koryto v celé délce.

Z uvedených výsledků vyplývá, že splaveniny se ve zdrži usazují zejména v místě koryta toku. Zdrž bude při zavřené propusti a maximálním odběru vody do 2 let zcela zanesena a přestane plnit svoji funkci.

V případě ukončení odběru a při plném otevření propusti bude docházet k proplachování zdrže. Při proplachu bude docházet k vymílání usazenin nacházejících se v blízkosti propusti. Krátkodobé přesycení proudu splaveninami může mít negativní dopad na živé organismy vyskytující se níže po toku. [III]

10 TRANSPORT SPLAVENIN ZA NÁVRHOVÉHO STAVU S ÚPRAVOU ROZDĚLOVACÍHO OBJEKTU

10.1 NÁVRHY ÚPRAV

Navržené úpravy vyplývají na základě výše uvedených výsledků ze simulací stávajícího stavu a simulací návrhového stavu AQT. Při návrhu úprav byl brán zřetel zejména na neměnné situování rozdělovacího objektu a výškové umístění odběru. Výškové umístění bylo nutné dodržet, jelikož odběr vody je uvažován jako gravitační a veškeré přidružené objekty, které s odběrem vody a následnou dopravou do nádrže souvisí, jsou již ve fázi podrobného rozpracování.

Navržené úpravy lze rozdělit do dvou základních částí. V první části byly navrženy úpravy rozdělovacího objektu. Jedná se především o rozšíření splaveninové propusti, zaoblení vtoků, změnu průtočného profilu přelivu a otvoru pro zabezpečení minimálního zůstatkového průtoku. Ve druhé části byly navrženy úpravy zdrže, koryta pod objektem a bylo pracováno s půdorysným natočením rozdělovacího objektu. Objekt byl natočen přibližně o 30°, tato úprava byla navržena s ohledem na změnu trasy koryta toku. Dále bylo navrženo snížení terénu v místě zdrže.

10.1.1 Úpravy rozdělovacího objektu

Šířka splaveninové propusti byla zvolena na základě výše uvedených výsledků. Klíčovým parametrem pro správnou funkci propusti je její šířka, ta musí být tak velká, aby nedocházelo během hydrologicky průměrného roku k zanášení zdrže a zároveň nesmí docházet při malých průtocích k jejímu zanášení [III]. Z výsledků uvedených v kapitole 9.2.2 je patrné, že při šířce propusti 1 m bude docházet k velkému zanášení zdrže, zatímco propust s šířkou 2 m bude při malých průtocích zanášena. Proto byla zvolena jako nejvhodnější propust s šířkou 1,5 m, jedná se o kompromis nejlépe splňující oba protichůdné požadavky. Navržená šířka je stejná, jaká byla doporučena v rámci studie S17 [III].

Z výsledků uvedených v kapitole 9.2.2 je patrné, že při proudění v propusti bezprostředně za návodní hranou bočních stěn v blízkosti drážek hrazení dochází k odtržení proudu a ke vzniku úplavu. V úplavu se budou pravděpodobně usazovat splaveniny, které by mohly omezit nebo zamezit manipulaci se stavidlem. Proto bylo

přístupeno k návrhu zaoblení vtoku. Tvar zhlaví bočních a dělicího pilíře byl stanoven podle rovnic

$$l = 0,38 \cdot \left(h + \frac{v^2}{2g} \right),$$

$$b = 0,164 \cdot \left(h + \frac{v^2}{2g} \right),$$
(10-1)

kde l a b jsou délky hlavní a vedlejší osy elipsy, h je hloubka v je rychlost a g je tíhové zrychlení [11]. Tvar byl navržen pro průtok $Q_1 = 4,2 \text{ m}^3/\text{s}$. Výsledný rozměr částí elipsy byl z důvodu provádění zaokrouhlen.

V návrhu vyhotoveném firmou AQT má přeliv v příčném směru lichoběžníkový průtočný profil. Lichoběžníkový profil přelivu vyžaduje rozšíření koryta pod rozdělovacím objektem, které není vhodné z hlediska usazování splavenin pod objektem. Proto bylo přistoupeno ke změně příčného profilu přelivu na obdélníkový, kdy není třeba koryto rozšiřovat. Kapacita přelivu byla ověřena pro limitní stav, kdy by mohl být prováděn odběr, ale neprovádí se, kterým je průtok Q_{30d} . Jedná se rovněž o maximální průtok, při kterém je ještě odběr v provozu a splaveninová propust je zavřená. Kapacita přelivu byla ověřena dle ČSN 75 2106-2 [9]

$$Q = M \cdot b_0 \cdot E_p^{1,5}$$
(10-2)

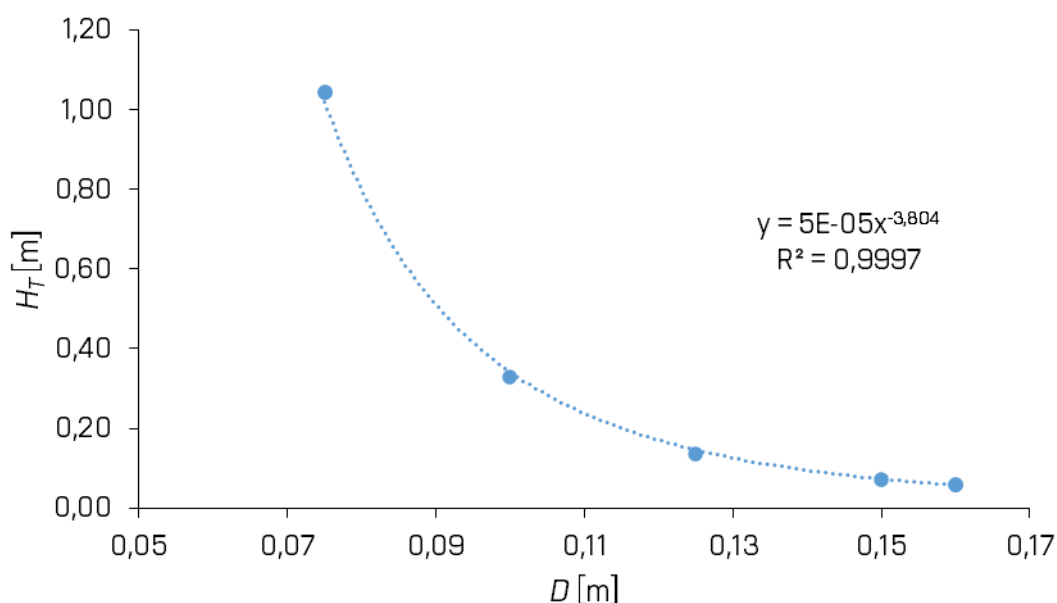
kde E_p je energetická přepadová výška, M je rozšířený součinitel přepadu a b_0 je účinná šířka přelivu. Při průtoku $Q_{30d} = 0,308 \text{ m}^3/\text{s}$ a šířce přelivu 3 m je přepadová výška 0,185 m.

Aby byl v toku pod rozdělovacím objektem zajištěn minimální zůstatkový průtok a nebyla potřebná manipulace se stavidlovým uzávěrem na propusti, byl ve stavidle navržen otvor kruhového průřezu, jehož průměr a poloha jsou na sobě závislé. Výhodou použití kruhového otvoru oproti potrubí, případně pootevření stavidla, je v dobré oboustranné přístupnosti k otvoru z důvodu čištění. Níže je popsán návrh kruhového otvoru. Návrh byl stanoven pomocí vztahu pro výtok kruhovým otvorem

$$Q = \mu \left[1 - \frac{1}{32} \left(\frac{r}{Z_T} \right)^2 - \frac{5}{1024} \left(\frac{r}{Z_T} \right)^4 \right] \pi r^2 \sqrt{2gZ_T},$$
(10-3)

kde $\mu = 0,6$ je výtokový součinitel, Z_T je vzdálenost těžiště kruhového otvoru od hladiny (volný výtok), g je tíhové zrychlení a r je poloměr otvoru [5].

Při umísťování potrubí pod hladinu je vhodné zohlednit hloubku ponoru vtoku například podle Gordona [14], aby byla omezena možnost ucpání otvoru plovoucím předměty vtahovanými vtokovými víry. Bezpečná hloubka zanoření stanovena výpočtem je 0,26 m. Dno otvoru by mělo být ve vzdálenosti 0,1 m od dna propusti, tato vzdálenost by měla být vždy dodržena. V grafu na Obr. 10.1 je vynesena závislost hloubky těžiště otvoru na průměru otvoru D při minimálním zůstatkovém průtoku, který je 0,012 m³/s. Jako horní hladina byla uvažována kóta přelivné hrany 384,94 m n. m. (nejnepříznivější stav). Z grafu lze určit potřebný průměr otvoru pro příslušnou hloubku umístění otvoru. Z grafu vyplývá, že lze např. doporučit průměr otvoru 0,1 m s osou otvoru v hloubce 0,33 m, tedy v úrovni 384,62 m n. m.



Obr. 10.1 Závislost průměru potrubí na tlačné výšce

10.1.2 Změna trasy koryta toku, úprava zdrže a zemní hráze

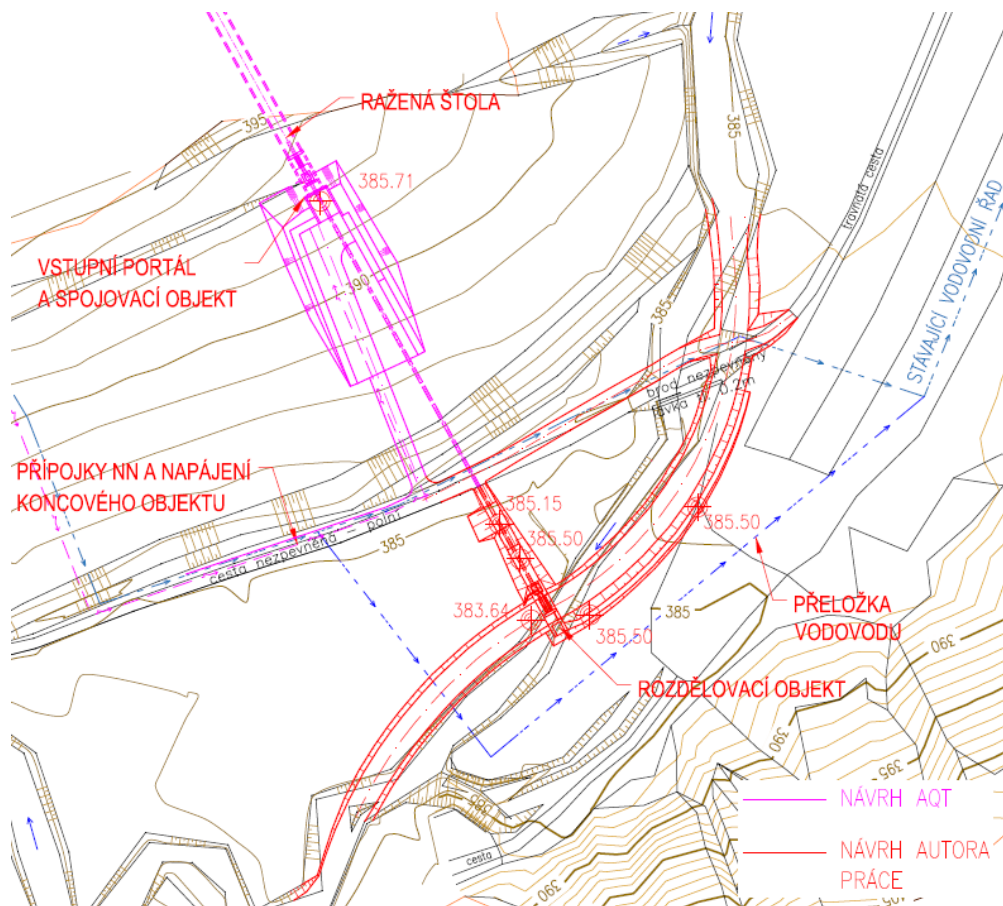
Nová trasa koryta je navržena s ohledem na neměnnou polohu rozdělovacího objektu. Natočení objektu je limitováno odběrným potrubím, kterým je odváděna voda do portálu. Hlavním účelem bylo navrhnout koryto ve zdrži do oblouku tak, aby při otevření splaveninové propusti byl zajištěn plynulý transport splavenin a nedocházelo k usazování materiálu v korytě, a současně, aby se v nánosů koryto vytvářelo u vnějšího břehu vlivem příčného proudění, což zabezpečí jeho polohovou

stabilitu a zamezí růstu vegetace na dně koryta. Délka přeloženého koryta toku je přibližně 150 m. Vzorový příčný profil navrženého koryta byl stanoven pomocí synoptického profilu. Profil koryta je lichoběžníkový s šířkou ve dně 5 m sklonem svahů 1:1 a průměrnou hloubkou 1,2 m. Vnější břehy oblouků je nutné opevnit nevegetačním opevněním.

Se změnou trasy koryta toku a natočením rozdělovacího objektu bylo nutné změnit polohu zemní hráze. Hráz slouží pro vzdouvání hladiny, pokud je odběr v provozu. Situování nově navržené hráze je zobrazeno na Obr. 10.2. Jedná se o homogenní hráze s lichoběžníkovým příčným profilem. Šířka koruny je 2,5 m a sklony svahů jsou 1:2. Přibližně polovinu hráze tvoří lichoběžníkový povodňový přeliv, který bude sloužit pro převedení povodňových průtoků. Povodňový přeliv zmenšuje průtok přelivem a levým inundačním územím. Koruna povodňového přelivu je navržena na kótě 385,15 m n. m. Šířka přelivu je 5 m a sklon bočních svahů přelivu je 1:6. Na levém břehu je navržen zemní val s průměrnou výškou 0,5 m, šířkou v koruně 1 m a sklony svahů 1:1 z důvodu zamezení rozlivu při provádění odběru.

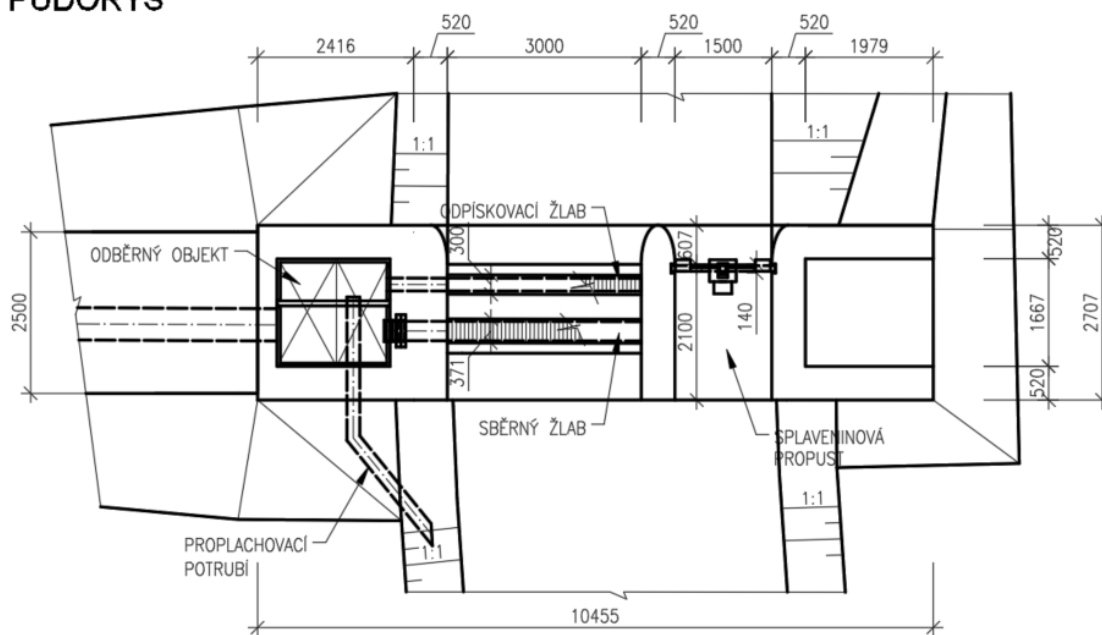
Rozsah zdrže je určen zemní sypanou hrází na pravém břehu a zemním valem na levém břehu. Vzhledem k pravidelnému zanášení zdrže byly hráze a koryto toku situováno tak, aby docházelo k usazování splavenin v prostoru pravého břehu, kde bude možnost snadného přístupu techniky při těžení usazenin. Dno zdrže bylo oproti původnímu terénu o cca 0,5 m sníženo, aby byl zabezpečen požadovaný objem zdrže pro usazení splavenin při provádění odběru s roční těžbou.

Na Obr. 10.2 je zobrazen výstřižek ze situačního výkresu, kde je barvami rozlišen návrh AQT (fialová) a návrh autora práce (červená). Dále lze rozdělovací objekt s navrženými změnami pozorovat na Obr. 10.3, kde je zobrazen půdorys, a na Obr. 10.4, kde je zobrazen podélný a příčný řez.

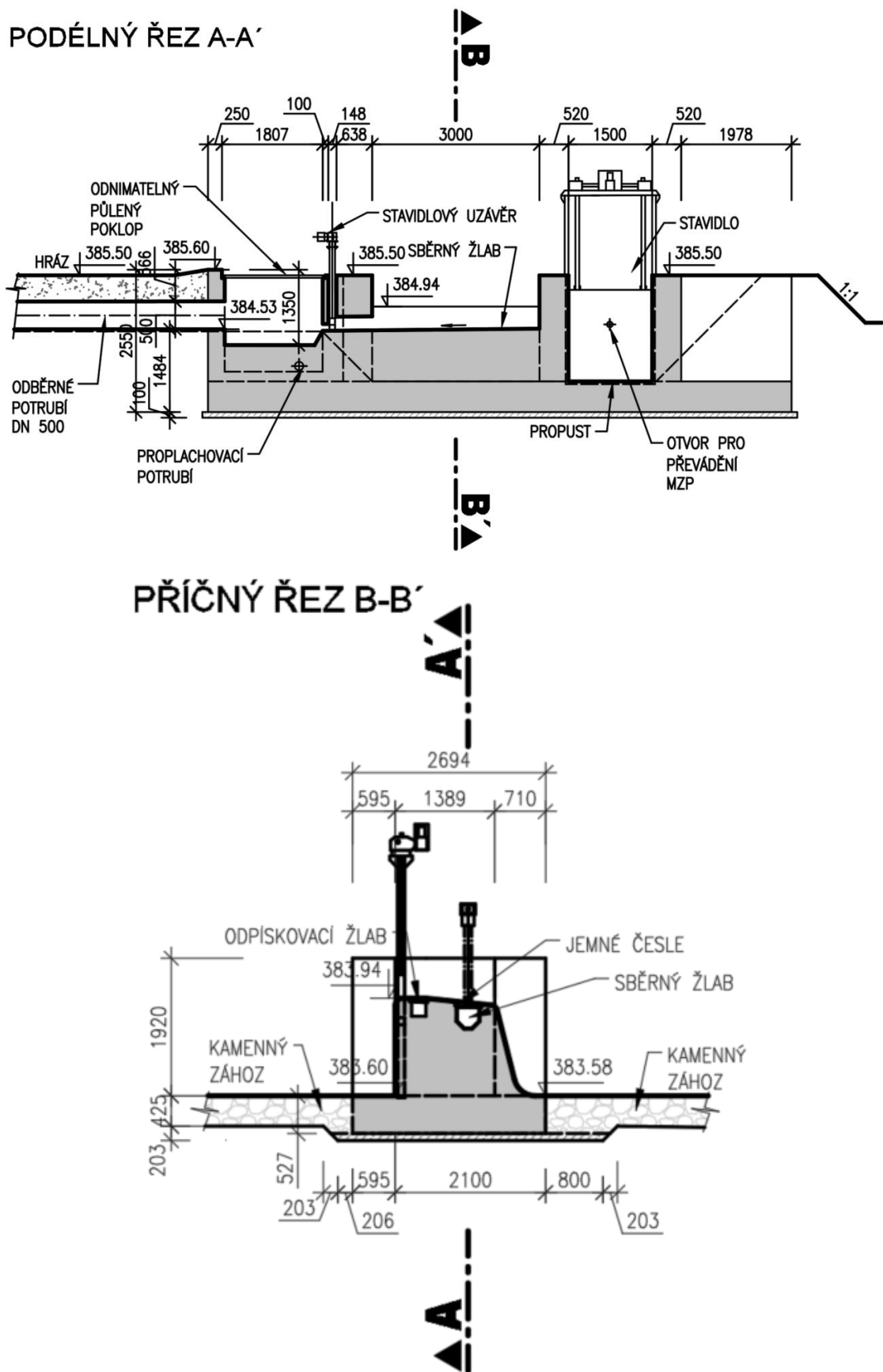


Obr. 10.2 Výstřižek ze situačního výkresu

PŮDORYS



Obr. 10.3 Půdorys rozdělovacího objektu



Obr. 10.4 Podélný a příčný řez rozdělovacím objektem

10.2 2D ANALÝZA PROUDĚNÍ VODY

10.2.1 Simulace

K simulování proudění vody rozdělovacím objektem navrženým autorem práce byl použit 2D numerický model zpracovaný v softwarovém prostředí HEC – RAS (viz kapitolu 7.1). Model popisoval vliv rozdělovacího objektu upraveného autorem práce na odtokové poměry v toku Smolinka. Provedené simulace měly prokázat vliv navrženého rozdělovacího objektu na průtokové poměry v zájmovém území. Větší průtoky, než je průtok Q_{20} , nebyly zvoleny z důvodu relativně malého vlivu objektu na proudění v území. Menší průtoky, než je průtok Q_{30d} , nebyly zvoleny z důvodu relativně malého ovlivnění hladiny propustí. Provedené simulace popisuje Tab. 10.1.

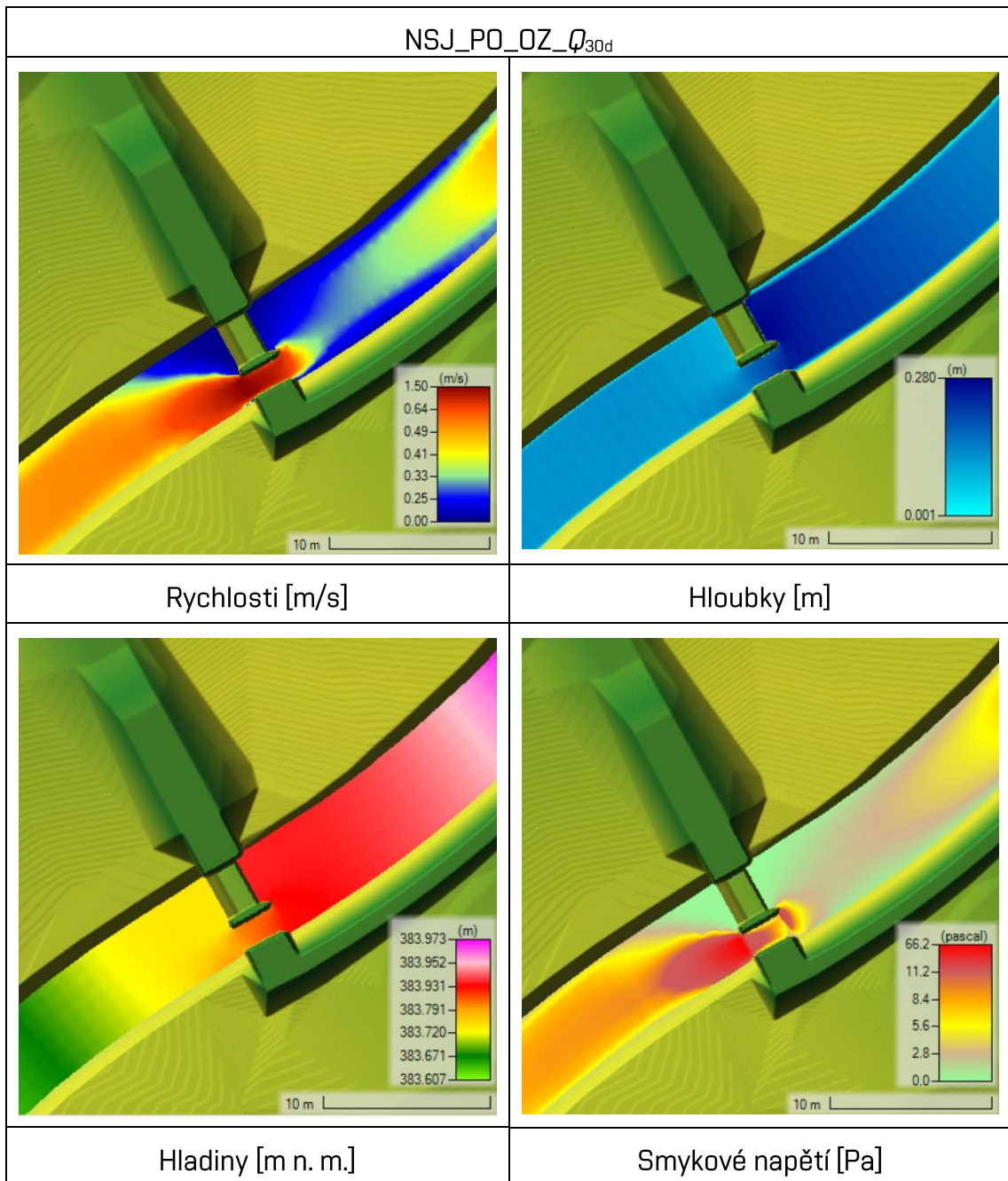
Tab. 10.1 Provedené simulace

Označení simulace	Geometrie	Manipulace propust	Manipulace odběr	Průtok
NSJ_PO_OZ_ Q_{30d}	NSJ	PO	OZ	Q_{30d}
NSJ_PO_OZ_ Q_1	NSJ	PO	OZ	Q_1
NSJ_PO_OZ_ Q_2	NSJ	PO	OZ	Q_2
NSJ_PO_OZ_ Q_5	NSJ	PO	OZ	Q_5
NSJ_PO_OZ_ Q_{10}	NSJ	PO	OZ	Q_{10}
NSJ_PO_OZ_ Q_{20}	NSJ	PO	OZ	Q_{20}

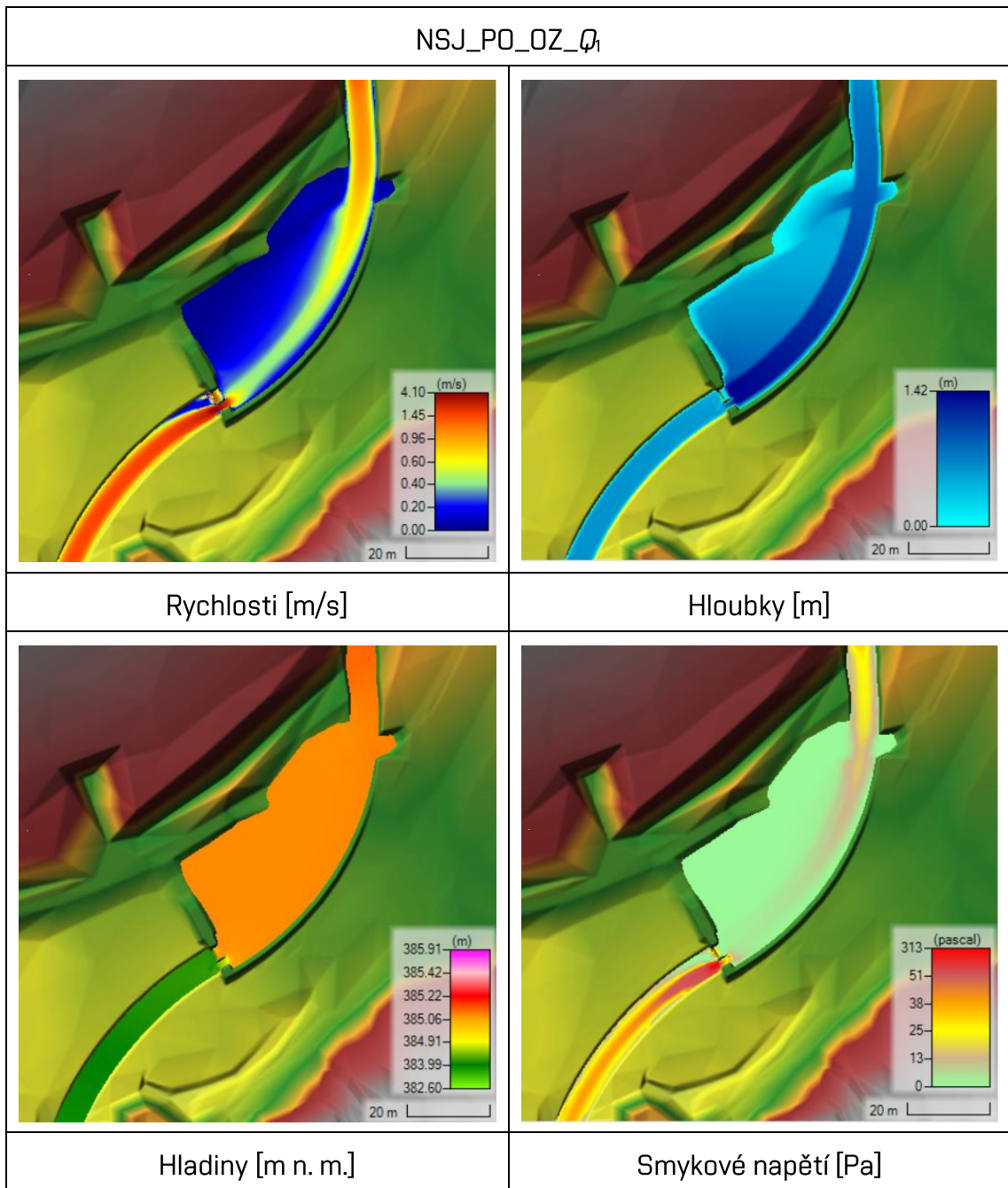
10.2.2 Výsledky

V Tab. 10.2 až Tab. 10.7 jsou zobrazeny výsledky simulace proudění vody při návrhovém stavu. Pro každý simulovaný průtok jsou uvedeny rychlosti, hloubky, hladiny a smyková napětí.

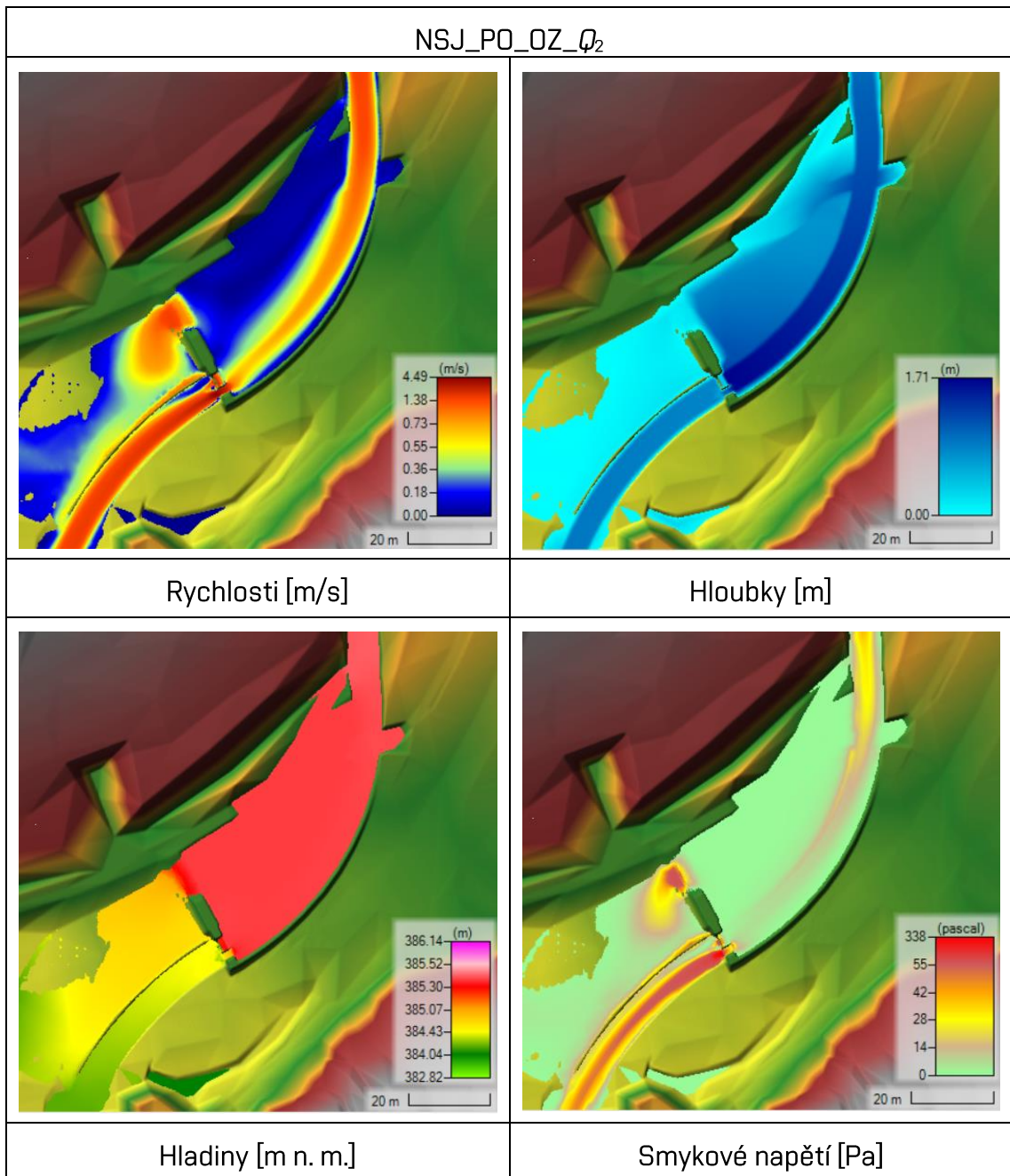
Tab. 10.2 Výsledky simulace Q_{30d}



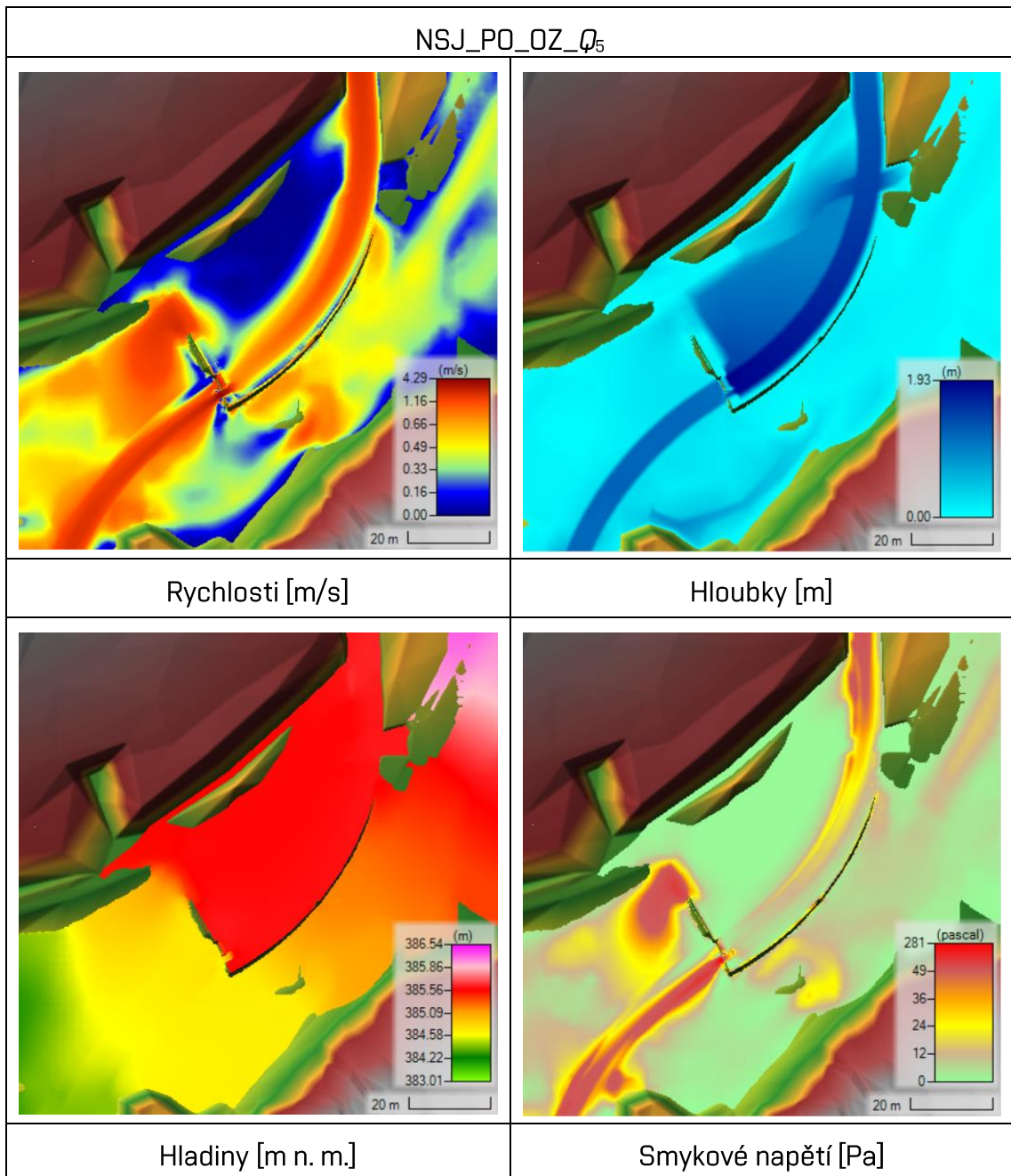
Tab. 10.3 Výsledky simulace Q_1



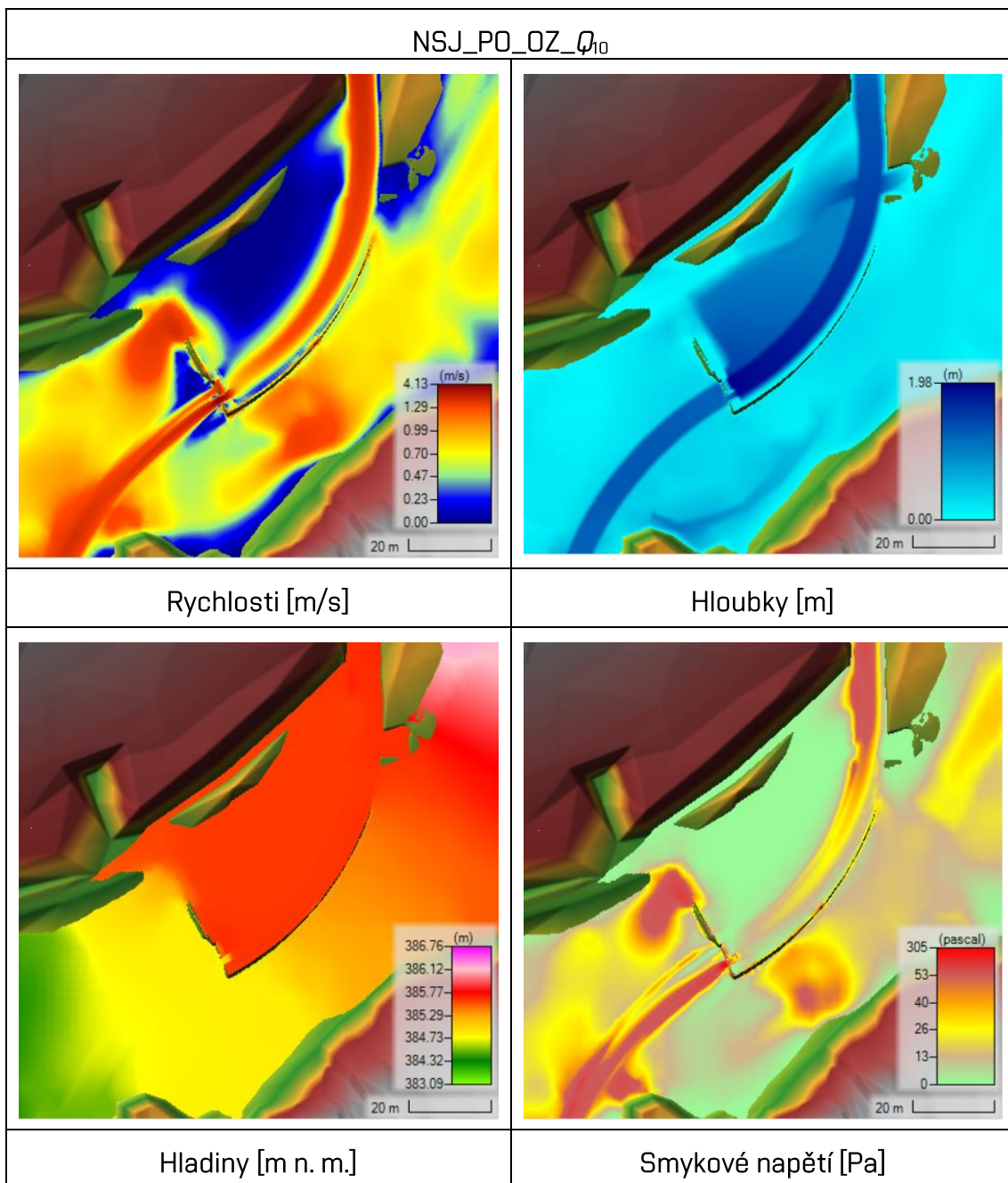
Tab. 10.4 Výsledky simulace Q_2

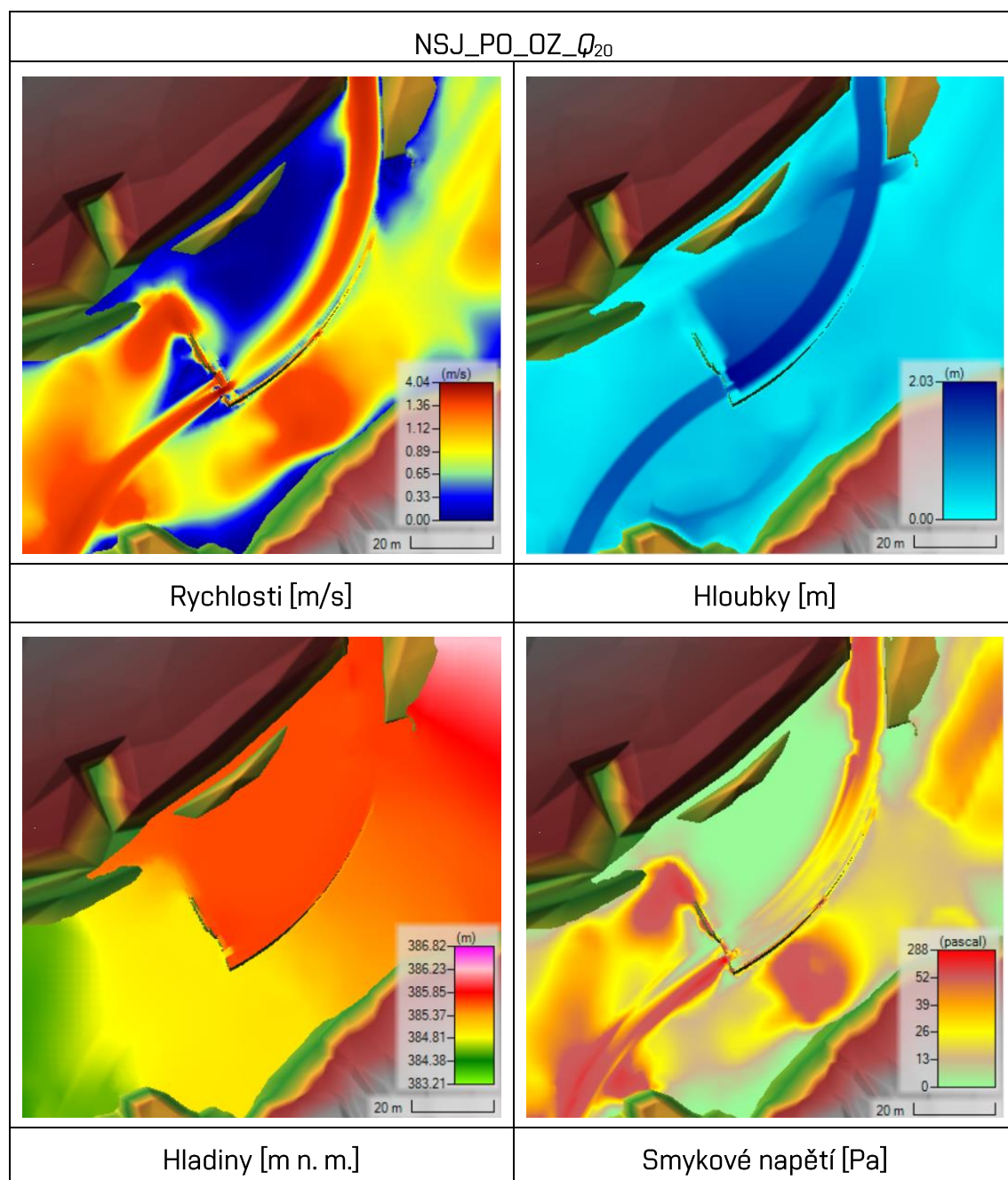


Tab. 10.5 Výsledky simulace Q_5



Tab. 10.6 Výsledky simulace Q_{10}



Tab. 10.7 Výsledky simulace Q_{20} 

10.2.3 Zhodnocení

Z výsledků je patrné, že při průtoku Q_1 je voda převáděna pouze rozdělovacím objektem to znamená propustí a přelivem. Při průtoku Q_2 již voda přepadá přes povodňový přeliv v zemní sypané hrázi, ale stále nedochází k obtékání zdrže. Z toho vyplývá, že přeliv dobře plní svoji funkci, jelikož při průtoku Q_2 nedochází k rozlivu vody do levobřežní inundace. Zatímco při průtoku Q_5 již voda proudí v celé ploše zájmového

území. Také je patrné, že v území se při větších průtocích vyskytují dva hlavní proudy. Jeden se tvoří v korytě toku a druhý se tvoří z levé strany zemního valu.

Ze simulace Q_{30d} je patrné, že bezprostředně pod rozdělovacím objektem se v pravostranné části koryta vyskytuje oblast s malými rychlostmi – úplav, kde bude docházet k usazování splavenin. Zúžením koryta bylo docíleno zmenšení této oblasti. Uvedenou oblast nelze zcela eliminovat.

Jednotlivé simulace prokázaly, že smykové napětí přesahující hodnotu 100 Pa se vyskytuje v korytě toku pod rozdělovacím objektem v místě povodňového přelivu a pod přelivem. Proto bude nutné tato místa opevnit.

10.3 3D ANALÝZA PROUDĚNÍ VODY

10.3.1 Simulace

K simulování režimu proudění vody rozdělovacím objektem a propustí byl použit 3D numerický model zpracovaný v softwarovém prostředí FLOW 3D (viz kapitulu 7.2). Zvolen byl pouze průtok Q_{30d} , který měl prokázat vhodnost navrženého tvaru zhlaví pilířů a absenci úplavů. Provedenou simulaci popisuje Tab. 10.8.

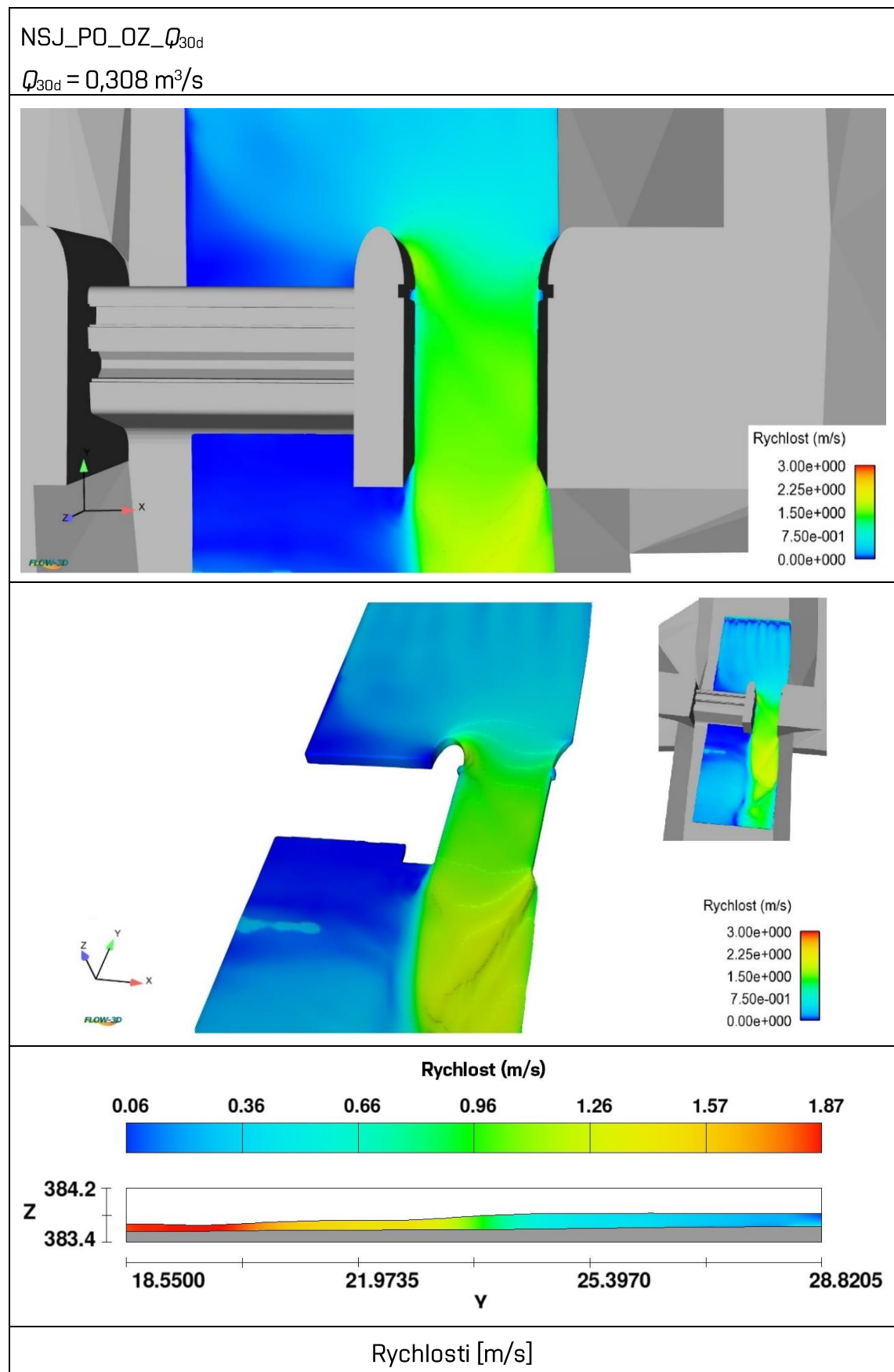
Tab. 10.8 Provedená simulace

Označení simulace	Geometrie	Manipulace propust	Manipulace odběr	Průtok
NSJ_PO_OZ_ Q_{30d}	NSJ	PO	OZ	Q_{30d}

10.3.2 Výsledky

V Tab. 10.9 jsou zobrazeny výsledky 3D simulace proudění vody propustí s navrženými změnami při průtoku Q_{30d} .

Tab. 10.9 Výsledky 3D simulace proudění vody splaveninovou propustí



10.3.3 Zhodnocení

Z uvedených výsledků lze určit, že rychlosti v místě propusti se pohybují od 1 m/s až do 1,5 m/s, v místě vyústění jsou rychlosti větší. Jak je patrné z výsledků při simulování průtoku Q_{30d} již nedochází k odtržení proudu od vnitřního povrchu propusti. Lze tedy konstatovat, že v místě splaveninové propusti by nemělo docházet k usazování splavenin, které by mohly způsobit obtíže při manipulaci se stavidlovým uzávěrem. Navržené úpravy vtokové části propusti jsou podle výsledků dostačující. Také je patrné, že se zvětšením šířky propusti se zmenšila výška vzdutí. Menší vzdutí hladiny při větších průtocích bude mít pozitivní vliv na omezení usazování splavenin v korytě toku nad rozdělovacím objektem.

10.4 ANALÝZA PROUDĚNÍ SPLAVENIN

10.4.1 Simulace

Simulace byly vytvořeny za účelem popsání režimu splavenin po vybudování rozdělovacího objektu. Simulovány byly dva limitní stavy, a to stav s otevřenou propustí bez odběru vody a stav se zavřenou propustí s odběrem vody. Simulována byla NRPV v délce trvání 1 rok a TPV v délce trvání 400 min. Simulace se zavřenou propustí umožňují popsat, jak bude zdrž zachycovat splaveniny při běžných ale i při velkých průtocích. Zároveň lze stanovit dobu za kterou bude zdrž zanesena. Simulace s otevřenou propustí byla vytvořena za účelem zjistit, zdali při plném otevření propusti nedochází k ovlivnění transportu splavenin rozdělovacím objektem. Provedené simulace jsou uvedeny v Tab. 10.10.

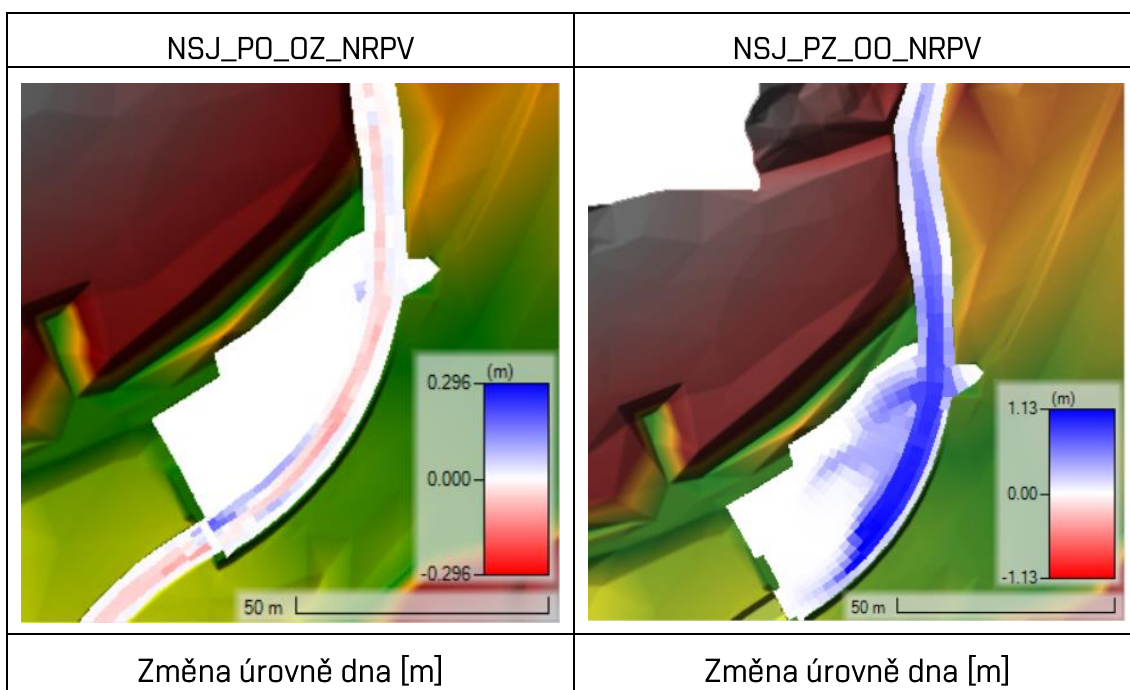
Tab. 10.10 Provedené simulace

Označení simulace	Geometrie	Manipulace propust	Manipulace odběr	Průtok
NSJ_PO_OZ_NRPV	NSJ	PO	OZ	NRPV
NSJ_PZ_OO_NRPV	NSJ	PZ	OO	NRPV
NSJ_PZ_OZ_TPV Q_1	NSJ	PZ	OO	TPV Q_1
NSJ_PZ_OZ_TPV Q_2	NSJ	PZ	OO	TPV Q_2
NSJ_PO_OZ_TPV Q_1	NSJ	PO	OZ	TPV Q_1
NSJ_PO_OZ_TPV Q_2	NSJ	PO	OZ	TPV Q_2

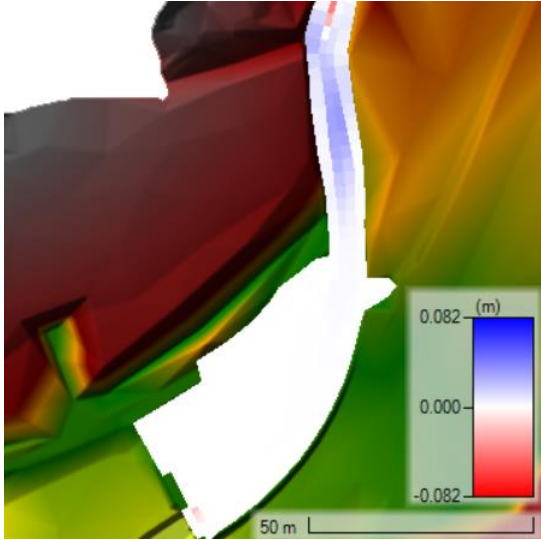
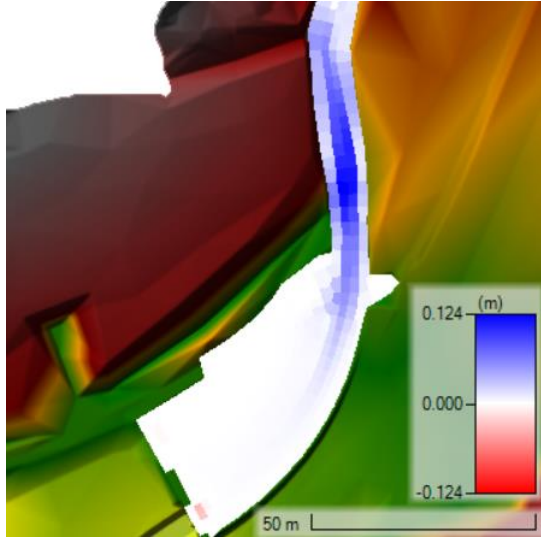
10.4.2 Výsledky

V Tab. 10.11 jsou zobrazeny výsledky ze simulování NRPV v délce trvání 1 roku. V jednom případě byl odběr v provozu a splaveninová propust byla zavřená ve druhém případě byl odběr zavřený a splaveninová propust byla otevřená. Dále jsou v Tab. 10.12 uvedeny výsledky ze simulování TPV Q_1 a TPV Q_2 v délce trvání 400 minut, pro zavřenou propust a v Tab. 10.13 pro otevřenou propust.

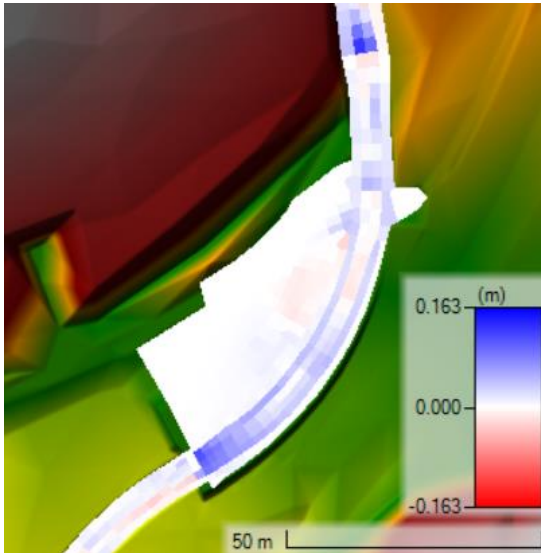
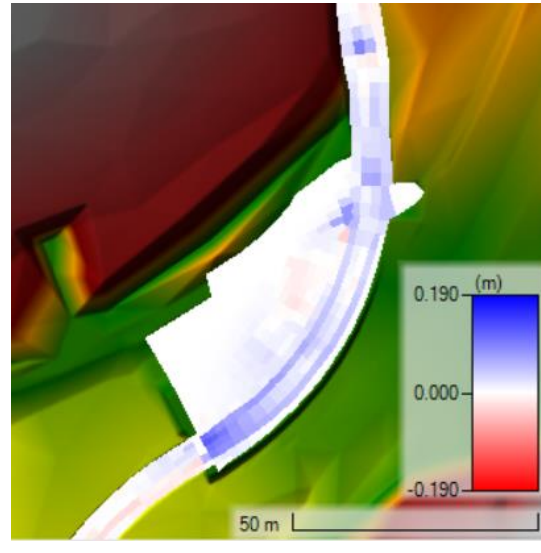
Tab. 10.11 Výsledky simulací NRPV



Tab. 10.12 Výsledky simulací TPV (zavřená propust)

NSJ_PZ_OZ_TPV Q_1	NSJ_PZ_OZ_TPV Q_2
	
Změna úrovně dna [m]	Změna úrovně dna [m]

Tab. 10.13 Výsledky simulací TPV (otevřená propust)

NSJ_PO_OZ_TPV Q_1	NSJ_PO_OZ_TPV Q_2
	
Změna úrovně dna [m]	Změna úrovně dna [m]

V Tab. 10.14 jsou zobrazeny hodnoty vyjadřující, jak je ovlivněn transport splavenin rozdělovacím objektem. Hodnoty udávají, jak se bude měnit vymílání nebo usazování oproti stávajícímu stavu.

Tab. 10.14 Objemy usazenin

Označení simulace	V [m ³]
NSJ_PO_OZ_NRPV	18,3
NSJ_PZ_OO_NRPV	694,5
NSJ_PZ_OZ_TPV Q_1	24,6
NSJ_PZ_OZ_TPV Q_2	34,2
NSJ_PO_OZ_TPV Q_1	17,7
NSJ_PO_OZ_TPV Q_2	22,9

10.4.3 Zhodnocení

Z uvedených výsledků lze určit, že v případě, kdy je plně otevřena propust, je úroveň dna téměř beze změny oproti současnému stavu. Pouze v těsné blízkosti objektu se tvoří malý nános s mocností v jednotkách centimetrů. V případě zavření propusti a provádění odběru bude docházet k zanášení zdrže. Nános se začne formovat od místa, kam dosahuje vzdutá hladina. Jak je patrné z výsledků, snížení pravého břehu má pozitivní vliv na tvar nánosů, který se tvoří i mimo koryto toku. Lze tedy predikovat lepší využití objemu zdrže k usazování splavenin. Jak je patrné z výsledků, zdrž po 1 roce simulace ještě není zcela zanesená.

Při simulaci TPV, kdy je zavřená propust dochází k tvorbě nánosů, který vzniká stejně jako v případě simulace NRPV, kdy je zavřená propust. Je důležité podotknout, že tento stav by neměl nikdy nastat, jak již bylo uvedeno v kapitole 9.3.2. V případě simulace TPV, kdy je otevřena splaveninová propust, dochází k zanášení zdrže. To je způsobeno tím, že při větších průtocích dochází ke vzdouvání vody objektem. Vzdutí způsobí, že se zmenší rychlosti a bude docházet k zanášení.

Jednotlivá opatření, která byla provedena, mají zejména vliv na zlepšení splaveninového režimu v případě otevřené propusti. Dále je patrný pozitivní vliv

snížení dna ve zdrži a tomu odpovídající zvětšení objemu zdrže. Jelikož nános po jednom roce simulace ještě nedosahuje koruny přelivu.

11 ZHODNOCENÍ

11.1 ZHODNOCENÍ ÚPRAV

Provedené úpravy lze rozdělit do dvou částí. V první části úprav byl modifikován zejména rozdělovací objekt, ve druhé části byla upravena zdrž a koryto (viz kapitolu 10.1). Jednotlivé úpravy, které byly provedeny, na sebe úzce navazují.

Změnou průtočného profilu přelivu z lichoběžníkového na obdélníkový bylo docíleno zúžení koryta pod objektem. Z výsledků je patrné, že zúžení koryta omezí zanášení dna koryta nad i pod objektem.

Rozšířením propusti na šířku 1,5 m bylo docíleno, že při plném otevření dochází k plynulému transportu splavenin a zároveň při malých průtocích nebude propust zanášena.

Zároveň bylo navrženo eliptické zaoblení návodních zhlaví pilířů. Zaoblení pilířů propusti způsobí, že v propusti nedochází k odtržení proudu od povrchu bočních stěn a nevznikají tak boční úplavy. Tudíž bude z velké části eliminováno zanášení propusti, které by způsobovalo problémy při manipulaci s uzávěrem. Zaoblení pilířů přelivu zabezpečí dosažení maximální možné kapacity přelivu a úsporu prostoru a materiálu. Otvor ve stavidle o průměru 0,1 m zabezpečí minimální zůstatkový průtok v korytě toku pod objektem při zavřené propusti a umožní jeho snadnou kontrolu a čištění.

Na základě půdorysného natočení rozdělovacího objektu bylo možné změnit trasu koryta toku do půdorysného tvaru písmene „S“. Návrh byl proveden tak, aby v místě zdrže bylo koryto situováno do oblouku. V oblouku se tvoří příčné proudění (nelze 2D modelem prokázat), které napomáhá vytvářet koryto u vnějšího břehu a zabezpečí tak jeho polohovou stabilitu a nezarůstání vegetací. Vnější břeh je třeba opevnit nevegetačním opevněním.

Koryto bylo oproti návrhu AQT bezprostředně nad rozdělovacím objektem ve zdrži ponecháno bez rozšíření. Jak je patrné z výsledků uvedených v kapitole 10.4.2., tak v korytě ve zdrži se při otevřené propusti bude usazovat znatelně méně splavenin, než je tomu v návrhu vypracovaném firmou AQT.

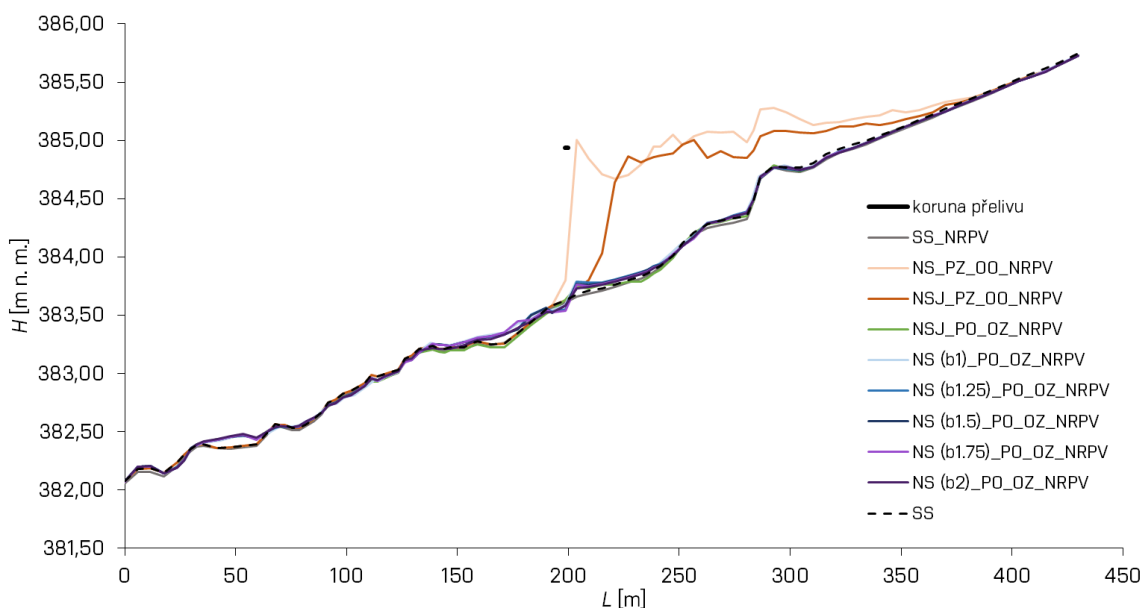
Úpravou trasy koryta a úpravou polohy hráze a zemního valu se docílilo, že při zavřené propusti bude docházet k usazování splavenin ve zdrži v prostoru koryta a pravého sníženého břehu, kde bude probíhat těžba. Také je patrné, že snížením dna zdrže se

docílí zvětšení objemu zdrže. Objem zdrže je dostatečně velký pro zanesení splaveninami při běžných průtocích při provádění odběru během 1 roku.

K přístupu do zdrže k provedení těžby je možné využít současně situovanou cestu. Nové situování valu podél koryta zabezpečí plné využití průtoku k odběru při zavřené propusti a k maximalizaci transportu splavenin při otevřené propusti při TPV Q_1 a Q_2 . Navržený povodňový přeliv v hrázi umožní dosáhnout vyrovnaného průtoku po šířce údolí při průtocích Q_2 a větších a omezit přelévání podélného valu. Povrch přelivu a prostor poproudě pod ním je třeba z důvodu velkých hodnot smykového napětí opevnit.

11.2 POROVNÁNÍ

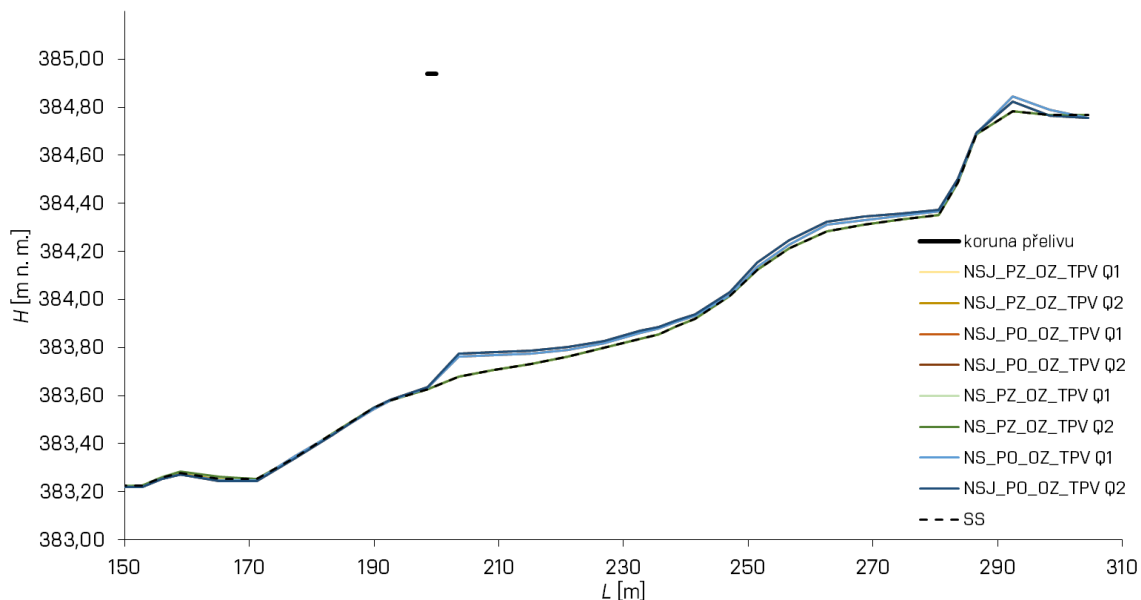
Z podélného profilu na Obr. 11.1 lze pozorovat změnu úrovně dna koryta při různých simulovaných variantách po průchodu NRPV. Dobře patrné je zejména zanesení zdrže po jednom roce provozu při zavřené propusti.



Obr. 11.1 Změna úrovně dna při simulování NRPV v délce trvání 1 rok

V podélném profilu na Obr. 11.2 je zobrazena změna úrovně dna po simulování TPV Q_1 a Q_2 . Z důvodu lepší čitelnosti je zobrazena pouze část podélného profilu s rozdělovacím objektem. Jsou zde uvedeny simulace jak pro zavřenou propust, tak pro otevřenou propust. Z podélného profilu je patrné, že při otevřené propusti se tvoří relativně malý nános ve zdrži. Usazování splavenin za velkých průtoků je způsobeno

vzdouváním vody rozdělovacím objektem. Nános při zavřené propusti se tvoří na konci vzdutí, tudíž ho nelze pozorovat ve zobrazované části podélného profilu. Jak již bylo zmíněno v kapitole 9.3.3 tento stav se zavřenou propustí by neměl nikdy nastat.



Obr. 11.2 Změna úrovně dna při simulování TPV v délce trvání 400 minut

Z výše provedených analýz vyplynulo, že autorem práce navržené úpravy návrhového stavu mají pozitivní vliv na splaveninový režim a lze tedy změny v návrhu označit za účinné.

12 ZÁVĚR

Práce se zabývá stanovením doporučení k provedení úprav návrhu rozdělovacího objektu na toku Smolinka, pro zajištění jeho funkčnosti jak z pohledu odběru vody, tak z pohledu plynulého transportu splavenin.

Pro stanovení doporučení byly použity 2D numerické modely, které byly využity pro simulování proudění vody a transportu splavenin, a 3D numerické modely, které byly využity pouze pro simulování proudění vody.

V rámci práce byla řešena pouze oblast plánovaného rozdělovacího objektu, nejsou brány v potaz případné změny v morfologii koryta vyvolané vně zmíněné oblasti. Rozsah oblasti pro posouzení byla zvolena s ohledem na požadavky, které jsou nezbytné dodržet při sestavování numerických modelů. Zároveň bylo nutné brát zřetel na potřebný výpočetní čas při simulování transportu splavenin softwarovým prostředkem.

Před samotným vytvářením numerických modelů bylo zapotřebí ucelit veškeré dostupné podklady a vybrat z nich potřebné informace.

Byla provedena rekognoskace terénu s důrazem na zjištění hydromorfologického stavu koryta a současného splaveninového režimu. Z rekognoskace byla pořízena fotodokumentace.

Poté byly vytvořeny 2D modely. Část práce byla věnována citlivostní analýze, která byla nezbytná pro sestavení modelů. Pro kalibraci modelů byly využity informace ze zprávy studie S10, která byla dodána společností AQT v rámci podkladů [II]. Modely byly kalibrovány pomocí změny kapacitního součinitele, kterým byla měněna HOP přítoku splavenin.

2D numerické simulace popisovaly proudění vody a transport splavenin za stávajícího stavu, návrhového stavu s rozdělovacím objektem AQT a návrhového stavu s upraveným rozdělovacím objektem. V rámci jednotlivých částí byl vždy nejdříve uveden popis proudění vody a až poté byl popsán transport splavenin. V rámci jednotlivých analýz byla vytvořena řada simulací, při kterých byly simulovány zejména různé manipulace na objektu při různých průtocích.

U návrhových stavů byl pro popis proudění použit společně s 2D numerickými modely také 3D numerický model popisující proudění vody v místě rozdělovacího objektu.

Všechny výsledky z provedených simulací byly následným podkladem pro návrh doporučení k úpravám návrhu rozdělovacího objektu a přilehlých úseků koryta toku. Dle výsledků vycházejících ze simulací popisujících stávající stav, je patrné, že koryto toku v zájmové lokalitě je v dlouhodobé dynamické rovnováze. Z výsledků je zřejmé střídání nánosů a výmolů, to lze potvrdit také z rekognoskace zájmového území. Z uvedeného důvodu bylo možné současný stav použít jako vztažný.

Po vyhodnocení simulací s návrhovým stavem AQT bylo možné si udělat ucelenou představu o chování a vlivu rozdělovacího objektu na transport splavenin a na základě výsledků navrhnout doporučení, která by měla vést ke zlepšení.

Navržené úpravy jsou v práci rozděleny na několik částí. Aby byly dostatečně účinné, tak nebylo možné zůstat pouze u úpravy konstrukce rozdělovacího objektu. Součástí navržených úprav je také přeložení toku za účelem vymílání usazenin v korytě toku a usazováním splavenin v oblasti snížené části zdrže. Z výsledků simulací je zřejmé, že navržená doporučení mají vliv na zlepšení transportu splavenin. Zároveň byl návrh koncipován tak, aby došlo ke zvětšení plochy zdrže. Vzhledem k místním podmínkám a nutnosti zachování výškové úrovně odběru nebylo možné navrhnout větší zdrž.

V práci nebyla řešena přeložka komunikace. Jak je patrné z výsledků, tak v současné době situovaný brod by bylo možné využívat pouze v případě, kdy nebude v provozu odběr vody a nebude se v brodu vyskytovat nános. Je tedy nutné navrhnout přeložku komunikace do míst, kam nedosahuje vzdutá hladina, například pod rozdělovací objekt. Současnou cestu s brodem lze využít pro těžbu usazenin ve zdrži.

V práci nebyl řešen transport pláví. Zachytávání pláví může vzniknout jak v propusti, tak na přelivu. Zachycené pláví je třeba odstranit, aby byla dosažena plná funkčnost objektu.

Při zavřené propusti je znemožněna migrace ryb.

Navržené úpravy vychází z výsledků stanovených numerickými modely, kde se celá řada dějů nedá dostatečně věrohodně simulovat. Příkladem je vlastní odběr na koruně přelivu. Tyto případy by bylo vhodné přešetřit pomocí fyzikálního modelu.

Všechna doporučení byla navržena s ohledem na minimalizaci změn splaveninového režimu v korytě toku a zajištění funkčnosti odběru vody. Při návrhu úprav nebyly brány v potaz majetkoprávní vztahy, které mohou být překážkou např. při přeložce části toku.

13 SEZNAMY

13.1 LITERATURA

- [1] AQUAVEO. *Surface-water Modeling System*. Online. Dostupné z: <https://www.aquaveo.com/software/sms-surface-water-modeling-system-introduction>. [cit. 2023-12-30].
- [2] ASCE. *HEC-RAS: HEC-RAS Documentation*. Online. USACE, 2023. Dostupné z: <https://www.hec.usace.army.mil/confluence/rasdocs>. [cit. 2023-12-02].
- [3] AUTODESK, INC. *Autodesk AutoCAD*. Online. Dostupné z: <https://www.autodesk.com/>. [cit. 2024-01-05].
- [4] AUTODESK, INC. *Autodesk Civil 3D*. Online. Dostupné z: <https://www.autodesk.com/>. [cit. 2024-01-05].
- [5] BOOR, Boris; KUNŠTÁTSKÝ, Jiří a PATOČKA, Cyril. *Hydraulika pro vodohospodářské stavby*. Praha: SNTL-Nakladatelství technické literatury, 1968.
- [6] BROŽA, Vojtěch; KRATOCHVÍL, Jiří; PETER, Pavel a VOTRUBA, Ladislav. *Přehrady*. ALFA. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1987. ISBN 04-728-87.
- [7] Community, B. O. (2018). *Blender – a 3D modelling and rendering package*. Stichting Blender Foundation, Amsterdam. Retrieved from <http://www.blender.org>
- [8] COONROD, Julie; , Seyed Mahmood a HOSSEINI. Coupling Numerical and Physical Modeling for Analysis of Flow in a Diversion Structure with Coanda-effect Screens. Online. *Water*. Roč. 2011, s. 1-23. ISSN 2073-4441. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/w3030764>. [cit. 2024-01-09].
- [9] ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ, FAKULTA STAVEBNÍ: SWECO HYDROPROJEKT A. S. ČSN 75 2106-2, *Hrazení bystřin a strží – Část 2: Navrhování konstrukcí a objektů hrazení bystřin a strží*. Česká agentura pro standardizaci, 2019.
- [10] ČÚZK: *Státní správa zeměměřictví a katastru*. Online. Praha, 2010. Dostupné z: <https://www.cuzk.cz/>. [cit. 2023-10-23].

- [11] *DESIGN OF SMALL DAMS*. Third Edition. Washington, DC: A Water Resources Technical Publication, 1987. ISBN 9780160033735.
- [12] Flow Science, Inc. *FLOW-3D®: Version 2023R1 Uživatelská příručka*. Santa Fe, NM: Flow Science, 2023. Dostupné také z: <https://www.flow3d.com/>.
- [13] GABRIEL, Pave; GRANDTNER, Theodor; PRŮCHA, Miroslav a VÝBORA, Pavel. *Jezy*. Praha: SNTL, 1984.
- [14] GORDON, J.L. Vortices at intakes. *Water Power*. 1970, s. 137-138.
- [15] *Hydrologická ročenka České republiky 2021*. Online. Praha, 2022. ISBN 978-80-7653-049-2. Dostupné z: <https://www.chmi.cz/informace-a-sluzby/rocni-vyhodnoceni/hydrologicke-rocenky>. [cit. 2023-12-19].
- [16] HYDROPROJEKT CZ A.S. TNV 75 2321, *Zprůchodňování migračních bariér rybími přechody*. 2. dopl. vyd. Praha, 2011.
- [17] CHIE YEN, Ben. *Channel flow resistance*. 2. Colorado: Water Resources Publications, 2004. ISBN 0-918334-72-1.
- [18] ISVS – VODA. Online. Dostupné z: <https://www.voda.gov.cz/?page=Home>. [cit. 2023-09-28].
- [19] JAMES, C S. *Hydraulic Structures*. Johannesburg, South Africa: Springer, 2020, 387 s. ISBN 978-3-030-34086-5.
- [20] JANDORA, Jan a ŠULC, Jan. *Hydraulika: Modul 01*. 2006. ISBN 978-80-7204-512-9.
- [21] PIERRE Y., Julien. *River Mechanics*. Online. 2nd edition. Colorado State University: Cambridge University Press, 2018. Dostupné z: <https://doi.org/10.1017/9781316107072>. [cit. 2023-10-19].
- [22] QGIS.org, %Y. *QGIS Geographic Information System*. QGIS Association. <http://www.qgis.org>
- [23] SANTOSH KUMAR, Garg. *IRRIGATION ENGINEERING AND HYDRAULIC STRUCTURES*. Hindustan Offset Press, Naraina, Delhi, 1976. ISBN 81-7409-047-9.
- [24] SLAVÍK, Ondřej a VANČURA, Zdeněk. *Migrace ryb, rybí přechody a způsob jejich testování: metodický postup pro návrh, realizaci a možnosti testování funkce rybích přechodů pro žadatele OPŽP*. Praha: Ministerstvo životního prostředí, 2012. ISBN 978-80-7212-580-7.

- [25] ŠVANCARA, Jiří a BRÁZDA, Daniel. VD Vlachovice, specifické otázky přípravy. In: XXXVII. Přehradní dny 2022. Praha, 2022, s. 1-8. ISBN 978-80-01-07002-4.
- [26] ZACHOVAL, Zbyněk. Splaveniny ve vodních tocích: Modul 1. Brno, 2016.

Poskytnuty byly tyto podklady:

- [I] *Posouzení a prognóza splaveninového režimu: Vlára, VD Vlachovice – předprojektová příprava, technické řešení.* Brno, 2018.
- [II] *S10 – Sledování a vyhodnocování splaveninového režimu: Vlára, Vodní dílo Vlachovice – dokumentace pro povolení stavby včetně souvisejících činností, průzkumných prací a dokumentace EIA.* Brno, 2023.
- [III] *S17 – Návrh a posouzení možností managementu splaveninového režimu: Vlára, Vodní dílo Vlachovice – dokumentace pro povolení stavby včetně souvisejících činností, průzkumných prací a dokumentace EIA.* Brno, 2023.
- [IV] *Ujednání o poskytnutí podkladů.* Brno, 2023.
- [V] *Vlára, Vodní dílo Vlachovice – předprojektová příprava Studie technického řešení VD Vlachovice.* AQUATIS a.s. Brno, 2020.
- [VI] *Vlára, Vodní dílo Vlachovice – předprojektová příprava, technické řešení: F.5 Podrobná dílčí studie převodů vody ze Sviborky a Smolinky.* AQUATIS a.s. Brno, 2018.
- [VII] *Vlára, Vodní dílo Vlachovice, předprojektová příprava – hydrologické podklady.*
- [VIII] *Vlára, Vodní dílo Vlachovice, předprojektová příprava, geodetické zaměření.* (konkrétně část dat v prostoru zamýšleného odběrného objektu Smolinka)
- [IX] *Vlára, Vodní dílo Vlachovice, předprojektová příprava, IG průzkum: Celek 2 – Průzkumy pro převody vody ze Sviborky a Smolinky.* AQUATIS a.s. Brno, 2019.
- [X] *Vlára, Vodní dílo Vlachovice, předprojektová příprava, technické řešení: F.3. Studie vodohospodářského řešení nádrže.* AQUATIS a.s. Brno, 2018.

13.2 SEZNAM VELIČIN

Značka	Název veličiny	Jednotka
S	rychlost deformace	[s ⁻¹]
A _i	plocha buňky	[m ²]

A_M	součinitel	[-]
b	šířka	[m]
b_0	účinná šířka	[m]
C_D	součinitel odporu	[-]
c_{ef}	efektivní soudržnost	[Pa]
CNU	konstanta	[-]
C_o	Coreyho tvarový index	[-]
C_s	Smagorinského součinitel	[-]
$C_{t,k}$	celková koncentrace	[-]
D	směšovací součinitel	[-]
d	velikost částice	[m]
d^*	bezrozměrná velikost částice	[-]
$Diff_\varepsilon$	difúze disipace	[m ² /s ³]
D_L	směšovací součinitel v podélném směru	[-]
D_T	směšovací součinitel v příčném směru	[-]
$D_{t,k}$	specifický hmotnostní usazovací tok	[kg/(m ² ·s)]
E_{def}	modul přetvárnosti	[Pa]
e_{ij}	tenzor deformační rychlosti	[s ⁻¹]
E_M	součinitel	[-]
E_p	energetická přepadová výška	[m]
$E_{t,k}$	specifický hmotnostní vymílací tok	[kg/(m ² ·s)]
F	funkce zastoupení objemu vody	[-]
f_c	Coriolisův parametr	[-]
F_{DIF}	parametr	[-]
f_i	zrychlení způsobené viskózními silami	[m/s ²]
g	tíhové zrychlení	[m/s ²]
G_i	zrychlení způsobené objemovými silami	[m/s ²]
h	hloubka	[m]
H	úroveň hladiny	[m n. m.]
i	počet měření	[-]
k_s	hydraulická drsnost	[m]

k_T	turbulentní kinetická energie	[m ² /s ²]
L	staničení, délka	[m]
m	dennost	[dny]
M	rozšířený součinitel přepadu	[m ^{1/2} /s]
N	letost	[rok]
n	součinitel drsnosti	[s/m ^{1/3}]
p	tlak	[Pa]
Q	(objemový) průtok vody	[m ³ /s]
q^*_{bk}	bezrozměrný specifický průtok splavenin	[-]
Q_s	(objemový) průtok splavenin	[m ³ /s]
R	hydraulický poloměr	[m]
r	poloměr	[m]
$S_{t,k}$	specifický hmotnostní externí tok (zdroj)	[kg/(m ² ·s)]
t	čas	[s]
T	teplota	[°C]
U	svislicová rychlost	[m/s]
u^*	třecí rychlost	[m/s]
u', v', w'	fluktuační rychlosti v jednotlivých směrech souřadného systému	[m/s]
ν	Poissonovo číslo	[-]
v	rychlost	[m/s]
V_c	celkový objem	[m ³]
V_F	poměr objemu tekutiny a objemu buňky	[-]
w	usazovací rychlost	[m/s]
w^*	bezrozměrná usazovací rychlost	[-]
Z	úroveň	[m n. m.]
$\beta_{t,k}$	součinitel celkového zatížení k -té frakce částic	[-]
Δ	charakteristický rozměr buňky	[m]
ε	přetvoření	[-]
$\varepsilon_{t,k}$	součinitel difuze k -té frakce částic	[-]
η	kinematická viskozita	[m ² /s]

θ	směr vektoru rychlosti	[rad]
ϑ	turbulentní viskozita	[m ² /s]
ϑ_F	difuzní součinitel	[-]
μ	dynamická viskozita	[kg/(m·s)]
ρ	objemová hmotnost	[kg/m ³]
σ	pevnost v prostém tlaku	[Pa]
τ	smykové napětí	[Pa]
τ^*	bezrozměrné smykové napětí	[-]
τ^*_c	kritická hodnota τ^*	[-]
ν	kinematická viskozita	[m ² /s]
φ_{ef}	efektivní úhel vnitřního tření	[°]
ω	úhlová rychlost	[rad/s]

13.3 SEZNAM ZKRATEK

1D	jednorozměrný
2D	dvojměrný
3D	trojměrný
AQT	AQUATIS a.s.
ASCE	American Society of Civil Engineers
ČHMÚ	Český hydrometeorologický ústav
ČSN	česká technická norma
ČÚZK	Český úřad zeměměřický a katastrální
DMR5G	digitální model reliéfu páté generace
E-H	Engelud-Hansen
EN	evropská norma
FAST	Fakulta stavební
HEC-RAS	Hydrologic Engineering Center – River Analysis System
HOP	horní okrajová podmínka
IDVT	identifikátor vodního toku
IG	inženýrskogeologický
LES	large eddy simulation

LVV	Laboratoř vodohospodářského výzkumu
MPM	Meyer-Peter a Müller
MZP	minimální zůstatkový průtok
NRPV	náhradní roční průtoková vlna
NS	návrhový stav
NSJ	návrhový stav Juriga
OO	odběr otevřený
OZ	odběr zavřený
PO	propust otevřená
PV	průtoková (povodňová) vlna
PZ	propust zavřená
RNG	Renormalization Group
SMS	Surface-water Modeling System
SS	stávající stav
SWE-ELM	shallow water equation – Eulerian method
TNV	technická norma vodního hospodářství
TPV	teoretická povodňová vlna
USACE	U.S. Army Corps of Engineers
ÚVST	Ústav vodních staveb
VUT	Vysoké učení technické v Brně
WMS	webové mapové služby

13.4 SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1.1 Výstřižek z celkového situačního výkresu VD Vlachovice [V]	1
Obr. 1.2 Zájmové území	3
Obr. 1.3 Čáry překročení průtoků – Smolinka [X]	4
Obr. 1.4 Výstřižek ze situačního výkresu [V]	5
Obr. 1.5 Podélný a příčný řez rozdělovacím objektem [V]	6
Obr. 1.6 Vizualizace rozdělovacího objektu	6
Obr. 3.1 Typické uspořádání rozdělovacího objektu [23]	10
Obr. 3.2 Česle s Coandovým efektem [8]	13

Obr. 3.3 Schéma usazovacího objektu [19].....	14
Obr. 3.4: Konfigurace vodících břehů [19].....	15
Obr. 3.5 a) kapsa s přepážkou b) uspořádání s dělicí stěnou	16
Obr. 4.1 Dělení částic v korytě toku dle jejich pohybu v proudu [26]	18
Obr. 5.1 Výřez geodetické zaměření zájmové oblasti [VIII]	22
Obr. 5.2 Řez vrtu JV-SM1 [IX].....	23
Obr. 5.3: Křivka zrnitosti usazenin [I].....	27
Obr. 6.1 Ortofotomapa se zaznačenými místy, kde byla pořízena fotodokumentace	28
Obr. 6.2 Hlásný profil s vodočetnou latí (1).....	29
Obr. 6.3 Nános pod mostem (1)	29
Obr. 6.4 Upravená část koryta (2)	29
Obr. 6.5 Provizorní stabilizace svahu (3).....	30
Obr. 6.6 Usazeniny (4).....	30
Obr. 6.7 Usazeniny (5)	30
Obr. 6.8 Usazeniny (6).....	31
Obr. 6.9 Brod a stupeň ve dně (7).....	31
Obr. 6.10 Usazeniny a svahové nátrže (8 a 9).....	31
Obr. 7.1 Výpočetní síť použitá pro simulaci proudění vody (SS).....	36
Obr. 7.2 Výpočetní síť použitá pro simulaci proudění vody (NS).....	36
Obr. 7.3 Výpočetní síť použitá pro simulaci proudění vody (NSJ).....	37
Obr. 7.4 Vliv velikosti buněk výpočetní sítě na průtok splavenin.....	38
Obr. 7.5 Výpočetní síť použitá pro simulaci transportu splavenin (SS)	38
Obr. 7.6 Výpočetní síť použitá pro simulaci transportu splavenin (NS).....	39
Obr. 7.7 Výpočetní síť použitá pro simulaci transportu splavenin (NSJ).....	39
Obr. 7.8 Náhradní funkce	41
Obr. 7.9 NRPV	42
Obr. 7.10 TPV Q_1 a Q_2	42
Obr. 7.11 Vliv výpočetního kroku na průtok splavenin	44
Obr. 7.12 Vliv změny součinitele kapacity na průtok splavenin.....	46
Obr. 7.13 Návrhový stav AQT	50
Obr. 7.14 Návrhový stav autora práce.....	50

Obr. 7.15 Výpočetní oblast zaměřená na proudění propustí	51
Obr. 7.16 Výpočetní oblast zaměřená na celkové proudění rozdělovacím objektem.	51
Obr. 7.17 Úrovně hladiny nad a pod objektem vypočítané 2D modelem	52
Obr. 9.1 Změna úrovně dna pro různé šířky propustí při simulování NRPV v délce trvání 1 rok	74
Obr. 9.2 Zanášení zdrže (oblast od rozdělovacího objektu až po profil s HOP)	74
Obr. 9.3 Zanášení propustí	75
Obr. 9.4 Závislost hloubky vody na šířce splaveninové propusti.....	76
Obr. 9.5 Závislost hloubky vody na šířce splaveninové propusti.....	76
Obr. 10.1 Závislost průměru potrubí na tlačné výšce.....	82
Obr. 10.2 Výstřižek ze situačního výkresu	84
Obr. 10.3 Půdorys rozdělovacího objektu.....	84
Obr. 10.4 Podélný a příčný řez rozdělovacím objektem	85
Obr. 11.1 Změna úrovně dna při simulování NRPV v délce trvání 1 rok.....	101
Obr. 11.2 Změna úrovně dna při simulování TPV v délce trvání 400 minut.....	102

13.5 SEZNAM TABULEK

Tab. 5.1 Geotechnické parametry zemin a hornin [IX].....	24
Tab. 5.2 Hydrologické údaje pro profil na Smolince [VII].....	25
Tab. 5.3 Objem a kulminační průtok TPV Q_{100} [VII].....	26
Tab. 7.1 Parametry.....	41
Tab. 7.2 Parametry.....	41
Tab. 7.3 Efekt vytřídění krycí vrstvy první průtokovou vlnou	45
Tab. 8.1 Simulace transportu splavenin provedené pro případ bez rozdělovacího objektu	54
Tab. 8.2 Výsledky simulace NRPV	55
Tab. 8.3 Výsledky simulace TPV Q_1	56
Tab. 8.4 Výsledky simulace TPV Q_2	57
Tab. 8.5 Bilance objemu usazenin v úseku od rozdělovacího objektu po profil s HOP	58
Tab. 9.1 Provedené simulace	59
Tab. 9.2 Výsledky simulace Q_{30d}	60

Tab. 9.3 Výsledky simulace Q_1	61
Tab. 9.4 Výsledky simulace Q_2	62
Tab. 9.5 Výsledky simulace Q_5	63
Tab. 9.6 Výsledky simulace Q_{10}	64
Tab. 9.7 Výsledky simulace Q_{20}	65
Tab. 9.8 Provedené simulace.....	66
Tab. 9.9 Výsledky simulace proudění vody splaveninovou propustí při průtoku Q_{30d}	67
Tab. 9.10 Výsledky simulace proudění vody splaveninovou propustí při průtoku Q_a	68
Tab. 9.11 Výsledky simulace proudění vody odběrným objektem.....	69
Tab. 9.12 Provedené simulace	71
Tab. 9.13 Výsledky simulací NRPV s různými šířkami propustí.....	72
Tab. 9.14 Objemy usazenin	73
Tab. 9.15 Výsledky simulace NRPV (zavřená propust).....	77
Tab. 9.16 Výsledky simulací TPV (zavřená propust).....	77
Tab. 9.17 Výsledky simulací TPV (otevřená propust).....	78
Tab. 9.18 Objemy usazenin	78
Tab. 10.1 Provedené simulace.....	86
Tab. 10.2 Výsledky simulace Q_{30d}	87
Tab. 10.3 Výsledky simulace Q_1	88
Tab. 10.4 Výsledky simulace Q_2	89
Tab. 10.5 Výsledky simulace Q_5	90
Tab. 10.6 Výsledky simulace Q_{10}	91
Tab. 10.7 Výsledky simulace Q_{20}	92
Tab. 10.8 Provedená simulace	93
Tab. 10.9 Výsledky 3D simulace proudění vody splaveninovou propustí.....	94
Tab. 10.10 Provedené simulace	95
Tab. 10.11 Výsledky simulací NRPV.....	96
Tab. 10.12 Výsledky simulací TPV (zavřená propust).....	97
Tab. 10.13 Výsledky simulací TPV (otevřená propust).....	97
Tab. 10.14 Objemy usazenin	98