



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV VODNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ KRAJINY

INSTITUTE OF LANDSCAPE WATER MANAGEMENT

**NUMERICKÝ MODEL PROUDĚNÍ VODY V HORNÍ
NÁDRŽI NOVÉ MLÝNY**

NUMERICAL MODEL OF WATER FLOW IN THE UPPER RESERVOIR NOVÉ MLÝNY

DIPLOMOVÁ PRÁCE

DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Stanislav Winkler

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. DANIEL MARTON, Ph.D.

BRNO 2020



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	N3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu	Navazující magisterský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3607T027 Vodní hospodářství a vodní stavby
Pracoviště	Ústav vodního hospodářství krajiny

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Student	Bc. Stanislav Winkler
Název	Numerický model proudění vody v horní nádrži Nové Mlýny
Vedoucí práce	doc. Ing. Daniel Marton, Ph.D.
Datum zadání	31. 3. 2019
Datum odevzdání	10. 1. 2020

V Brně dne 31. 3. 2019

prof. Ing. Miloš Starý, CSc.
Vedoucí ústavu

prof. Ing. Miroslav Bajer, CSc.
Děkan Fakulty stavební VUT

PODKLADY A LITERATURA

1. AGROSKIN, I. I., G. T. DMITRIJEV a F. I. PIKALOV. *Hydraulika II*. Přeložil Miroslav HIBŠ. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1956.
2. HEC-RAS: River Analysis System, Hydraulic reference manual, Version 5.0, 2016. Dostupný na: <https://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/documentation.aspx>
3. ZACHOVAL, Z., 2016. *Splaveniny ve vodních tocích*, Brno: Vysoké učení technické v Brně.

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

Jedním z dlouhodobých problémů vodních nádrží je jejich postupné zanášení. Následkem dlouhodobého ukládání sedimentů na dně nádrží je pak jejich omezená funkce, resp. možné zanášení přítokové části a hrozící zpětné vzdutí hladiny nad nádrží v průběhu povodní. Cíl diplomové práce vychází z požadavku státního podniku Povodí Moravy, s.p. a tím je sestavení hydraulického modelu horní nádrže Nové Mlýny a řešení otázky zanášení přítoku do nádrže. Přesněji, cílem práce je sestavit numerický model horní nádrže Nové Mlýny a posoudit jeho vzdutí z hlediska reálných povodňových epizod a vlivu počáteční výšky hladiny vody v nádrži s vazbou na ukládání sedimentů v nádrži. Pro splnění vytyčených cílů je nutné vytvořit hydraulický model v programu HEC-RAS. Praktická aplikace bude provedena na zmíněné nádrži Nové Mlýny v povodí řeky Dyje a dílčí výsledky práce budou sloužit pro potřeby přeshraničního projektu INTERREG AT-CZ "ATCZ28 SEDECO - Sediments, ecosystem services and interrelation with floods and droughts in the AT-CZ border region".

STRUKTURA DIPLOMOVÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část VŠKP zpracovaná podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchování vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchování vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (povinná součást VŠKP).
2. Přílohy textové části VŠKP zpracované podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchování vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchování vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (nepovinná součást VŠKP v případě, že přílohy nejsou součástí textové části VŠKP, ale textovou část doplňují).

doc. Ing. Daniel Marton, Ph.D.

Vedoucí diplomové práce

Abstrakt

Diplomová práce je zaměřená na pochopení problematiky zanášení nádrží s návazností na povodňové epizody. Pro vytvoření numerického modelu bylo potřeba zajistit data o morfologii koryta, zrnitostním složení dna a hydrologické údaje. V práci je popsáno získání těchto podkladů, následný popis sestavení numerického modelu v programu HEC – RAS 5.0.7 a výsledky z provedených simulací na jednotlivých reálných povodňových epizodách, které proběhly v letech 2004, 2005, 2006, 2009 a 2013. Výstupem je zhodnocení jednotlivých epizod, popsání změněných křivek zrnitostí a posouzení N – letých průtoků před změnou geometrie vlivem pohybu splavenin a po změně morfologie koryta vlivem splavenin.

Klíčová slova

Zanášení nádrží, sedimenty, transport splavenin, Nové Mlýny, Horní nádrž Nové Mlýny, HEC – RAS, povodňové epizody, SEDECO

Abstract

Diploma thesis is focused on understanding problematic of sedimentation in reservoirs with relation on flood episodes. For creating numerical model was necessary to ensure data about morphology of the river, granular composition of the riverbed and hydrology data. In thesis is written how were obtained these documentations, description of creating numerical model in program HEC – RAS 5.0.7. and results of done simulations of real flood episodes, which took place in years 2004, 2005, 2006, 2009, 2013. Output is evaluation each flood episode, description of grain class curves and evaluation of yearly flow before change of riverbed due to transport of sediments and after change of morphology of riverbed.

Key words

Reservoir sedimentation, sediments, transport of sediments, Nove Mlyny, Upper reservoir of Nove Mlyny, HEC – RAS, flood episodes, SEDECO

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

Bc. Stanislav Winkler *Numerický model proudění vody v horní nádrži Nové Mlýny*. Brno, 2020. 78 s., 0 s. příloh. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodního hospodářství krajiny. Vedoucí práce doc. Ing. Daniel Marton, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané diplomové práce s názvem *Numerický model proudění vody v horní nádrži Nové Mlýny* je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 9. 1. 2020

Bc. Stanislav Winkler
autor práce

PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci s názvem *Numerický model proudění vody v horní nádrži Nové Mlýny* zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 9. 1. 2020

Bc. Stanislav Winkler
autor práce

Poděkování

Rád bych poděkoval svému vedoucímu doc. Ing. Danielu Martonovi, Ph. D. za možnost věnovat se tématu splavenin a umožnění nahlédnout na celý proces získávání dat v rámci projektu SEDECO. Získal jsem díky tomu neocenitelnou zkušenost, která mi bude přínosem v mé budoucí pracovní realizaci. Dále děkuji své rodině za podporu během studia a partnerce, která mi byla velkou oporou.

Obsah

1. Úvod	10
2. Cíl práce	11
3. Zanášení nádrží.....	12
3.1. Způsoby ochrany proti zanášení nádrží.....	13
3.2. Korytotvorné procesy.....	13
3.3. Předpověď zanášení nádrží	14
4. Vodní dílo Nové Mlýny	15
4.1. Horní nádrž.....	15
4.2. Střední nádrž	15
4.3. Dolní nádrž	15
5. HEC – RAS	16
5.1. Ustálené proudění.....	16
5.1.1. Základní rovnice pro ustálené proudění.....	16
5.1.2. Manningův drsnostní součinitel	18
5.1.3. Průměrná výška kinetické energie	18
5.2. Neustálené proudění.....	19
5.2.1. Rovnice kontinuity.....	19
5.2.2. Zákon zachování hybnosti	20
5.2.3. Použití neustáleného proudění	20
5.3. Okrajové podmínky	20
5.3.1. Horní okrajové podmínky	21
5.3.2. Dolní okrajové podmínky	21
5.4. Modelování sedimentů	21
5.4.1. Po částech ustálené proudění	21
5.4.2. Rovnice spojitosti pro sedimenty	22
5.4.3. Efektivní transportní výška	26
5.4.4. Dočasný omezovač vymílání.....	28
5.4.5. Třídění a krycí vrstva.....	28
6. Praktická aplikace.....	30
6.1. Identifikace území	30
6.2. Správné údaje.....	32
6.3. Hydrologie	32
6.4. Morfologie koryta.....	32
6.5. Historie	33
6.6. Rekognoskace terénu	35

6.7.	Zdroje splavenin	36
6.7.1.	Zdroj z výše položeného úseku koryta	36
6.7.2.	Zdroj v úseku koryta	36
6.7.3.	Zdroje v povodí úseku koryta	36
6.8.	Zaměření koryta a horní části Horní nádrže Nové Mlýny.....	36
6.9.	Zrnitostní křivky.....	38
6.9.1.	Odběr vzorků pro stanovení křivek zrnitosti	38
6.9.2.	Stanovení křivek zrnitostí	41
6.10.	Vytvoření modelu.....	44
6.10.1.	Kalibrace modelu.....	46
6.10.2.	Zadání pro výpočet splavenin.....	47
6.10.3.	Neustálené proudění.....	48
6.11.	Zjednodušující předpoklady	48
	Zjednodušující předpoklady:	48
6.12.	Vstupní hydrologická data.....	49
6.12.1.	Povodňová epizoda únor 2004.....	50
6.12.2.	Povodňová epizoda duben 2004.....	51
6.12.3.	Povodňová epizoda březen 2005	52
6.12.4.	Povodňová epizoda březen 2006	53
6.12.5.	Povodňová epizoda březen 2009	54
6.12.6.	Povodňová epizoda červen 2013	55
7.	Výsledky.....	56
7.1.	Zhodnocení povodňových epizod	56
7.1.1.	Povodňová epizoda únor 2004.....	56
7.1.2.	Povodňová epizoda duben 2004.....	56
7.1.3.	Povodňová epizoda březen 2005	57
7.1.4.	Povodňová epizoda březen 2006	58
7.1.5.	Povodňová epizoda březen 2009	61
7.1.6.	Povodňová epizoda červen 2013	62
7.1.7.	Souhrnné zhodnocení povodňových epizod	63
7.2.	Zhodnocení výsledných křivek zrnitostí	63
7.2.1.	Místo odběru na říčním km 79,578	64
7.2.2.	Místo odběru na říčním km 79,106	64
7.2.3.	Místo odběru na říčním km 78,123	65
7.2.4.	Místo odběru vzorku na říčním km 77,070	66
7.2.5.	Místo odběru na říčním km 74,876	67

7.2.6.	Souhrnné zhodnocení výsledných křivek zrnitostí	67
8.	Závěr	68
9.	Literatura	70
10.	Seznam obrázků	72
11.	Seznam tabulek	74
12.	Seznam zkratk a veličin.....	75
13.	Summary	78

1. Úvod

Řeka Dyje si v minulosti prošla mnoha změnami. Došlo k napřímení toku, vystavení soustavy nádrží Nové Mlýny a tím ke změně záplavových území, která se v lokalitě řešeného úseku vyskytovala. Negativní ovlivnění postihlo i transport suspendovaných látek – splavenin. Splaveniny jsou nyní přímo unášeny do nádrže a není v dostatečné míře umožněno usazování po délce toku. Největší objem usazenin v nádrži je díky smyvům z pudy, které se nachází po délce toku.

V současnosti se klade důraz na zajištění maximálního objemu vody v nádržích. Hlavním důvodem je změna klimatu, která způsobila výrazná sucha. Novomlýnské nádrže jsou velkým zdrojem vody a zároveň chrání lokalitu před povodněmi. Zanášením nádrže se efektivnost vodního díla snižuje.

„VUT v Brně je partnerem v projektu SEDECO – Sedimenty a ekosystémové služby ve vzájemném působení s povodněmi a suchem v pohraniční oblasti AT – CZ financovaného pomocí INTERREG AT – CZ.

Projekt je zaměřen na zajištění lepšího stavu ekosystémových služeb, biologické rozmanitosti a snížení vlivu povodní a sucha v přeshraniční části povodí řeky Dyje. Cílem projektu je především výstavba a návrh účinných opatření zelené infrastruktury, jako například obnova meandrů, obnova břehů pomocí konstrukce z mrtvého dřeva a vytvoření ostrovů v nádržích. Nová hydraulická laboratoř, resp. výzkumné centrum vybudované ve Vídni bude společně s měřením sedimentů, říčního dna, dna nádrží a společným modelováním tvořit základ pro optimální návrhy prvků zelené infrastruktury. Dalším cílem projektu je zlepšit znalostí systému řeky Dyje, včetně udržitelné strategie řízení nádrže z pohledu jejich zanášení, které pomohou minimalizovat rizika povodní a sucha. Dále pak zlepšit morfodynamiku meandrů toku v přeshraniční oblasti a ochranu přírodních a obnovených břehů řeky Dyje. Tímto způsobem bude pozitivně ovlivněn ekosystém a související biodiverzita v povodí.“ (Winkler 2018)

Diplomová práce se věnuje přípravě dat pro sestavení numerického modelu a samotnému vytvoření modelu. Simulace je prováděna především pro získání pochopení vlivu povodňových epizod na pohyb splavenin v návaznosti na morfologii nádrže a ovlivnění hladin padesátiletého a stoletého průtoku v důsledku změn úrovně dna.

Vliv splavenin a jejich procesy je potřebné dále zkoumat, aby bylo docíleno lepšího pochopení jevů, které jsou se splaveninami spojeny. Větším porozuměním jsme schopni navrhnout efektivnější opatření, která budou napomáhat ke snížení zanášení nádrží, ale i zároveň zlepšení ekosystémových služeb a zvýšení biodiverzity.

2. Cíl práce

Cílem práce je sestavení numerického jednodimenzionálního modelu pomocí programu HEC – RAS, přesněji ve verzi 5.0.7 a následné simulaci povodňových epizod s pohybem splavenin. Práce reflektuje požadavek státního podniku Povodí Moravy. Výstupem práce bude posouzení vlivu povodňových epizod na změnu morfologie dna a změn křivek zrnitostí dna, následné vyhodnocení nejvýznamnější povodně a porovnání hladin při N – letých průtocích s ohledem na změny morfologie zájmového úseku, které tato povodňová epizoda způsobila vlivem pohybu splavenin.

3. Zanášení nádrží

Zanášení nádrží je přirozeným jevem v přírodě. Tento jev je snahou přírody navrátit se do vyrovnaného stavu, tedy vytvořit klimax. Jedná se o transport materiálu proudem vody do nádrže a následné sedimentaci. K sedimentaci dochází, pokud suspendované látky klesají ke dnu. Tohoto stavu je docíleno, pokud unášecí síla je menší než síla gravitační.

Pro uvedení částic do pohybu je potřeba překonat gravitační síly, což se děje hlavně při vyšších průtocích, které nazýváme korytotvorné. Korytotvorné průtoky mění tvar koryta a jsou ovlivněny převážně složením zrnitostních křivek, tvarem samotného koryta, charakterem toku a typem rostlin vyskytujících se na březích. Pokud voda vybřežuje z kynety, může hrát roli tvar bermy a krajinné poměry v inundacích.

Obecně lze tedy říci, že zanášení nádrží je závislé na mnoha faktorech, kterými je hydrologie povodí a charakteristiky koryta. Jako další faktor lze zařadit antropogenní činnost, neboť vlivem odlesňování, což je vykácení stromů pro uvolnění půdy na jiné hospodářské záměry, lze umožnit vyšší míru erodibility půdy. Která je tak náchylnější na větrnou a vodní erozi. Dalším významným vlivem antropogenní činnosti je napřímení toků. To má za následek zvýšení rychlosti proudu, s čímž souvisí uvedení do pohybu částice o větších průměrech zrn.

Samotné zanášení nádrží je problematické nejen z hlediska snižování kapacity nádrže, která se při absenci opatření na snížení toho jevu zcela zaplní, ale je způsobeno zastavení transportu živin dále po toku. Voda se tak stává chudou na živiny, protože živiny jsou úzce spjaté se sedimenty, které se zastaví v nádrži, jak uvádí Morris a Fan (1998). Odplavení jemnozrnných částic dochází ke zhoršení poměrů pro život organismů, které žijí ve dně (Morris a Fan, 1998).

Existují tři stádia zanesení nádrže dle Zachoval (2016). První stádium je charakteristické svým vytvářením nánosu, kdy převážná část přiteklych suspendovaných látek zůstává v nádrži. V druhém stádiu dochází k částečné sedimentaci materiálu v nádrži a zbylý materiál pokračuje odtokem z nádrže dále po toku. Posledním stádiem, třetím, je dosaženo splaveninového vyrovnání. Nádrž se dále nezanášá, je již zanesená, avšak ponechává si stále částečný retenční objem, kde jeho velikost je závislá na charakteru nádrže, jejích objektech a řízení.

Jako životnost nádrže (Zachoval, 2016) uvádí dobu od jejího prvního napuštění až po zanesení nádrže. Čím větší je tok, tím rychleji může být nádrž zanesena. Z toho vyplývá, že nádrže s menším objemem na malých tocích mají vyšší životnost než malé nádrže na velkých tocích. Tedy velikost nádrže by měla být uzpůsobena daným poměrům na toku. Životnost střední nádrže vodního díla Nové Mlýny Zachoval (2016) odhaduje zhruba na 500 let. Dle Whita (2001) dochází ke snížení objemu nádrží na světě zhruba o 0,50 % až 1,00 %. Z tohoto údaje vyplývá, že nově nabytý roční přírůstek objemu na světě nepokrývá ani ztrátu objemu vlivem zanášení nádrží.

Velkou roli při zanášení nádrží hraje také poloha hladiny. Může být žádoucí, pro budoucí těžbu, aby byly sedimenty koncentrovány na jedno místo, například přítok do nádrže. Toho je dosaženo pomocí zvýšení hladiny a následného vzduť hladiny nádrže do přítoku. Díky tomu dojde k sedimentaci u nátoku do nádrže a nedochází k tak markantnímu zanášení ostatních částí nádrže.

Dalším problémem, který se při zanášení nádrží může objevit je omezení, nebo úplné zabránění používání vypustního objektu. Tuto situaci je třeba řešit, aby byla obnovena funkčnost objektu a nebyla narušena schopnost ovládat objem v nádrži.

Vytváření nánosů v nádržích je problematické a nežádoucí, vzhledem k využívání potenciálu nádrže. Nicméně existují také situace, kde mohou být vítány. Za zmínění stojí poznatek (Říha a Zachoval, 2011) ze Střední nádrže Nové Mlýny, kde se vytvořily ostrovy v místě přítoku Svratky a Jihlavy. Díky tomu mohl vzniknout biokoridor, který se stál významným ekologickým segmentem krajiny.

Avšak nelze tvrdit, že snížením hladiny v nádrži bude docíleno zlepšení ekologických podmínek, protože dojde ke zvětšení současného biokoridoru, nebo k vytvoření nového potencionálního biokoridoru. Je třeba celou situaci posoudit a zvážit všechny klady a záporny. Jak dokládá (Říha a kol., 2010), kdy nebylo doporučeno s přihlédnutím k bezpečnosti a dalším faktorům, aby byla trvale snížena vodní hladina ve Střední a Dolní nádrži pod kótu 170 m n. m.

Jak bylo popsáno výše, hlavním zdrojem zanášení nádrží jsou samotné toky ústící do nádrže. Nicméně může docházet k zanášení nádrže i díky smyvu půdy, sesuvu břehů a břehové abrazi. K vodní erozi dochází vlivem působení vody na půdu, ta ji rozrušuje a dochází ke smyvu do řek a nádrží. Vodní erozi lze rozdělit na přirozenou a způsobenou člověkem. Eroze způsobená člověkem je následkem špatného hospodaření s půdou, kdy nevhodná volba plodiny, při daných podmínkách má za následek zvýšenou erodibilitu. Dochází tak k rychlejšímu postupu eroze než při přirozeném typu eroze. Sesuv břehů je ovlivněn konkrétními podmínkami v dané lokalitě, kdy například odstraněním porostu a rozrušení svahů, může dojít k odtržení. Další z možností je dlouhodobé působení srážek, které podmáčí svah a dojde k jeho následnému odtržení. Břehová abraze je jev, který je nejvíce spojený s vlnami, velmi často způsobené například lodní dopravou nebo větrem. Břehy vystavené abrazi jsou náchylnější na sesuv a je třeba je chránit aktivními nebo pasivními konstrukcemi, viz. (Šlezinger, 2002)

3.1. Způsoby ochrany proti zanášení nádrží

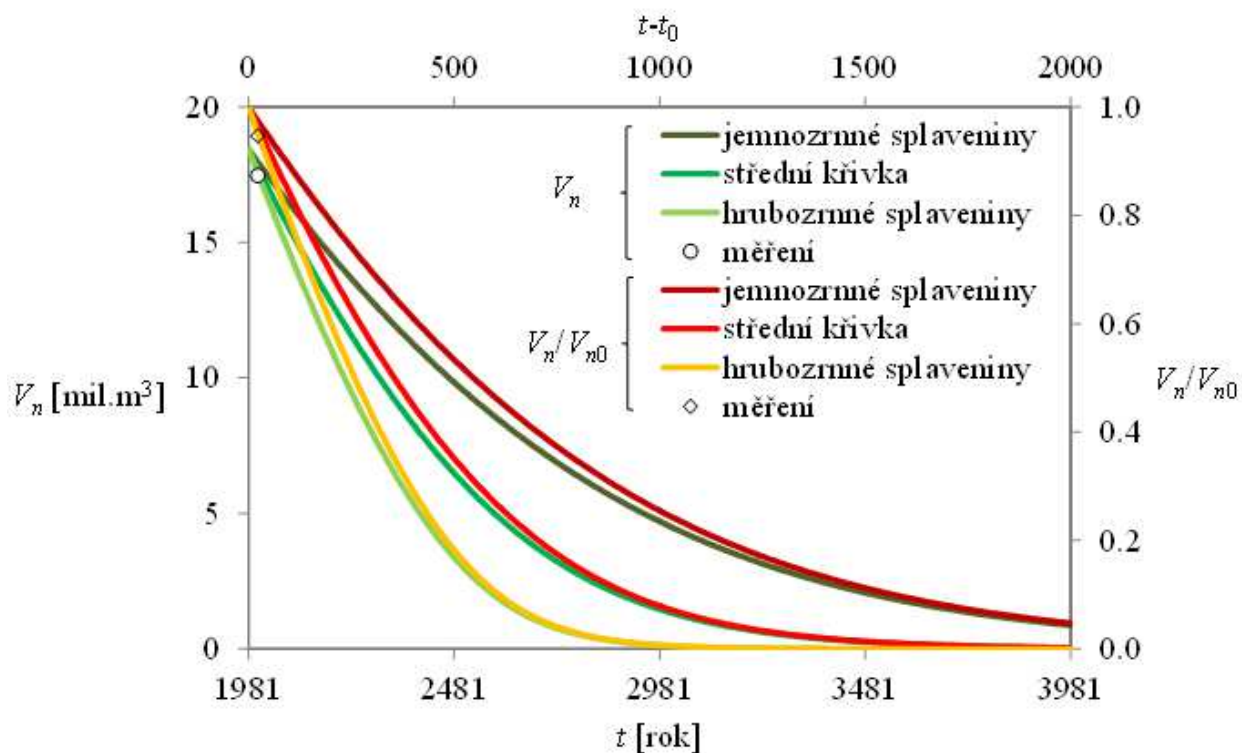
Není možné docílit absolutnímu zamezení přítoku splavenin do nádrže. Proto byla vyvinuta opatření, která napomáhají tento problém řešit. Jak uvádí Zachoval (2016), můžeme zmenšit přítok splavenin, čehož je docíleno agrotechnickými úpravami odtokových poměrů a zajištěním svahů v okolí nádrže. Zachycováním splavenin v usazovacích nádržích. Další možností je převod splavenin pod nádrž do toku, nebo samotná těžba. Proplachování nádrží se používá, pokud je vyšší výskyt plavenin a doporučuje se provádět při nižší hladině, kdy je dosaženo nejvyšší efektivity. Pokud je možné vytvářet nánosy mimo nádrž, nebo ve specifických místech nádrže, lze provádět řízené usazování.

3.2. Korytotvorné procesy

Korytotvorné procesy dle Zachovala (2016) lze rozdělit do tří skupin na chemické, biologické a mechanické. Mezi chemické zahrnujeme reakce anorganických látek, organických látek a produkce živočichů. Pod biologické procesy patří primární nebo sekundární sukcese a další vlivy živočichů. Mechanické korytotvorné procesy jsou předmětem této práce. Jedná se o pohyb splavenin vodním tokem a jejich následnému usazování. První fází je vymílání, kdy unášecí síly musí překonat síly gravitační působící na částici. Rozlišujeme boční a dnovou erozi. Poté nastává druhá fáze, samotný pohyb splavenin. Pokud pominou účinky unášecích sil, nebo je unášecí síla menší než gravitační, dochází k usazování. Usazením částice vznikne sediment, který může vytvářet různé dnové útvary, nánosy, mezi které patří například šterkové lavice.

3.3. Předpověď zanášení nádrží

Predikce zanášení nádrží je v současné době převážně řešena pomocí numerických modelů. Dle Zachovala (2016) lze za nejpřesnější metodu považovat využití 3D numerického modelu s následnou kalibrací dat podle získaných hodnot měření zanášení z historie. Je však nutné podotknout, že řešení komplexního 3D numerického modelu je časově velmi náročné a model vyžaduje mnoho vstupních dat, jako je koncentrační profil, který se v čase mění a vyžaduje důkladnou kalibraci. V případě plochých nádrží dle (Bačík a kol. 1985), lze využít řešení úlohy pomocí 2D numerického modelu. 1D modely najdou uplatnění hlavně u podlouhlých nádrží, jak uvádí (Zachoval, 2016). Samozřejmě lze k výpočtu použít i výpočetní vztahy, které vychází buď z bilance celé nádrže, nebo jsou empiricky stanoveny. U empirických vztahů se vychází ze znalosti průběhu zanášení nádrže jiné, ale podobné, tím je docíleno stanovení zanášení na řešené nádrži. Lze tuto metodu považovat za nejméně spolehlivou, ovšem nenáročnou (Zachoval, 2016). Výstupem předpovědi zanášení nádrží je obrázek 1.



Obrázek 1: Předpověď zanášení Střední nádrže vodního díla Nové Mlýny (Zachoval, 2019)

4. Vodní dílo Nové Mlýny

Informace v této kapitole pochází z podkladů poskytnutých Povodím Moravy, s. p. Vodní dílo Nové Mlýny se nachází v oblasti jižní Moravy pod Pálavskými vrchy. Na této lokalitě se před výstavbou nádrží nacházely rozsáhlé lužní lesy, které zajišťovaly retenci vody v krajině. Vodní dílo mělo velký vliv na zvěř, která obývala lužní lesy a drastický dopad na ptactvo. Jednalo se o jedno z nejbohatších území na živočichy u nás. Lužní lesy odstoupily zemědělské produkci a samotným nádržím. Na popud ekologů bylo dosaženo vytvoření nových biokoridorů na dvou ostrůvcích, které se nachází ve Střední nádrži. Toho bylo docíleno díky snížení vodní hladiny Střední nádrže.

Účelem vodní nádrže je zajištění vody pro závlahové odběry. Zlepšení průtokových poměrů na Dyji a snížení dopadů povodňových epizod. Vodní dílo také slouží pro rekreační účely, jako je rybolov, plavba a sportovní rekreace.

Nádrže jsou řešeny jako kaskáda tří na sobě závislých nádrží. Hydraulicky se jedná o spojené nádoby a jejich retenční objem je 26,107 mil. m³. viz. (Povodí Moravy, s. p., 2002).

4.1. Horní nádrž

První nádrž je Horní nádrž, jinak známá jako Mušovská, která má retenční objem 0,630 mil. m³, což je zanedbatelný objem s ohledem na velikosti povodňových vln a má nejmenší objem ze tří nádrží. Hráz je řešena jako zemní s těsnícím jádrem a je vysoká 6,1 m. Maximální kóta hladiny je 171,54 m n. m. Transport vody mezi horní a střední nádrží zajišťuje výpustní objekt (VD Nové Mlýny – Horní, 2019).

4.2. Střední nádrž

Střední nádrž, nebo také Věstonická, má retenční objem 10,977 mil. m³ a maximální výška hladiny dosahuje 171,42 m n. m. Do nádrže přitéká Dyje z horní nádrže přes výpustní objekt a dále ústí do nádrže dvě řeky Svratka a Jihlava. Tak jako u horní nádrže, hráz je zemní s těsnícím jádrem. Dosahuje výšky 6,7 m. Lokalita je bohatá na druhy ptáků a navazuje tedy na dobu před výstavbou vodního díla (VD Nové Mlýny – Střední, 2019).

4.3. Dolní nádrž

Poslední nádrž je Dolní nádrž, známá také jako Novomlýnská, která je se svým retenčním objemem 14,500 mil. m³ největší a její maximální výška hladiny dosahuje 171,24 m n. m. Dolní nádrž disponuje malou vodní elektrárnou o výkonu 2,5 MW. (VD Nové Mlýny – dolní, 2019).

5. HEC – RAS

Jméno HEC – RAS je zkratkou pro Hydrologic Engineering Center – River Analysis System, neboli v překladu Centrum Hydrologického inženýrství – Systém pro analýzu toků. Program vyvíjí americká armáda a díky tomu je veřejně dostupný.

Program je schopný řešit ustálené proudění v jedno dimenzionálních úlohách, neustálené proudění v 1D a 2D úlohách. Zároveň je schopný řešit pohyb splavenin, a to buď po částech ustáleným prouděním, nebo neustáleným prouděním. Dále dokáže analyzovat teplotu vody a provádět modelování kvality vody.

5.1. Ustálené proudění

Tento typ se používá pro 1D úlohy. Podle Froudova kritéria lze určit říční, nebo bystřinné proudění a následně uzpůsobit výpočet k tomuto předpokladu. Pokud je v rámci řešeného úseku výskyt jak říčního, tak bystřinného proudění, lze využít možnosti smíšeného proudění

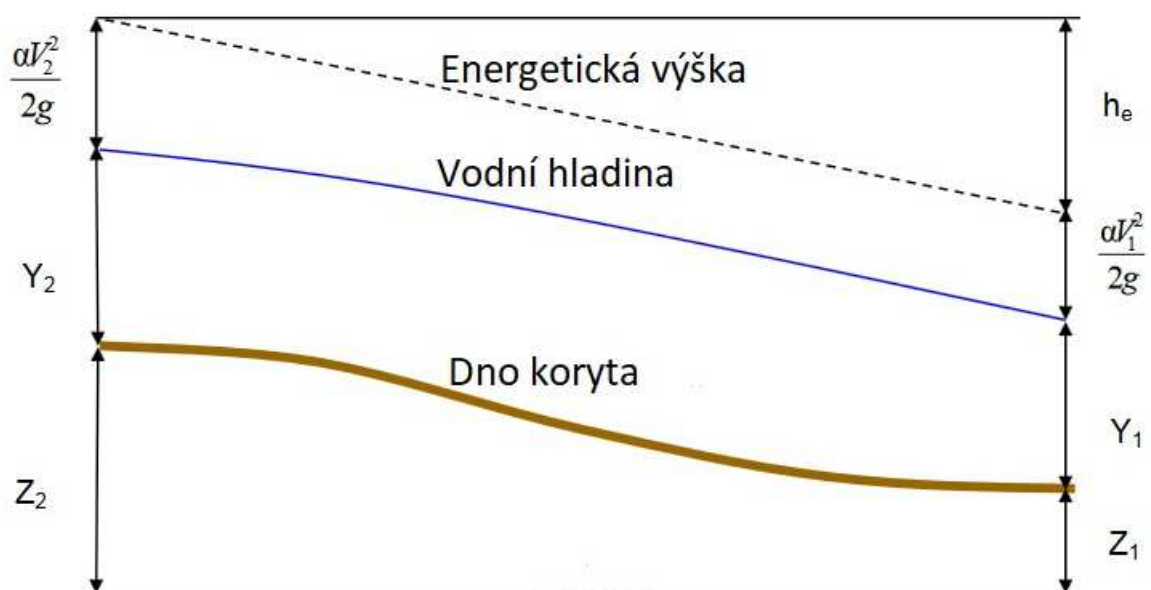
5.1.1. Základní rovnice pro ustálené proudění

Řešení je prováděno metodou po úsecích skrze výpočet zjednodušené Bernoulliovy rovnice pro příčný profil 1 a příčný profil 2 (1). Postupuje se iterační metodou.

$$Z_2 + Y_2 + \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g} = Z_1 + Y_1 + \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} + h_e \quad (1)$$

Kde:

Z	nadmořská výška koryta,
Y	hloubka vody v řezu,
v	průměrná rychlost,
α	Coriolisovo číslo,
g	gravitační zrychlení,
h_e	ztrátová výška.



Obrázek 2: Grafické zobrazení rovnice (Brunner, 2016).

Ztrátová výška mezi dvěma řezy je složena ze ztráty místní a ztráty třením po délce. Rovnice je následující:

$$h_e = L\bar{S}_f + C \left(\frac{\alpha_2 v_2^2}{2g} - \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} \right) \quad (2).$$

Kde:

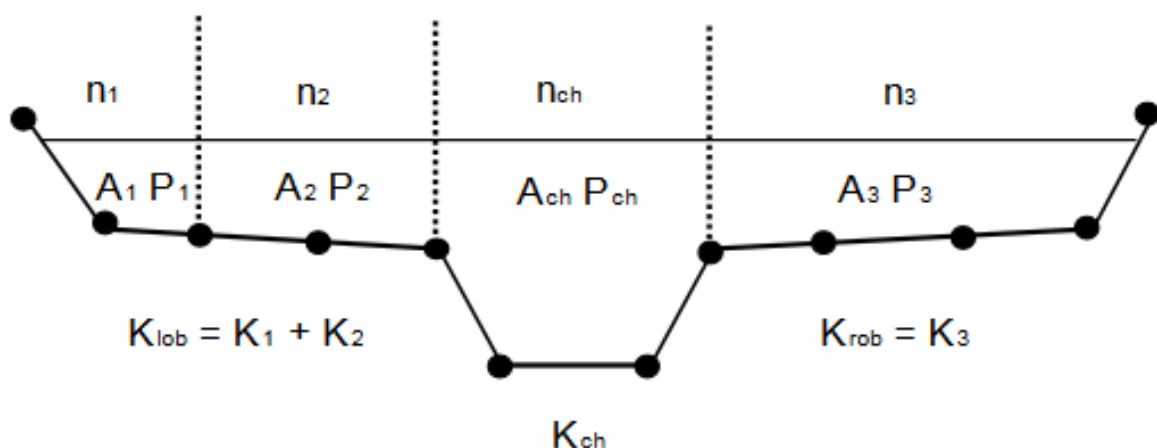
- h_e ztrátová výška,
- L vážený průměr délky,
- S_f sklon čáry energie mezi profily,
- C koeficient místní ztráty,
- α_i rychlostní součinitel,
- v_i rychlost.

$$S_f = \left(\frac{Q}{K} \right)^2 \quad (3)$$

Kde:

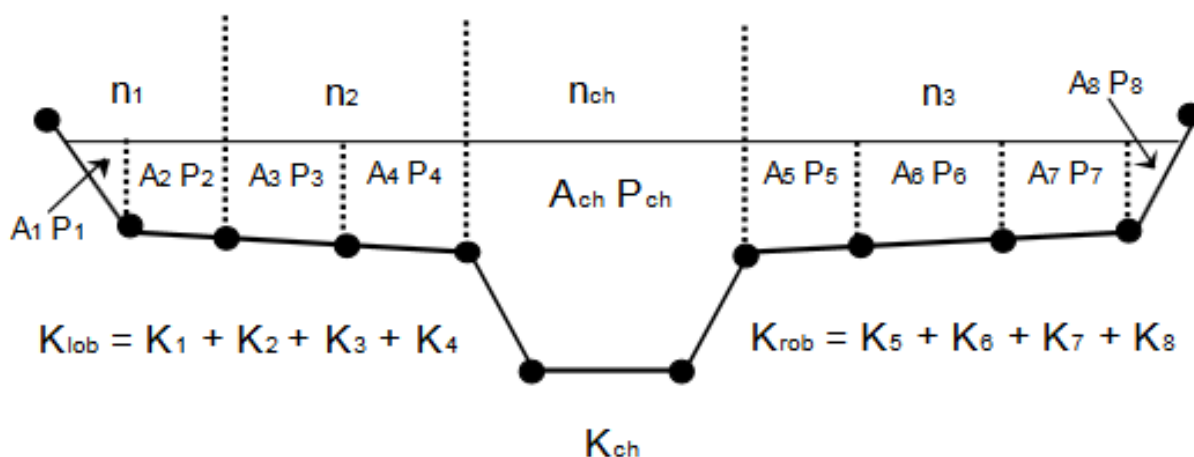
- K modul průtoku,
- Q průtok.

Pro správné určení rychlostních součinitelů v rámci řezu je třeba, aby byl proud rozdělen do částí, kde je rychlost rovnoměrně rozdělena. HEC – RAS používá jako základní nástroj pro tvoření těchto částí umístění změny drsností. Přenos mezi jednotlivými částmi je vypočten pomocí Manningovy rovnice. Program sečte všechny přírůstky mimo koryto, aby získal modul průtoku K pro levobřežní zónu a pravobřežní zónu. Koryto je vypočteno jako jednotný element. K získání celkového modulu průtoku je dosaženo sečtením všech částí (levobřežní zóna – LOB, pravobřežní zóna – ROB, koryto – ch).



Obrázek 3: Výchozí metoda dělení profilu (Brunner, 2016).

Alternativou je výpočet přenosu mezi každým bodem za břehovými hranami, kde je následně provedena sumace a je tak docíleno získání hodnoty pro levobřežní zónu a pravobřežní zónu.



Obrázek 4: Alternativní způsob dělení profilu (Brunner, 2016).

Každá z metod vyprodukuje rozdílné výstupy, pokud se v dané úloze vyskytnou výrazné sklony terénu. Základním přístupem programu je provést menší počet přenosů pro jednu výšku vodní hladiny. Na porovnání obou metod byla provedena studie (HEC 1986), nicméně nebylo prokázáno, která metoda je přesnější, pouze to, že dosahují rozdílných výsledků.

5.1.2. Manningův drsnostní součinitel

V základu není koryto rozděleno na části po výšce nebo šířce, nicméně lze této možnosti využít. Program prověří možnost použití rozdělení na části s rozdílnou drsností vně hlavního koryta a pokud nelze tento přístup aplikovat, tak program spočítá jednu hodnotu drsnostního součinitele n pro celé koryto.

K určení celkového drsnostního součinitele je hlavní koryto rozděleno na několik částí a každá má přiřazený omočený obvod a drsnost.

$$n_c = \left[\frac{\sum_{i=1}^N (P_i n_i^{1,5})}{P} \right]^{2/3} \quad (4)$$

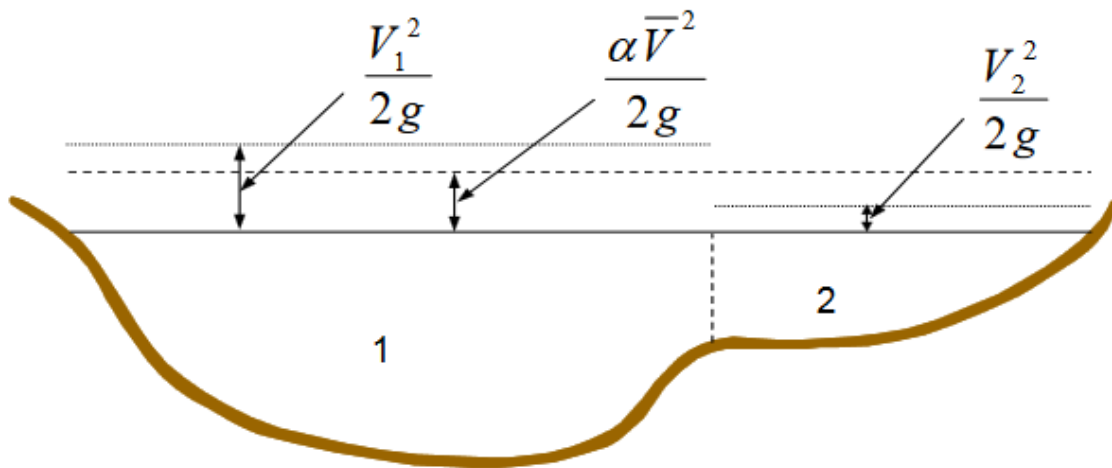
Kde:

- n_c celkový drsnostní součinitel,
- P omočený obvod celého koryta,
- P_i omočený obvod části koryta,
- n_i drsnostní součinitel dané části.

Vypočítanou drsnost je třeba ověřit.

5.1.3. Průměrná výška kinetické energie

Program HEC – RAS počítá pro každý profil pouze jednu výšku hladiny a tím pádem i jednu průměrnou rychlostní výšku. Průměrná hodnota je získána váženým průměrem z částí levobřeží, pravobřeží a koryta. Uvedený obrázek 5 zobrazuje, jak je získána průměrná rychlostní výška z profilu, který se skládá z hlavního koryta a pravobřeží.



Obrázek 5: Schéma pro získání průměrné rychlostní výšky (Brunner, 2016).

Kde:

v_1 průměrná rychlost pro část 1,

v_2 průměrná rychlost pro část 2.

Pro získání průměrné kinetické energie je klíčové získat rychlostní součinitel α . Součinitel α je vypočten následovně:

$$\alpha = \frac{[Q_1 v_1^2 + Q_2 v_2^2 + \dots + Q_N v_N^2]}{Q \bar{v}^2} \quad (5).$$

Kde:

α rychlostní součinitel,

Q_i průtok dané části,

v_i rychlost dané části,

\bar{v} průměrná rychlost.

5.2. Neustálené proudění

Fyzikální zákony, které řídí proudění vody v tocích jsou: zákon zachování hmotnosti a zákon zachování hybnosti.

5.2.1. Rovnice kontinuity

„Rovnice (spojitosti) kontinuity je diskretním vyjádřením zákona zachování hmotnosti.“ (Jandora a Šulc, 2006)

Vyjádření pro 1D je následovné:

$$\frac{\partial \rho v_x}{\partial x} + \frac{\partial \rho}{\partial t} = 0 \quad (6).$$

Kde:

ρ hustota,

v rychlost v příslušném směru,

t čas.

5.2.2. Zákon zachování hybnosti

Jedná se o součet všech sil působících na část proudu kapaliny. Jak uvádí (Jandora a Šulc, 2006), používá se v případě, pokud známe všechny působící síly, ale nedokážeme určit ztráty.

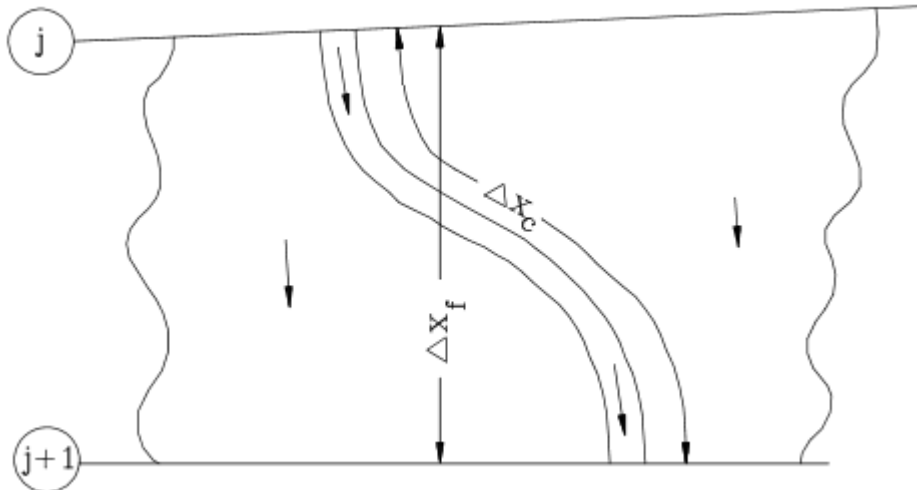
$$F = m \frac{Du}{Dt} \quad (7)$$

Kde:

F	síla,
u	bodová rychlost,
t	čas,
m	hmotnost.

5.2.3. Použití neustáleného proudění

Pokud voda v řešeném úseku toku vyběří z koryta, dochází k zaplavování inundací. Až dojde k dostatečnému zatopení, tedy zvýšení hladiny, nastane v inundacích proudění, a to cestou nejmenšího odporu viz. obrázek 6.



Obrázek 6: Ukázka změny směru proudění při zvýšené vodní hladině (Brunner, 2016).

Vzhledem k tomu, že proudění bývá často ve směru toku, lze pro zjednodušení využívat 1D aproximaci výše uvedeného schématu viz. Obrázek 6. Plochy mimo koryto jsou zaplavovány a přes funkci úložných prostorů lze zprostředkovat výměnu mezi inundací a korytem. Proudění v inundacích lze vyjádřit také jako proudění v samostatném korytě.

Řešení problému proudění v inundacích má mnoho přístupů. Jedním z nich jsou již zmiňovaná samostatná koryta, kdy jsou pro každé koryto sestaveny rovnice kontinuity a hybnosti. U větších toků lze považovat inundace jako zásobní plochy a lze tedy zcela zanedbat transport vody.

5.3. Okrajové podmínky

Pro provedení výpočtu je třeba definovat okrajové podmínky. Pro řešený úsek je N výpočtových uzlů, které spojují $N-1$ buněk. Z těchto buněk je $2N-2$ diferenciálních rovnic, a protože jsou zde dvě neznámé (ΔQ a ΔZ) pro každý uzel. Je třeba dodat dvě další rovnice. Tyto rovnice jsou odvozeny pomocí okrajových podmínek pro každý úsek.

5.3.1. Horní okrajové podmínky

Okrajové podmínky jsou potřebné na samém začátku řešeného úseku, tím je myšleno proti proudu nejdále položené, které nejsou spojeny s nádrží, nebo dalším tokem. Okrajové podmínky jsou zde zadány ve formě hydrogramu.

5.3.2. Dolní okrajové podmínky

Tyto okrajové podmínky je třeba zadat na konec řešeného úseku, pokud není úsek na konci spojený s nádrží, nebo dalším úsekem. Zde mohou být vybrány 4 okrajové podmínky:

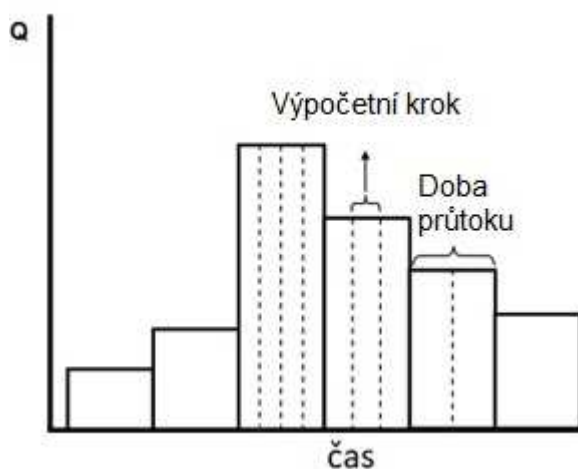
1. Průběh vodní hladiny v čase.
2. Průběh průtoků v čase.
3. Q – H křivka.
4. Sklon čáry energie.

5.4. Modelování sedimentů

Transport splavenin a následné modelování sedimentů je značně obtížné. Data na předpovídání nebo simulaci pohybu splavenin jsou od počátku zatíženy značnou nejistotou. Použité empirické vztahy jsou citlivé na široké spektrum fyzikálních proměnných. S kvalitními daty a schopnostmi výpočtáře je možné docílit získání kalibrovaného modelu na předpověď sedimentů v regionálním měřítku, dlouhodobý vývoj sedimentů, který bude podkladem pro plánování dalších projektů.

5.4.1. Po částech ustálené proudění

Před tím, než může program provést samotný výpočet transportu sedimentů, je třeba nejprve zajistit správné vyřešení daného úseku z hydraulického hlediska. HEC – RAS používá hydrodynamická zjednodušení, která jsou běžná pro řadu modelů na simulaci pohybu sedimentů. Po částech ustálené proudění předpokládá aproximaci hydrogramu na diskrétní profily s ustáleným prouděním. Pro každý krok v hydrogramu zůstává proudění konstantní po specifickou dobu transportu viz. obrázek 7. Ustálené proudění je jednodušší na výpočet, než plně neustálené proudění a výpočet je tak rychlejší. Každá diskretizovaná hodnota ustáleného proudění pro výpočet transportu sedimentů je rozdělena na další části po menších časových úsecích. HEC – RAS využívá tři rozdílných časových kroků pro každou část.



Obrázek 7: Hydrogram pro výpočet po částech ustáleného proudění (Brunner, 2016).

5.4.1.1. Doba proudění

Doba proudění je hrubý odhad časového kroku. Reprezentuje dobu, po kterou průtok, hladina, teplota, nebo sedimenty jsou konstantní. Například, pokud hydrogram byl získán odečítáním jednou denně, doba proudění daného průtoku by byla dvacet čtyři hodin, pokud by nebyl časový krok zmenšen pomocí interpolace.

5.4.1.2. Výpočetní krok

Doba proudění je dále rozdělena na výpočetní krok, ačkoliv je průtok konstantní, v průběhu výpočtu je geometrie dna aktualizována a zároveň dochází k aktualizování hydrodynamické části po každém výpočetním kroku. Stabilita modelu může být citlivá na časový krok, proto je geometrie dna změněna pouze na konci časového kroku. Pokud výpočetní krok je příliš velký, geometrie dna není aktualizována dostatečně často a výsledky modelu mohou být rozdílné.

5.4.1.3. Výpočtový krok změny dna

Dále je výpočtový krok rozdělen na výpočet změny dna. V průběhu výpočtu změny dna je výpočtový krok, hydrogram, hydraulické parametry, a potenciál transportu sedimentů pro dané zrnitosti konstantní. Nicméně eroze a usazování je součástí výpočtu v tomto časovém kroku a může zapříčinit změny kompozice v promíchání vrstev dna. Tím je myšleno aktivní část, krycí vrstvu a neaktivní část dna. Výškové rozdělení profilu je přetvořeno podle vymílání, nebo sedimentace materiálu. Vzhledem ke změně aktivní vrstvy vlivem promíchání vrstev dochází ke změně transportní schopnosti sedimentů, a to i pokud hydrodynamické parametry a samotný transportní potenciál zůstávají konstantní.

5.4.2. Rovnice spojitosti pro sedimenty

HEC – RAS pro řešení transportu sedimentů vychází z rovnice spojitosti, také jinak známou jako Exnerovu rovnici, která je vyjádřena takto:

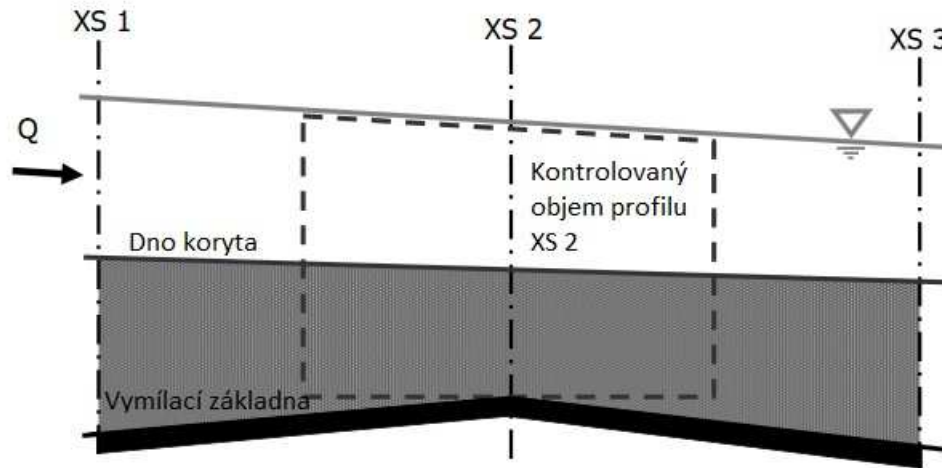
$$(1 - \lambda_p)B \frac{\partial Z}{\partial t} = - \frac{\partial Q_s}{\partial x} \quad (8).$$

Kde:

B	šířka koryta,
Z	nadmožská výška koryta,
λ_p	pórovitost aktivní vrstvy,
t	čas,
x	vzdálenost,
Q_s	průtok splavenin.

Rovnice představuje změnu objemu sedimentů v kontrolovaném objemu, která se rovná změně mezi přítokem a odtokem materiálu.

Pro výpočet transportní kapacity HEC – RAS používá rovnici spojitosti přes kontrolovaný objem ztotožněný s každým profilem, princip je zobrazen na obrázku 8. Tato kapacita je porovnána s příchozím materiálem do kontrolovaného objemu. Pokud je kapacita větší než příchozí materiál, dochází k erozi dna. Pokud příchozí materiál předčí kapacitu, je zde nadbytek materiálu a dochází k ukládání.



Obrázek 8: Schéma kontrolovaného objemu pro výpočet sedimentů v programu (Brunner, 2016).

5.4.2.1. Výpočet transportní kapacity

Pravostranná část rovnice kontinuity (8) je gradient přes kontrolovaný objem při porovnání přítoku materiálu mezi odtokem materiálu. Přítok splavenin je vstup splavenin do kontrolovaného objemu z kontrolovaného objemu nad tímto profilem a jakýmkoliv lokálním zdrojem. Maximální množství splavenin, které mohou opustit kontrolovaný objem je množství, které je voda schopna přesunout. Tomu se říká transportní kapacita a je vypočtena pro každý kontrolovaný objem v časovém kroku výpočtu změny dna.

5.4.2.2. Třídy zrnitosti

HEC – RAS umožňuje zatřídit materiál sedimentů do tříd zrnitosti. Rozsah zatřídění je od 0,002 mm po 2048 mm a je rozdělen na 20 zrnitostních tříd. Všechny částice v dané zrnitostní třídě jsou reprezentovány pomocí jedné hodnoty zrnitosti. HEC – RAS používá průměrný tvar zrn pro danou zrnitostní třídu.

5.4.2.3. Potenciál transportu sedimentů

Potenciální transport sedimentů je vyjádření kolik materiálu a jaké frakce za daných hydraulických podmínek může být transportováno. Transportní potenciál je vypočten pomocí jedné rovnice z výběru, kterou program nabízí. Vzhledem k tomu, že většina byla vytvořena pro použití u jedné frakce, je rovnice využita nezávisle pro každou frakci vloženou k výpočtu. Tato hodnota, vypočtena zvlášť pro každou frakci, bez ohledu na jejich pozici ve dně, je nazývána transportním potenciálem.

V tuto chvíli je k dispozici sedm funkcí na výpočet transportního potenciálu. Je to především pro to, že transport splavenin je citlivý na mnoho proměnných, potenciály spočítané rozdílnými rovnicemi se mohou lišit v rozsahu několika řádů v závislosti na daném materiálu řešeného projektu a hydraulických parametrech. Hlavně díky tomu, že rovnice vznikly za určitých podmínek. Proto by měla volba rovnice odpovídat podobnosti mezi úsekem, pro který rovnice vznikla a úsekem řešeným.

Acker a White

Tato funkce byla vyvinuta z dat získaných ve žlabu pro relativně stejnoměrné odstupňování od písku po jemný štěrku. Hydraulická část byla zvolena tak, aby obsáhla různé konfigurace dna jako je vrásnění, duny a rovné dno. Suspendované látky jsou funkcí smykové rychlosti, zatímco dno je funkcí smykového napětí.

England Hansen

England Hansen je transportní rovnice, která byla vyvinuta z dat získaných ve žlabu. Vychází z relativně stejnozrnných částic písku mezi 0,19 mm a 0,93 mm. Hlavní výhodou této rovnice je nekomplikovaná funkce. England Hansen rovnice je funkcí průřezové rychlosti, smyku dna a zrna d_{50} zadaného materiálu. Aplikace této rovnice by měla být omezena pouze na písčité podloží.

Laursen – Copeland

Laursen je také transportní rovnicí, která byla původně založena na výsledcích ze žlabů, ale později byla rozšířena Maddenem, aby obsahovala data z řeky Arkansas. Je to základní funkce přebytečného smyku a poměru smykové rychlosti k rychlosti gravitační. Později, Copeland pozměnil rovnici tak, aby umožnila transport štěrku.

Charakteristická možnost pro Laursen je, že funkce materiálu sedimentů byla vyvinuta i pro jemnozrnné částice. Žádná jiná funkce dostupná v HEC – RASu nebyla vyvinuta pro bahno. Ostatní funkce počítají sedimentační potenciál pro bahno jiným přístupem, extrapolací, což vnáší do systému další nepřesnosti už tak nejistého výpočtu transportní kapacity.

Meyer – Peter Müller

Meyer – Peter a Müller (MPM) rovnice byla jednou z prvních vyvinutých rovnic a je jednou z nejpoužívanějších pro dnové splaveniny. Zjednodušeně je to vztah nadbytečného smyku. Jasně definovaná rovnice pro dno vyvinutá na žlabových experimentech, kde dno bylo rovné a tvořeno z písku a štěrku. Většina dat byla získána z relativně stejnozrnného štěrku. MPM je nejvíce úspěšná, pokud je použita na štěrku. Má sklon k podhodnocení transportu jemnějších částic, to dokládá Wong (2003) a Wong a Parker (2007), kteří zjistili odchylku o dva řády. Tento závěr byl vytvořen nad originálními výsledky, které byly znovu analyzovány a pozměnili konstanty v rovnici pro zlepšení funkce.

Toffaletti

Jako England – Hansen i Toffaletti je transportní funkcí vyvinutou primárně pro částice písčitého typu. Tato rovnice je považována za funkci pro velké řeky, nicméně vzhledem k datům použitých pro vývoj, není funkce velmi závislá na smykové rychlosti a smykovém napětí dna. Místo toho je formulována jako regrese teploty a empirického exponentu, který popisuje vztah mezi sedimentem a hydraulickými charakteristikami.

Rozdíl v přístupu Toffaletiho funkce je rozdělení vodního sloupce po výšce na zóny a počítá koncentrace pro každou zónu jednoduchou aproximací zvlášť. Navíc funkce používá dvě rozdílné velikosti zrna d_{50} a d_{65} , ve snaze kvantifikovat transportní závislost od střední hodnoty. Pokud je tento přístup aplikován pro jednotlivé třídy zrnitosti, umožní rozšíření originálního parametru d_{65} .

Yang

Yang transportní rovnice je založena na transportu materiálu vlivem síly proudu. Hlavními parametry je rychlost a smykové napětí. Tato funkce byla testována jak na

žlabu, tak při terenním měření. Rovnice je složena ze dvou oddělených vztahů pro písek a štěrk. Přechod mezi pískem a štěrkem je vyhlazen, aby nedocházelo k velkým diskontinuitám. Funkce je velice citlivá na rychlost proudění a vliv gravitační rychlosti.

Wilcock

Wilcock je rovnice vyvinuta pro dna s výskytem písku a štěrku. Je to metoda povrchového přenosu založena na teorii, že dochází k transportu materiálu hlavně na styku s proudem. Tento přístup byl odvozen ze žlabů a řek. Jemnozrné částice mají potlačený transportní potenciál, protože Wilcock předpokládá, že větší štěrková zrna neumožní jemnozrným částicím k přístupu celé síle proudu.

5.4.2.4. Transportní kapacita

Jakmile je transportní potenciál vypočtený pro každou třídu zrnitosti, je třeba pro celý systém spočítat jednu reprezentativní hodnotu. Každý potenciál byl vypočten bez přihlídnutí na ostatní zrnitostní třídy, jako by se systém skládal pouze z jedné zrnitostní třídy dané frakce. Potenciál třídy zrnitosti musí být vztažen k jejímu relativnímu množství.

Transportní kapacita pro každou třídu zrnitosti je transportní potenciál vynásobeným procentuálním obsahem dané třídy zrnitosti ve dně. Kde rovnice vypadá takto:

$$T_c = \sum_{j=1}^n \beta_j T_j \quad (9).$$

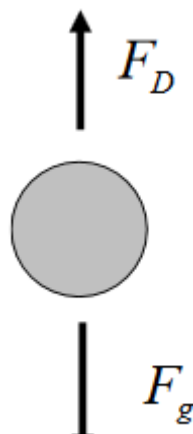
Kde:

- T_c celková transportní kapacita,
- n_z číslo třídy zrnitosti,
- β_j procentuálně vyjádřené množství materiálu j v aktivní vrstvě,
- T_j transportní potenciál materiálu j .

Rovnice kontinuity je použita pro každou třídu zrnitosti odděleně. Celková kapacita není nikde v programu použita. Vypočtená kapacita je porovnána s každou třídou zrnitosti a tím je určen nadbytek, nebo nedostatek pro danou třídu zrnitosti.

5.4.2.5. Usazovací rychlost

Většina teorií je postavena na vyrovnání gravitační síly a unášecí síly působící na částici unášenou vodním sloupcem, jev ilustruje obrázek 9.



Obrázek 9: Síly působící na částici (Brunner, 2016)

Rovnice pro dané síly jsou:

$$F_D = \frac{1}{2} \pi \rho c_D \left(\frac{D}{2}\right)^2 v_s^2 \quad (10)$$

$$F_g = \frac{4}{3} \pi \rho R g \left(\frac{D}{2}\right)^3 \quad (11).$$

Kde:

F_D	unášecí síla,
F_g	gravitační síla,
ρ	hustota,
D	průměr zrna,
v_s	rychlost splavenin,
g	gravitační konstanta,
c_D	koeficient unášení,
π	matematická konstanta,
R	hydraulický poloměr.

Aplikace těchto rovnic je více komplexnější, než se zdá. Usazovací rychlost je funkcí koeficientu unášení, což je funkce Reynoldsova čísla, které je také funkcí usazovací rychlosti. To vyžaduje využití aproximace koeficientu unášení Reynoldsova čísla nebo iterační řešení.

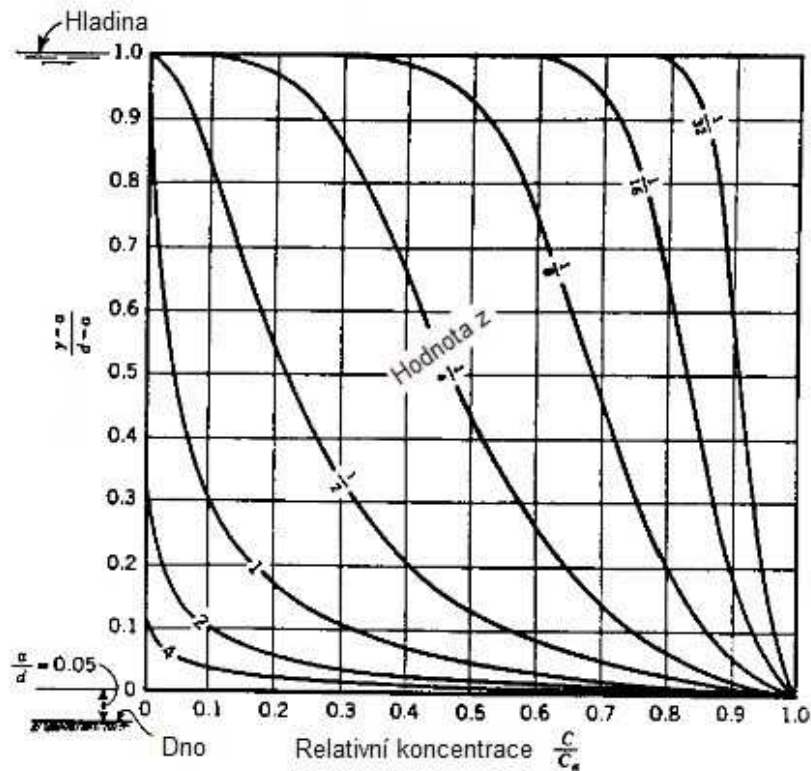
Rubey obešel tuto závislost díky předpokládání vlastnosti a vytvořil jednoduchou analytickou funkci pro řešení usazovací rychlosti. Toffaleti sestrojil empirickou křivku usazovací rychlosti, která byla založena na experimentálních datech. Van Rijn použil jako základní předpoklad podle Rubey a vypočítal nové hodnoty usazovací rychlosti pro zkoumané křivky založené na Reynoldsově čísle, které spočítal podle počátečního předpokladu. Report 12 je iterační řešení, které používá stejné křivky jako Van Rijn, ale používá nově spočítané usazovací rychlosti pro výpočet Reynoldsova čísla. Celý výpočet probíhá do doby, než je dosaženo dostatečně malé odchylky mezi předpokládanou usazovací rychlostí a vypočtenou.

Usazovací rychlost je také závislá na tvaru zrna. Pouze Report 12 je dostatečně flexibilní na to, aby dokázal počítat usazovací rychlost jako funkci tvaru.

5.4.3. Efektivní transportní výška

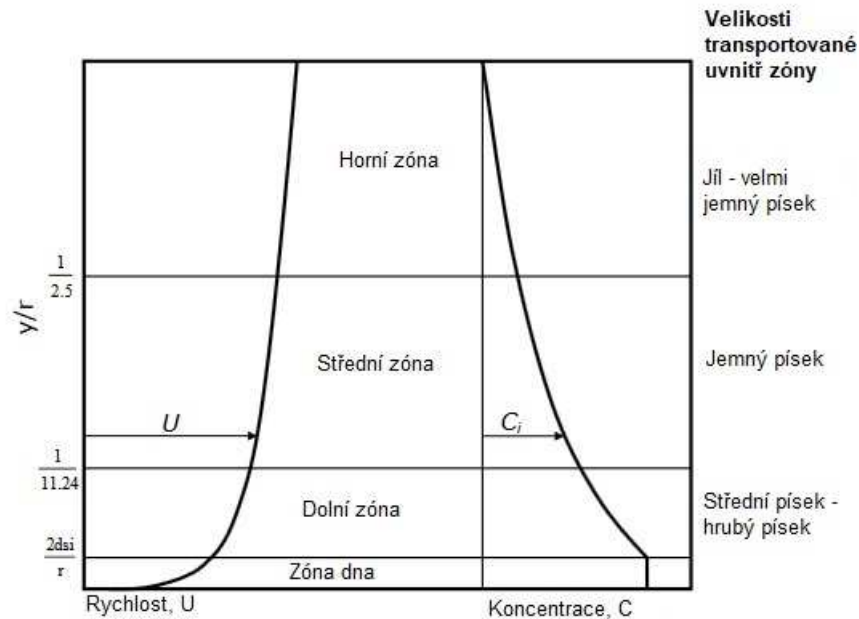
Omezovač usazování pracuje na principu porovnávání klesání částice v průběhu času a vzdálenosti, kterou je daná částice schopna urazit. Délka klesání, kterou je částice schopna překonat je vypočtena pomocí jedné metody pro výpočet usazovací rychlosti. Vzdálenost, kterou je schopna částice urazit závisí na koncentraci dané třídy zrnitosti v průtoku. Splaveniny nejsou stejnoměrně rozprostřeny v rámci vodního sloupce.

Teorii klasické koncentrace v profilu vyvinul Rouse (1963) a shrnuta je na obrázku 10. Rouseovo číslo z je vyšší pro větší částice a nižší pro vyšší vymílací rychlosti. Menší částice a vyšší vymílání má za následek rozložení suspendovaných částic po celém vodním sloupci. Tato skutečnost koresponduje s větší vzdáleností, kterou musí průměrná částice urazit při sedimentaci, aby se usadila.



Obrázek 10: Rousův koncentrační profil (Brunner, 2016)

Jak již bylo zmíněno výše (strana 25), Toffaleti rozdělil vodní sloupec do čtyř částí a vypočítal každou zónu zvlášť. To lze považovat jako diskrétní integraci Rousova profilu. HEC – RAS používá tyto čtyři zóny jako efektivní transportní hloubku pro rozdílné velikosti zrn. Zrnatostní třídy obsahující velmi jemný písek a třídy ještě menší, jsou rovnoměrně rozloženy do vodního sloupce. Jemný písek je plně promíchán ve střední a spodní vrstvě. Zároveň se vyskytuje i ve dně, které se skládá ze 40 % vodního sloupce. U hrubších částic se předpokládá pohyb relativně blízko dna. Středně zrný písek a hrubší částice se usazují hlavně ve spodní vrstvě a dně, stejně tak ve smíšené vrstvě, která je zhruba 9 % výšky vodního sloupce založeného na Toffaletiho regresí, viz obrázek 11.



Obrázek 11: Toffalettiho zóny pro rozdělení vodního sloupce (Brunner, 2016).

Ovšem i tento přístup má svá omezení. Uvažuje se, že materiál je rovnoměrně rozložený v rámci zóny na začátku každého časového kroku. To je zjednodušení gradientů koncentrace, jak je zobrazeno na Obrázek 10. Zároveň předpoklad neřeší vertikální proudění v příčném profilu. Spojením pouze transportní hloubky s velikostí zrna je způsobeno ztráty závislosti na Rousově vymílací rychlosti. Transportní zóna je zcela promíchána a na začátku každého časového kroku. Nedochozí k uložení dat, kde se částice nacházela v průběhu usazování v minulém časovém kroku. Navzdory omezením, dočasný omezovač usazování zajišťuje výhodu omezení množství, kterému je umožněno sedimentovat, podle aproximace fyzikálních procesů, oproti přímému přístupu kontinuity.

5.4.4. Dočasný omezovač vymílání

Podobný omezovači usazování, eroze je také dočasně závislý proces. Proto není umožněno nekonečnému množství materiálu, aby se vymlelo v rámci jednoho časového kroku. Kvůli tomu musí být použit na vypočítaný deficit kontinuity dočasný omezovač. Fyzikální jev, který určuje dočasnou povahu eroze není zatím dostatečně dobře porozuměn, tak jako fyzikální jevy ukládání. Rovnice použité pro výpočet jsou více empirické a méně přesné.

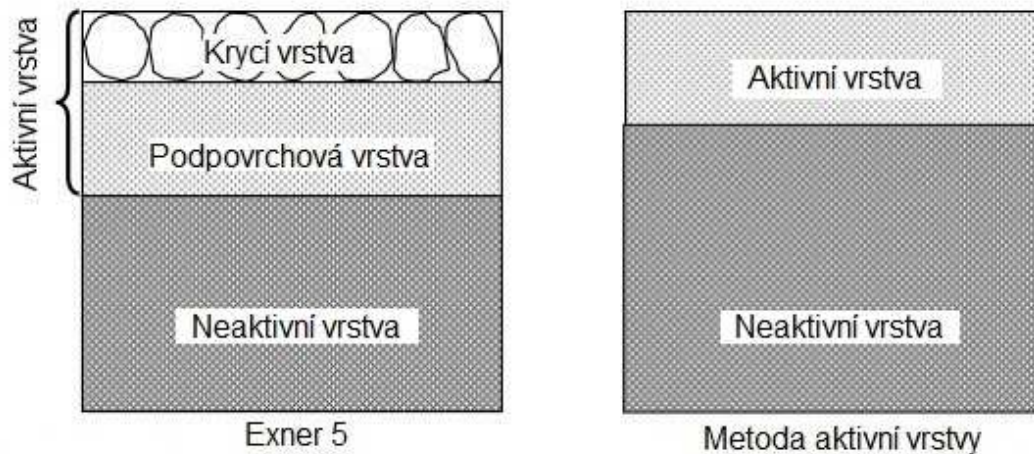
Současná teorie použitá v programu HEC – RAS je založena na charakteristické délce průtoku. Rozhodující předpoklad založený na nezdokumentovaných experimentech, kdy proudové pole vyžaduje třicetkrát více hloubky vody, aby plně snížil deficit kontinuity. Nicméně program uvolní vždy minimálně 36,8 % deficitu k erozi.

5.4.5. Třídění a krycí vrstva

I vymílání má své limity. V řekách, které mají širokou zrnitostní křivku, je dno koryta pokryto vrstvou hrubozrnného materiálu, který se nazývá krycí vrstva. Tato vrstva může být statická, nebo se vytvoří transportem jemnějšího materiálu. Hlavně nádrže položené v dolní části toku jsou choulostivé na odnos jemnozrnných materiálů, přitom hrubozrnný materiál zůstává statický.

Krycí vrstva má tendence snižovat celkový transport splavenin, protože povrchové částice jsou jediné částice, které se mohou transportovat. Hrubé částice jsou méně náchylné na odnos. Tento jev je také fyzikální limitací transportní kapacity.

K vytvoření krycí vrstvy je možné použití dvou algoritmů. Jedním je metoda aktivní vrstvy a druhým je Exner 5, schéma obou algoritmů je zobrazeno na obrázku 12. Oba algoritmy jsou založeny na rozdělení dna na aktivní vrstvu a neaktivní vrstvu. Klíčový rozdíl mezi aktivní vrstvou a neaktivní vrstvou je, že počítání transportní kapacity násobením transportního potenciálu s procentuálním zastoupením velikosti zrn, která je založena pouze na rozdělení částic v aktivní vrstvě.



Obrázek 12: Porovnání algoritmů pro vytvoření krycí vrstvy (Brunner, 2016).

5.4.5.1. Exner 5

Jedná se o třívrstvý algoritmus dna, který zahrnuje ovlivnění krycí vrstvy. Tento algoritmus rozdělí aktivní vrstvu na krycí vrstvu a podpovrchovou vrstvu. K ukládání a vymílání dochází v krycí vrstvě, nicméně k výpočtu kapacity sedimentů dochází v aktivní vrstvě, což je krycí vrstva a podpovrchová vrstva. Pokud je krycí vrstva hrubozrnná, kapacita jemnozrnných materiálů bude snížena, protože jemná frakce zaujímá menší procentuální zastoupení v aktivní vrstvě.

6. Praktická aplikace

6.1. Identifikace území

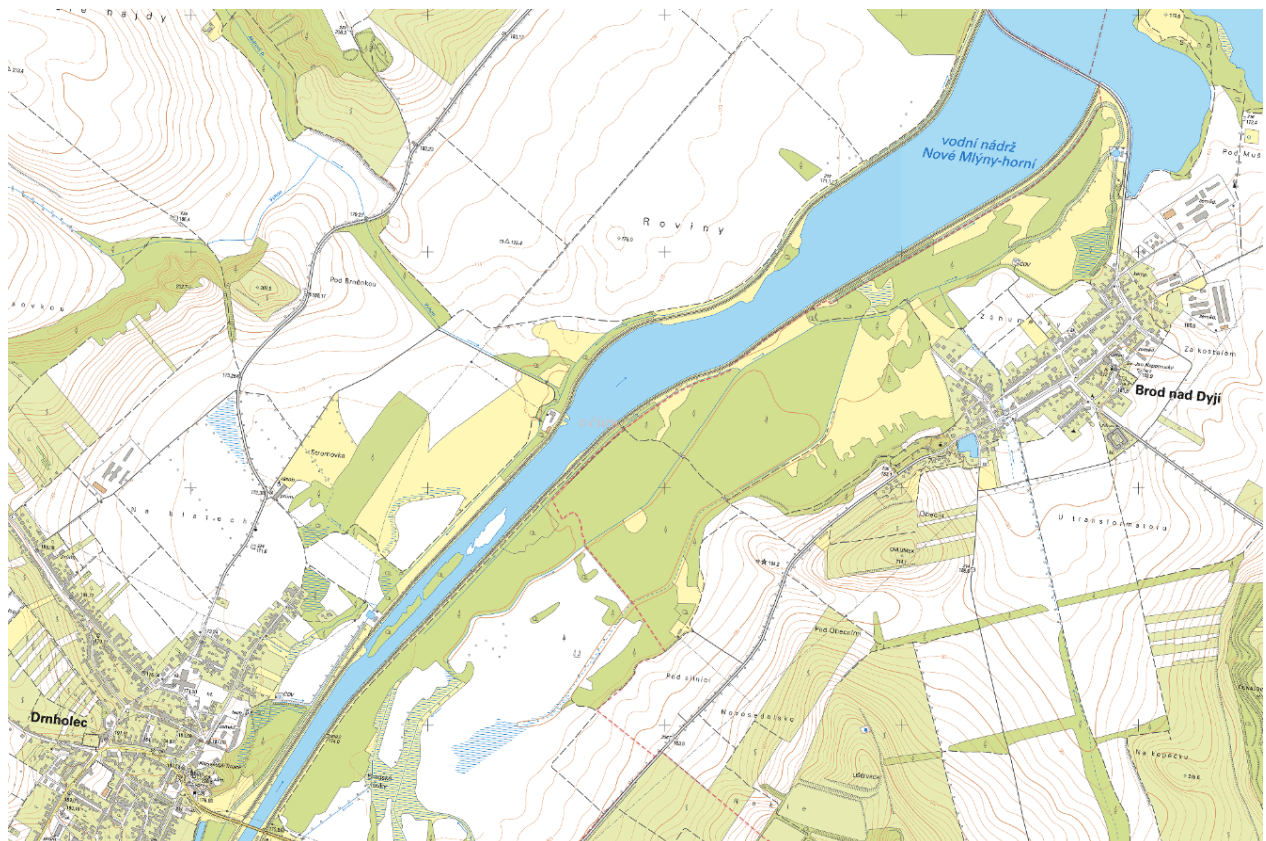
Povodí: Moravy

Řeka: Dyje

Říční km úseku: 74,76 – 79,578 (Povodí Moravy, s. p., 2002)

Úsek: Od silničního mostu Drnholec po silniční most Brod nad Dyjí – Pasohlávky

Řeka Dyje protéká Jihomoravským krajem a její celková délka je 235,4 km. Charakter toku Dyje v daném úseku je významně ovlivněný antropogenní činností. Po celé délce úseku je tok z obou stran ohrázován zemní hrází s komunikací na koruně, která slouží jako cyklo stezka pro veřejnost a jako obslužná komunikace pro správce toku. Návodní svahy jsou opevněny kamenným záhozem. Koryto toku je napřímeno. Vně toku se vyskytují ostrovy s vegetací, které vznikly jako nánosy a přirozenou sukcesí zde daly za vznik lokality vhodné pro hnízdění vodního ptactva. Na řešeném úseku se vyskytují dvě čerpací stanice a na levém břehu se nachází potok Výhon. Součástí řešeného úseku je i část Horní nádrže po silniční most mezi obcemi Brod nad Dyjí a Pasohlávky. Zobrazení širších vztahů je zobrazeno na obrázku 13. Náhled na řešenou lokalitu z ptáčích perspektivy můžeme vidět na obrázku 14, který poskytlo Povodí Moravy, s. p. v rámci projektu SEDECO.



Obrázek 13: Náhled širších vztahů zájmového území (Základní mapa 1:10 000, 2010)



Obrázek 14: Letecký snímek zájmového území. (Povodí Moravy, s. p., 2018)

6.2. Správní údaje

Tok: Dyje

Správce toku: Povodí Moravy s. p.

Identifikace toku: 4 – 14 – 03 – 068 (34-12 Pohořelice, 1995)

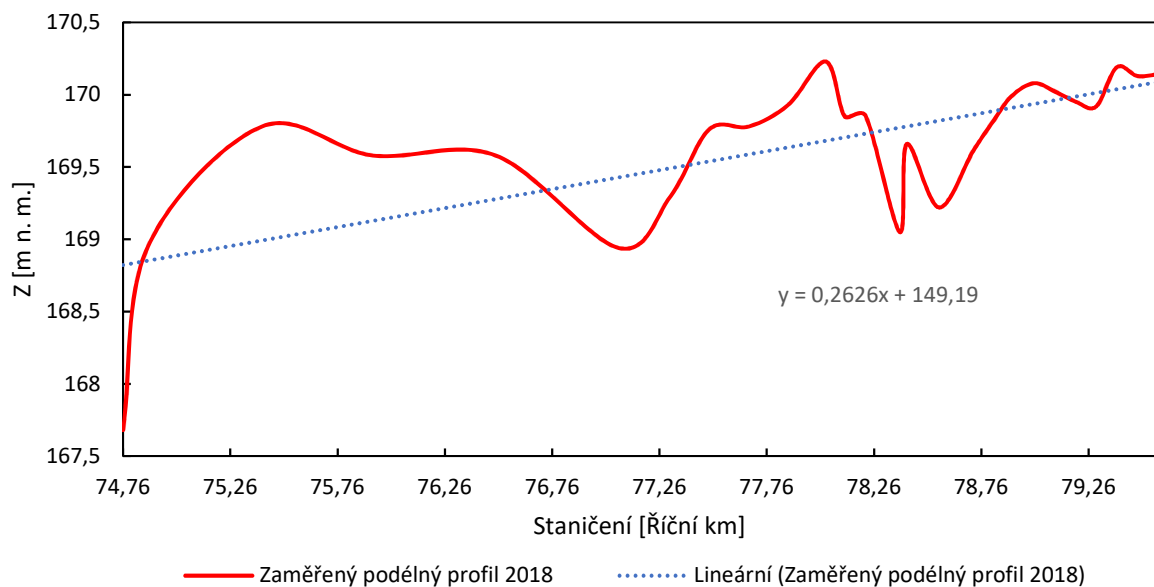
Plocha povodí: 13 419 km²

6.3. Hydrologie

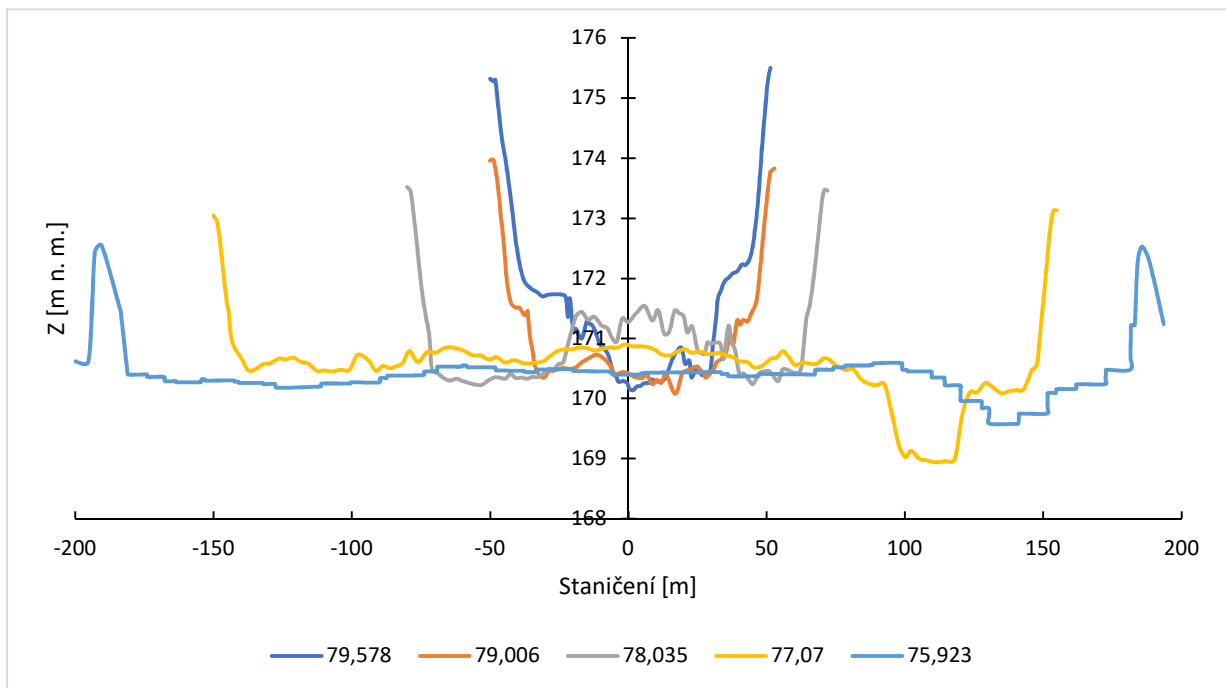
Úhrn srážek je v lokalitě zhruba 400–500 mm za rok (Úhrn srážek v roce 2018, 2019). Jedná se o území, které lze považovat za jedno z nejteplejších v celé České republice.

6.4. Morfologie koryta

Délka úseku je 4,818 km. Průměrný podélný sklon je 0,26 ‰, určení podélného sklonu je ilustrováno na obrázku 15. Průměrný sklon svahů hrází je 1:3. Na obrázku 16 jsou zobrazeny vybrané příčné profily řešeného úseku. Úzké řezy jsou řeka Dyje, které se postupně rozšiřuje do Horní nádrže vodního díla Nové Mlýny.



Obrázek 15: Určení podélného sklonu pomocí spojnice trendu.



Obrázek 16: Vybrané příčné profily po přibližně 1 km.

6.5. Historie

V řešeném úseku byly snahy o hospodaření s vodou již v 18. stol., kdy byly prováděny pouze drobné úpravy. K samotnému napřímení došlo až ve 20. stol. v 70. letech, kdy bylo plánováno podle projektu z 50. let vybudování VD Nové Mlýny a vytvoření zavlažovacích kanálů. V roce 1978 byla dokončena horní nádrž vodního díla. Následovaly nádrže střední a dolní. Kaskáda jako celek byla uvedena do provozu v roce 1989. Lokalita byla náchylná na záplavy a snaha zužitkovat co možná největší plochu dala za vznik tomuto vodnímu dílu, ačkoliv i v tehdejší době byla realizace projektu kontroverzním tématem. Zavlažovací kanály nikdy nebyly zrealizovány.

Vodní dílo svojí ochrannou funkcí potvrdilo již několikrát v historii, kdy pomohlo převést povodně například v roce 1997, 2002, 2006 a 2009.



Obrázek 17: Fotka znázorňující škody způsobené povodní v roce 2002 (Archiv Jihomoravského muzea)



Obrázek 18: Povodeň v roce 2009 zachycená na hrázi Dolní nádrže Nové Mlýny (Bartoš, 2009).

6.6. Rekognoskace terénu

Úsek prochází extravilánem a podél toku jsou hráze s obslužnou komunikací, která slouží veřejnosti jako cyklostezka, jak je patrné z obrázku 19. Za hrázemi na levé straně toku se nachází hospodářská půda a dvě čerpací stanice, jedna z nich je zachycena na obrázku 20. Na straně pravé je úzký pás lesa.



Obrázek 19: Pohled proti proudu Dyje v místech horní části Horní nádrže (Archiv autora, 2019).



Obrázek 20: Koryto řeky Dyje s mrtvým dřevem, ostrůvky s vegetací a čerpací stanicí na levém břehu toku. (Archiv autora, 2019).

6.7. Zdroje splavenin

6.7.1. Zdroj z výše položeného úseku koryta

Výše po toku se nachází vodní dílo Znojmo a Vranov, které mohou zachytávat splaveniny ve svém objemu, nicméně na obou vodních dílech může docházet k proplachům sedimentů a tím k distribuci sedimentů dále po toku, informace o proplachu nejsou známy. Splaveniny jsou unášeny buď samotnou Dyjí nebo přítoky Dyje do nádrže Nové Mlýny.

6.7.2. Zdroj v úseku koryta

Břehy jsou opevněny kamenným záhozem a prorostlé vegetací, která zajišťuje dostatečnou stabilizaci, na daném úseku nedochází k boční erozi. Dochází k vymílání dna a tvorbě nánosů.

6.7.3. Zdroje v povodí úseku koryta

Úsek vodního toku je ohrázený, nedochází tedy ke smyvům do toku z povodí úseku.

6.8. Zaměření koryta a horní části Horní nádrže Nové Mlýny

Pro sestavení modelu bylo třeba zaměřit současný stav úseku. Před samotným geodetickým zaměřením Povodí Moravy, s. p. zajistilo určení zaměřovaných profilů a vysečení potřebných pásů ve vegetaci. Vzdálenost mezi řezy byla určena jako šířka předešlého profilu, při potřebě byla tato vzdálenost změněna, především kvůli správnému postihnutí tvaru toku. Samotné zaměření spočívalo v upevnění kotvících kůlů pomocí kladiva na březích a natažení lana pro zachování přímosti řezu. Následně se uskutečnilo samotné geodetické zaměření, které se provádělo podél vodícího lana z lodi. Jednotlivé body byly od sebe vzdáleny zhruba jeden metr. Na obrázku 21 je vidět přípravu na samotné měření. Zkouška geodetického přístroje na bázi GPS a připravený člun s veškerým potřebným vybavením. Zároveň jsou již zatlučeny kůly a nataženo lano.



Obrázek 21: Vlevo na fotografii měřící přístroj a vpravo člun s potřebným vybavením (SEDECO – Report 1, 2019).

Zaměření profilů bylo prováděno v srpnu 2018, na hladině můžeme pozorovat na Obrázek 22 bujnou vegetaci Okřehku menšího. Na obrázku 22 je tříčlenná posádka člunu v pozadí s nataženým lanem a připravenou lodí pod vedením pana doc. Ing. Daniela Martona, Ph.d. Každý měřičský tým byl tvořen čtyřmi členy.



Obrázek 22: Vysečený pruh ve vegetaci v místě řezu, zatlučené kůly s nataženým lanem pro zachování linie řezu s připravenou lodí na břehu. (SEDECO – Report 1, 2019)

Na obrázku 23 můžeme pozorovat proces měření. Násada s GPS zařízením byla ponořena na dno, vyčkalo se na signál, který znamenal úspěšné zapsání souřadnic a nadmořské výšky, následně se loď přesunula o zhruba jeden metr a proces se opakoval po celou délku příčného profilu. Natažené lano slouží jako stabilizace lodi a vodící linie.



Obrázek 23: Proces měření příčného profilu toku Dyje (SEDECO – Report 1, 2019)

Zaměřením dna nádrže byla pověřena firma Vars Brno a.s., která zajistila pomocí plavidla Caperea, obrázek 24, mračno bodů mapující část Horní nádrže Nové Mlýny na přítoku. Zaměřené body sloužily pro vytvoření spojitého digitálního modelu terénu.

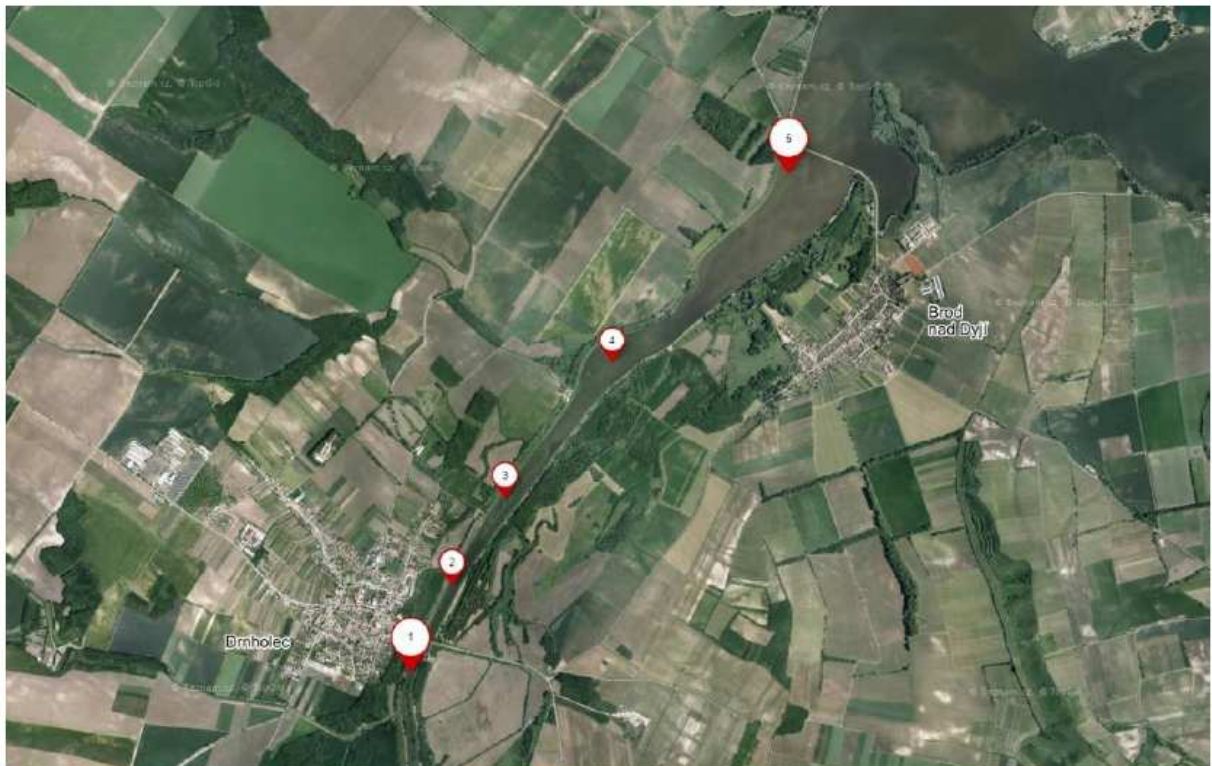


Obrázek 24: Loď Caperea zajišťující monitoring (Vars Brno a. s. 2019)

6.9. Zrnitostní křivky

6.9.1. Odběr vzorků pro stanovení křivek zrnitosti

Pro stanovení zrnitostních křivek bylo třeba provést odběry v zadaném úseku a shromáždit materiál. Místa odběrů znázorňuje obrázek 25. Sedimenty se odebíraly přímo z povrchu dna, a to buď z vody, pokud hloubka vody tuto možnost umožnila, nebo z lodi, pokud byla hloubka vody příliš vysoká.



Obrázek 25: Místa odběrů sedimentů pro stanovení křivek zrnitostí (SEDECO – Report 2, 2019)

Samotné nabírání materiálu bylo provedeno tažením zednické naběračky s dlouhou násadou po dně, kdy došlo ke sběru sedimentů. Zednická naběračka byla zvolena pro svoji pevnost. Pohyb tažení se provedl proti proudu, aby bylo minimalizované odplavování materiálu z naběračky proudem vody, kvůli tomu v průběhu zvedání byla přiložena poklice, aby byl tento negativní jev co nejvíce minimalizován. Na každém odběrném místě se provedlo několik odběrů, aby bylo zajištěno zachycení všech dostupných frakcí v daném místě. Každý vzorek byl vložen do igelitového pytlíku, který byl popsán patřičným číslem vzorku a igelitový pytlík i s materiálem byl uzavřen do krabičky, aby se zachovala vlhkost daného materiálu v průběhu převozu do laboratoře. Odebrání vzorků je zachyceno na Obrázek 26 – 29. I pouhým okem lze vidět odlišnost v zrnitosti materiálu, kdy vizuálně vzorky jedna až čtyři jsou podobné a vzorek pět z nádrže je výrazně odlišný, viz. obrázek 30.



Obrázek 26: Odběr vzorku 1(SEDECO – Report 2, 2019)



Obrázek 27: Odběr vzorku 2 (SEDECO – Report 2, 2019)



Obrázek 28: Místo odběru vzorku 3 (SEDECO – Report 2, 2019)



Obrázek 29: Odběr vzorku 4 (SEDECO – Report 2, 2019)



Obrázek 30: Odebraný materiál pro vzorek 5 (SEDECO – Report 2, 2019)

6.9.2. Stanovení křivek zrnitosti

Zrnitostní křivky pro vzorky byly stanoveny v rámci projektu SEDECO paní Ing. I. Kameníčkovou, Ph.D, která pro stanovení zrnitostních křivek použila prosévací metodu. Tato metoda spočívá ve vysušení daného materiálu a umístění vzorku na síto s průměry ok, které byly pro daný odběr určeny jako přicházející do úvahy, 2 mm až 0,032 mm. Celá sestava i s materiálem byla následně rozvibrována. Materiál se díky vibračním roztřídil dle

patříčných velikostí. Celý proces ilustruje fotografie na obrázku 31. Zrnitostní křivky byly stanoveny celkem třikrát, a to především kvůli snížení nejistot při samotném zatřídění a také k odhadu následného přístupu ke vzorkům, viz vzorek číslo pět.

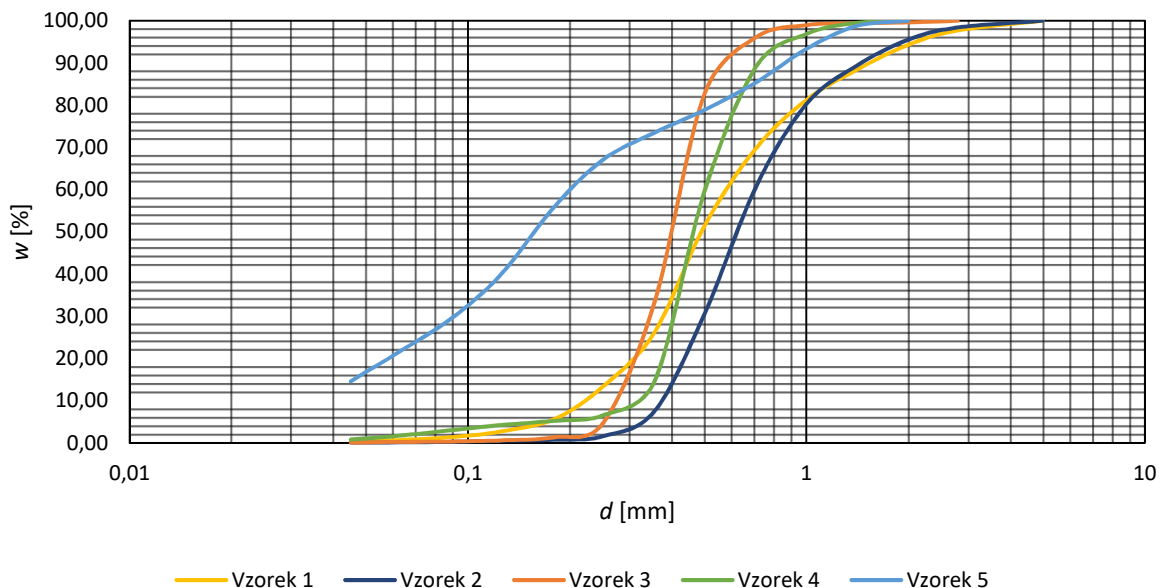


Obrázek 31: Ukázka postupu při prosévací zkoušce (SEDECO – Report 2, 2019).

Zrnitostní křivka pro odebraný vzorek číslo pět byla stanovena složením dvou metod, a to prosévací metodou a Casagrandeho metodou. Důvodem pro provedení navíc hustoměrné zkoušky Casagrandeho metodou byl obsah jemnějších částí jak 0,032 mm. Postup měření ilustrují přiložené fotografie na obrázku 32.



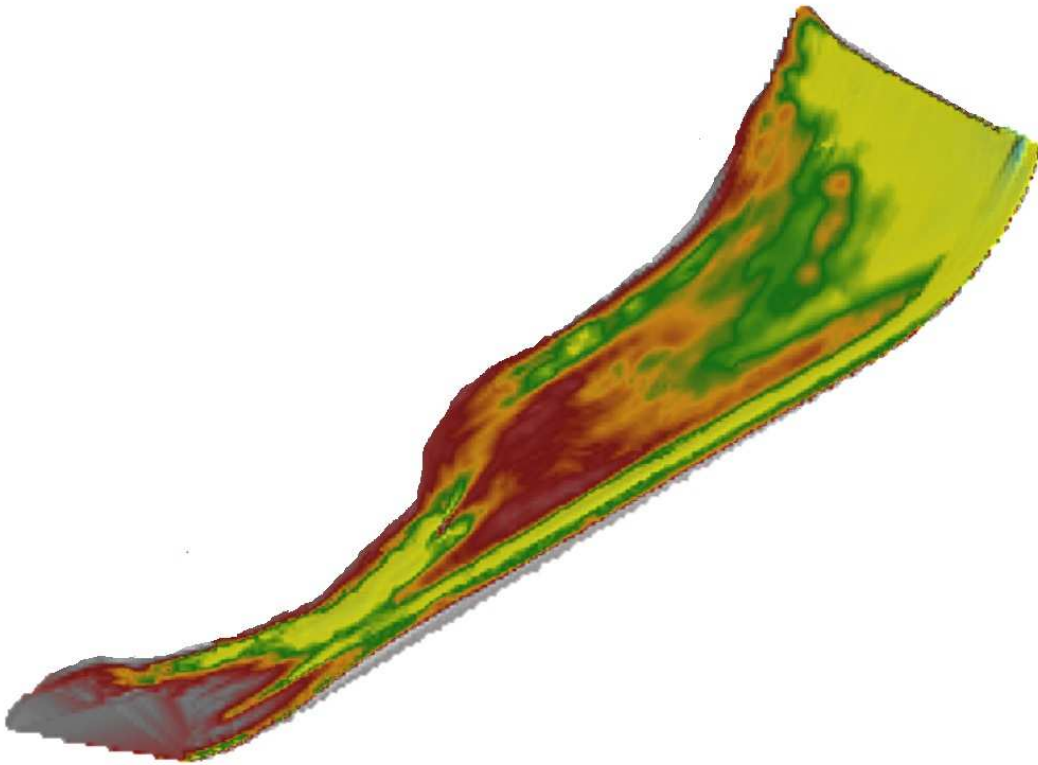
Obrázek 32: Měření jemnozrnných částic menších než 0,032 mm pomocí hustoměrné zkoušky vlevo a vpravo připravený odměrný válec s rozmíchaným materiálem v kapalině (SEDECO – Report 2, 2019).



Obrázek 33: Křivky zrnitostí odebraných vzorků z roku 2018 (SEDECO – Report 2, 2019).

6.10. Vytvoření modelu

Dno části Horní nádrže vodního díla Nové Mlýny bylo vytvořeno v programu AutoCAD Civil3D jako digitální model terénu (obrázek 34) a následně použit pro vytvoření geometrie v programu HEC – RAS. V programu byly vytvořené řezné roviny skrz digitální model terénu dna a domodelovány hráze.

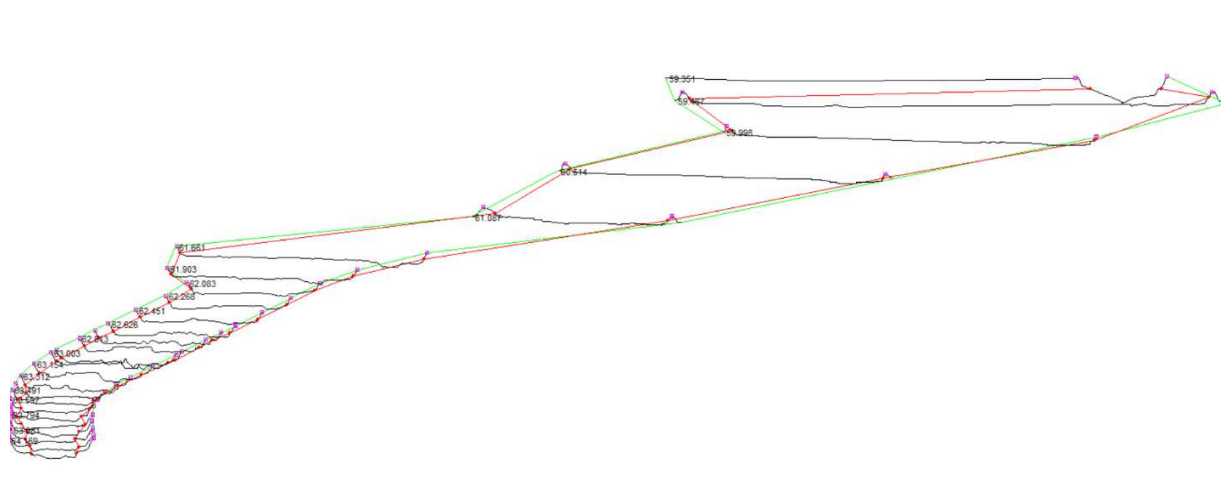


Obrázek 34: Digitální model terénu vytvořený v programu AutoCAD Civil3D.

Profily od nádrže po most u obce Drnholec byly použity z geodetického zaměření, nebyla třeba další úprava, jednalo se o skutečný stav. Sestavený model je jednodimenzionální a jeho vizualizace je zobrazena na obrázku 36. Rozhodnutí pro 1D přístup je hlavně kvůli morfologii nádrže, která má přímý charakter a stabilita výpočtu.



Obrázek 35: Ortofoto mapa s vynesnými příčnými profily z geodetického zaměření a s příčnými profily nádrže, určených z digitálního modelu terénu.



Obrázek 36: Vizualizace 1D modelu.

6.10.1. Kalibrace modelu

Prvotní určení součinitele drsností bylo podle porovnání s katalogem drsností, který vznikl za přispění projektu Fond rozvoje vysokých škol (FRVŠ 2002/2011) v rámci projektu Určení součinitele drsnosti otevřených koryt (Říha a kol., 2011). Drsnostní součinitel byl dále kalibrován na Q_{100} , který byl zakreslený v aktualizovaném podélném profilu nádrže (Povodí Moravy, s. p., 2018). Bohužel nelze s jistotou říci, jaký přesně průtok byl použit, v dané dokumentaci nebyl uveden. Byla uvedena pouze výšková kóta hladiny. Nicméně kalibrace byla provedena na stoletém průtoku, který dosahuje hodnoty $290 \text{ m}^3/\text{s}$, dle hlásného profilu Travní Dvůr pro řeku Dyji (Evidenční list hlásného profilu č. 364, 2019) a byl navýšen o hodnotu $30 \text{ m}^3/\text{s}$ kvůli výraznému přítoku řeky Jevišovka. Podle hlásného profilu Božice na Jevišovce odpovídá stanovený průtok více jak Q_{10} (Evidenční list hlásného profilu č. 367, 2019). Ostatní přítoky byly zanedbány. Samotný výpočet proběhl pomocí ustáleného proudění. V manipulačním řádu se také uvádí, že při $Q_{15} - Q_{18}$ bude docházet k odlehčování do pravobřežní inundace (Povodí Moravy, s. p., 2002). Tato skutečnost není v modelu zohledněna, hlavně kvůli tomu, že není jisté, v jaké míře dochází k samotnému odlehčení. V rámci dna koryta byla drsnost zvolena tak, aby reprezentovala složení dna, jak je vidět v Tabulka 1 a tím pádem je proměnlivá po délce. Pro svahy hrází byla zadána jednotná hodnota Manningova drsnostního součinitele.

Tabulka 1: Zobrazení použitých drsností v numerickém modelu, výsledek kalibrace.

Tabulka drsností			
Staničení [km]	Levý svah [-]	Koryto [-]	Pravý svah [-]
79,578	0,047	0,058	0,047
79,486	0,047	0,057	0,047
79,391	0,047	0,056	0,047
79,296	0,047	0,056	0,047
79,203	0,047	0,055	0,047
79,106	0,047	0,055	0,047
79,006	0,047	0,055	0,047
78,901	0,047	0,055	0,047
78,817	0,047	0,055	0,047
78,721	0,047	0,055	0,047
78,563	0,047	0,055	0,047
78,413	0,047	0,055	0,047
78,380	0,047	0,055	0,047
78,222	0,047	0,055	0,047
78,123	0,047	0,055	0,047
78,035	0,047	0,055	0,047
77,860	0,047	0,055	0,047
77,677	0,047	0,053	0,047
77,492	0,047	0,051	0,047
77,312	0,047	0,048	0,047
77,070	0,047	0,046	0,047
76,496	0,047	0,044	0,047
75,923	0,047	0,042	0,047
75,407	0,047	0,04	0,047
74,876	0,047	0,04	0,047
74,76	0,047	0,04	0,047

6.10.2. Zadání pro výpočet splavenin

Zadání pro výpočet splavenin bylo provedeno následovně. Zvolen byl přístup Meyer Peter Müller – Toffaletti a to hlavně kvůli jemnozrnným částicím. Část MPM je jednou z nejpoužívanějších transportních funkcí. Zatřídovací metoda byla zvolena Thomas (Ex5) a metoda výpočtu gravitační rychlosti jako Report 12, která se jeví jako nejpropracovanější, protože zohledňuje tvar zrna.

Křivky zrnitostí byly zadány do profilů, které byly nejbližší místu odběru a zvolena byla pórovitost 40 %, která je určenou hodnotou podle orientačních hodnot pórovitosti (Pašek a kol., 1995). Zvolená pórovitost vstupuje do rovnice (12), která přepočítává objem usazených částic na objem splavenin.

$$V_S = (1 - p) \cdot V_U \quad (12)$$

Kde:

V_S objem splavenin,

p pórovitost,

V_U objem usazenin.

Zároveň vzorek pět byl zadán do dvou posledních řezů, a to hlavně s předpokladem, že v rámci těchto konkrétních řezů, by nemělo dojít k razantní změně křivky zrnitosti. Do ostatních řezů, kde nebyly křivky zrnitosti přesně zadány, byla provedena interpolace mezi zadanými křivkami zrnitosti. Jako okrajová podmínka pro sedimenty byla použita možnost vyrovnaného proudění splavenin.

6.10.3. Neustálené proudění

Pro samotný výpočet povodňových epizod bylo zvoleno neustálené proudění s transportem sedimentů. Jako dolní okrajová podmínka byla použita proměnlivá výška hladiny v nádrži, která se po dobu samotných povodňových epizod skutečně udržovala. Pro horní okrajovou podmínku byly zadány hydrogramy povodňových epizod. (SEDECO – Report 9, 2019)

6.11. Zjednodušující předpoklady

Zjednodušující předpoklady:

a) Zanedbání přítoků a odběrů vody:

Na daném úseku se vyskytují čerpací stanice, jejich vliv na vodní tok byl zanedbán.

b) Zanedbání přítoku splavenin:

Splaveniny jako takové se do zadaného úseku dostávají v proudu vody z vyšších oblastí toku. Nebyly data pro zadání této skutečnosti. Z tohoto důvodu byly splaveniny přitékající do úseku zanedbány.

c) Povodňové epizody:

Zadané reálné povodňové vlny jsou z minulosti, je vysoce pravděpodobné, že došlo v průběhu času ke změně členitosti dna v zadaném úseku, a proto geometrie neodpovídá času, kdy došlo k povodňovým epizodám. Nicméně jedná se o posouzení současného stavu a tím je možné tuto skutečnost zanedbat. Validitě simulace přispívá použití reálných průtoků a skutečných výšek hladin, které se v daném čase udržovaly.

d) Teplota:

Teplota byla zadána jako konstantní hodnota 8 °C, data pro přesné stanovení nebyla dohledána. Důsledkem absence průběhu teplot nedojde k vytvoření hustotních proudů, které výrazně ovlivňují proudění splavenin v nádrži.

e) Volba 1D modelu:

Zvolen byl model 1D, a to hlavně kvůli tvaru nádrže. Nádrž je přímá, a proto by měly výsledky z 1D modelu být dostačující. Zvolením 1D modelu bylo dosaženo zrychlení výpočtu a zvýšení stability simulace. Limitací je výpočet pouze průměrná rychlostní výška.

f) Ledové jevy:

Ačkoliv se některé povodňové epizody odehrávají v zimě, nebo na jaře, ledové jevy se neuvažují.

g) Vegetace:

Vegetace ovlivňuje drsnostní součinitel, nicméně v programu se zanedbává, a to hlavně kvůli předpokladu, že pokud dojde ke vzduť hladiny vlivem vegetace, následně vegetace lehne a drsnost se opět změní. Proto se počítá s jednotnou drsností pro svahy.

Dalším předpokladem spojeným s vegetací je pozitivní vliv vegetace na vymílání, kdy kořenové systémy a travní pokrývky umožní zemině delší dobu odolávat procesu vymílání. Jedná se hlavně o ostrovy, které se nachází v rámci toku Dyje. Na těchto ostrovech se nachází traviny, rákosí, stromy, keře a další hydrofilní rostliny.

h) Hladina:

Každá vodní plocha je zakřivená, nicméně určené výšky vodní hladiny vychází z podkladů a považuje se za zcela vodorovnou.

6.12. Vstupní hydrologická data

Hydrologická data použitá v této práci byla poskytnuta panem prof. Ing. M. Starým, CSc. Jedná se o hydrogramy povodní, kde pan profesor určil dobu trvání, tvar a intenzitu. Povodňové epizody proběhly v letech 2004, 2005, 2006, 2009, 2013 a reálné průběhy hladin v nádrži při těchto povodňových epizodách. Tyto výšky hladiny byly získány ze záznamu měření hladiny od roku 1989 až po rok 2019 (Povodí Moravy, s. p., 2019).

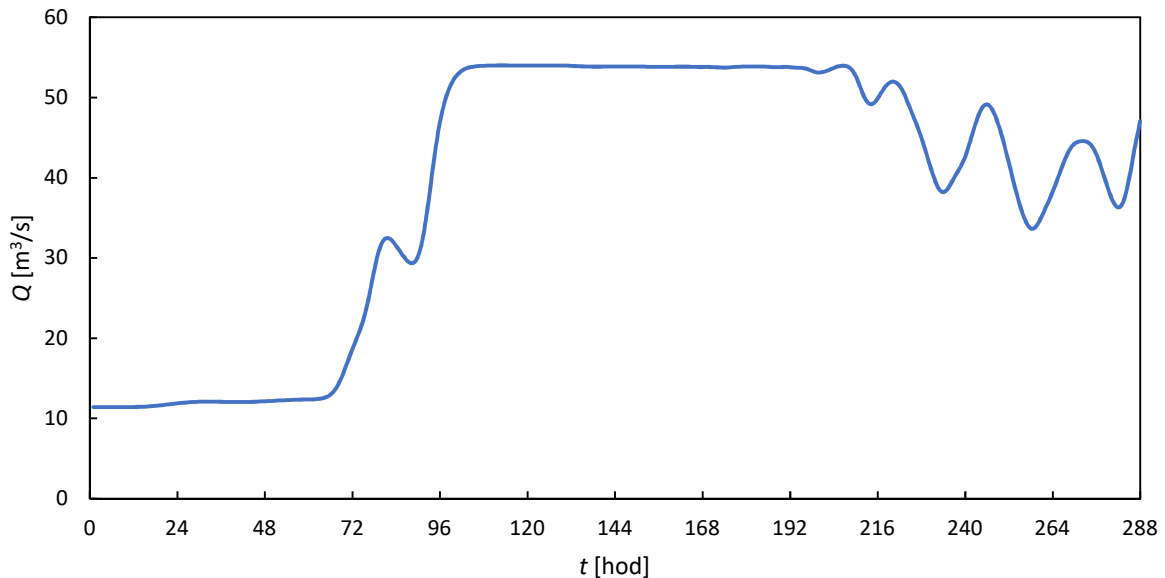
Dále byl poskytnut manipulační řád Horní nádrže Nové Mlýny od Povodí Moravy, s. p., který obsahuje N – leté průtoky a údaje o hladině v nádrži. Využity byly také hlásné profily Travní Dvůr na Dyji a Božice na Jevišovce pro určení stoletého průtoky příchozího dořešeného úseku. (Evidenční list hlásného profilu č. 364, 2019) a (Evidenční list hlásného profilu č. 367, 2019). Souhrnná tabulka 2, obsahuje odvozené N – leté průtoky pro Q_{50} a Q_{100} . Výsledný padesátiletý průtok je kombinací Q_{10} na Jevišovce a Q_{50} na Dyji. Stoletý průtok vznikl určením Q_{100} na Dyji a použitím hodnoty mezi Q_{10} a Q_{50} .

Tabulka 2: Souhrnná tabulka N -letých průtoků pro Jevišovku, Dyji a začátek řešeného úseku.

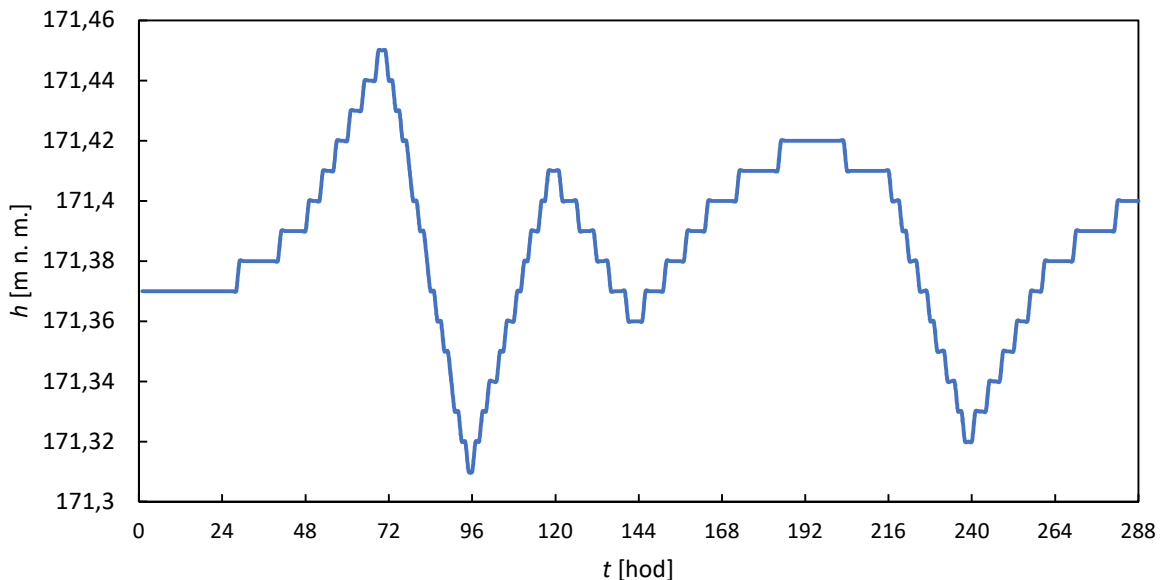
N-leté průtoky						
Hlásný profil	Tok	Q_1 [m ³ /s]	Q_5 [m ³ /s]	Q_{10} [m ³ /s]	Q_{50} [m ³ /s]	Q_{100} [m ³ /s]
Božice	Jevišovka	5,6	15,5	24	56	77
Travní Dvůr	Dyje	71	140	170	250	290
Začátek úseku	Dyje	[-]	[-]	[-]	274	320

6.12.1. Povodňová epizoda únor 2004

Tato povodňová epizoda má svůj začátek 1. 2. 2004 a konec 13. 2. 2004. Trvá zhruba po dobu 288 hodin. Níže je graficky znázorněn průběh povodňové epizody viz. obrázek 37. Kulminačního průtoku bylo dosaženo přibližně po 100 hodinách a jeho velikost byla $54 \text{ m}^3/\text{s}$. Jako dolní okrajová podmínka byla zvolena známá manipulace hladiny v průběhu povodně, samotný průběh hladiny dokládá přiložený obrázek 38.



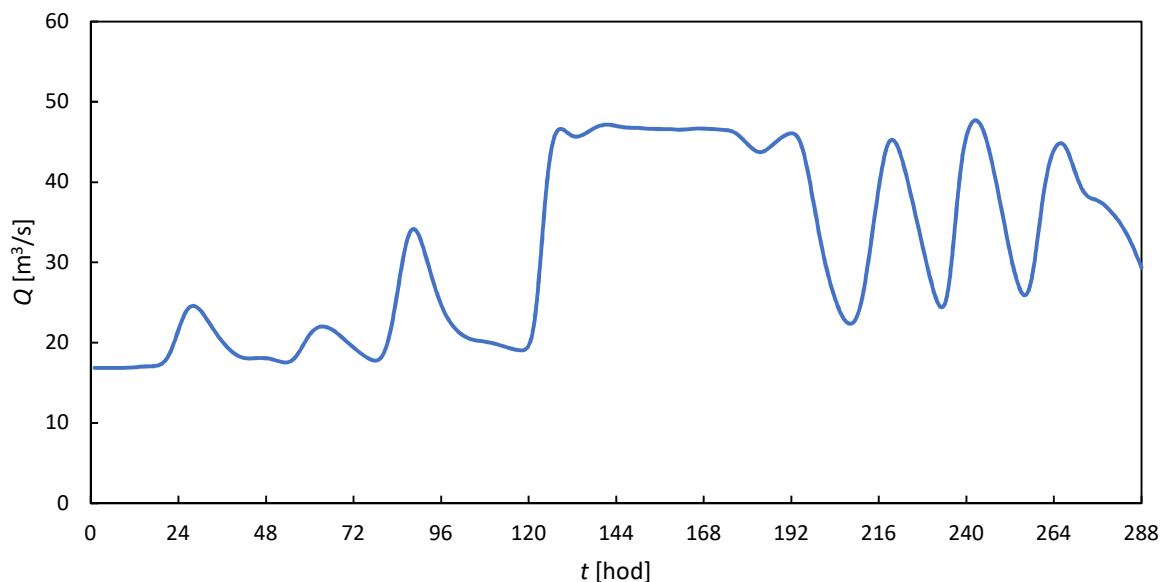
Obrázek 37: Odvozený hydrogram povodně pro Horní nádrž duben 2004.



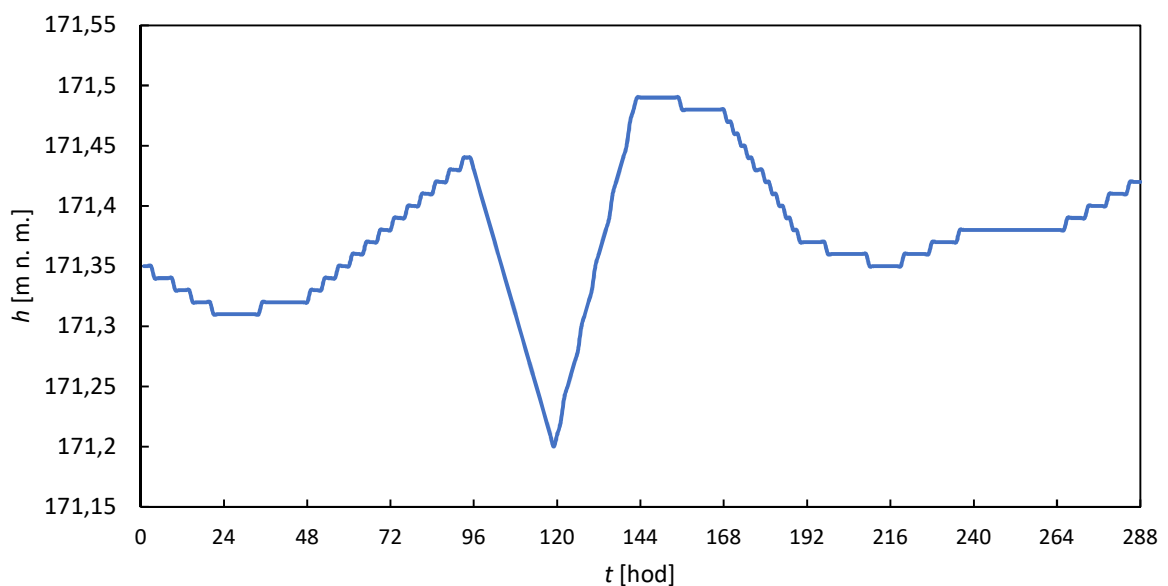
Obrázek 38: Průběh hladiny při povodňové epizodě únor 2004

6.12.2. Povodňová epizoda duben 2004

Počátek hydrogramu povodně je 16. 4. 2004 a trvá do 28. 4. 2004. Povodňová vlna dosahuje kulminačního průtoku 47,62 m³/s. Dle obrázku 39 je vidět, že povodňová epizoda měla několik vrcholů s rozdílnou dobou trvání. Jak je patrné z obrázku 40, největší snížení hladiny bylo zaznamenáno s návazností na příchod velkého objemu vody.



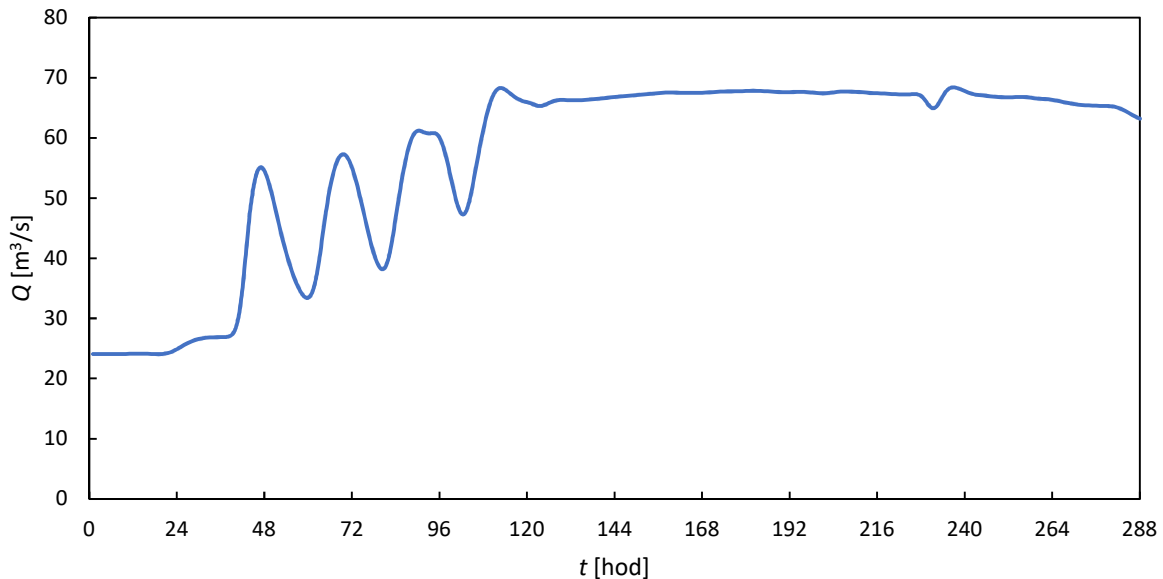
Obrázek 39: Odvozený hydrogram povodně pro Horní nádrž duben 2004.



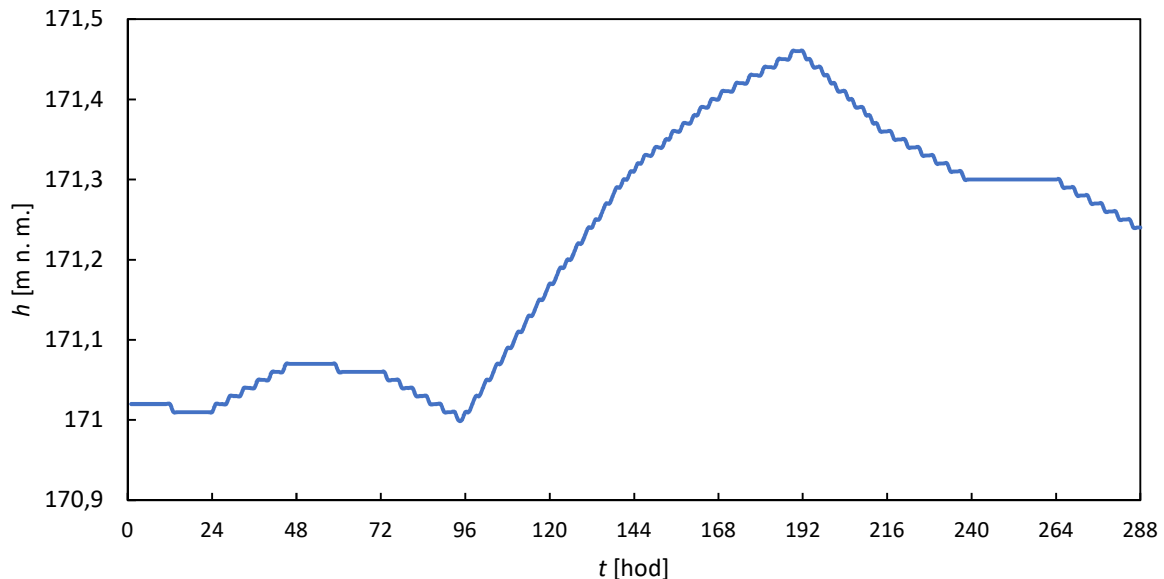
Obrázek 40: Průběh hladiny při povodňové epizodě duben 2004.

6.12.3. Povodňová epizoda březen 2005

Tato epizoda byla zaznamenána 14. 3. 2005 a trvala do 26. 3. 2005. Na začátku hydrogram reflektuje postupnou manipulaci objemu a následně bylo dosaženo kulminačního průtoku 68,38 m³/s. Zhruba od pátého dne si povodňová vlna zachovala svoji intenzitu, jak je patrné z obrázku 41. Nádrž byla na tuto epizodu připravena, což také dokládá obrázek 42, který dokládá snížení hladiny na kótu 171,00 m n. m., aby nádrž byla schopna transformovat příchozí objem vody. To dokládá i zvýšení hladiny během čtyř dní na kótu dosahující 171,45 m n. m. Následně došlo k opětovnému poklesu hladiny.



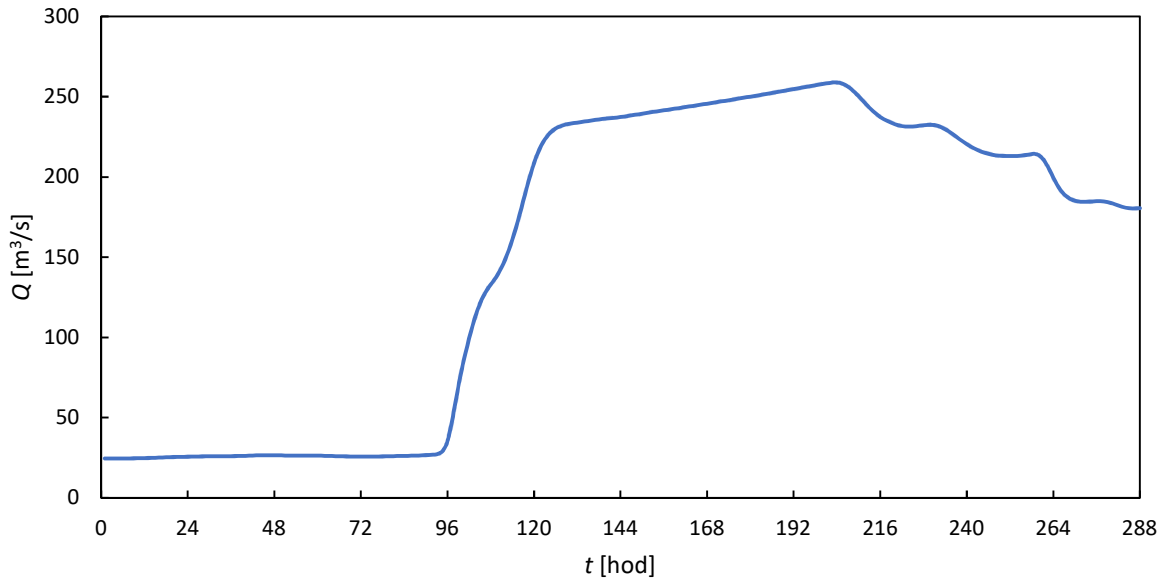
Obrázek 41: Odvozený hydrogram povodně pro Horní nádrž březen 2005.



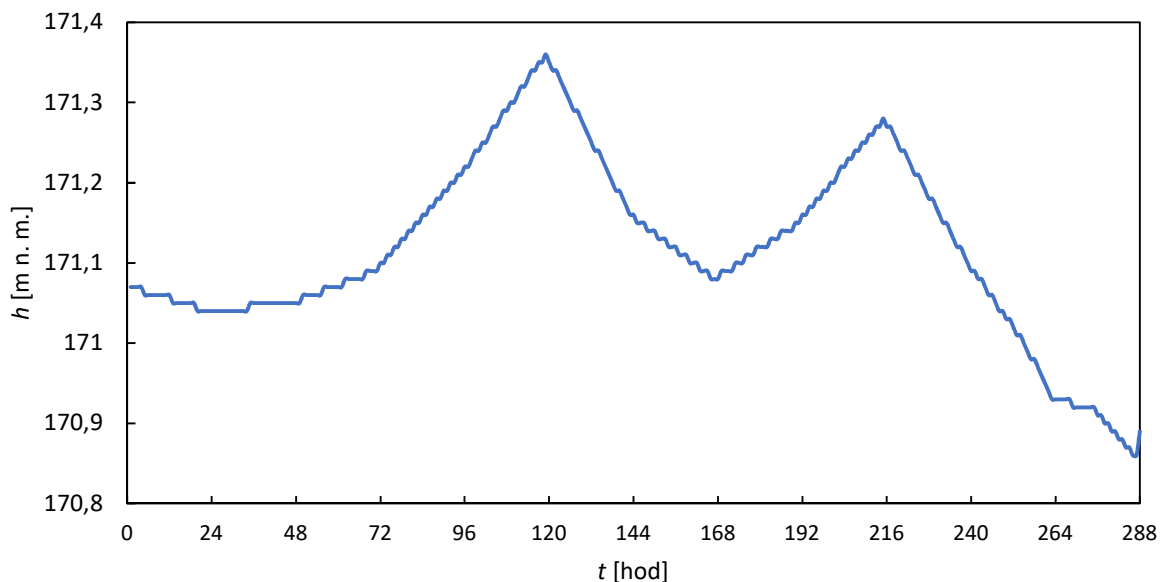
Obrázek 42: Průběh hladiny při povodňové epizodě březen 2005.

6.12.4. Povodňová epizoda březen 2006

Tato událost má svůj počátek 25. 3. 2006 a konec 6. 4. 2006. Jedná se o nejméně výraznější povodňovou vlnu ze všech řešených epizod. Ke kulminačnímu průtoku došlo zhruba mezi osmým a devátým dnem ve velikosti průtoku 258,82 m³/s. Tato povodňová epizoda měla náhlý nárůst a udržela si vysokou intenzitu po dobu 5 dní, kdy začalo docházet k pozvolnému poklesu. To dokládá obrázek 43. Pohyb hladiny je zachycen na obrázku 44, manipulace hladiny probíhala zhruba v rámci 30 cm.



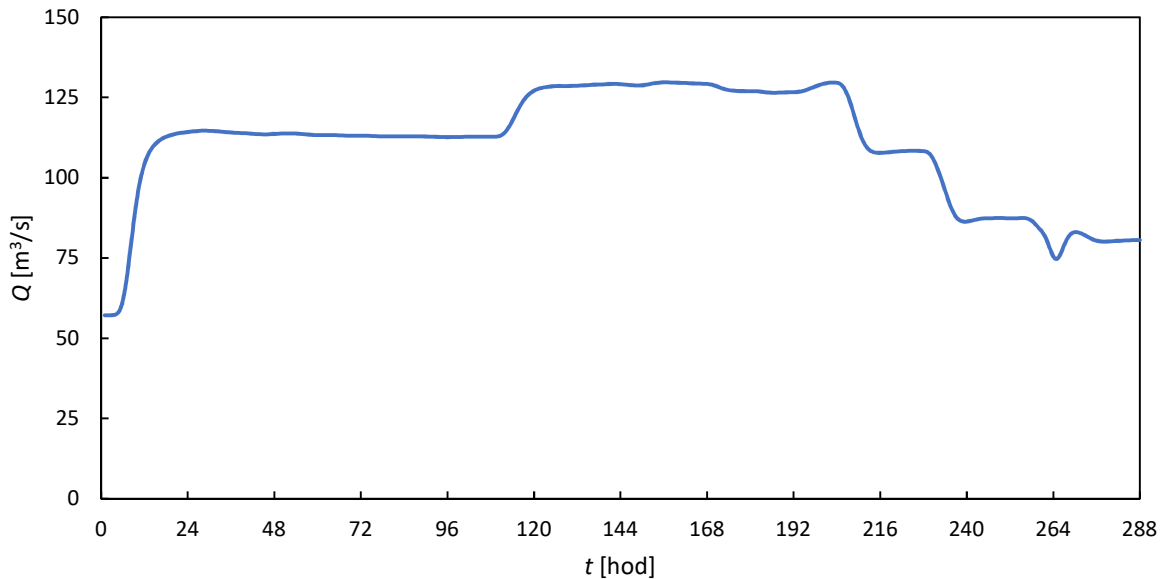
Obrázek 43: Odvozený hydrogram povodně pro Horní nádrž březen 2006.



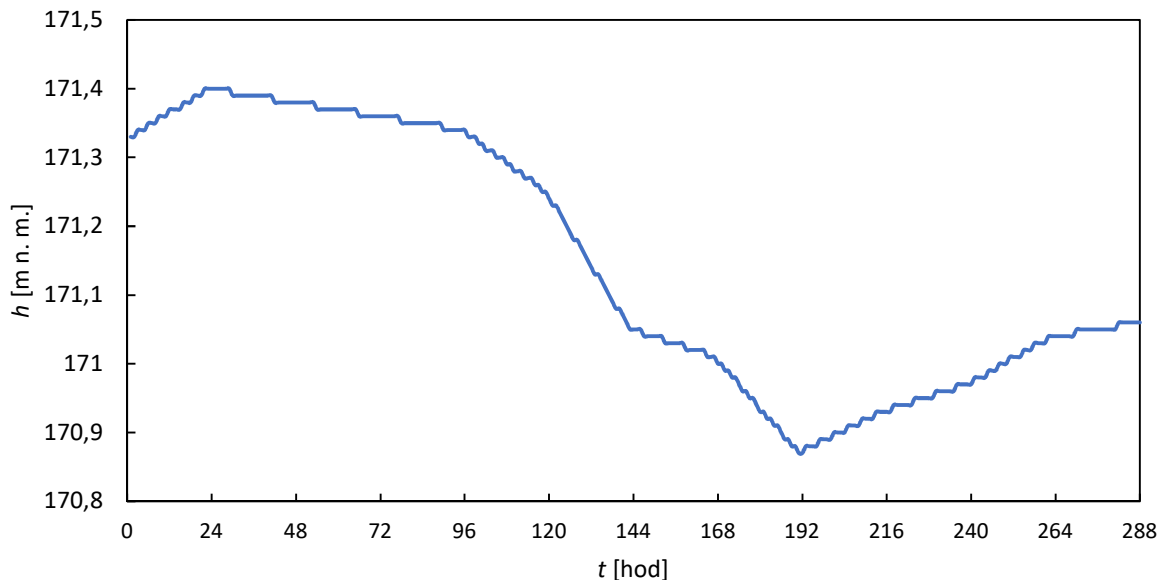
Obrázek 44: Průběh hladiny při povodňové epizodě březen 2006.

6.12.5. Povodňová epizoda březen 2009

Tato epizoda se odehrála od 1. 3. 2009 do 13. 3. 2009. Opět se jedná o poměrně objemnou povodňovou vlnu, jak je patrné z obrázku 45, s delší dobou trvání při zachování vysoké intenzity. Při této epizodě bylo dosaženo kulminačního průtoku 129,71 m³/s. Povodňová vlna měla náhlý nárůst, chování hladiny dokládá obrázek 46, kdy na začátku povodně došlo k významnému zvýšení hladiny a následnou manipulací byla hladina snižována. Manipulace hladiny byla v rozsahu 45 cm, což je největší rozsah ze zadaných povodňových epizod.



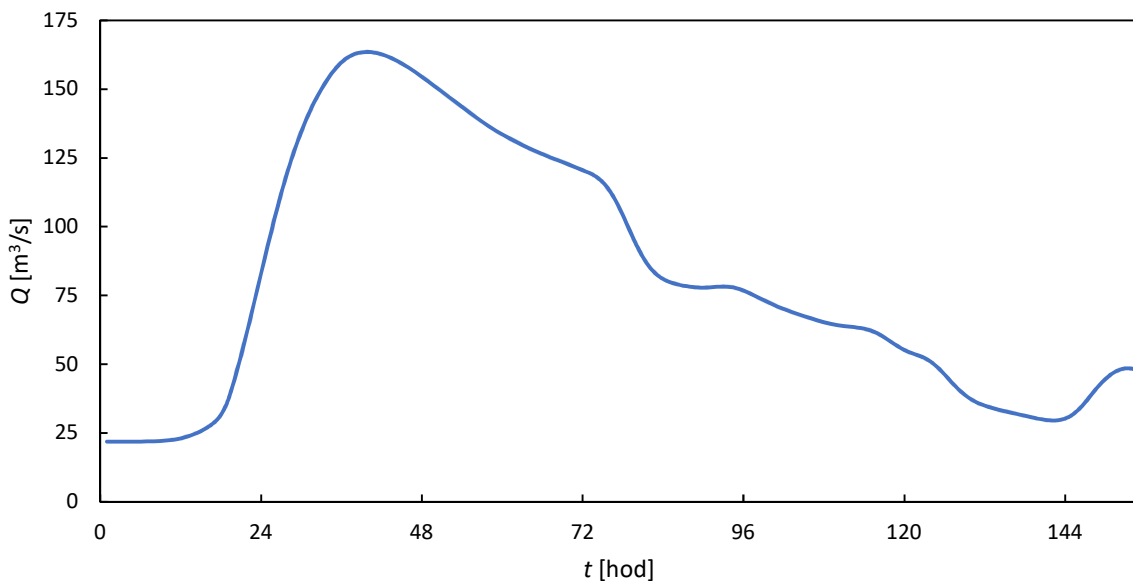
Obrázek 45: Odvozený hydrogram povodně pro Horní nádrž březen 2009.



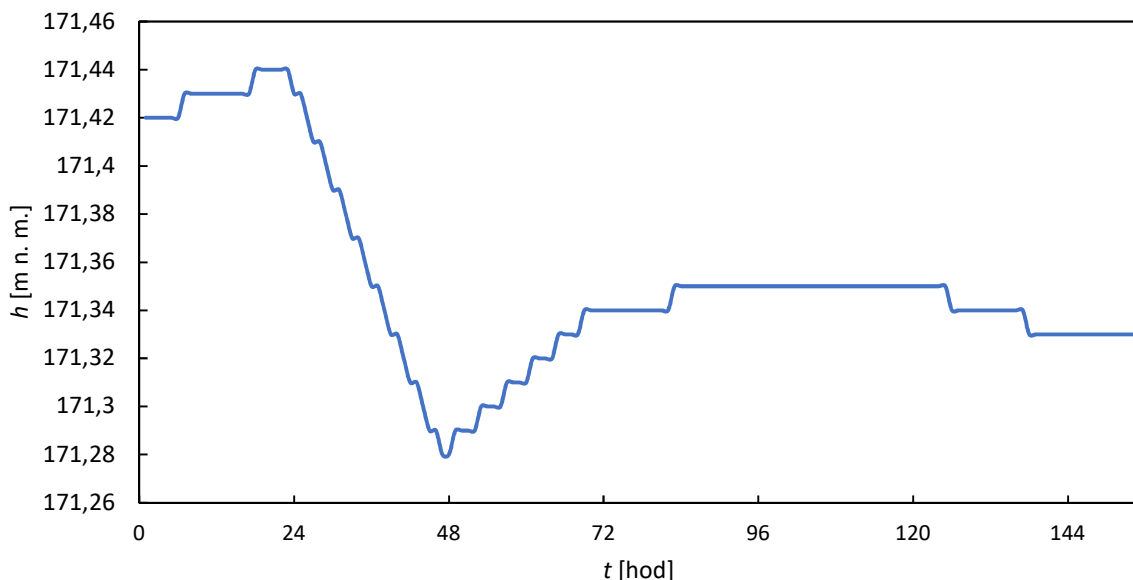
Obrázek 46: Průběh hladiny při povodňové epizodě březen 2009.

6.12.6. Povodňová epizoda červen 2013

Poslední zadanou povodňovou epizodou je povodňová vlna z roku 2013, která začala 24. 6. a trvala do 30. 6., řadí se tak jako nejkratší ze zadaných povodní s dobou trvání šest dní. Dosáhla druhého největšího kulminačního průtoku, který byl stanoven na hodnotě 163,49 m³/s. Její tvar je typický pro povodně v letních období, jak dokládá obrázek 47, kdy došlo k náhlému nárůstu, dosažení kulminace v průběhu dvou dní a následnému pozvolnému poklesu intenzity. Manipulaci hladiny dokládá obrázek 48, kdy na začátku byla zvýšená hladina, došlo ke snížení o 16 cm a průběh povodňové epizody si nevyžádal žádné další výrazné snížení hladiny.



Obrázek 47: Odvozený hydrogram povodně pro Horní nádrž červen 2013.



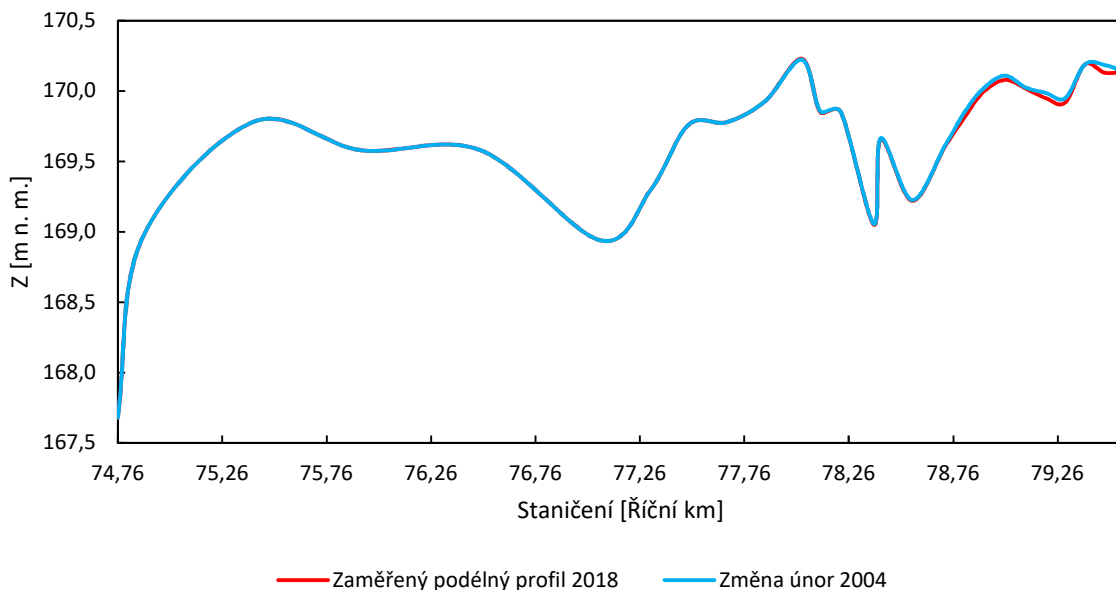
Obrázek 48: Průběh hladiny při povodňové epizodě červen 2013.

7. Výsledky

7.1. Zhodnocení povodňových epizod

7.1.1. Povodňová epizoda únor 2004

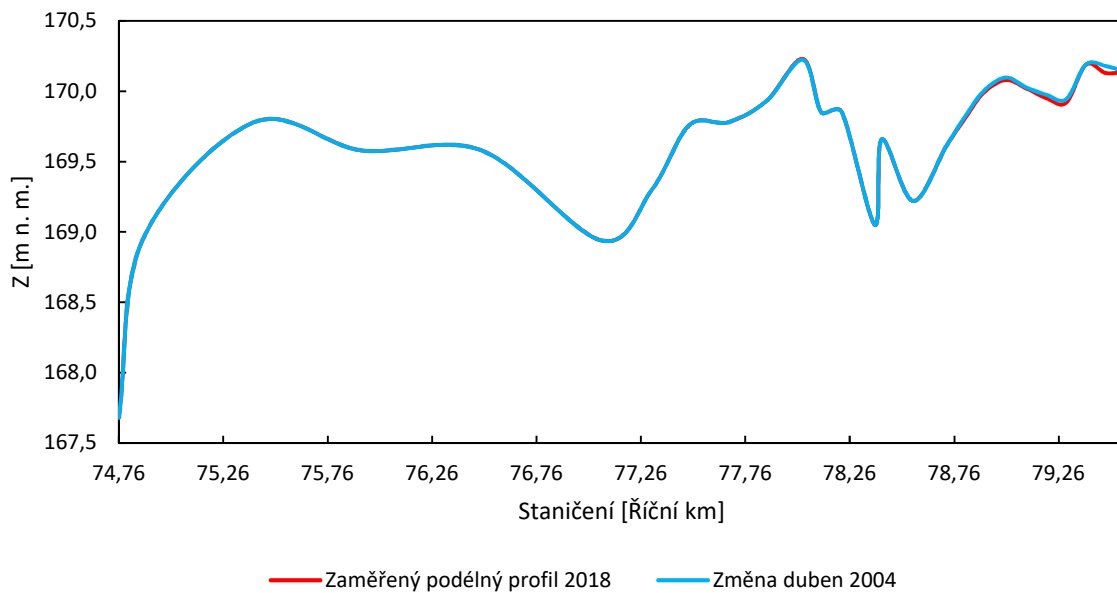
Tato epizoda má pozvolný nástup po dobu tří dní, kdy dosáhne kulminačního průtoku, který je druhý nejnižší ze sledovaných epizod. Vzhledem k nízkým průtokům nebylo dosaženo významné změny dna, to také dokládá obrázek 49. V rámci povodňové epizody se při ústí a v části Horní nádrže usadilo 2259,67 m³ materiálu.



Obrázek 49: Změna podélného profilu dna v nejnižším místě po působení povodňové epizody únor 2004.

7.1.2. Povodňová epizoda duben 2004

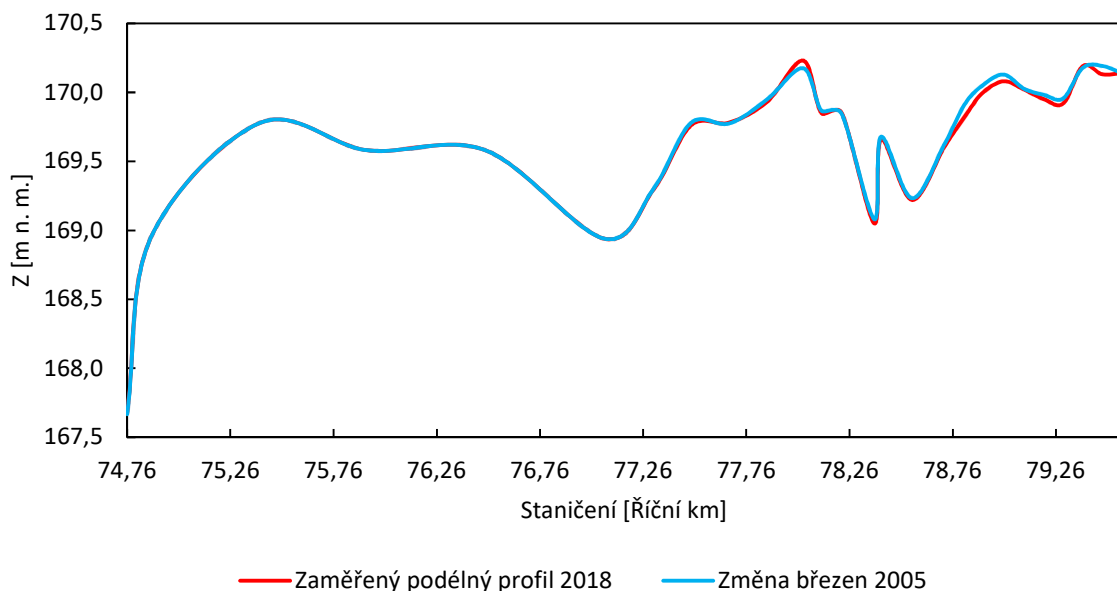
Povodňová epizoda v dubnu roku 2004 je nejmenší ze všech šetřených povodňových epizod. Tok nebyl vystaven vyšším průtokům po dostatečně dlouhou dobu, tudíž došlo k zanedbatelnému přesunu materiálu v porovnání s jinými povodňovými epizodami. Tuto skutečnost prokazuje obrázek 50, kde je patrné usazení na samém začátku úseku a celková hodnota usazeného materiálu je 1284,04 m³. Jedná se tak o nejnižší objem materiálu v rámci všech řešených povodňových epizod.



Obrázek 50: Změna podélného profilu dna v nejnižším místě po působení povodňové epizody duben 2004.

7.1.3. Povodňová epizoda březen 2005

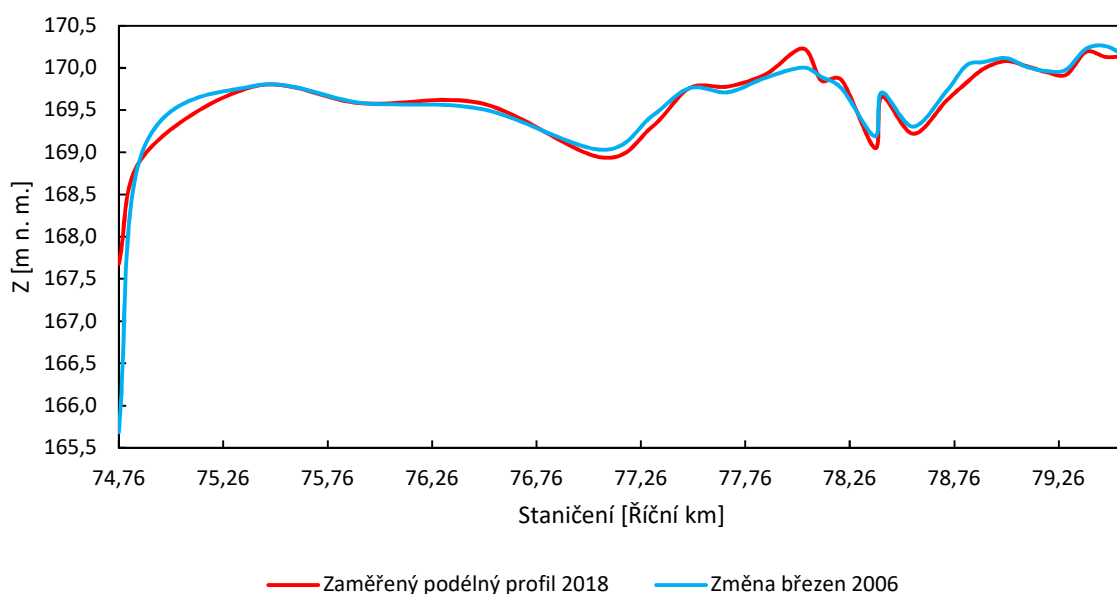
Tato povodňová vlna je specifická svým tvarem, kde pozvolným nástupem během tří dní je dosaženo kulminačního průtoku, který sice není příliš vysoký, ale doba trvání povodně zapříčiňuje zvýšenou schopnost transportu splavenin. Tato skutečnost lze pozorovat na obrázku 51, kde je patrné zanášení na začátku úseku, ale také vymílání mezi staničením 3 km a 3,5 km. Objem materiálu, který se usadil, byl vypočten na hodnotu 4282,12 m³.



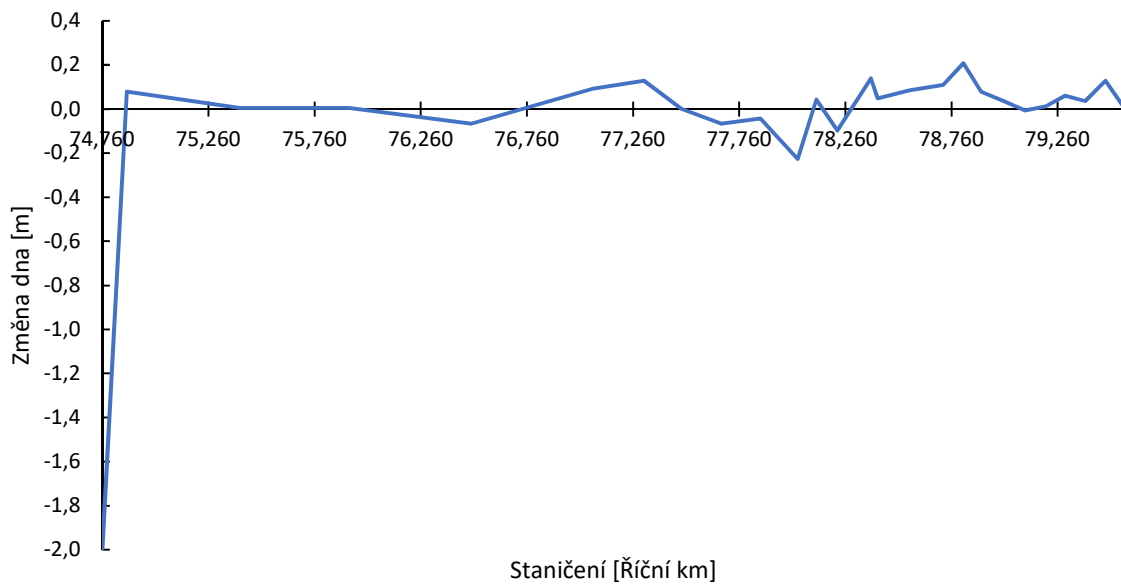
Obrázek 51: Změna podélného profilu dna v nejnižším místě po působení povodňové epizody březen 2005.

7.1.4. Povodňová epizoda březen 2006

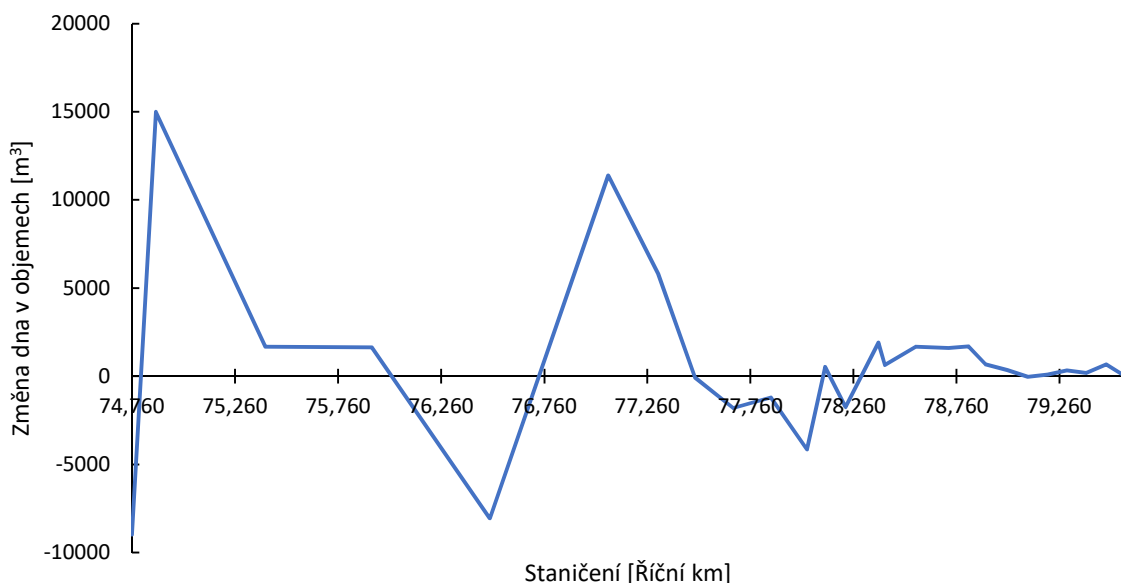
Povodňová epizoda z roku 2006 je největší ze všech řešených epizod. Je to především dáno vysokými průtoky v průběhu povodně, které zároveň trvaly po dlouhou dobu. Tuto skutečnost reflektuje i výsledek výpočtu splavenin, kde byl stanoven objem usazených látek na hodnotu 19744,66 m³. To je největší hodnota ze všech zkoumaných povodňových epizod. Vývoj dna koryta zobrazuje obrázek 52, kde lze pozorovat změnu v rámci celého řešeného úseku. Zároveň je vidět snaha toku vyrovnat dno, proto mizí výrazné výčnělky. V horní části Horní nádrže dochází ke snížení rychlosti a sedimentaci, nicméně na konci úseku je zemní hráz, která má v sobě otvor. V této oblasti dochází k náhlému zúžení a zvýšení rychlosti, to má za následek zvýšenou schopnost vymílání. Přehlednější zobrazení míst, kde se materiál usazuje a vymílá je vidět na obrázku 53.



Obrázek 52: Změna podélného profilu dna v nejnižším místě po působení povodňové epizody březen 2006



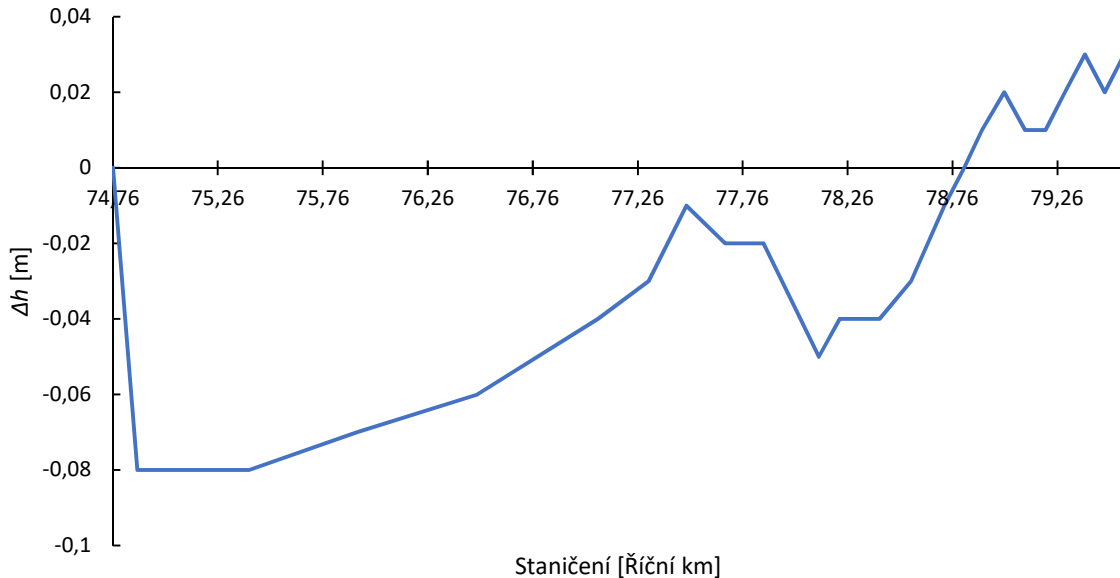
Obrázek 53: Grafické zobrazení míst, kde se materiál usazuje a vymílá v metrech vlivem povodňové epizody březen 2006.



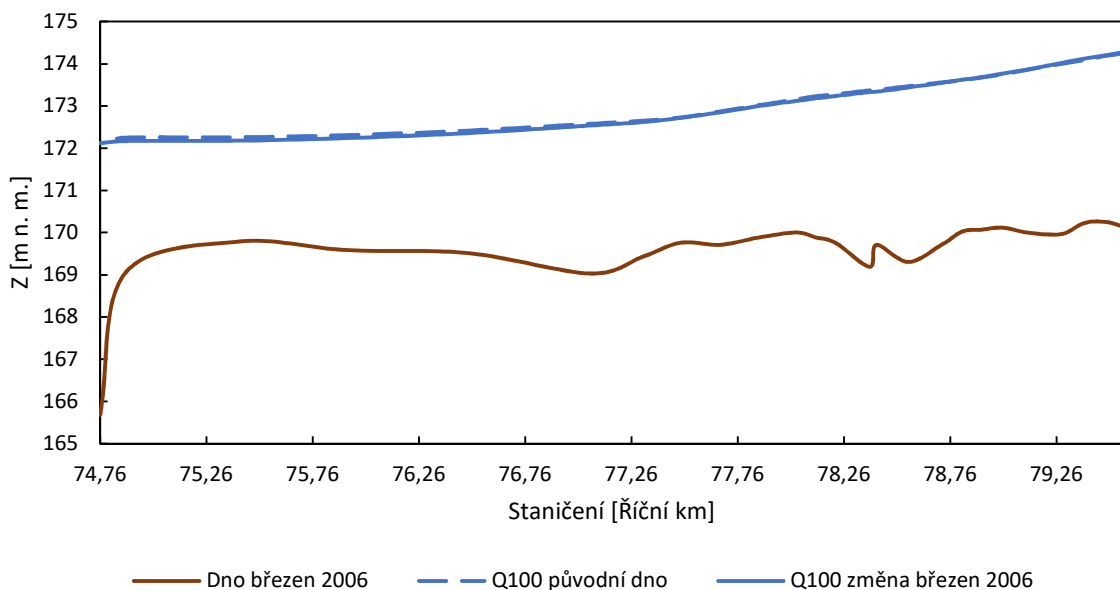
Obrázek 54: Grafické zobrazení míst, kde se materiál usazuje a kde vymílá v objemech vlivem povodňové epizody březen 2006.

Vzhledem k rozsahu povodňové epizody a jejímu vlivu na změnu koryta byla zvolena pro porovnání N -letých průtoků, které byly nejdříve využity pro výpočet na zaměřené geometrii a následně na změněné geometrii. Tímto výpočtem lze pozorovat změnu hladiny vlivem vymletí a usazení materiálu na dně koryta viz. obrázek 55, který ukazuje rozdíl mezi stoletým průtokem provedeným na změněné geometrii vlivem působení povodňové epizody březen 2006 a zaměřenou geometrií 2018. Na začátku úseku vlivem zanášení je možné pozorovat zvýšení hladiny. Zároveň v průběhu úseku došlo ke snížení

hladiny, tento jev je spojený hlavně s ostrovy, které se nachází uvnitř toku a vlivem působení povodňové epizody se částečně odplavily. Celkový náhled na podélný profil změněné geometrie a vnesené hladiny stoletých průtoků reprezentuje obrázek 56.

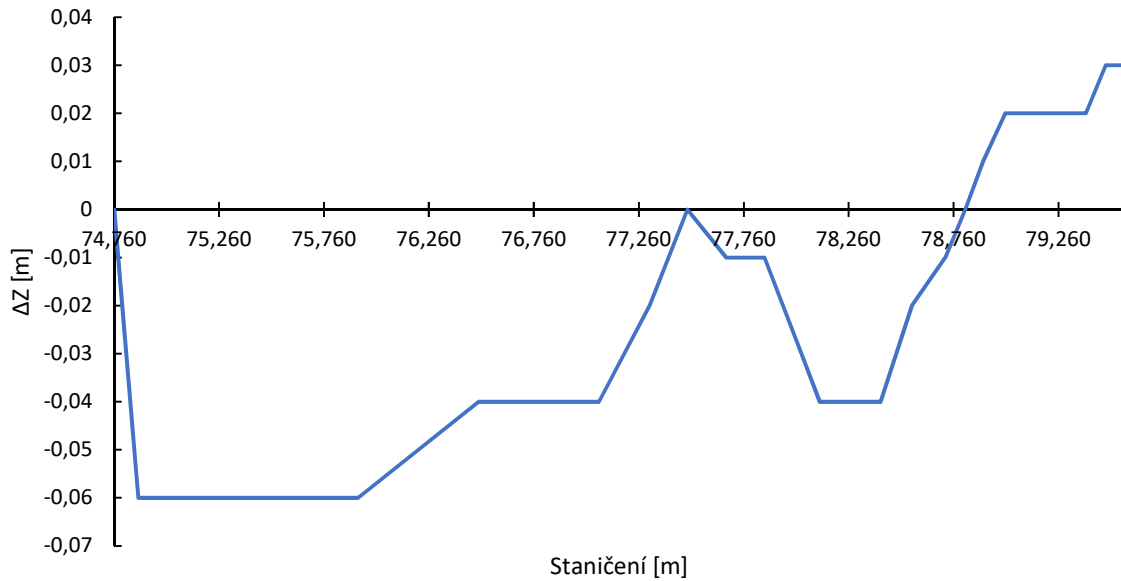


Obrázek 55: Rozdíl hladin Q_{100} na geometrii z roku 2018 a po povodňové epizodě 2006.

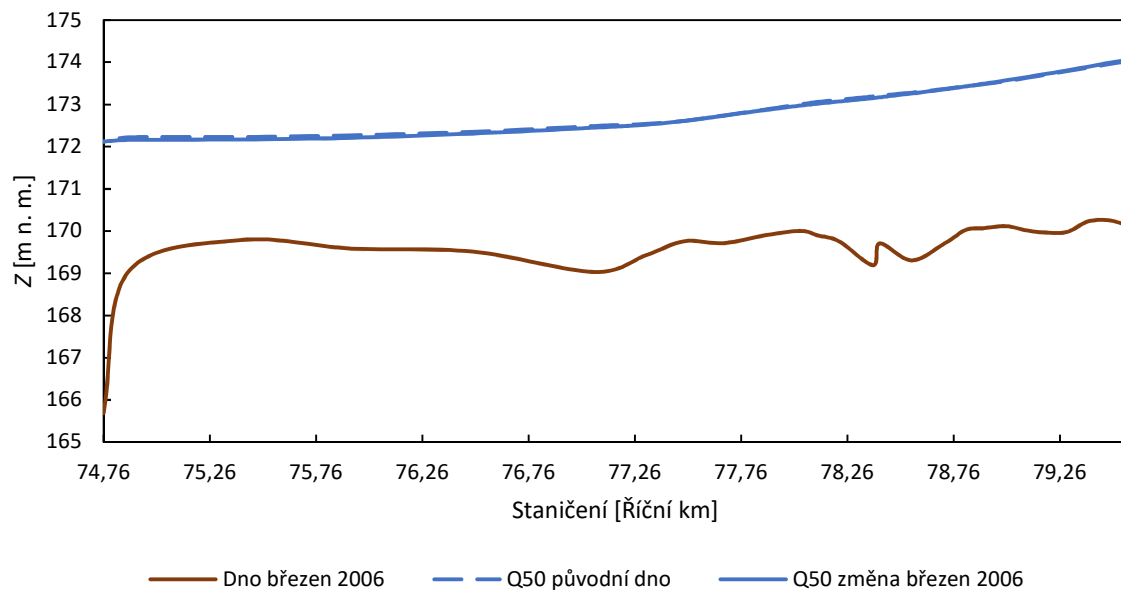


Obrázek 56: Porovnání hladin Q_{100} vypočtených na původní geometrii a změněné geometrii vlivem povodňové epizody 2006 se zobrazeným dnem po změně.

Změněná geometrie byla podrobena také porovnání na padesátiletý průtok, rozdíl v hladinách reprezentuje obrázek 57. Zobrazení změněné geometrie a hladin padesátiletých průtoků je vidět na obrázku 58.



Obrázek 57: Rozdíl hladin Q_{50} na geometrii z roku 2018 a po povodňové epizodě 2006.

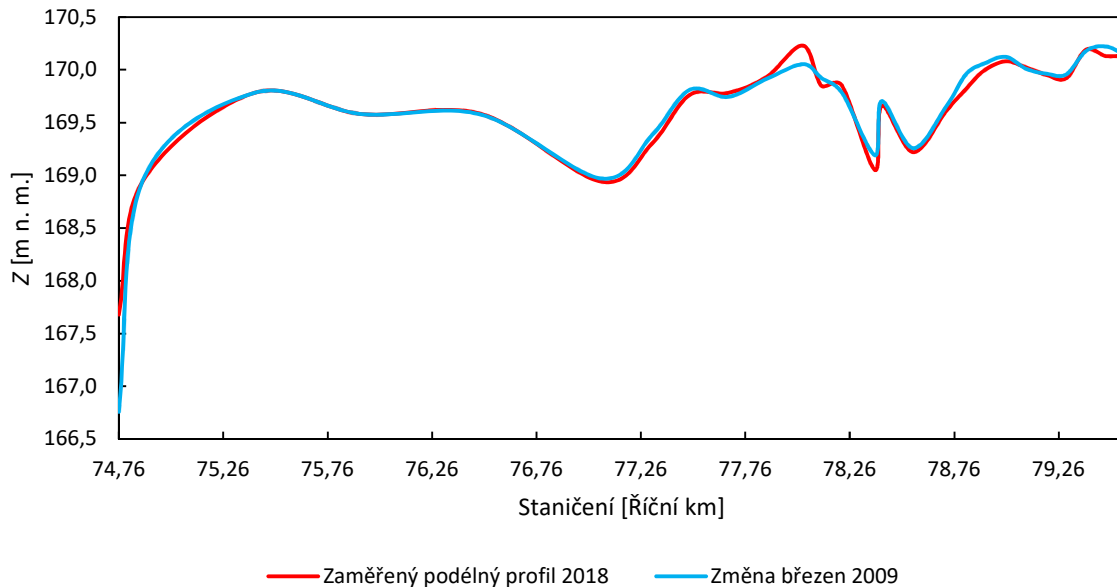


Obrázek 58: Porovnání hladin Q_{50} vypočtených na původní geometrii a změněné geometrii vlivem povodňové epizody 2006 se zobrazeným dnem po změně.

7.1.5. Povodňová epizoda březen 2009

Předposlední šetřenou povodňovou epizodou byla ta z roku 2009. Hydrogram zobrazuje náhlý nárůst průtoků, poté bylo manipulací vodními díly nad nádrží dosaženo ustálení průtoků po dobu čtyř dní a následně došlo k dalšímu zvýšení průtoků. Mezi osmým a devátým dnem došlo k dosažení kulminačního průtoku a od devátého dne začala povodňová vlna opadat. Co se týká působení povodňové epizody na pohyb sedimentů,

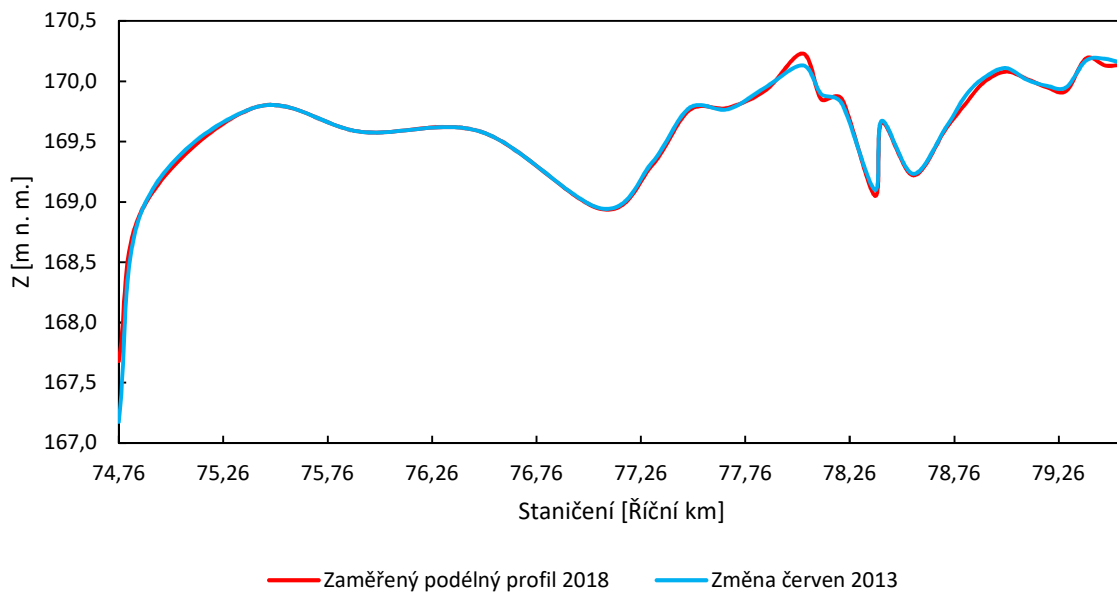
jedná se o druhý největší vliv na změnu koryta. S hodnotou usazeného materiálu 7867,14 m³. Způsobeno je to hlavně působením vyšších průtoků po delší dobu. Změnu koryta dokládá obrázek 59.



Obrázek 59: Změna podélného profilu dna v nejnižším místě při působení povodňové epizody březen 2009.

7.1.6. Povodňová epizoda červen 2013

Tato povodňová epizoda je specifická svým průběhem, kdy bylo dosaženo kulminačního průtoku během jednoho dne a poté došlo k opadnutí. Zároveň je to nejkratší povodňová epizoda. Ačkoliv dosáhla druhého nejvyššího kulminačního průtoku, její trvání bylo krátké a tím pádem nedošlo k výraznému pohybu. Tuto skutečnost dokládá obrázek 60, kde můžeme pozorovat zanášení na začátku úseku, vymílání ostrovů a vymílání na konci úseku. Nicméně s hodnotou 2072,57 m³ se daná povodňová epizoda stává druhou nejmenší, co se usazení materiálu týče.



Obrázek 60: Změna podélného profilu dna v nejnižším místě po působení povodňové epizody červen 2013.

7.1.7. Souhrnné zhodnocení povodňových epizod

Z porovnání jednotlivých povodňových epizod je vidět komplexnost jevu pohybu splavenin. Ačkoliv dosáhne povodňová vlna vysokých průtoků, nemusí to nutně znamenat největší objemy usazeného nebo vymletého materiálu. Velkým ovlivňujícím faktorem je, že veškeré povodňové epizody jsou řízené povodňové vlny. Záleží tedy na způsobu manipulace a schopnosti transformace povodňové vlny vodními díly nad nádrží Nové Mlýny. V souhrnné tabulce 3 je vidět porovnání každé povodňové epizody. Hodnoty objemu usazených částic V_U , které byly vynásobeny podle rovnice (12), aby bylo dosaženo skutečného objemu splavenin V_S .

Tabulka 3: Souhrnná tabulka objemů usazeného materiálu vlivem povodňových epizod a objemy splavenin.

Povodňová epizoda	V_U [m ³]	V_S [m ³]	Q_{kul} [m ³ /s]
Únor 2004	2 259,67	1 355,80	54,00
Duben 2004	1 284,04	770,42	47,62
Březen 2005	4 282,12	2 569,27	68,38
Březen 2006	19 744,66	11 846,79	258,82
Březen 2009	7 867,14	4 720,28	129,71
Červen 2013	2 072,57	1 243,54	163,49

7.2. Zhodnocení výsledných křivek zrnitostí

V této kapitole budou k nahlédnutí změněné křivky zrnitostí vlivem povodňových epizod. Sestaveny jsou křivky v profilech, kde došlo k odběru vzorků v roce 2018, aby bylo možné porovnat změnu. Sestavení křivek zrnitostí bylo z údajů procentuálního zastoupení dané

velikosti zrn, které je označeno písmenem w , a velikostí zrn d_{10} , d_{16} , d_{50} , d_{84} a d_{90} . Tyto hodnoty značí procentuální propad přes síta.

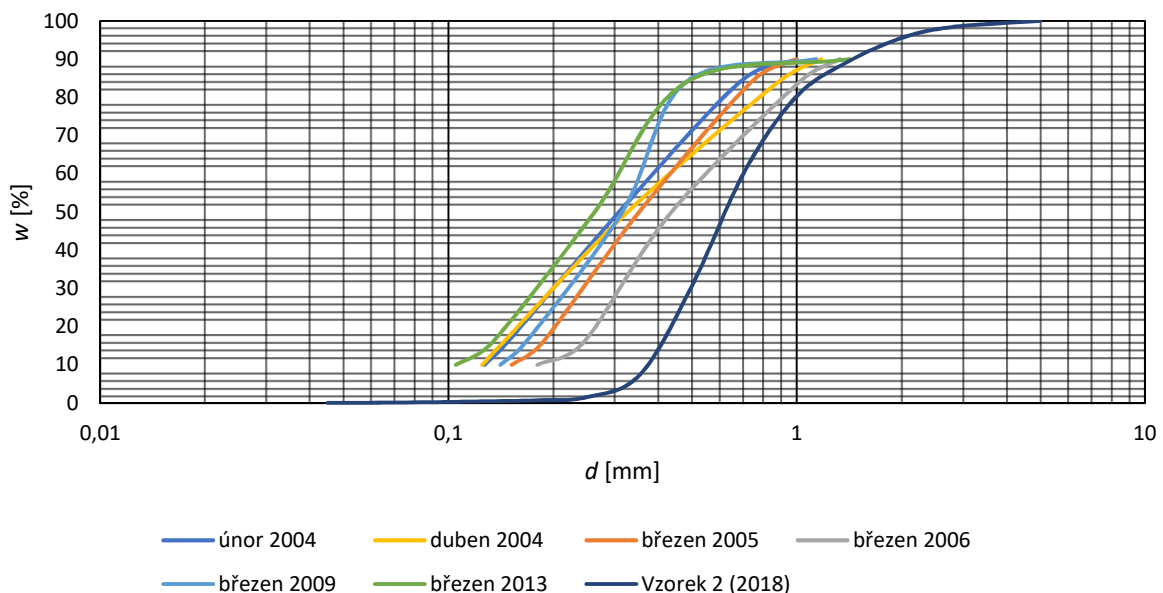
Je třeba zmínit, že výsledné křivky zrnitostí jsou určeny pouze z pěti hodnot, pro každý odběrný profil. Zohledněné byly pouze data, která se nacházela na samotném konci povodňové epizody. V rámci každé simulace se křivky měnily v čase podle průběhu povodňové vlny. Snaha byla o konzistenci ve výpočtu, toho bylo docíleno stejnou geometrií, která měla stejná nastavení drsnostních součinitelů, stejně definovaných míst odběru dat pro křivky zrnitosti a stejně zadané počáteční křivky zrnitosti. Rozdílné tedy byly pouze dolní a horní okrajové podmínky.

7.2.1. Místo odběru na říčním km 79,578

První vzorek byl zadán na začátek úseku a stal se tedy počáteční okrajovou podmínkou. Bez přítoku splavenin do úseku nedošlo ke změně křivky zrnitosti.

7.2.2. Místo odběru na říčním km 79,106

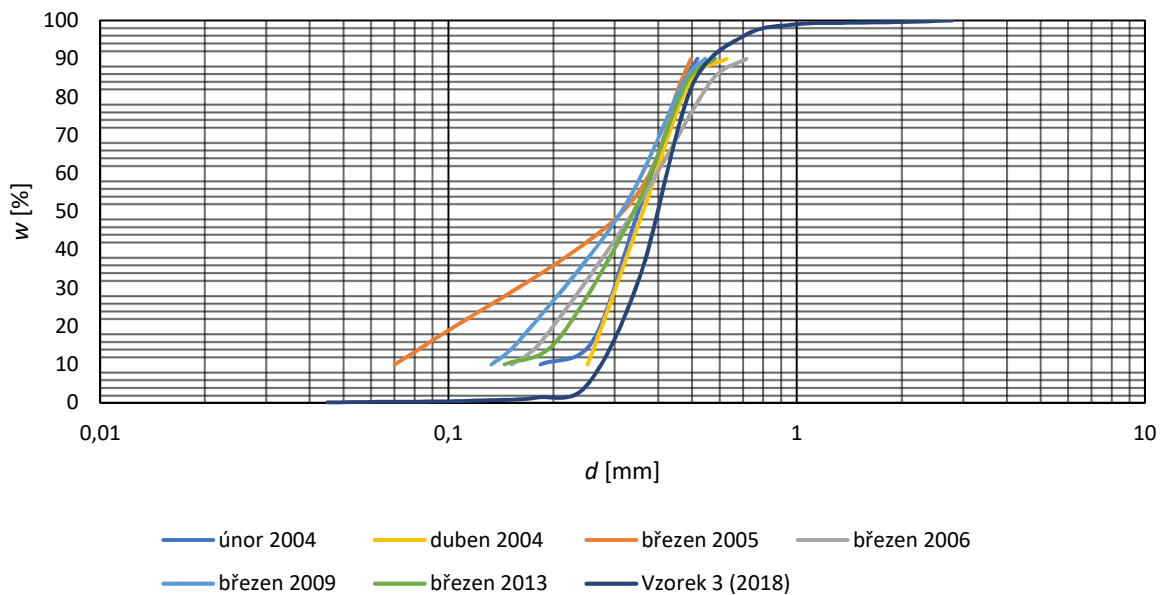
V tomto profilu došlo k odebrání vzorku dva. Jedná se o vzorek, kde křivka zrnitosti je poměrně strmá, což značí nižší rozptyl frakcí. Jak je patrné z křivek na obrázku 61 ke změně vlivem povodňových epizod došlo hlavně ke zvýšení zastoupení jemnozrnných frakcí, kde se zrnitostní křivky všech povodňových epizod posunuly směrem doleva. Nejmarkantnější posun je zaznamenán vlivem povodňové epizody v červnu 2013. Odůvodněním by mohl být fakt, že povodňová vlna dosáhla poměrně vysokých průtoků, ovšem trvala krátce. Došlo tedy k odplavení větších frakcí, samozřejmě i s těmi menšími, a opadnutí povodňové vlny dopravilo převážně jemnou frakci, která se začala usazovat. Tento trend lze pozorovat i u největší povodňové vlny v roce 2006, kde na rozdíl od povodňové epizody v roce 2013 bylo dosaženo vysokých průtoků a po delší dobu. Tím mohl proud více působit na větší částice a zároveň je i dopravit do daného profilu.



Obrázek 61: Porovnání křivek zrnitostí získaných z výpočtu pro všechny povodňové aktivity s křivkou zrnitosti určenou v laboratoři na odebraném vzorku na říčním km 79,106 v roce 2018.

7.2.3. Místo odběru na říčním km 78,123

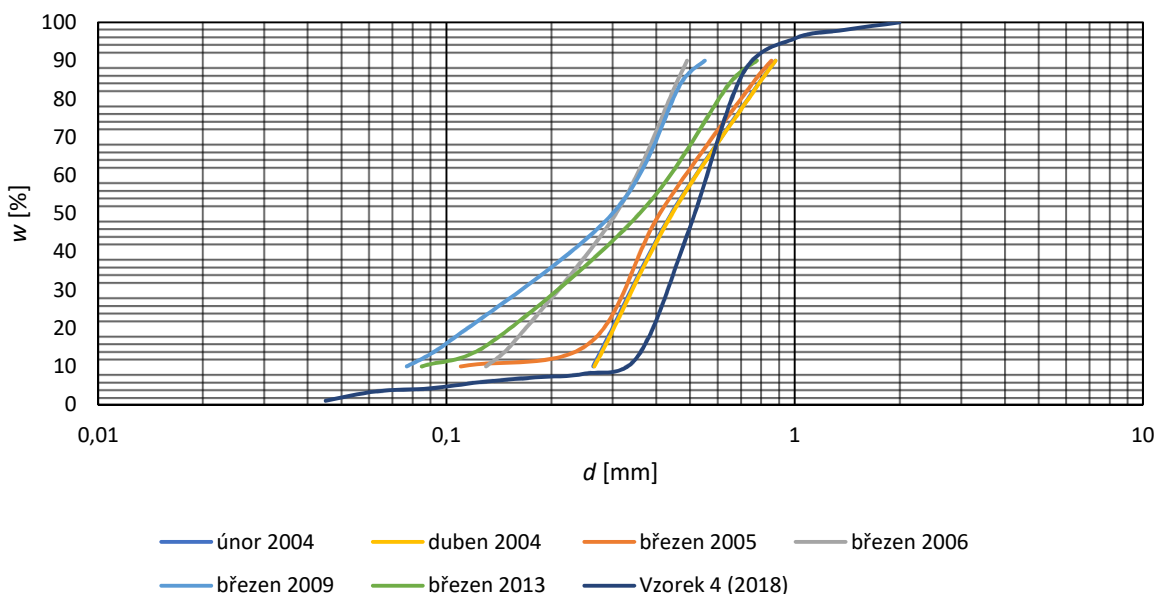
Získaná křivka zrnitosti z laboratoře má strmý charakter, který reprezentuje malý rozptyl frakcí. Jak je patrné na obrázku 62, došlo ke zvýšení množství jemnozrné frakce vlivem všech povodňových epizod. Nejvíce rozdílnou křivkou zrnitosti je ta z povodňové epizody v březnu 2005, která výrazně oproti ostatním změnila poměr jemnějších částic, ale co se větších částic týká, došlo pouze k drobnému posunu. Toto chování se dá odůvodnit hlavně tvarem hydrogramu, kdy na začátku povodňové epizody docházelo k náhlým zvýšením a snížením. Nebylo tedy dosaženo dostatečně vysokého průtoku na to, aby tato epizoda byla schopna přesunout velké množství větších částic. Po čtyřech dnech došlo k udržování vyšších průtoků, které ovšem opět nebyly schopny ve větší míře větší částice transportovat a došlo tedy jenom k transportu jemnějších částic. Vzhledem k tomu, že povodňová epizoda si udržela vyšší průtoky po delší dobu, došlo k většímu odplavení jemnějších částic než u jiných epizod v rámci tohoto zkoumaného profilu. Za zmínku také stojí křivka zrnitosti po povodňové epizodě v březnu 2006. Došlo sice k podobnému zvýšení procentuálního zastoupení jemnějších frakcí jako po ostatních povodňových epizodách, ale vzhledem průtokům, které byly z řešených epizod největší, došlo také ke změně v zastoupení větších frakcí, ty byly společně s jemnozrnými frakcemi transportovány dále po toku.



Obrázek 62: Porovnání křivek zrnitostí získaných z výpočtu pro všechny povodňové aktivity s křivkou zrnitosti určenou v laboratoři na odebraném vzorku na říčním km 78,123 v roce 2018.

7.2.4. Místo odběru vzorku na říčním km 77,070

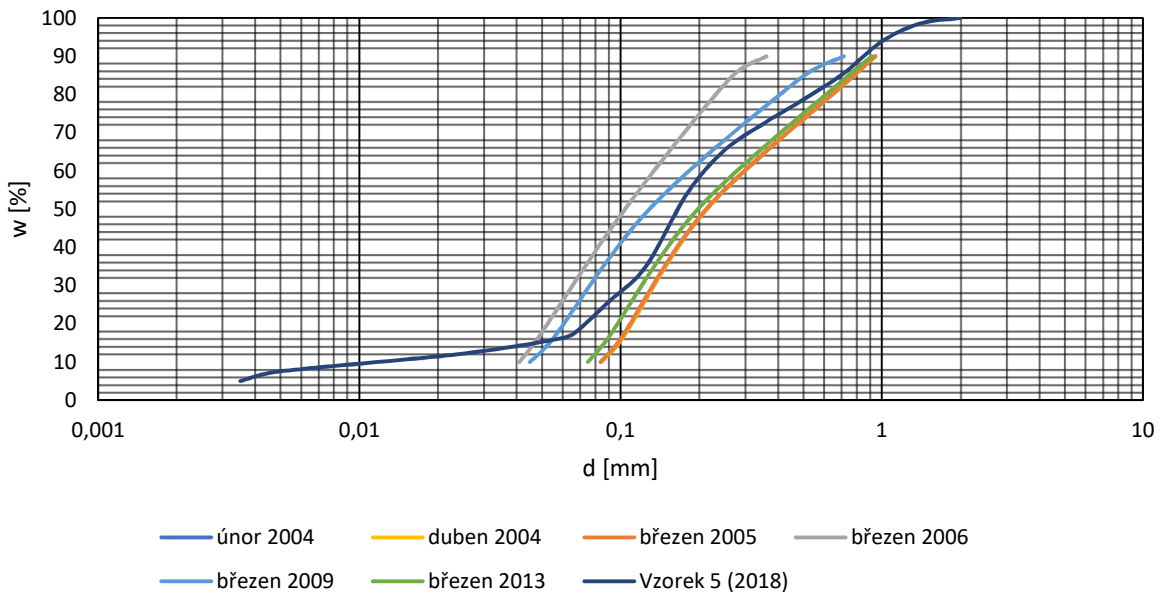
Trend strmosti křivky zrnitosti je možné pozorovat i v tomto odběrném profilu. Přiblížením více k nádrži došlo také k většímu zastoupení jemnější frakce a menšímu zastoupení větší frakce. Tuto skutečnost bylo možné pozorovat již samotným okem při odběru vzorků. Jak ukazuje přiložený obrázek 63, u výsledných křivek zrnitosti došlo k nárůstu jemnozrnných frakcí. Je třeba vzít v potaz, že tento profil se nachází na části úseku, kde dochází k rozšíření, a navíc je to příčný profil v oblouku, tedy převážná část dnových vyvýšenin se nachází na konvexní straně, tedy pravé. Kde také dochází nejvíce k sedimentaci splavenin vlivem nižších rychlostí. Tuto skutečnost není schopen numerický 1D model postihnout. Povodňové epizody s nízkými průtoky nejsou schopny, vzhledem k velké šířce daného příčného profilu, aby došlo v tomto místě k odplavování větších částic ve vyšší míře. Za zmínku stojí hlavně tři povodňové epizody, a to hlavně březen 2006, březen 2009 a červen 2013. Povodňová epizoda z března 2006 zachovala podobný tvar křivky zrnitosti, jako byla výchozí křivka zrnitosti z roku 2018. Došlo k procentuálnímu navýšení jemnozrnných frakcí. Zajímavý výsledek poskytla povodňová epizoda z března roku 2009, kdy horní část křivky zrnitosti je značně podobná té z roku 2006 a spodní část dokonce navýšila procentuální zastoupení jemnozrnných částic. Důvodem pro toto chování křivky zrnitosti je doba trvání. Ačkoliv povodňová epizoda z roku 2009 dosahuje nižších průtoků, než ta z roku 2006, její doba trvání je delší o čtyři dny. Proto došlo ke zvýšení zastoupení jemnějších částic a větší částice jsou srovnatelné s epizodou z roku 2006. Již zmiňovaná specifická povodňová epizoda z roku 2013 neměla dostatečně dlouhého trvání, aby byla schopna výrazně ovlivnit větší částice, nicméně došlo k výrazné změně těch jemnějších.



Obrázek 63: Porovnání křivek zrnitostí získaných z výpočtu pro všechny povodňové aktivity s křivkou zrnitosti určenou v laboratoři na odebraném vzorku na říčním km 77,070 v roce 2018.

7.2.5. Místo odběru na říčním km 74,876

V případě tohoto odběrného profilu se jedná o nádrž. Jak dokládá obrázek 64, křivka zrnitosti v tomto místě obsahuje širší škálu tříd zrnitostí, nicméně převažují jemnozrné frakce. Důsledkem šířky nádrže dochází ke zpomalení rychlostí, a tím pádem nižší průtoky nemají takový vliv na samotnou nádrž, co se vymílání větších frakcí týče. Dokonce dochází k jevu, kdy do nádrže přitékají větší frakce. Jedinými výjimkami jsou povodňové epizody z roku 2006 a 2009. Díky jejich dostatečně vysokým průtokům po delší dobu byly schopny zvýšit procentuální zastoupení jemnějších frakcí.



Obrázek 64: Porovnání křivek zrnitostí získaných z výpočtu pro všechny povodňové aktivity s křivkou zrnitosti určenou v laboratoři na odebraném vzorku na říčním km 74,876 v roce 2018.

7.2.6. Souhrnné zhodnocení výsledných křivek zrnitostí

Výsledné křivky se dají považovat za pravděpodobné. Hlavním rozhodujícím faktorem se jeví velikost průtoku a doba trvání povodňové epizody. Tvar je velmi podobný získaným křivkám zrnitosti z laboratoře. Vzhledem k faktu, že výpočet probíhal pouze v rámci úseku a nepočítal s přitékajícími splaveninami, které mohou ovlivnit významně výsledné složení křivek zrnitostí byl předpoklad, že by nemělo dojít k významnější změně rozložení frakcí. Na daném úseku je vysoké zastoupení jemnozrné frakce.

8. Závěr

Řešený úsek se nachází pod vodními díly, která regulují dobu trvání a intenzitu povodňových vln. Záleží na samotné regulaci průtoků správcem toku, protože ta přímo ovlivňuje transport splavenin. Díky vyšším rychlostem dochází ke zvýšenému transportu materiálu. Doba trvání tento jev ovlivňuje také, převážně schopností uvolnit větší frakce, případně přesunout více jemnější frakce. Závislost objemu povodňové vlny, délky trvání a dosažení dostatečných rychlostí určuje schopnost proudu uvést materiál do pohybu, což vyplývá i z výsledků diplomové práce. Nejlépe lze tento trend pozorovat na změně křivek zrnitostí, které přímo dokazují schopnost zvýšených průtoků přesouvat jemnozrný materiál, ale k významnému přesunu větších částic nedochází nebo v omezené míře. Oproti tomu povodňové epizody, které dosáhly několika násobně větších průtoků prokázaly zvýšenou schopnost přesunu i hrubozrnějšího materiálu, případně byly schopny výraznějšího ovlivnění dna nádrže.

Vybraná povodňová epizoda z března 2006 prokázala největší schopnost změnit dno řeky Dyje. Proto byla vybrána pro podrobnější zkoumání. Jak se předpokládalo, došlo k usazování jemnozrných částic a hrubších částic v omezené míře v místě ústí Dyje do horního úseku Horní nádrže Nové Mlýny. Zrnitostní křivka vzorku 1 nebyla změněna, protože byla horní okrajovou podmínkou. Je jisté, že reálná povodňová epizoda, by transportovala širší spektrum zrnitostních tříd. Tím by došlo k výraznějšímu ovlivnění všech křivek zrnitostí. Změna dna není příliš velká, nicméně je nutné pochopit, že se jedná pouze o zanedbatelný časový úsek v životnosti nádrže. Vlivem vybrané povodňové vlny došlo ke vzduť hladiny průtoků Q_{100} o 3 cm, což se jeví jako minimální číslo, nicméně je potřebné pochopit, že zanášení nádrže je kontinuální proces, který probíhá po celou dobu životnosti nádrže. V závislosti na průtoku splavenin během celého roku může docházet ke zvýšení vzduť hladiny o několik centimetrů za rok, což je možná zanedbatelný časový úsek v životnosti nádrže, nicméně v širším časovém horizontu dosáhne vyšších přírůstků.

Nádrži Nové Mlýny neprospívá ani fakt, že řeka Dyje je zde napřímená, dochází tak k rychlejšímu přesunu materiálu směrem do nádrže. Tok je z obou stran ohrázený a není proto velký prostor pro meandrování, což by bylo přirozené chování Dyje v tomto úseku. Meandrující tok by pozitivně ovlivnil usazování materiálu po délce toku a nedocházelo by k tak významnému zanášení, jako je tomu teď. Navíc by bylo dosaženo diverzity i v samotném proudění a mělo by to pozitivní dopad na flóru a faunu.

Ačkoliv se dají považovat výsledky na řešeném úseku za věrohodné, vytvoření modelu a provedení následné simulace prokázalo nedostatky v tomto přístupu. Je možné konstatovat, že pokud je řešený úsek krátký a nejsou dostupná data o průtoku splavenin do úseku, může dojít ke zkreslení. Proud toku může v realitě přesouvat frakce, která jsou v daném úseku zastoupeny v minimální míře, nicméně v dlouhodobém hledisku je změna markantní. Proto by bylo vhodné, aby se řešený úsek zapojil do většího řešeného celku, kde rozšíření bude fungovat jako zjednodušený přítok splavenin do úseku, který je potřeba řešit. V tomto případě by se data musela rozšířit o další část toku a určit alespoň jednu křivku zrnitosti na začátku doplňujícího úseku. Vzdáleností, o kterou je třeba prodloužit řešený úsek, se diplomová práce nezabývala. S jistotou lze říct, že by bylo potřeba doplnit model o vodní tok Jevišovka a prodloužit úsek toku Dyje, alespoň za soutok s již zmiňovanou Jevišovkou. Nelze určit, kolik přesně kilometrů rozšíření by bylo potřeba, aby došlo ke zvýšení validity výsledků. Důležité je si uvědomit, že není

možné tuto vzdálenost určit jednou délkou pro všechny toky, vždy musí dojít k podrobnému zvážení dané úlohy a prozkoumání terénu. Další možností zpřesnění numerické simulace je provádění měření přítékajících splavenin, abychom mohli řešit daný úsek, jak je zadán, a nemuseli prodlužovat řešenou oblast, bylo by přínosné mít k dispozici průtoky splavenin získávané ideálně kontinuálně po delší dobu. Získáním dat o splaveninovém průtoku by mohlo dojít ke zkrácení řešeného úseku při zachování validity výsledků, dokonce ke zpřesnění a následně by došlo k výraznému snížení časové náročnosti simulace numerického modelu, oproti prodloužené verzi. Je dobré podotknout, že takový měřicí bod by byl vhodný v dostatečné vzdálenosti před nádrží, aby hodnoty získané z měření odpovídaly přichozím splaveninám do nádrže a nebyly negativně ovlivněny vzdušným hladinou.

Dalším poznatkem může být fakt, že teplota velmi ovlivňuje chování samotného transportu splavenin. Na první pohled se teplota může jevit jako zanedbatelná hodnota, nicméně teplota přímo ovlivňuje hustotu vody. V ideálním případě, by bylo vhodné, pokud by byla dostupná data z měření teploty vody v čase. Jednalo by se o další krok k přesnějším výsledkům ze simulace numerického modelu, hlavně pokud se jedná o jemné suspendované látky, které jsou přímo závislé na hustotních proudech. Hustotní proudy zvyšují svůj význam hlavně v rámci nádrží, kde nedochází k velkým rychlostem vody. Vhodné by bylo doplnit měřicí bod na průtok splavenin o snímání teploty vody a zároveň měřit teplotu v nádrži. Teplotní stratifikace má velký vliv na průběh teplot po hloubce vody v nádrži. Kvůli postihnutí tohoto jevu by bylo vhodné měřit kontinuálně teplotu po výšce, aby se získalo maximální množství dat.

Otázka splavenin je zajímavé téma, kterému se věnuje mnoho vynikajících vědců. Zanášení nádrží je významným problémem a pokud budeme schopni perfektně porozumět transportu splavenin, bude možné nejen určit opatření snižující zanášení nádrží, ale pochopit i další procesy v korytě. Tyto poznatky se dají využít pro realizaci přírodně blízkých opatření. Je důležité si uvědomit, že transport splavenin je přirozeným jevem a není možné tento jev zcela potlačit. Navíc splaveniny obohacují tok a říční nivy, když se vody vyběží do inundací. Splaveniny jsou ve své podstatě prospěšné z hlediska přírody, bohužel negativně ovlivňují vodní stavby, které ztrácí svojí plnohodnotnou funkčnost. Do budoucna je třeba najít kompromis mezi objekty postavenými člověkem a přírodou.

9. Literatura

34-12 Pohořelice: Základní vodohospodářská mapa ČR [1:50 000], 1995. 3. Praha: Český úřad zeměměřický a katastrální

BAČÍK, M., KALIŠ, J., KLŮČOVSKÁ, J., 1985. *Medolovanie zanášania nádrží*. Bratislava: VÚVH Bratislava.

BARTOŠ, P., 2009. Fotografie povodně 2009. Dostupné na: <https://www.mapy.cz>.

BRUNNER, G.W., 2016. *HEC RAS River Analysis System: Hydraulic Reference Manual*. Version 5.0. United States of America, 547 s. Dostupné na: <https://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/documentation/HEC-RAS%205.0%20Reference%20Manual.pdf>

Caperea měřící plavidlo, 2020. V: *VARS* [online]. Brno: Vars Brno [cit. 2020-01-06]. Dostupné z: <http://www.vars.cz/caperea-merici-plavidlo>

ČÚZK, 2018. POHO27_5g.xyz

ČÚZK, 2018. POHO36_5g.xyz

ČÚZK, 2018. POHO37_5g.xyz

ČÚZK, 2018. POHO38_5g.xyz

ČÚZK, 2018. POHO48_5g.xyz

Evidenční list hlásného profilu č. 364, 2019. *Český hydrometeorologický ústav: Hlásná a předpovědní povodňová služba* [online]. Praha: Portál ČHMÚ, 1.10.2019 [cit. 2019-12-31]. Dostupné na: http://hydro.chmi.cz/hpps/hpps_prfbk_detail.php?seq=306976

Evidenční list hlásného profilu č. 367, 2019. *Český hydrometeorologický ústav: Hlásná a předpovědní povodňová služba* [online]. Praha: Portál ČHMÚ, 1.10.2019 [cit. 2019-12-31]. Dostupné na: hydro.chmi.cz/hpps/hpps_prfbk_detail.php?seq=306978

Hydrologic Engineering Center, 1986. *Accuracy of Computed Water Surface Profiles*, Research Document 26, U.S. Army Corps of Engineers, Davis CA.

JANDORA, J., ŠULC, J., 2006. *Hydraulika: modul 01*. Brno: Akademické nakladatelství CERM. Studijní opory pro studijní programy s kombinovanou formou studia. ISBN 978-80-7204-512-9.

MARTON, D., 2018. drnholec_novemlyny_nad.xls

MORRIS, G. L., FAN, J., 1998. *Reservoir Sedimentation Handbook: Design and Management of Dams, Reservoirs, and Watersheds for Sustainable Use*, New York, USA: McGraw-Hill

PAŠEK, J., MATULA, M. a kol. 1995. *Inženýrská geologie I., II.*, Česká matice technická, Praha

Povodí Moravy, s. p., 2001. 00_Manipulační řád pro VD Nové Mlýny_Horní nádrž.pdf

Povodí Moravy, s. p., 2018. 03_Přehledný podélný profil zátopy.pdf

Povodí Moravy, s. p., 2018. 031.jpg

Povodí Moravy, s. p., 2018. Nove_Mlyny_komplet_05xyz.txt

Povodí Moravy, s. p., 2019. Hevlín_Hrušovany_Qd_Qh.xls

ŘÍHA, J. a kol., 2010. *VD Nové Mlýny Odborné vyhodnocení dopadů trvalého snížení hladiny ve střední a dolní nádrži*. Brno: Vysoké učení technické v Brně

ŘÍHA, J.; SMELÍK, L.; UHMANNOVÁ, H. *Možnosti zvýšení protipovodňové ochrany obcí na Děčínsku*. V: Odborná konference s mezinárodní účastí Vodní toky 2011. 1. Kostelec nad Černými Lesy: Lesnická práce, s.r.o., 2011. s. 54-60. ISBN: 978-80-7458-012-3.

ŘÍHA, J., ZACHOVAL, Z., 2011. *The assessment and forecasting of sedimentation at the Nove Mlyny reservoir*. Exohydrological methods in water management. Gdansk: Gdansk University of Technology

SEDECO, 2019. Report 1: Zpráva ze zaměření profilů toku Dyje v přítoku do horní nádrže Nové Mlýny, Brno: Vysoké učení technické v Brně

SEDECO, 2019. Report 2: Zpráva z odběru a vyhodnocení vzorků zrnitosti v horní nádrži Nové Mlýny, Brno: Vysoké učení technické v Brně

SEDECO, 2019. Report 9: Srážkoodtokový model povodí Dyje, Brno: Vysoké učení technické v Brně

ŠLEZINGR, M., 2002. Příspěvek k problematice přetváření břehů vodních nádrží. Brno: Vutium

Úhrn srážek v roce 2018, 2019. ČHMÚ [online]. Praha [cit. 2020-01-06]. Dostupné na: <http://portal.chmi.cz/historicka-data/pocasi/mapy-charakteristik-klimatu>

WHITE, R., 2001, *Evacuation of sediments from reservoirs*, Londýn: Thomas Telford Press

WINKLER, S., 2018, *Vliv sedimentů na hydrologické podmínky toku*, Brno

VD Nové Mlýny – Dolní, 2019. *Povodí Moravy* [online]. Povodí Moravy s.p.: Media Age Digital, 02/2018 [cit. 2019–11–27]. Dostupné na: <http://www.pmo.cz/cz/o-podniku/vodni-dila/nove-mlyny-dolni/>

VD Nové Mlýny – Horní, 2019. *Povodí Moravy* [online]. Povodí Moravy s.p.: Media Age Digital, 02/2018 [cit. 2019–11–27]. Dostupné na: <http://www.pmo.cz/cz/o-podniku/vodni-dila/nove-mlyny-horni/>

VD Nové Mlýny – Střední, 2019. *Povodí Moravy* [online]. Povodí Moravy s.p.: Media Age Digital, 02/2018 [cit. 2019–11–27]. Dostupné na: <http://www.pmo.cz/cz/o-podniku/vodni-dila/nove-mlyny-stredni/>

ZACHOVAL, Z. 2016. *Splaveniny ve vodních tocích*, Brno: Vysoké učení technické v Brně.

ZACHOVAL, Z., 2019. CR052_L-Splaveniny a usazeniny ve zdržích a nádržích.ppt

Základní mapa 1:10 000, 2010. *Geoportál ČÚZK* [online]. Praha: ČÚZK, 2010 [cit. 2020-01-05]. Dostupné na: <https://geoportal.cuzk.cz/geoprohlizec/?wmcid=486>

10. Seznam obrázků

Obrázek 1: Předpověď zanášení Střední nádrže vodního díla Nové Mlýny (Zachoval, 2019).....	14
Obrázek 2: Grafické zobrazení rovnice (Brunner, 2016).	16
Obrázek 3: Výchozí metoda dělení profilu (Brunner, 2016).	17
Obrázek 4: Alternativní způsob dělení profilu (Brunner, 2016).	18
Obrázek 5: Schéma pro získání průměrné rychlostní výšky (Brunner, 2016).....	19
Obrázek 6: Ukázka změny směru proudění při zvýšené vodní hladině (Brunner, 2016).	20
Obrázek 7: Hydrogram pro výpočet po částech ustáleného proudění (Brunner, 2016).....	21
Obrázek 8: Schéma kontrolovaného objemu pro výpočet sedimentů v programu (Brunner, 2016).	23
Obrázek 9: Síly působící na částici (Brunner, 2016)	25
Obrázek 10: Rousův koncentrační profil (Brunner, 2016).....	27
Obrázek 11: Toffaletiho zóny pro rozdělení vodního sloupce (Brunner, 2016).	28
Obrázek 12: Porovnání algoritmů pro vytvoření krycí vrstvy (Brunner, 2016).	29
Obrázek 13: Náhled širších vztahů zájmového území (Základní mapa 1:10 000, 2010)	30
Obrázek 14: Letecký snímek zájmového území. (Povodí Moravy, s. p., 2018)	31
Obrázek 15: Určení podélného sklonu pomocí spojnice trendu.....	32
Obrázek 16: Vybrané příčné profily po přibližně 1 km.....	33
Obrázek 18: Povodeň v roce 2009 zachycená na hrázi Dolní nádrže Nové Mlýny (Bartoš, 2009).	34
Obrázek 17: Fotka znázorňující škody způsobené povodní v roce 2002 (Archiv Jihomoravského muzea) 34	
Obrázek 19: Pohled proti proudu Dyje v místech horní části Horní nádrže (Archiv autora, 2019).....	35
Obrázek 20: Koryto řeky Dyje s mrtvým dřevem, ostrůvky s vegetací a čerpací stanicí na levém břehu toku. (Archiv autora, 2019).	35
Obrázek 21: Vlevo na fotografii měřicí přístroj a vpravo člun s potřebným vybavením (SEDECO – Report 1, 2019).....	36
Obrázek 22: Vysečený pruh ve vegetaci v místě řezu, zatlučené kůly s nataženým lanem pro zachování linie řezu s připravenou lodí na břehu. (SEDECO – Report 1, 2019)	37
Obrázek 23: Proces měření příčného profilu toku Dyje (SEDECO – Report 1, 2019)	37
Obrázek 24: Loď Caperea zajišťující monitoring (Vars Brno a. s. 2019)	38
Obrázek 25: Místa odběrů sedimentů pro stanovení křivek zrnitostí (SEDECO – Report 2, 2019).....	38
Obrázek 26: Odběr vzorku 1 (SEDECO – Report 2, 2019).....	39
Obrázek 27: Odběr vzorku 2 (SEDECO – Report 2, 2019).....	40
Obrázek 28: Místo odběru vzorku 3 (SEDECO – Report 2, 2019)	40
Obrázek 29: Odběr vzorku 4 (SEDECO – Report 2, 2019).....	41
Obrázek 30: Odebraný materiál pro vzorek 5 (SEDECO – Report 2, 2019)	41
Obrázek 31: Ukázka postupu při prosévací zkoušce (SEDECO – Report 2, 2019).	42
Obrázek 32: Měření jemnozrnných částic menších než 0,032 mm pomocí hustoměrné zkoušky vlevo a vpravo připravený odměrný válec s rozmíchaným materiálem v kapalině (SEDECO – Report 2, 2019). ...	43
Obrázek 33: Křivky zrnitostí odebraných vzorků z roku 2018 (SEDECO – Report 2, 2019).	43
Obrázek 34: Digitální model terénu vytvořený v programu AutoCAD Civil3D.	44
Obrázek 35: Ortofoto mapa s vynesnými příčnými profily z geodetického zaměření a s příčnými profily nádrže, určených z digitálního modelu terénu.	45
Obrázek 36: Vizualizace 1D modelu.	45
Obrázek 37: Odvozený hydrogram povodně pro Horní nádrž duben 2004.	50
Obrázek 38: Průběh hladiny při povodňové epizodě únor 2004	50

Obrázek 39: Průběh hladiny při povodňové epizodě duben 2004.....	51
Obrázek 40: Odvozený hydrogram povodně pro Horní nádrž duben 2004.....	51
Obrázek 41: Průběh hladiny při povodňové epizodě březen 2005.....	52
Obrázek 42: Odvozený hydrogram povodně pro Horní nádrž březen 2005.....	52
Obrázek 43: Průběh hladiny při povodňové epizodě březen 2006.....	53
Obrázek 44: Odvozený hydrogram povodně pro Horní nádrž březen 2006.....	53
Obrázek 45: Průběh hladiny při povodňové epizodě březen 2009.....	54
Obrázek 46: Odvozený hydrogram povodně pro Horní nádrž březen 2009.....	54
Obrázek 47: Průběh hladiny při povodňové epizodě červen 2013.....	55
Obrázek 48: Odvozený hydrogram povodně pro Horní nádrž červen 2013.....	55
Obrázek 49: Změna podélného profilu dna v nejnižším místě po působení povodňové epizody únor 2004.	56
Obrázek 50: Změna podélného profilu dna v nejnižším místě po působení povodňové epizody duben 2004.....	57
Obrázek 51: Změna podélného profilu dna v nejnižším místě po působení povodňové epizody březen 2005.....	57
Obrázek 52: Změna podélného profilu dna v nejnižším místě po působení povodňové epizody březen 2006.....	58
Obrázek 53: Grafické zobrazení míst, kde se materiál usazuje a vymílá v metrech vlivem povodňové epizody březen 2006.....	59
Obrázek 54: Grafické zobrazení míst, kde se materiál usazuje a kde vymílá v objemech vlivem povodňové epizody březen 2006.....	59
Obrázek 55: Rozdíl hladin Q_{100} na geometrii z roku 2018 a po povodňové epizodě 2006.....	60
Obrázek 56: Porovnání hladin Q_{100} vypočtených na původní geometrii a změněné geometrii vlivem povodňové epizody 2006 se zobrazeným dnem po změně.....	60
Obrázek 57: Rozdíl hladin Q_{50} na geometrii z roku 2018 a po povodňové epizodě 2006.....	61
Obrázek 58: Porovnání hladin Q_{50} vypočtených na původní geometrii a změněné geometrii vlivem povodňové epizody 2006 se zobrazeným dnem po změně.....	61
Obrázek 59: Změna podélného profilu dna v nejnižším místě při působení povodňové epizody březen 2009.....	62
Obrázek 60: Změna podélného profilu dna v nejnižším místě po působení povodňové epizody červen 2013.....	63
Obrázek 61: Porovnání křivek zrnitostí získaných z výpočtu pro všechny povodňové aktivity s křivkou zrnitosti určenou v laboratoři na odebraném vzorku na říčním km 79,106 v roce 2018.....	64
Obrázek 62: Porovnání křivek zrnitostí získaných z výpočtu pro všechny povodňové aktivity s křivkou zrnitosti určenou v laboratoři na odebraném vzorku na říčním km 78,123 v roce 2018.....	65
Obrázek 63: Porovnání křivek zrnitostí získaných z výpočtu pro všechny povodňové aktivity s křivkou zrnitosti určenou v laboratoři na odebraném vzorku na říčním km 77,070 v roce 2018.....	66
Obrázek 64: Porovnání křivek zrnitostí získaných z výpočtu pro všechny povodňové aktivity s křivkou zrnitosti určenou v laboratoři na odebraném vzorku na říčním km 74,876 v roce 2018.....	67

11. Seznam tabulek

Tabulka 1: Zobrazení použitých drsností v numerickém modelu, výsledek kalibrace.	47
Tabulka 2: Souhrnná tabulka N-letých průtoků pro Jevišovku, Dyji a začátek řešeného úseku.	49
Tabulka 3: Souhrnná tabulka objemů usazeného materiálu vlivem povodňových epizod a objemy splavenin.	63

12. Seznam zkratek a veličin

1D	jedna dimenze	
2D	dvě dimenze	
3D	tři dimenze	
HEC – RAS	Hydrological Engineering Center's – River Analysis Systems	
CH	koryto	
LOB	levá inundace (levobřežní zóna)	
ROB	pravá inundace (pravobřežní zóna)	
SEDECO	Sedimenty a ekosystémové služby ve vzájemném působení s povodněmi a suchem v pohraniční oblasti AT – CZ financovaného pomocí INTERREG AT – CZ	
VD	vodní dílo	
VUT	Vysoké učení technické v Brně	
XS	příčný profil	
\bar{v}	průměrná rychlost	[m/s]
A	plocha	[m ²]
B	šířka koryta	[m]
C	koeficient místní ztráty	[-]
<i>c_D</i>	koeficient unášení	[-]
<i>D/(d)</i>	průměr zrna	[m]
<i>d</i>₁₀	Průměr zrna při deseti procentním propadě přes síto.	[m]
<i>d</i>₁₆	Průměr zrna při šestnácti procentním propadě přes síto.	[m]
<i>d</i>₅₀	Průměr zrna při padesáti procentním propadě přes síto.	[m]
<i>d</i>₈₄	Průměr zrna při osmdesáti čtyř procentním propadě přes síto.	[m]
<i>d</i>₉₀	Průměr zrna při devadesáti procentním propadě přes síto.	[m]

F	síla	[N]
F_D	unášecí síla	[N]
F_g	gravitační síla	[N]
g	gravitační zrychlení	[m/s ²]
H	výška hladiny	
h_e	ztrátová výška	[m]
K	modul průtoku	[m ³ /s]
L	vážený průměr délky	[m]
m	hmotnost	[kg]
n	drsnostní součinitel	[-]
N	počet neznámých	[-]
n_c	celkový drsnostní součinitel	[-]
n_z	číslo třídy zrnitosti	[-]
P	omočený obvod celého koryta	[m]
p	pórovitost	[-]
P_i	omočený obvod části koryta	[m]
Q	průtok	[m ³ /s]
Q_{10}	desetiletý průtok	[m ³ /s]
Q_{100}	stoletý průtok	[m ³ /s]
Q_{15}	patnáctiletý průtok	[m ³ /s]
Q_{18}	osmnáctiletý průtok	[m ³ /s]
Q_{50}	padesátiletý průtok	[m ³ /s]
Q_i	průtok i-té části	[m ³ /s]
Q_{kul}	kulminační průtok	[m ³ /s]
Q_N	Průtok s pravděpodobností překročení je jednou za N roků.	
Q_s	průtok splavenin	[m ³ /s]
R	hydraulický poloměr	[m]
S_f	Sklon čáry energie mezi profily způsobený třením.	[-]
t	čas	[s]
T_c	celková transportní kapacita	[m ³]

T_j	transportní potenciál	[-]
u	bodová rychlost	[m/s]
v	rychlost	[m/s]
v_i	rychlost i-té části	[m/s]
V_n	objem nádrže	[m ³]
V_{n0}	počáteční objem nádrže	[m ³]
v_s	rychlost splavenin	[m/s]
V_s	objem splavenin	[m ³]
V_U	objem usazenin	[m ³]
w	procentuální propad sít	[%]
x	vzdálenost	[m]
y	hloubka vody v řezu	[m]
Z	nadmořská výška	[m n. m.]
z	Rousovo číslo	[-]
α	Coriolisovo číslo / rychlostní součinitel	[-]
β_j	Procentuálně vyjádřené množství materiálu j v aktivní vrstvě	[%]
ΔQ	změna průtoku	[m ³ /s]
Δx_c	délka toku trasovaná středem	[m]
Δx_f	délka mezi příčnými profily	[m]
ΔZ	změna nadmořské výšky	[m n. m.]
λ_p	pórovitost aktivní vrstvy	[-]
π	matematická konstanta	
ρ	hustota	[kg/m ³]

13. Summary

Transport of sediments is process when particles suspended in flow are moved. After reaching reservoir occurs diminution of velocity, which cause sedimentation. Volume of water is reduced due to high concentration of sediments in reservoir. Diploma thesis is focusing on transport of sediments to the upper part of reservoir Horní nádrž Nové Mlýny. Reservoir sedimentation is substantial issue and is necessary to be aware of this issue and properly understand what is behind. Part of the diploma thesis is 1D numerical model which was built in HEC – RAS 5.0.7. For creation was needed to measure cross sections and take five samples of sediments to classify grain class curves. Numerical model was calibrated on known water surface level in reservoir with steady flow of Q_{100} . For research of bed change in the reservoir were compiled hydrographs of real flood episodes, which were used as upstream boundary condition. Downstream boundary condition was level of water surface during flood episodes gathered by reservoir manager. Sediment boundary condition were used classified grain class curves in five cross sections. Simulation consisted of six real flood episodes and was ran by unsteady algorithm. Results of simulation were bed change and volume change of sediments. Major impact was caused by flood episodes with long duration and high intensity. Which were able to transport fine grain particles and coarse particles. Outputs were changed grain class curves which showed increase of fine particles in five observed locations. Curves were constructed from five values: d_{10} , d_{16} , d_{50} , d_{84} , d_{90} . Afterwards was selected one flood episode which had highest impact on bed change and changed geometry was then used for new steady flow simulation (Q_{50} , Q_{100}) to determine change of water surface level by change of geometry. Comparison of old water surface level and new showed difference by 3 cm in the estuary of Dyje into the reservoir Nové Mlýny. Due to transport of sediments far to the reservoir there was decrease of water surface level in the upper part of reservoir. All data were acquired as part of the project SEDECO. Sample 1 was not change as it was upstream boundary condition. Simulation has showed limitation of used approach. Real flood episodes are able to transport particles, which were not obtained in samples or were represented in grain class curves but in lesser amount. This can cause further change of curves. It is recommended to extend the river reach at least to the junction with river Jevišovka and include Jevišovka river in the simulation. This would lead to more realistic results. Another option would be to measure sediments incoming to the simulated reach and then use this data as upstream boundary condition. Measuring point should be placed upstream far enough to not be influenced by water level in reservoir. Due to data from measurement it is possible to have the same length of river reach and get more accurate results. For even more accurate results would be needed to have water temperature as function of time in the river and reservoir.