



# V.T1.1 Udržitelná strategie řízení sedimentů pro nádrž Nové Mlýny

## Závěrečná zpráva – shrnutí výsledků řešení SEDECO (ATCZ 28)





**Project coordination:**

**Helmut Habersack<sup>1</sup>, Daniel Marton<sup>2</sup>, Ludmila Kovářová,<sup>3</sup> Jürgen Gruber<sup>4</sup>**

**Author: Zbyněk Zachoval<sup>2</sup>**

Picture in front page: výška nánosu k roku 2018 [m], author Zbyněk Zachoval

Brno, prosinec 2022

The project was cofinanced by the „European Regional Development Fund“.





## **SEDECO (ATCZ 28)**

**Sedimente, Ökosystemdienstleistungen und Wechselwirkungen mit Hochwasser und Dürre in der AT-CZ Grenzregion**

**Sedimenty a ekosystémové služby ve vzájemném působení s povodněmi a suchem v pohraniční oblasti AT-CZ**

**Work package T1:**

**Sedimenttransport und –management / Transport a management sedimentů**

## **Final report**

<sup>1</sup> **University of Natural Resources and Life Science, Vienna**  
**Department of Water, Atmosphere and Environment**  
**Institute of Water Management, Hydrology and Hydraulic Engineering**

<sup>2</sup> **Vysoké učení technické v Brně**  
**Faculty of Civil Engineering**  
**Institute of Landscape Water Management**

<sup>3</sup> **Povodí Moravy, s.p.**

<sup>4</sup> **BOKU - Wasserbaulabor Errichtungs- und Betriebs-Gesellschaft m.b.H.**

<sup>5</sup> **Federal Agency for Water Management, Vienna**  
**Institute for Hydraulic Engineering and Calibration of Hydrometrical**  
**Current-Meters**



**Abstract CZ**

V reportu, který shrnuje práce provedené v rámci řešení projektu, je stručně popsán kompletní postup řešení a dosažených výsledků za celou dobu řešení projektu včetně doporučených opatření. Uvedený report ve své podobě bude sloužit jako text závěrečné zprávy k jednomu z hlavních výstupů projektu V.T1.1 Udržitelná strategie řízení sedimentů pro nádrž Nové Mlýny, přesně aktivitě A.T.1.5 Vývoj opatření, resp. dílčího výstupu A.T.1.5.1 Strategie opatření pro řízení sedimentů.

V úvodu reportu je představen důvod řešení a definován cíl prací včetně použité metodiky. V další části jsou představeny podklady a analýzy podkladů. V následující části je prezentován historický vývoj zanášení horní části horní nádrže vodního díla Nové Mlýny. Dále je popsána predikce vývoje zanášení. V navazující části jsou prezentována možná opatření s doporučeními. Poslední část uzavírá a hodnotí provedené práce a dosažené výsledky.

## Resümee

Der Bericht, der die umgesetzten Projektaktivitäten zusammenfasst, beschreibt kurz das gesamte Untersuchungsverfahren und die erzielten Ergebnisse während der gesamten Projektdauer, einschließlich empfohlener Maßnahmen. Der Bericht dient als Text des Abschlussberichts zu dem Kernoutput V.T1.1 „Nachhaltige Sedimentmanagementstrategie für den Stauraum Nové Mlýny“, insbesondere der Aktivität A.T.1.5 „Maßnahmenentwicklung“ bzw. des Detailoutputs A.T.1.5.1 „Strategie zu Sedimentmanagementmaßnahmen“.

Einleitend wird der Grund für die Untersuchung dargestellt und die Zielsetzung für die Arbeiten samt der angewandten Methodik definiert. In dem nachfolgenden Teil werden Unterlagen und deren Analysen vorgestellt. Der nächste Abschnitt stellt die historische Verlandungsentwicklung im oberen Teil des Oberbeckens der Stauanlage Nové Mlýny vor. Als nächstes wird die Vorhersage der Verlandungsentwicklung dargestellt. Mögliche Maßnahmen und Empfehlungen werden im folgenden Abschnitt beschrieben. Der letzte, abschließende Teil bewertet die geleisteten Arbeiten und die erreichten Ergebnisse.

## Obsah

Abstract CZ .....	1
Resümee .....	2
1 Úvod .....	5
2 Cíl práce a metodika řešení .....	7
2.1 Cíl .....	7
2.2 Metodika řešení .....	7
3 Podklady, analýzy podkladů a jejich zpracování .....	9
3.1 Topografické podklady .....	9
3.2 Hydrologické podklady .....	9
3.3 Zrnitost usazenin a splavenin .....	10
4 Historický vývoj zanášení horní části HN VD NM .....	12
4.1 Stanovení z měřených dat .....	12
4.2 Vývoj zanášení v období 1978 až 2018 – 1D numerická simulace .....	14
4.2.1 Zhotovení modelu .....	14
4.2.2 Analýzy, kalibrace a verifikace modelu .....	14
4.2.3 Simulace historického vývoje zanášení .....	15
4.2.4 Výsledky historického vývoje zanášení .....	15
4.3 Vývoj zanášení v období 2009 až 2018 – 2D numerická simulace .....	17
4.3.1 Zhotovení modelu .....	17
4.3.2 Analýzy, kalibrace a verifikace modelu .....	17
4.3.3 Simulace historického vývoje zanášení .....	18
4.3.4 Výsledky historického vývoje zanášení .....	18
4.4 Porovnání simulace se změřenými daty .....	19
5 Predikce vývoje zanášení horní části HN VD NM bez opatření .....	21
5.1 Krátkodobá predikce – 2D model .....	21
5.2 Střednědobá predikce – 1D model .....	24
5.2.1 KS1 .....	24
5.2.2 KS2 .....	25
5.2.3 KS3 .....	26

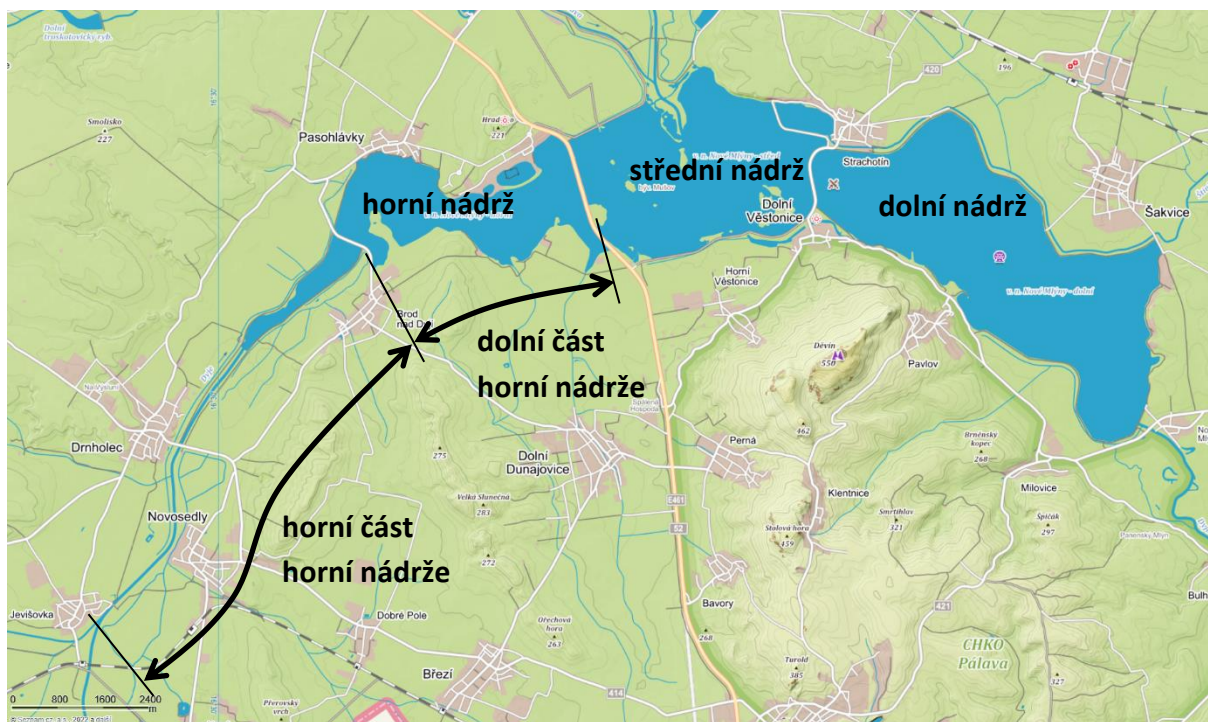
5.2.4	Porovnání výsledků KS.....	26
5.3	Dlouhodobá predikce – analogie.....	28
5.4	Změna ochrany území za hrázemi .....	30
6	Možná opatření s doporučeními .....	34
6.1	Analýzy.....	34
6.2	Navržené varianty.....	35
6.3	Doporučená varianta bez usazovacího prostoru.....	36
6.3.1	Popis varianty .....	36
6.3.2	Míra ochrany území za hrázemi .....	43
6.4	Doporučená varianta s usazovacím prostorem.....	44
7	Zhodnocení provedených prací a dosažené výsledky .....	46
8	Seznamy .....	47
8.1	Seznam literatury.....	47
8.2	Seznam značek veličin .....	47
8.3	Seznam zkratk.....	48
8.4	Seznam obrázků.....	48

## 1 Úvod

Vodní dílo (VD) Nové Mlýny (NM) je rozděleno příčnými hrázemi s funkčními objekty na tři vodní nádrže: dolní, střední a horní (Obr. 1). Horní nádrž (HN) VD NM byla z důvodu popisu zanášení pracovně rozdělena na její horní část a dolní část (Obr. 1). Horní část je úzká a zanáší se relativně rychle, oproti tomu dolní část je široká a zanáší se relativně pomalu. Horní část je vymezena mostem Brod nad Dyjí a profilem soutoku Dyje s Jevišovkou (dosah zásobní hladiny). Zanášení horní části je opticky pozorovatelné vznikem ostrovů a jejich zarůstáním vegetací (Obr. 2).

Zanášení horní části HN VD NM a zarůstání nánosů má negativní důsledky v podobě: zmenšení objemu nádrže, zmenšení míry ochrany území za hrázemi, zhoršení jakosti vody, změny zatížení mostů, omezené funkčnosti čerpacích stanic, většího zatížení ochranných hrází z důvodu meandrování a větvení koryt, snížení rekreačního potenciálu atd.

Znalost historického vývoje zanášení by byla cennou informací k budoucí predikci chování nádrže a podkladem pro určení většiny výše uvedených důsledků spojených se zanášením. Návrh opatření by pak ukázal možné cesty k dosažení udržitelného stavu managementu splavenin a usazenin po relativně dlouhou dobu z pohledu zanášení horní části HN VD NM.



Obr. 1. Vymezení zájmové oblasti ([www.mapy.cz](http://www.mapy.cz), 2022)





Obr. 2. Zanášení nádrže a zarůstání nánosů (Povodí Moravy, 2018)

## 2 Cíl práce a metodika řešení

### 2.1 Cíl

Cílem bylo:

- popsat historický vývoj zanášení horní části HN VD NM,
- predikovat budoucí vývoj zanášení HN VD NM pro tři klimatické scénáře,
- navrhnou opatření managementu splavenin a usazenin v nádrži k minimalizaci negativních důsledků zanášení.

### 2.2 Metodika řešení

K popisu vývoje zanášení bylo použito měření, numerické modelování a analogie.

Měření bylo použito především k popisu historického a současného stavu. Měření rovněž posloužilo ke kalibraci numerických modelů. Vzhledem k rozsahu, době pořízení a přesnosti měřených dat bylo třeba přijmout celou řadu zjednodušujících předpokladů pro jejich použití. Hlavními zjednodušujícími předpoklady týkajícími se topografických dat bylo, že ochranné hráze se v čase neměnily, přítoková koryta Dyje a Jihlavy byla, jsou a budou v dynamické rovnováze a mezi měřenými údaji lze použít lineární interpolaci. Hlavním předpokladem k hydrologickým údajům bylo, že v období bez pozorování průtoků byl průtok odpovídající po zprůměrování průměrnému ročnímu průtoku a hladina v nádrži odpovídala zásobní hladině. Z hlediska transportu splavenin se předpokládalo, že přítok splavenin se realizuje pouze Dyjí a Jevišovkou, ostatní zdroje splavenin byly zanedbány.

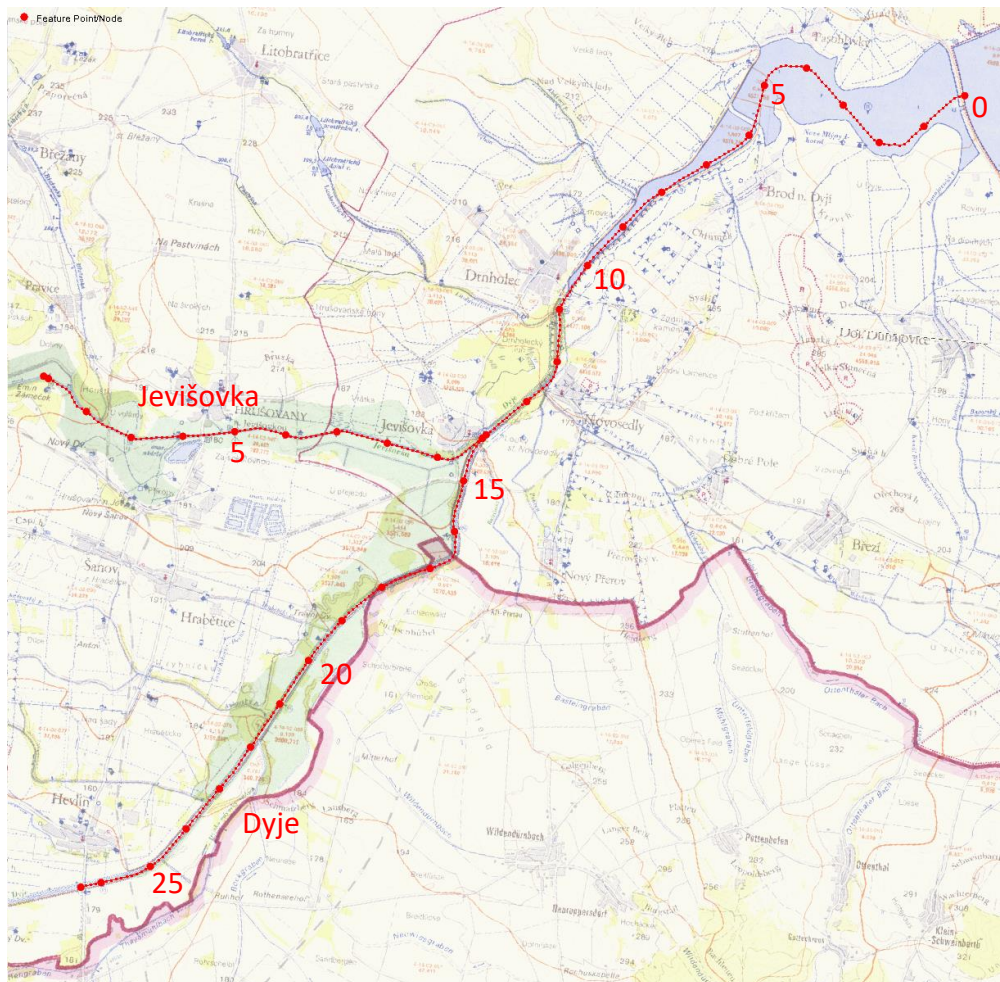
Numerické modelování mělo za úkol vytvořit numerické modely, které umožnily popsat historický i budoucí vývoj zanášení HN VD NM včetně navržených opatření. Použity byly dvě prostorové schematizace. Jednorozměrné (1D) modely měly za úkol simulovat relativně dlouho trvající děje a dvourozměrné (2D) modely měly detailně popisovat relativně krátko trvající děje. I pro numerické modely bylo nutné přijmout mnohá zjednodušení. Mezi hlavní zjednodušení modelů patřilo to, že popisovaly pouze mechanické děje, 1D model řešil pouze quasi neustálené proudění, 2D model neobsahoval dolní část HN VD NM.

Analogie byla použita pro popis dlouhodobého zanášení, protože numerické řešení by v daném případě bylo extrémně zdlouhavé a s významnou mírou nejistoty.

Pro návrh opatření byl přijat požadavek, aby veškerá opatření byla prováděna v prostoru nádrže.

Přijatým předpokladem byl neměnný stav koryty toků Dyje a Jevišovky a jejich povodí protiproudě nad řešenou oblastí (netýká se hydrologie).

Z důvodu jednoznačného vyhodnocení bylo přijato nové staničení s počátkem v hrázi HN VD NM vedené osou koryta z roku 1952. Staničení vyobrazuje Obr. 1.



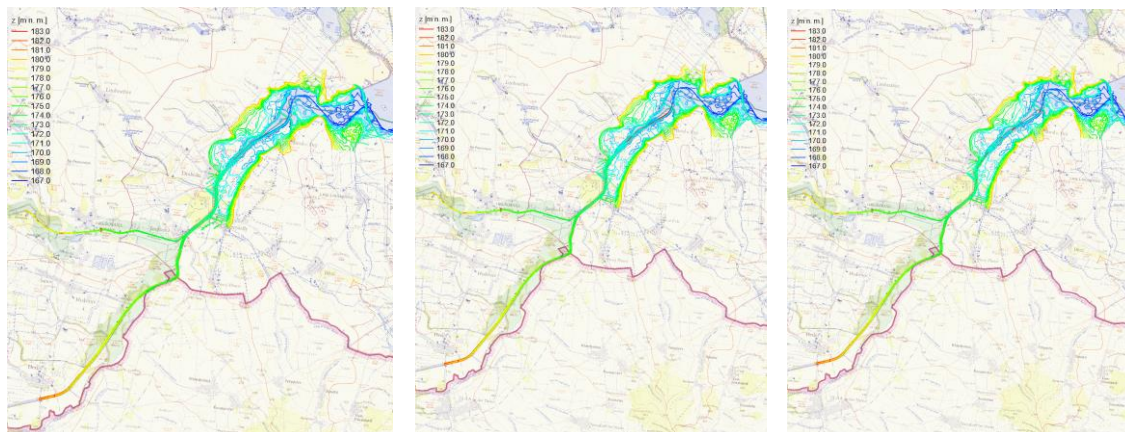
Obr. 1. Použité staničení, velké kruhy po 1 km, malé kruhy po 100 m

### 3 Podklady, analýzy podkladů a jejich zpracování

Podklady byly rozděleny na topografické, hydrologické, splaveninové a usazeninové a detailně byly popsány v průběžné zprávě „Report 6 – Příprava 1D modelu proudění vody a transportu splavenin“.

#### 3.1 Topografické podklady

Digitální model terénu (DMT) byl nezbytným podkladem pro vyhodnocení nánosu v čase a pro vyhotovení 1D a 2D modelu proudění vody a transportu splavenin s deformací dna. Podkladovými daty pro jeho vyhotovení byly: digitální model reliéfu páté generace, historické mapy S-1952, fotografie současných nánosů, letecké snímky, podélný profil Dyje, zaměření profilů koryta Dyje a nádrže, zaměření koryta Jevišovky, zaměření profilů v konci vzdutí a zaměření povrchu dna nádrže. Jelikož byla zdrojová data prostorově a časově velmi proměnná, bylo nutné přijmout zjednodušující předpoklady pro jejich slučování a časové vymezení. Slučování probíhalo s definováním priority dle oblasti při zachování triangulace sítě. Časová proměnnost umožnila vyhotovení pouze tří DMT. Prvním byl DMT k roku 1978, kdy byla HN VD NM uvedena do provozu, což lze považovat za počátek zanášení a vztažný, resp. počáteční stav pro hodnocení. Druhým byl DMT k roku 2008 a třetím byl DMT k roku 2018. DTM z roku 2018 byl sloučen z dat poskytnutých PP3 Povodím Moravy, s.p., a vlastním doměřením realizovaným společně s PP2 VUT FAST a PP3 Povodím Moravy, s.p. Detailní popis dílčího zaměření je uveden v průběžné zprávě „Report 1 – Zpráva ze zaměření profilů toku Dyje v přítoku do horní nádrže Nové Mlýny“. Všechny tři DMT zobrazuje Obr. 2.

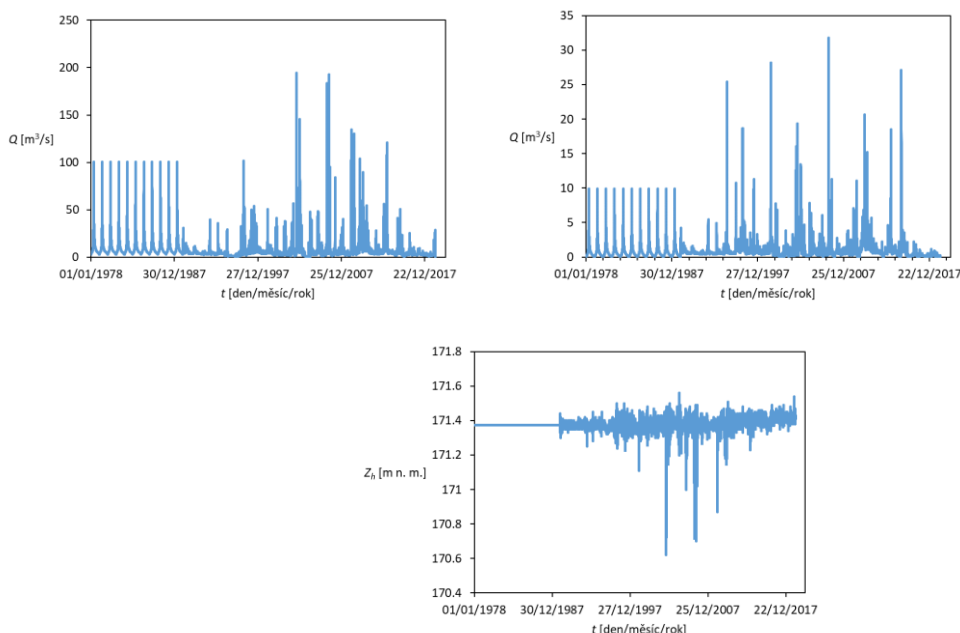


Obr. 2. DMT, zleva rok 1978, 2008, 2018

#### 3.2 Hydrologické podklady

Hydrologická data byla převzata z hlásných profilů Božice, Hevlín a Trávní dvůr, denních průtoků v profilech Božice a Trávní dvůr a záznamů měření průtoků v profilech Hevlín a Hrušovany. Z důvodu absence změřených dat před rokem 1989 byly pro období 1978 až 1988 vygenerovány náhradní roční průtokové vlny z čáry dosažení a překročení denních

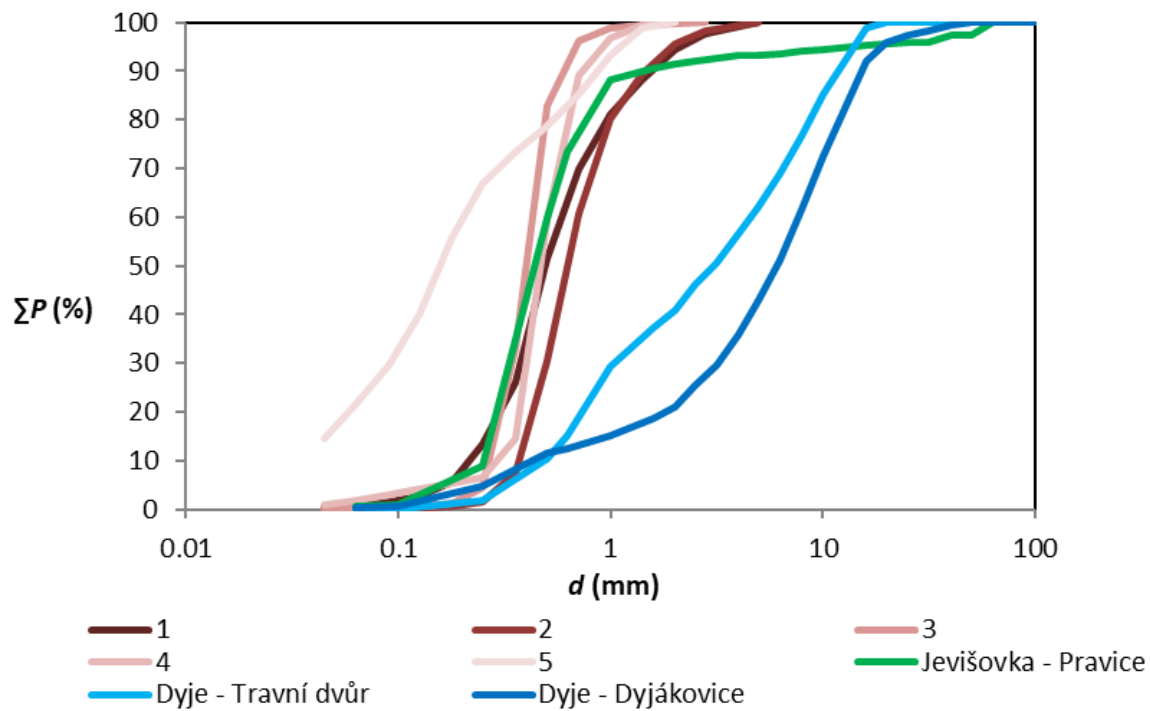
průtoků. Výsledné hydrogramy Dyje a Jevišovky spolu s úrovní hladiny v nádrži jsou uvedeny na Obr. 3.



Obr. 3. Hydrogramy průtoků, vlevo Dyje, vpravo Jevišovka, dole úroveň hladiny v nádrži

### 3.3 Zrnitost usazenin a splavenin

Zrnitost usazenin nebyla k dispozici, proto byly provedeny odběry vzorků usazenin ze dna koryt toků (3 vzorky) a nádrže (5 vzorků) a laboratorně byla stanovena jejich zrnitost. První vzorek usazenin byl odebrán z nánosů Dyje cca 70 m nad mostem u obce Dyjákovice, druhý vzorek byl odebrán ze dna Dyje u osady Travní dvůr cca 100 m pod mostem a třetí vzorek byl odebrán ze dna koryta Jevišovky 2 m nad mostem spojujícím Pravice s Novým Dvorem. Odběry usazenin ze dna nádrže (značené 1 až 5) prováděli kolegové z Ústavu vodního hospodářství krajiny. Detailní popis odběrů a vyhodnocení zrnitostí jsou popsány v průběžných zprávách projektu „Report 2 – Zpráva z odběru a vyhodnocení vzorků zrnitosti v horní nádrži Nové Mlýny“ a „Report 15 – Zpráva z odběru dnových sedimentů vyrobenou vertikální sondou a vyhodnocení vzorků zrnitosti v horní nádrži Nové Mlýny“. Zrnitostní křivky všech odebraných vzorků jsou uvedeny na Obr. 4. Provedeno bylo i měření průtoku splavenin na Jevišovce.



Obr. 4. Zrnitostní křivky usazenin

#### 4 Historický vývoj zanášení horní části HN VD NM

Historický vývoj zanášení byl vyhodnocen na základě změřených dat, což je nejpřesnější forma vyjádření. Detailní výsledky byly popsány v průběžné zprávě „Report 14 – Simulace historického vývoje zanášení horní nádrže VD Nové Mlýny“.

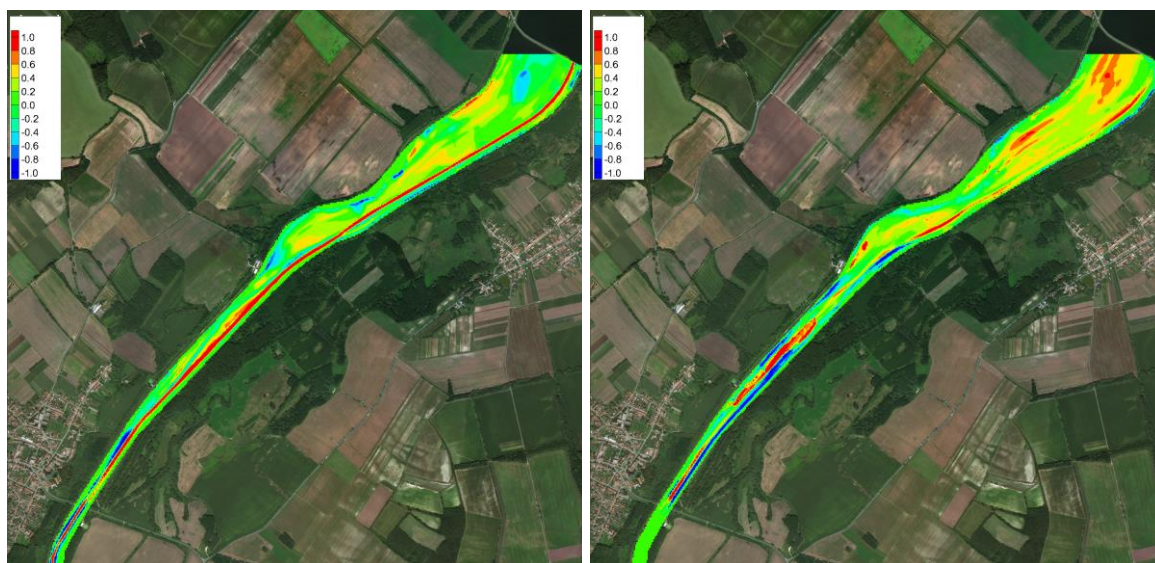
Pro účely simulace predikce zanášení s možností odhadnutí její věrohodnosti byly zhotoveny numerické modely. Vytvořeny byly 1D a 2D modely umožňující simulaci proudění vody a transport splavenin. S ohledem na omezené možnosti vstupních dat, omezení softwarů a časové možnosti byl historický vývoj zanášení rozdělen na období:

- 1D model:
  - od roku 1978 do roku 2008,
  - od roku 2009 do roku 2018.
- 2D model:
  - od roku 2009 do roku 2018.

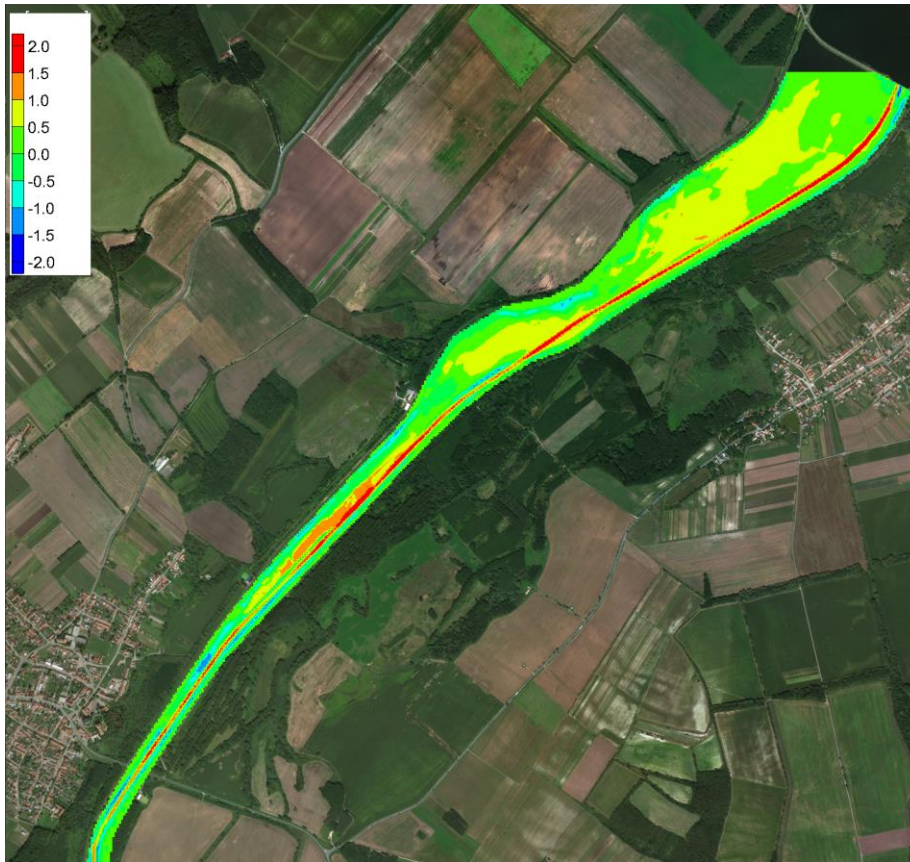
##### 4.1 Stanovení z měřených dat

Ke stanovení historického zanášení ze změřených dat byly použity výše uvedené DMT. Jejich rozdílem byly stanoveny výšky nánosů v jednotlivých dvou obdobích, které zobrazuje Obr. 5. Celková výška nánosů je uvedena na Obr. 6. Vyhodnocení úrovně dna v ose koryta k roku 1952 je vyobrazeno na Obr. 7.

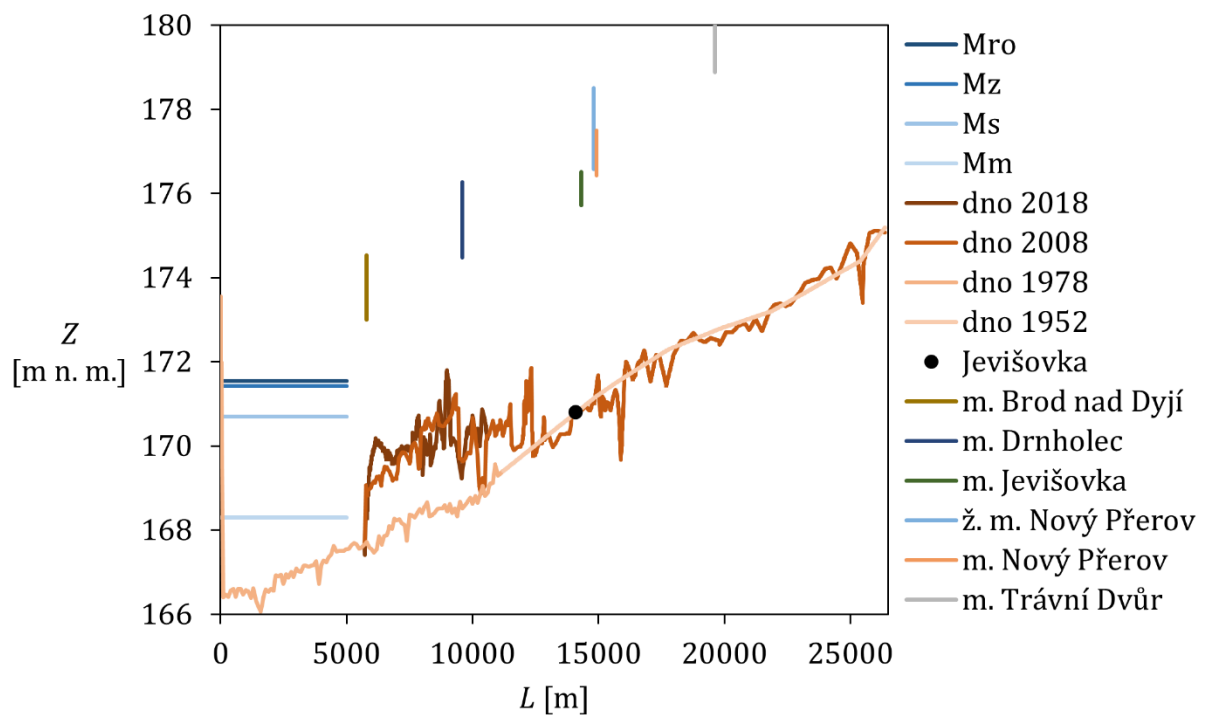
Z obrázků je pozorovatelné, že v prvním období se zanášelo především původní koryto Dyje a prostor, kde jsou v současné době ostrovy. Ve druhém období se již zanášela celá část dna nádrže a formovaly se ostrovy s vývojem koryt kolem ochranných hrází.



Obr. 5. Vývoj nánosů v obdobích [m], vlevo 1978-2008, vpravo 2008-2018



Obr. 6. Vývoj nánosů [m] za celé období 1978-2018



Obr. 7. Úroveň dna v ose koryta



## 4.2 Vývoj zanášení v období 1978 až 2018 – 1D numerická simulace

### 4.2.1 Zhotovení modelu

Model byl vyhotoven v softwarovém prostředí HEC-RAS.

Geometrická data vygenerovaná z podkladových dat zahrnovala příčné profily, vzdálenosti mezi profily a identifikátory profilů. V programu jim bylo přiděleno dělení na koryto a bermy dle tvaru příčného profilu, odhadnut součinitel drsnosti (byl předmětem kalibrace) a stanoveny součinitele místních ztrát dle doporučení výrobce softwaru. Zadán byl i soutok.

Hydrologická data zahrnovala informace o časovém vývoji průtoku vody Dyjí a Jevišovkou a o úrovni hladiny v nádrži a byla použita pro okrajové podmínky popisující proudění vody.

Křivky zrnitosti byly načteny do dat o usazeninách do profilů, kde byly odebrány. Použity byly křivky z odběrů na tocích a na začátku nádrže, kde se ještě příliš neprojeví vliv změny zrnitosti po šířce toku. Mezi těmito profily byly zrnitostní křivky dopočítány lineární interpolací. Použito bylo 11 frakcí. S ohledem na geologický profil bylo zadáno podloží odolávající vymílání do hloubky 2 m pod počáteční dno při simulaci. Rozsah příčného profilu s možností vymílání byl stejný jako rozsah dna koryta. V nádrži rozhraní mezi korytem a bermami určovala poloha zásobní hladiny. Pro výpočet třídění částic v krycí vrstvě byla zvolena metoda Thomase. Pro stanovení usazovací rychlosti byla zvolena metoda Report 12. Pro specifikaci zanášení po příčném profilu byla zvolena metoda závislá na hloubce (Veneer). Horní okrajovou podmínkou na Dyji i Jevišovce byl rovnoměrný průtok splavenin. Objemová hmotnost splavenin byla ponechána dle doporučení softwaru, byla proměnná po frakcích. Se soudržností nebylo uvažováno.

### 4.2.2 Analýzy, kalibrace a verifikace modelu

Byla provedena celá řada analýz. Mezi nejvýznamnější analýzy lze považovat test přijatého zjednodušení použití quasi neustáleného proudění pro řešení. Analýza potvrdila z dlouhodobého hlediska zanedbatelný vliv na výsledky a z hlediska povodňových průtoků malý vliv na výsledky.

Kalibrace byla provedena dvoustupňově:

- Kalibrace proudění vody:
  - Úroveň hladiny při průtocích odpovídající stupňům povodňové aktivity, které byly stanovené na základě měrné křivky v hlásném profilu Travní dvůr.
- Kalibrace transportu splavenin:
  - Historický vývoj zanášení.

Verifikace transportu splavenin byla provedena na:

- Zrnitost usazenin.

- Dlouhodobé měření průtoku plavenin v profilu Trávní dvůr.
- Výpočet rovnoměrného průtoku splavenin stanovený na základě simulace náhradní roční průtokové vlny.
- Průtok splavenin na Jevišovce (měřeno).

Vzhledem k přesnějším geometrickým datům a hodnotám zadávaným v profilech s okrajovými podmínkami byla provedena kalibrace a verifikace modelu pouze pro druhé období.

Relativní chyba stanovení průměrného ročního průtoku splavenin vypočítaného modelem a stanoveného z měření byla 1 %.

Model byl kalibrován a verifikován v rámci výše použitých dat. Analýzy provedené při kalibraci a verifikaci ukázaly s jakou přesností lze pohlížet na výsledky simulací.

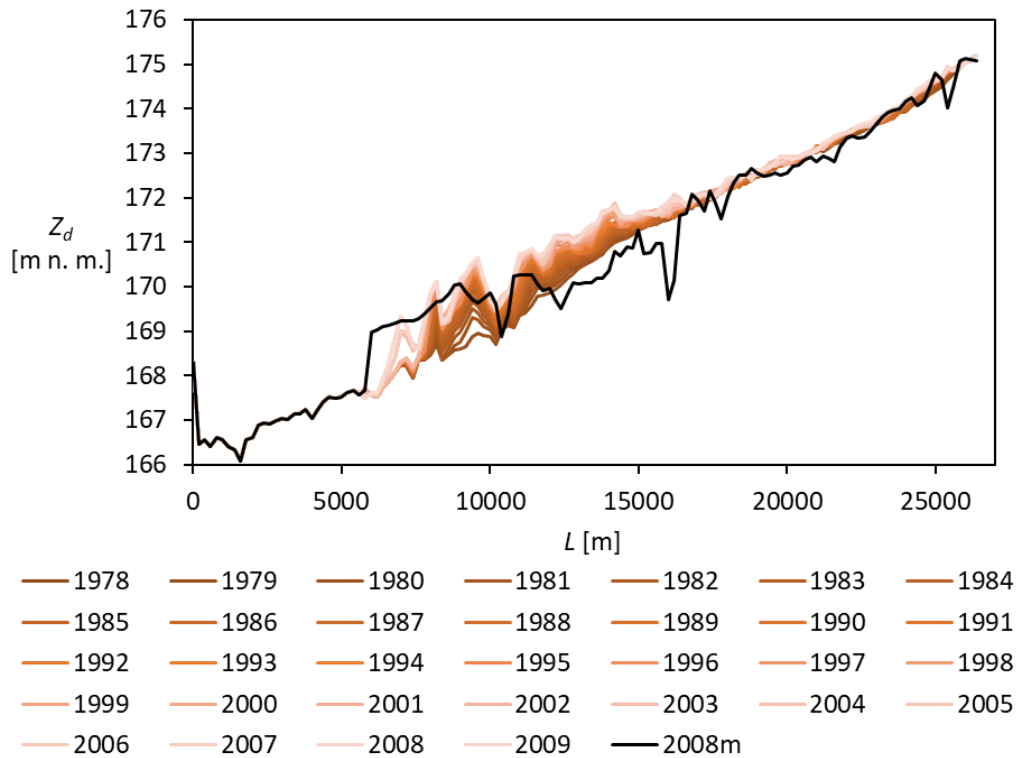
#### **4.2.3 Simulace historického vývoje zanášení**

Simulována byla tato období:

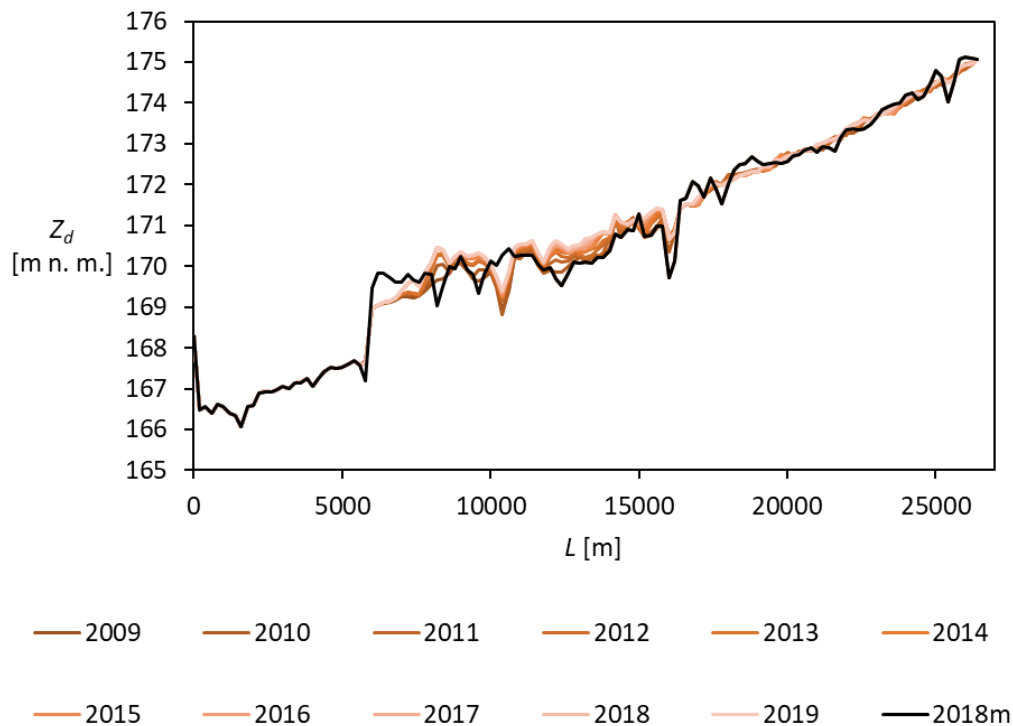
- od roku 1978 do konce roku 2008 (označeno 2009),
- od roku 2009 do konce roku 2018 (označeno 2019).

#### **4.2.4 Výsledky historického vývoje zanášení**

Výsledek vývoje zanášení na Dyji dokumentují Obr. 8 a Obr. 9. Zobrazení výsledků je provedeno po letech. V obrázcích jsou uvedena i data z měření s koncovkou „m“. Na Dyji jsou k dispozici tři měření úrovně dna, což umožňuje do jisté míry provést komplexní zhodnocení. Vzhledem k faktu, že v roce 1978 nejsou zaměřeny příčné profily, ale jen dno v ose, tak je třeba vzít v úvahu relativně velkou nepřesnost. V prvním období se ukazuje, že se zanáší především úsek pod soutokem s Jevišovkou, kde se vytváří postupně nános delty. Čelo nánosů se postupně propaguje směrem do nádrže. V druhém období pokračuje formování nánosů delty, rychlost změny se však zmenšuje s tím, jak se zvětšuje šířka a délka nánosů. Rozsah nánosů přibližně odpovídá rozsahu nánosů změřenému, čelo delty je přibližně v km 8.



Obr. 8. Vývoj úrovně dna na Dyji od roku 1978 do konce roku 2008 (2009)



Obr. 9. Vývoj úrovně dna na Dyji od roku 2009 do konce roku 2018 (2019)

## 4.3 Vývoj zanášení v období 2009 až 2018 – 2D numerická simulace

### 4.3.1 Zhotovení modelu

Pro řešení byl použit softwarový prostředek SMS-SRH.

Geometrická data z podkladu zahrnovala DMT v roce 2008 a v roce 2018. Hydrologická data zahrnovala informace o časovém vývoji průtoku vody v Dyji a Jevišovce a rovněž o úrovni hladiny v nádrži a ty byly použity pro zadání okrajových podmínek popisujících proudění vody. Křivky zrnitosti byly načteny do dat o usazeninách. Použity byly křivky z odběrů na tocích a na začátku nádrže, kde se ještě příliš neprojeví vliv změny zrnitosti po šířce toku. Použito bylo 9 frakcí (omezení programu). S ohledem na stabilitu výpočtu byla zadána vrstva usazenin se známou zrnitostní křivkou o tloušťce 0,5 m, pod ní byla vložena 1 m tlustá vrstva s křivkou zrnitosti odpovídající úplnému vytržidění. Rozsah vymílání byl povolen pouze ve dně koryta, předpokladem bylo, že vegetační pokryv nebude porušen.

V programu byla vytvořena polygonová síť, která rozdělovala koryta na svah bermy, dno plošinu bermy, svah kynety a dno kynety. V nádrži bylo dělení pouze na povrchy pod a nad hladinou zásobního prostoru. Hranám polygonů bylo přiřazeno dělení. U polygonů byl definován typ sítě a DMT pro načtení úrovně terénu. Použita byla především strukturovaná síť, pouze v místě soutoku byla použita nestrukturovaná síť. Hodnoty součinitelů drsnosti byly převzaty z 1D kalibrovaného modelu, aby bylo možné výsledky z obou modelů mezi sebou porovnat.

### 4.3.2 Analýzy, kalibrace a verifikace modelu

Byla provedena celá řada analýz. Mezi nejvýznamnější analýzy lze považovat nastavení časového kroku ve vazbě na velikost buňky a výběr transportní rovnice pro řešení.

Kalibrace proudění vody nebyla provedena, aby bylo možné porovnat 1D a 2D přístup. Z porovnání vyplynulo, že úrovně hladin jsou prakticky totožné.

Kalibrace transportu splavenin byla provedena na objem nánosů usazenin v nádrži. Kalibrovaný model používal transportní rovnici Engelunda a Hansena, metodu výpočtu adaptační délky dle Philipse a Sutherlanda a výpočet tloušťky aktivní vrstvy založenou na velikosti 90% částice se součinitelem tloušťky 10. Relativní chyba stanovení průměrného ročního průtoku splavenin vypočítaného modelem a stanoveného z měření byla 8 %.

Verifikace modelu byla provedena na velikost částice usazenin  $d_{50}$  na konci roku 2018.

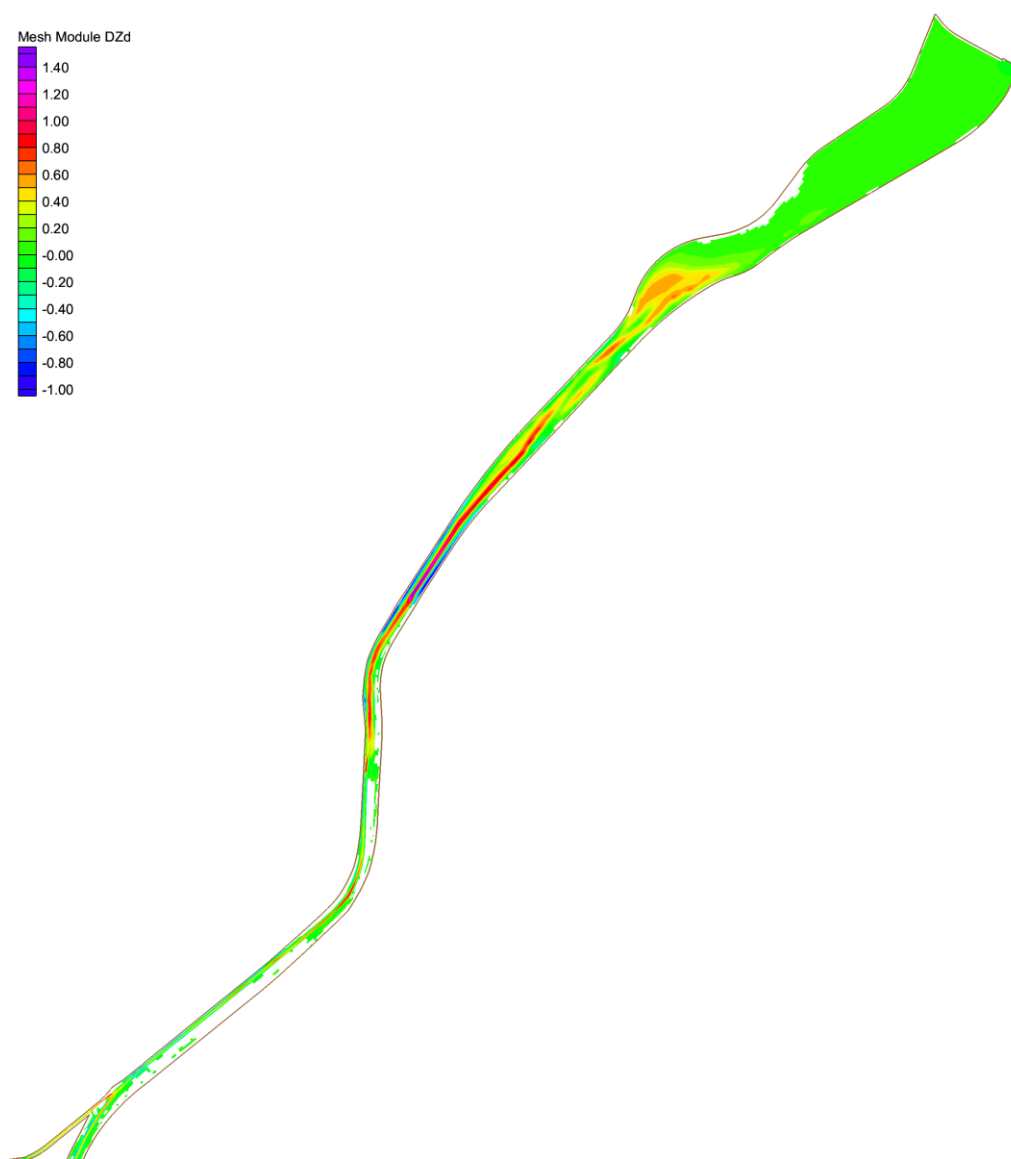
Model byl kalibrován a verifikován v rámci výše použitých dat. Analýzy provedené při kalibraci a verifikaci ukázaly s jakou přesností lze pohlížet na výsledky simulací.

#### 4.3.3 Simulace historického vývoje zanášení

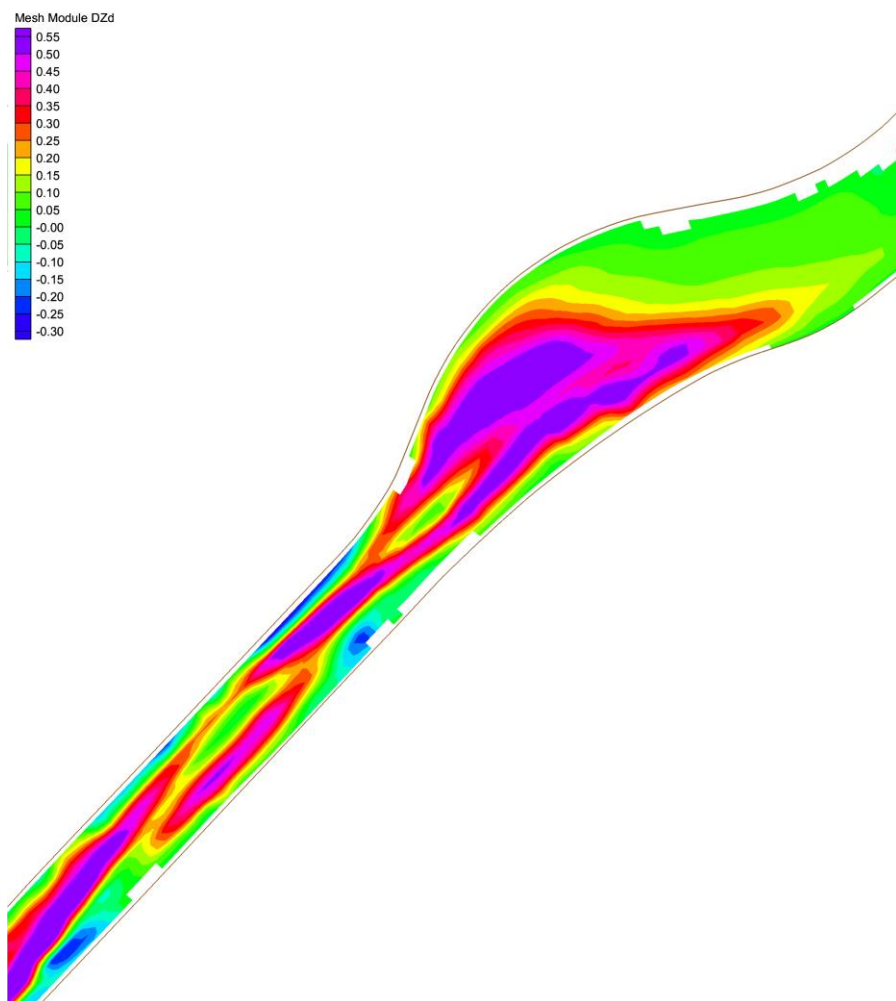
Simulováno bylo pouze období od roku 2009 do roku 2018. Použit byl algebraický parabolický model turbulence s koeficientem 0,7.

#### 4.3.4 Výsledky historického vývoje zanášení

Vývoj zanášení na Dyji dokumentuje Obr. 10. Nános se během 10 let simulace zvětšil, změny jsou v úzkých částech koryta rychlejší než v širokých. Model simuloval zanesení nejhlubšího dna více, než nastalo ve skutečnosti. Čelo nánosů je přibližně ve stejné pozici, jako je ve skutečnosti. Změna úrovně dna v druhém období na celé oblasti modelu je znázorněna na Obr. 10. Detail oblasti, která se v současné době opticky nejvíce zanáší, je vyobrazen na Obr. 11.



Obr. 10. Změna úrovně dna [m] za období 2009 až 2018 simulovaná 2D modelem

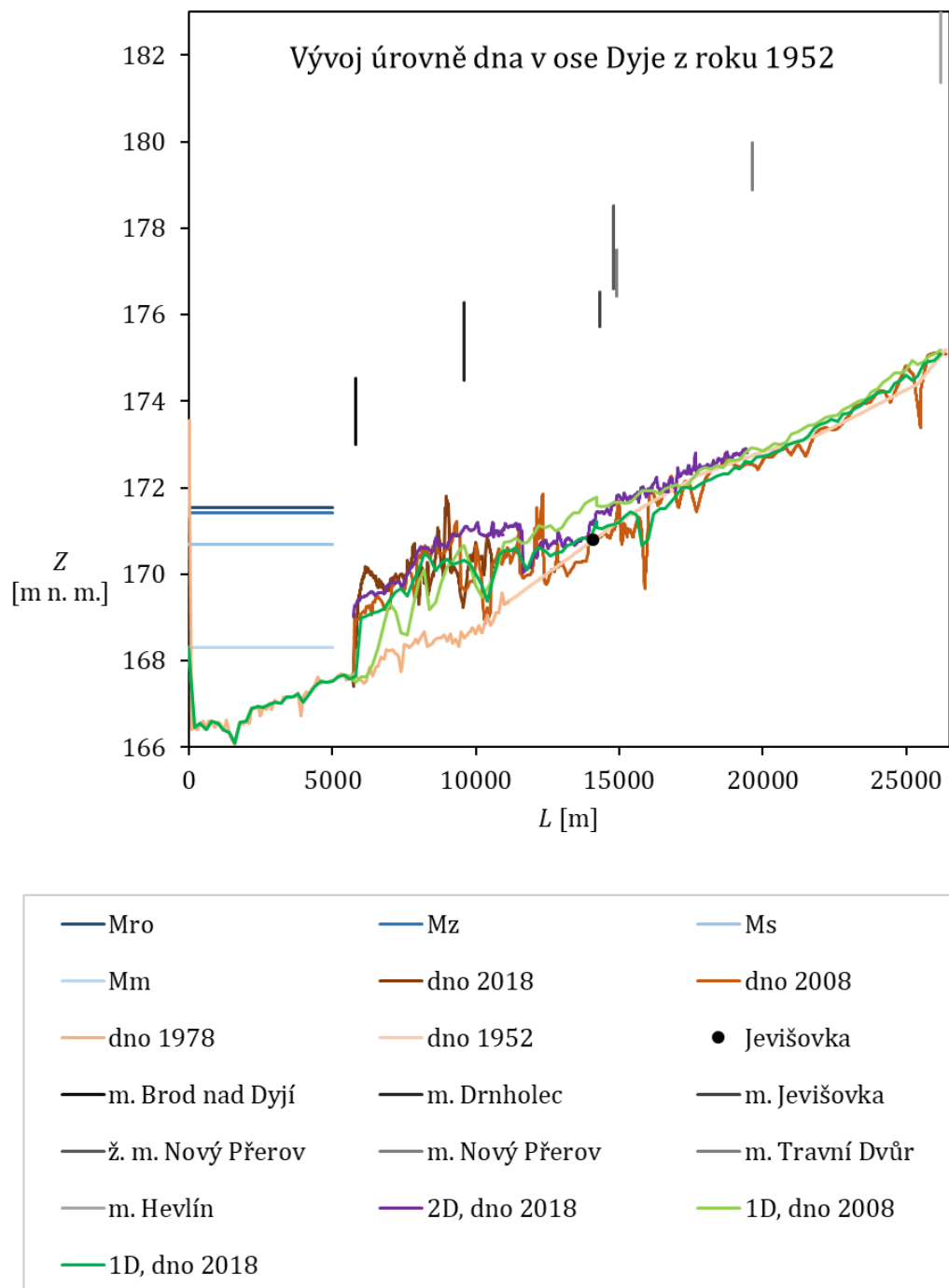


Obr. 11. Detail změny úrovně dna [m] v místě čela nánosu za období 2009 až 2018 simulovaná 2D modelem

#### 4.4 Porovnání simulace se změřenými daty

Porovnání úrovně dna v ose koryta z roku 1952 je provedeno na Obr. 12. Z obrázku vyplývá, že výsledky z 1D simulace období od roku 1978 do roku 2008 jsou méně věrohodné, než jsou výsledky z období 2009 až 2018. Předpokládá se, že hlavní příčinou je nepřesný popis stavu terénu v roce 1978 a neznalost průtoků a úrovně hladiny v první části období. V prvním období bylo simulací dosaženo většího nánosu v úseku nad mostem v Drnholci, a naopak k menšímu nánosu v úseku pod mostem. V druhém období model simuloval zanášení v souladu se změřenými daty, liší se prakticky pouze lokálně, především v místech, kde není proudění 1D.

2D simulace ukázala přednosti řešení proudění ve více rozměrech, kde popis zanášení v příčném směru je významně přesnější. Z rozdílové mapy úrovní terénu je možné jednoznačně určit, kde docházelo k zanášení a kde k vymílání. Poloha čela nánosu delty stanovená simulací přibližně odpovídá změřené. Model nadhodnocuje nános bezprostředně nad mostem v Drnholci, jinak prakticky kopíruje změřený.



Obr. 12. Porovnání skutečné a simulované úrovně dna 1D a 2D modelem

## 5 Predikce vývoje zanášení horní části HN VD NM bez opatření

Popis kapitoly vychází z průběžné zprávy „Report 20 – Simulace budoucího vývoje zanášení horní nádrže VD Nové Mlýny“ Predikce byla rozdělena na krátkodobou s detailním popisem zanášení, střednědobou s méně detailním popisem zanášení a dále dlouhodobou s hrubým popisem zanášení. Uvedené bylo nutné přijmout z hlediska doby a náročnosti řešení.

K predikci byly vybrány tři klimatické scénáře (KS), které jsou uvedeny v Tab. 1.  $Q_a$  značí průměrný roční průtok,  $Q_{max}$  maximální a  $Q_{min}$  minimální průtok. Odvození dat scénářů bylo popsáno v průběžné zprávě „Report 18 – Modelování průměrných denních přítoků do horní nádrže Nové Mlýny v podmínkách budoucí změny klimatu“.

Tab. 1. Simulované hydrogramy KS

KS (původní označení)	Jevišovka, Božice			Dyje, Trávní Dvůr		
	$Q_a$ [m <sup>3</sup> /s]	$Q_{max}$ [m <sup>3</sup> /s]	$Q_{min}$ [m <sup>3</sup> /s]	$Q_a$ [m <sup>3</sup> /s]	$Q_{max}$ [m <sup>3</sup> /s]	$Q_{min}$ [m <sup>3</sup> /s]
KS1 (HadGEM2-ES)	0,52	15,93	0,10	7,56	109,56	2,94
KS2 (MPI-ESM-MR)	0,59	8,77	0,10	8,32	200,73	2,94
KS3 (EC EARTH 4.5 / MIROCS 4.5)	0,65	15,55	0,10	8,97	269,98	2,94

### 5.1 Krátkodobá predikce – 2D model

Simulovány byly hydrogramy KS, které jsou uvedeny v Tab. 1.

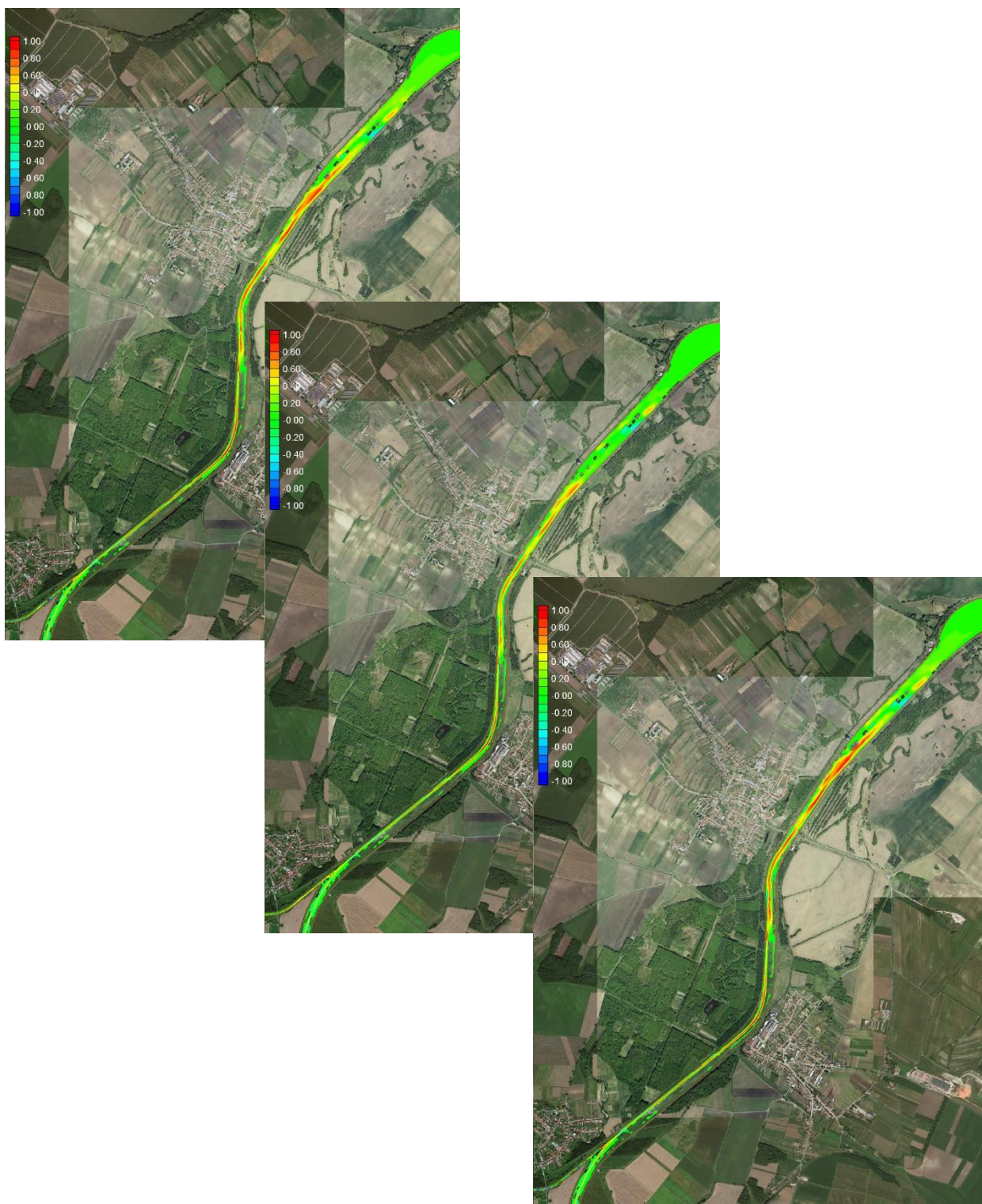
Průtoky hydrogramů KS byly zadávány do profilů s horní okrajovou podmínkou. Dolní okrajovou podmínkou byla úroveň zásobní hladiny v nádrži 171,42 m n. m. Jednalo se o stejné zadání jako v případě 1D modelu pouze s tím rozdílem, že profily s okrajovými podmínkami byly v jiných místech. Počáteční geometrie byla k roku 2018. Simulován byl budoucí vývoj od roku 2021 do konce roku 2031.

Výsledky jsou zobrazeny ve formě výšky nánosu k roku 2031 v rozsahu od soutoku s Jevišovkou po bývalé zaústění toku Výhon, kde dochází k zanášení především (Obr. 13). Z výsledků vyplývá, že se zanáší především dno bez berem. Místa, která se zanáší, jsou prakticky stejná u všech KS, jiná je pouze výška nánosu.

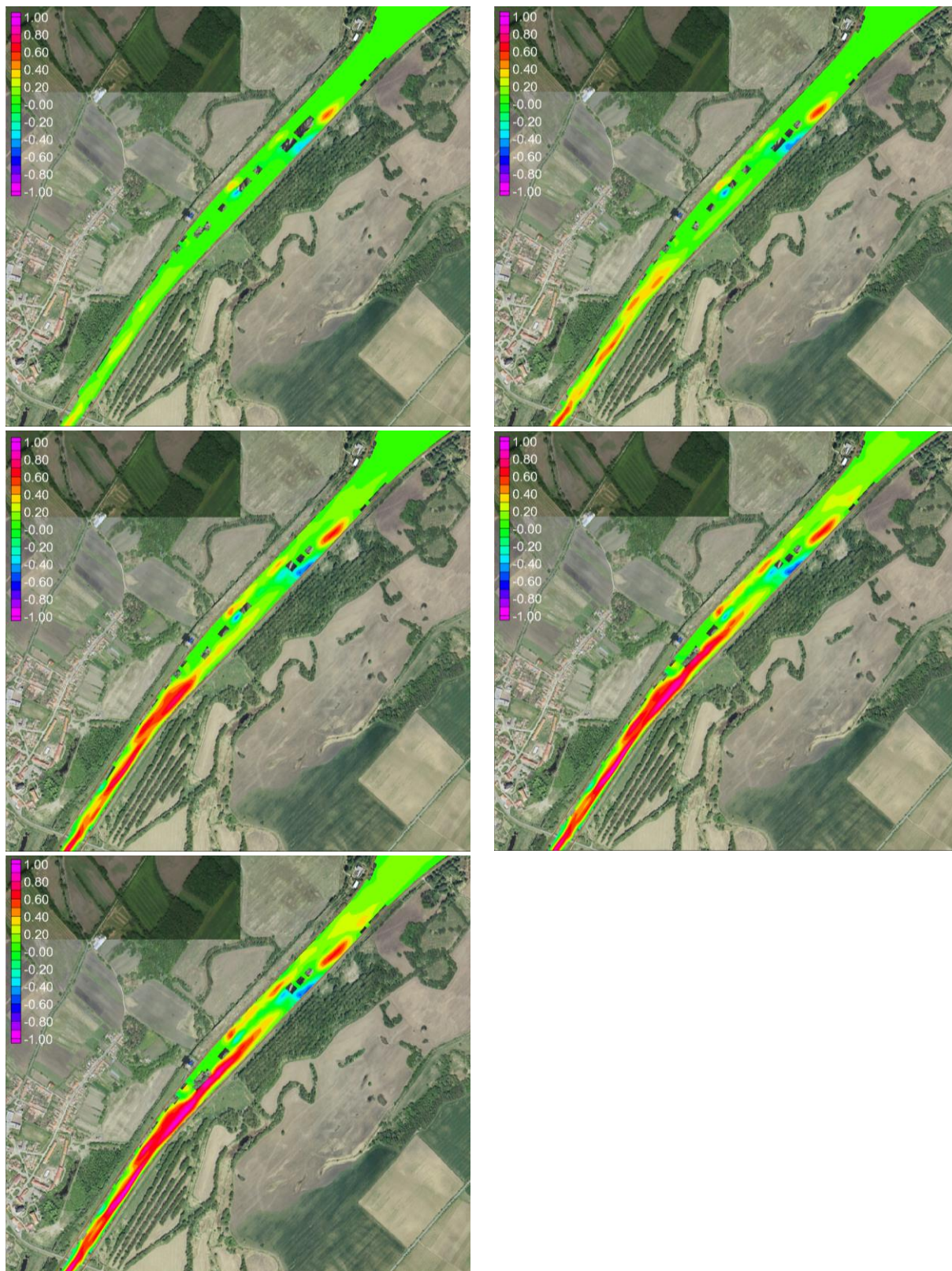
Vývoj nánosu v čase je proveden pro KS3 na Obr. 14. Ze série stavů po 2 letech až do roku 2031 vyplývá, že čelo nánosu se posunuje dále do nádrže a že se postupně zvyšuje úroveň plošiny nánosu delty.

Z výsledků vyplývá, že místa, která se v současné době zanáší, jsou stejná jako v době za 10 let a lze očekávat, že se jejich rozsah bude postupně zvětšovat.





Obr. 13. KS1 nahoře, KS2 uprostřed, KS3 dole, výška nánosů v roce 2031 [m]



Obr. 14. KS3, vývoj nánosů v čase [m], 2023, 2025, 2027, 2029, 2031

## 5.2 Střednědobá predikce – 1D model

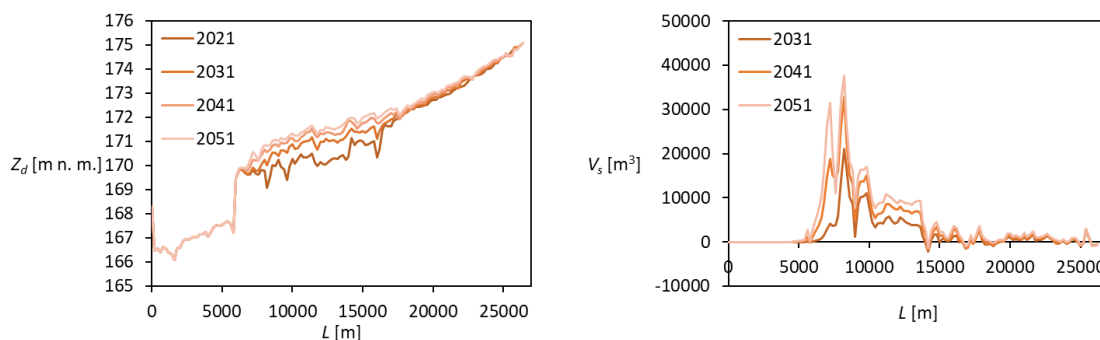
Průtoky hydrogramů KS byly zadávány do profilů s horní okrajovou podmínkou. Dolní okrajovou podmínkou byla úroveň zásobní hladiny v nádrži 171,42 m n. m. Zvolena byla neměnná z důvodu možnosti porovnání jednotlivých KS. Počáteční geometrie byla k roku 2018. Simulován byl budoucí vývoj do roku 2051.

### 5.2.1 KS1

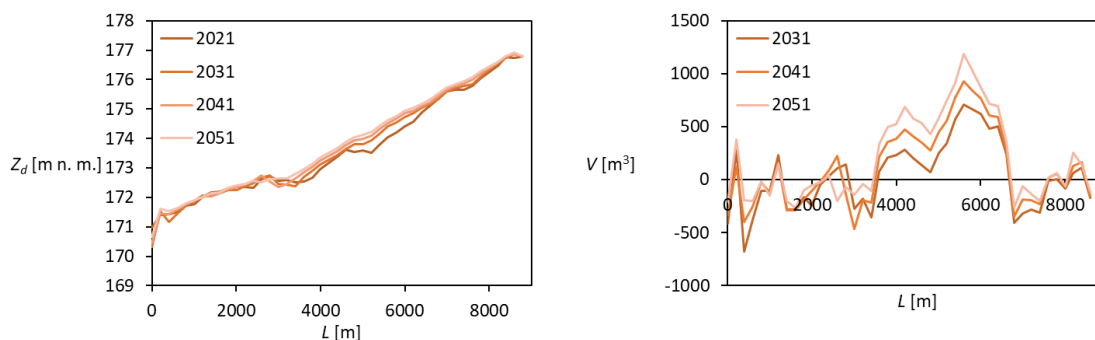
Výsledky z KS1 jsou dokumentovány podélnými profily Dyje (Obr. 15) a Jevišovky (Obr. 16) zobrazujícími vývoj úrovně dna  $Z_d$  v ose koryta k roku 1952 a vývoj objemu usazenin  $V_s$ . V podélných profilech jsou uvedeny stavy po 10 letech.

Z podélných profilů Dyje vyplývá, že bude docházet k postupnému zvyšování plošiny nánosů delty, který cca v roce 2031 začne zasahovat do koryta Dyje. Zvyšování je přibližně rovnoměrné na úseku mezi soutokem a čelem nánosů. Z hlediska časového vývoje se bude úroveň plošiny zvyšovat pomaleji z důvodu zvětšení plochy v příčném profilu, na které dojde k usazení. Čelo nánosů se bude postupně pohybovat směrem do nádrže. Hlavní objem nánosů lze očekávat mezi mosty Drnholec a Brod nad Dyjí. Pod most Brod nad Dyjí se za celou dobu simulace nebudou dostávat prakticky žádné splaveniny, tedy dolní část HN VD NM nebude prakticky zanášena splaveninami koryta Dyje a Jevišovky. Uvedené neplatí pro splach a splaveniny vyprodukované v nádrži.

Z podélných profilů Jevišovky vyplývá, že bude ve střední části simulovaného úseku docházet k zanášení. Zanášení vyrovná sklon dna po délce toku. Zanášení soutoku s Dyjí se nebude projevovat v Jevišovce po celou dobu simulace.



Obr. 15. KS1, Dyje, budoucí vývoj změny úrovně dna (vlevo) a objemu usazenin (vpravo)

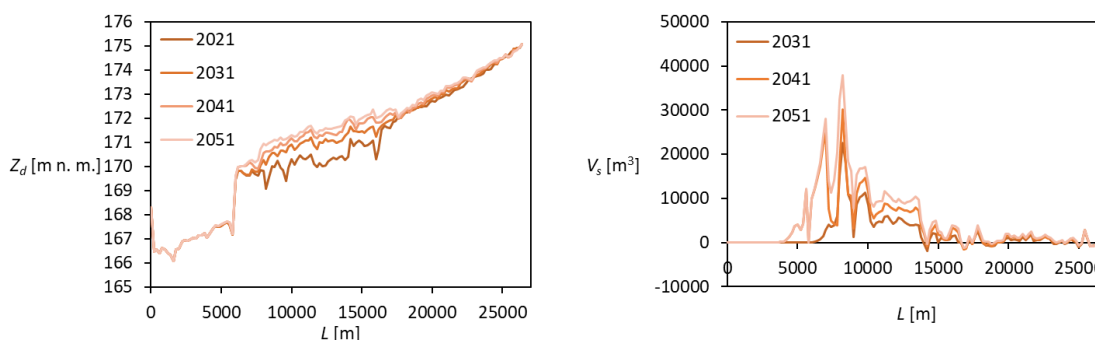


Obr. 16. KS1, Jevišovka, budoucí vývoj změny úrovně dna (vlevo) a objemu usazenin (vpravo)

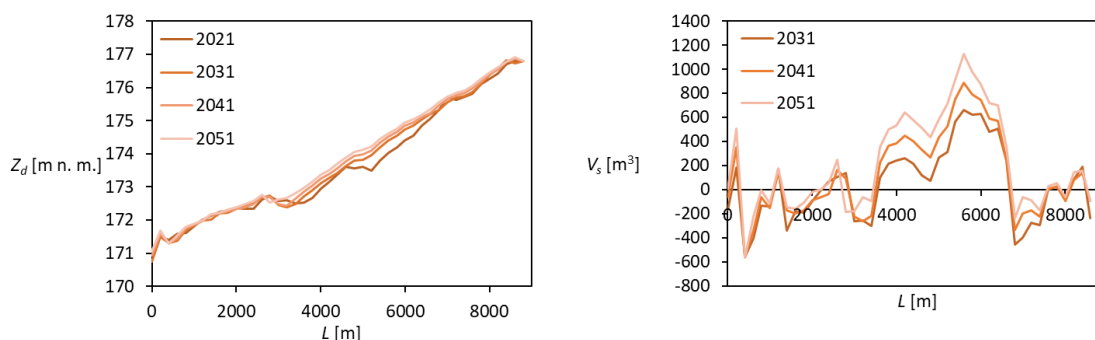
### 5.2.2 KS2

Výsledky z KS2 jsou dokumentovány podélnými profily Dyje (Obr. 17) a Jevišovky (Obr. 18).

Výsledky jsou velmi podobné výsledkům popsaným v KS1, pouze s mírně rychlejším vývojem, proto nejsou blíže popsány. Za zmínku stojí pouze fakt, že v roce 2041 již lze pozorovat první zanášení dolní části HN VD NM a že zanášení soutokové oblasti Dyje a Jevišovky se začne propagovat i na Jevišovce.



Obr. 17. KS2, Dyje, budoucí vývoj změny úrovně dna (vlevo) a objemu usazenin (vpravo)

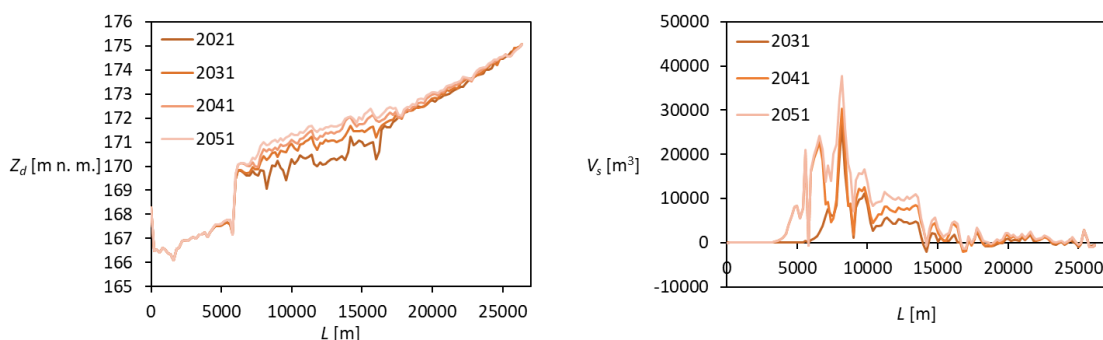


Obr. 18. KS2, Jevišovka, budoucí vývoj změny úrovně dna (vlevo) a objemu usazenin (vpravo)

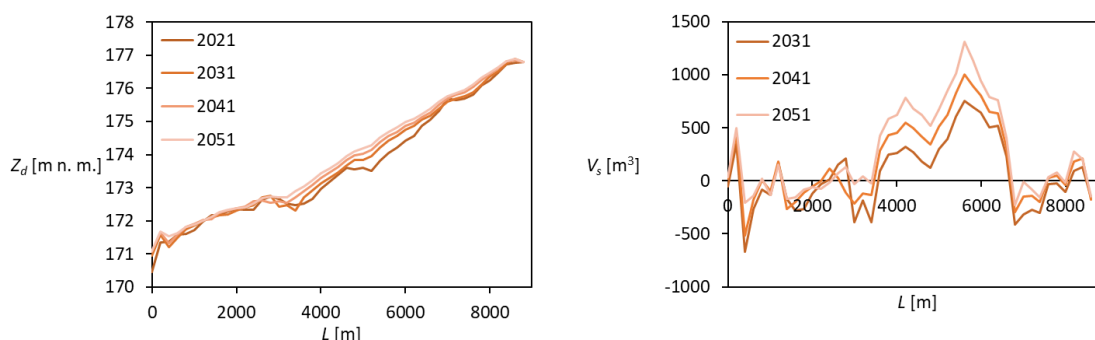
### 5.2.3 KS3

Výsledky z KS3 jsou dokumentovány podélnými profily Dyje (Obr. 19) a Jevišovky (Obr. 20).

Výsledky jsou velmi podobné výsledkům popsáným v KS2, pouze s mírně rychlejším vývojem, proto nejsou blíže popsány.



Obr. 19. KS3, Dyje, budoucí vývoj změny úrovně dna (vlevo) a objemu usazenin (vpravo)



Obr. 20. KS3, Jevišovka, budoucí vývoj změny úrovně dna (vlevo) a objemu usazenin (vpravo)

### 5.2.4 Porovnání výsledků KS

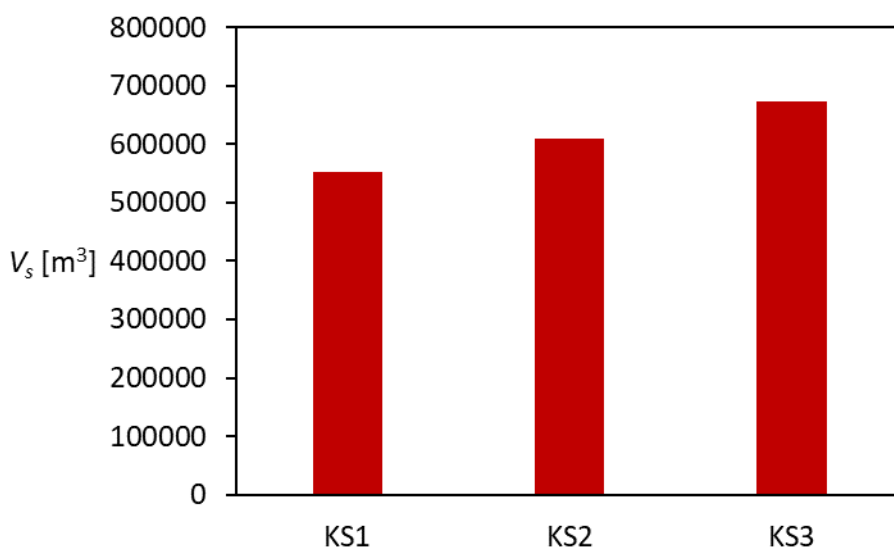
Porovnání objemů budoucích usazenin v HN VD NM k roku 2051 je uvedeno na Obr. 21. Z něj vyplývá, že KS1 způsobí nejmenší zanesení HN VD NM a KS3 největší. Při KS2 bude objem usazenin o 10 % větší než při KS1, při KS3 bude objem usazenin o 21 % větší než u KS1 (Obr. 21).

Vzájemné porovnání výsledků ze simulací jednotlivých KS je vyobrazeno v podobě podélného profilu úrovně dna v roce 2051 v ose koryta k roku 1952 pro Dyji (Obr. 22) a pro Jevišovku (Obr. 23) a objemu usazenin pro Dyji (Obr. 24).

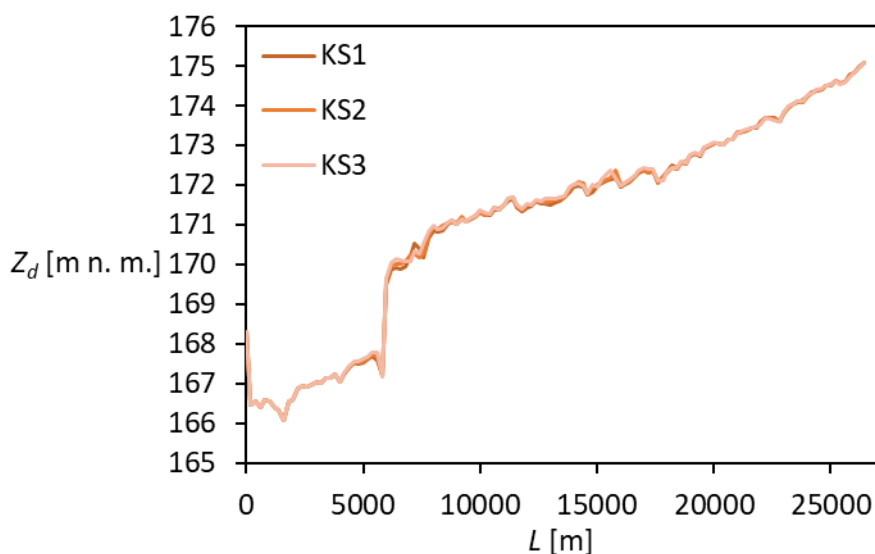
Z porovnání na Dyji vyplývá, že rozdíly v úrovni dna lze očekávat relativně malé, v toku Dyje neznatelné. Hlavní změny lze očekávat v pozici čela delty a ve výškové poloze plošiny nánosu delty. Největší nános v roce 2051 vytváří KS3, nejmenší pak KS1.

U Jevišovky jsou výsledky mírně jiné oproti Dyji, chování u KS1 a KS2 je velmi podobné, avšak procesy při KS3 jsou rychlejší. Důvodem jsou jiné poměrné charakteristiky hydrogramů jednotlivých scénářů Dyje a Jevišovky.

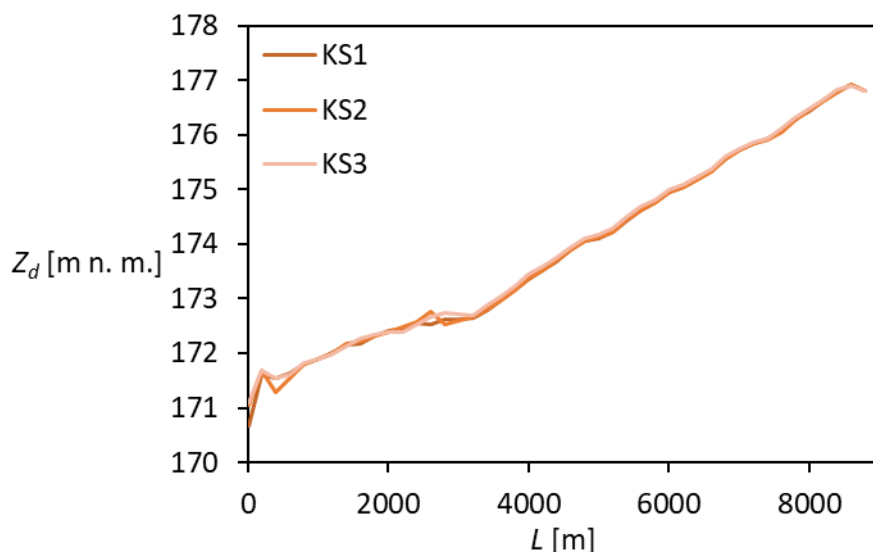
Obecně lze z pohledu zanášení HN VD NM konstatovat, že KS3 způsobuje nejrychlejší zanášení HN VD NM a KS1 nejpomalejší. Sklon plošiny nánosů delty je v čase přibližně neměnný, mění se pouze její úroveň.



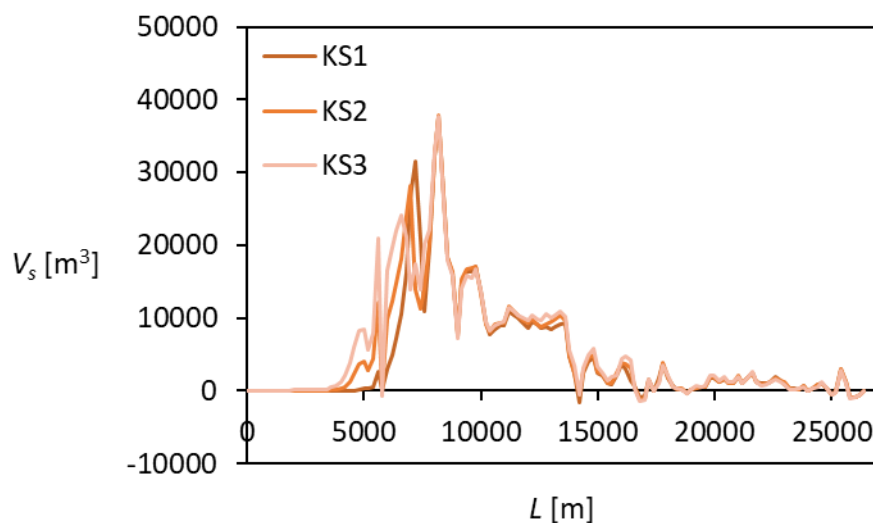
Obr. 21. Objem usazenin v horní části od roku 2021 do roku 2051



Obr. 22. Dyje, podélný profil úrovně dna v roce 2051 pro jednotlivé KS



Obr. 23. Jevišovka, podélný profil úrovně dna v roce 2051 pro jednotlivé KS



Obr. 24. Dyje, podélný profil objemu usazenin v roce 2051 pro jednotlivé KS

### 5.3 Dlouhodobá predikce – analogie

Výsledky dlouhodobé predikce pomocí analogie jsou detailně popsány v průběžné zprávě „Report 26 – Dlouhodobý vývoj zanášení horní části horní nádrže VD Nové Mlýny a návrh opatření pro eliminaci negativních důsledků“. Numerickou simulaci úplného zanesení horní části HN VD NM nebylo možné provést z časových důvodů a rovněž z důvodů propagace chyb v čase. Proto byla pro vyhodnocení dlouhodobého zanášení nádrže použita metoda analogie se známým zanášením jiných nádrží. Dlouhodobé zanášení je zpracováno mimo jiné i Bruneho

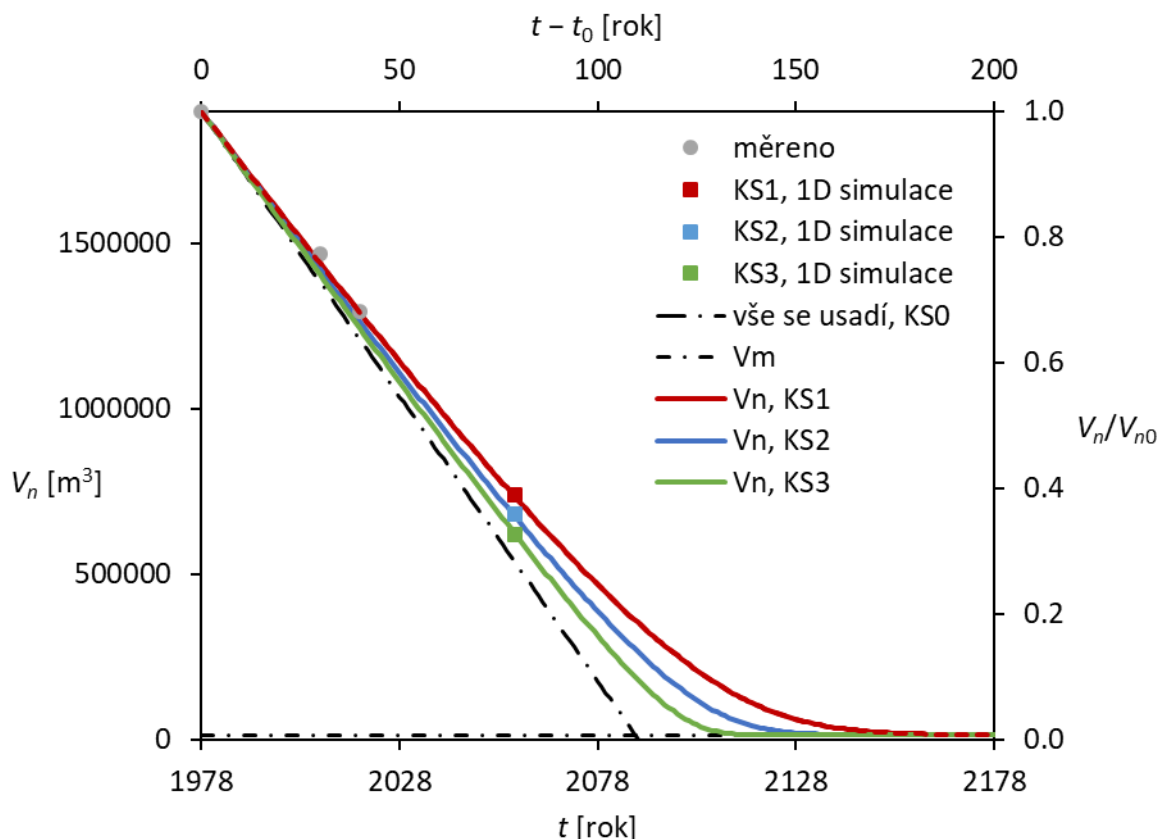
grafem, který je odvozený z dat o zanášení nádrží v USA. Bruneho křivka v originální podobě nemá matematické vyjádření, proto byla zvolena aproximační křivka udávající účinnost zachycení splavenin se zahrnutím součinitele účinnosti zachycení, který byl předmětem kalibrace.

Pro kalibraci byly použity hodnoty zanesení horní části HN VD NM stanovené měřeními v letech 2008 a 2018 a také hodnoty stanovené výpočtem kalibrovaným 1D modelem. Měnil se součinitel účinnosti zanesení tak dlouho, až byla odchylka přijatelná. Stanovení křivek zanesení nádrže bylo provedeno pro všechny tři klimatické scénáře.

Dlouhodobé zanášení nádrže je uvedeno v grafu na Obr. 25. Vodorovná osa vyjadřuje obecný čas  $t$  a čas provozování nádrže od prvního napuštění  $t_0 = 1978$ . Svislá osa vyjadřuje objem nádrže (daný zásobní hladinou)  $V_n$  a relativní objem nádrže vztažený k odhadnutému objemu nádrže v roce 1978  $V_{n0} = 1\,900\,000\text{ m}^3$  (z map z roku 1952 byl určen  $V_{n0} = 1\,720\,000\text{ m}^3$ ). Odhad počátečního objemu byl učiněn z důvodu jednoznačně vyhodnotitelného vlivu klimatických scénářů a neznalosti dostatečně přesných vstupních dat před rokem 2008. V grafu je uvedena čerchovaná vodorovná úsečka, která určuje objem nádrže, který se pravděpodobně nezanesou. Uvedena je i šikmá čerchovaná úsečka charakterizující časový průběh zmenšování objemu nádrže v případě, že by se v nádrži usadily všechny splaveniny (100% zachycení splavenin nádrží). Jedná se o limitní úsečku, která určuje nejrychlejší možné zanášení nádrže při neměnných a v současné době platných vstupních hodnotách. Dále jsou v grafu uvedeny tři šedé body, které charakterizují stanovené objemy nádrže z měřených dat (1978 – hrubý odhad, 2008 a 2018). Uvedeny jsou i tři barevné body, charakterizující objemy nádrže stanovené z 1D simulace zanášení nádrže při třech klimatických scénářích. Uvedené body sloužily pro kalibraci Bruneho křivky. Tři barevné čáry pak uvádějí velikost objemu nádrže v čase z dlouhodobého hlediska, tedy až do úplného zanesení při třech klimatických scénářích aplikovaných od napuštění nádrže (součinitel se uvažuje jako konstanta v celém rozsahu, protože nejsou k dispozici data pro podrobnější kalibraci). Z průběhů vyplývá, že v současné době je objem horní části HN VD NM při zásobní hladině zmenšen na cca 65 % původního objemu, tedy zanesení činí 35 %. Poločas zanesení a čas úplného zanesení uvádí Tab. 2.

Z výše uvedeného vyplývá, že horní část HN VD NM je za 42 let provozu zanesená přibližně z 1/3. Za následujících cca 60 let se její objem zmenší na cca 10 % a prakticky přestane plnit zásobní funkci. V dané době nastane přibližně třetí stádium zanesení nádrže, kdy se většina splavenin bude transportovat do dolní části HN VD NM. Omezena bude rovněž retenční funkce nádrže pro transformaci průtokových vln.





Obr. 25. Dlouhodobé zanášení horní části HN VD NM

Tab. 2. Poločas a čas úplného zanesení horní části HN VD NM

	KS1	KS2	KS3
Poločas zanesení nádrže	2041	2038	2035
Čas úplného zanesení nádrže (99 %)	2141	2129	2106

#### 5.4 Změna ochrany území za hrázemi

Výsledky změny ochrany území za hrázemi jsou detailně popsány v průběžné zprávě „Report 26 – Dlouhodobý vývoj zanášení horní části horní nádrže VD Nové Mlýny a návrh opatření pro eliminaci negativních důsledků“. Ohrožení oblastí za hrázemi nádrže a za hrázemi koryt toků je závislé na úrovni hladiny v nádrži a v korytech toků. Jelikož se koryta toků a nádrž zanáší usazeninami, zmenšuje se tak průtočný profil. Zvyšování úrovně dna v nádrži způsobuje růst vegetace na větší části omočeného profilu, což způsobuje zvětšení odporů proti proudění. Zmenšení průtočného profilu a zvětšení odporových sil mají za následek, že hladina se v čase při stejném průtoku zvyšuje. Tedy ohroženost území za hrázemi se zvětšuje, naopak míra ochrany se zmenšuje.

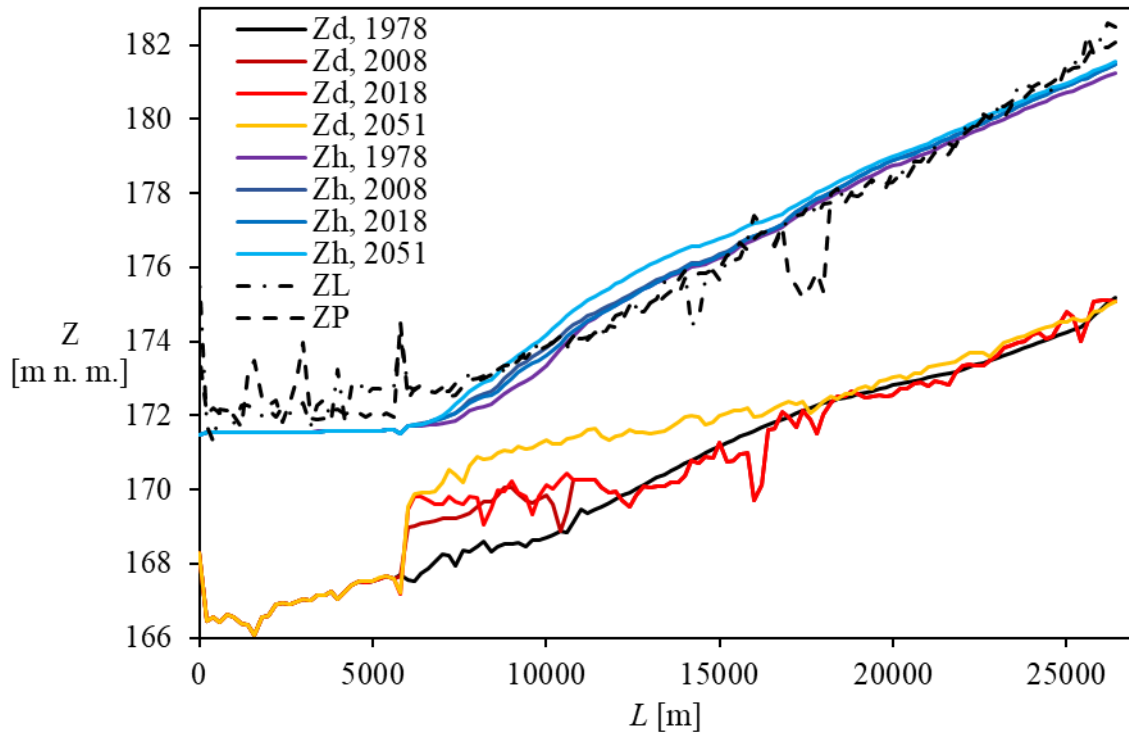
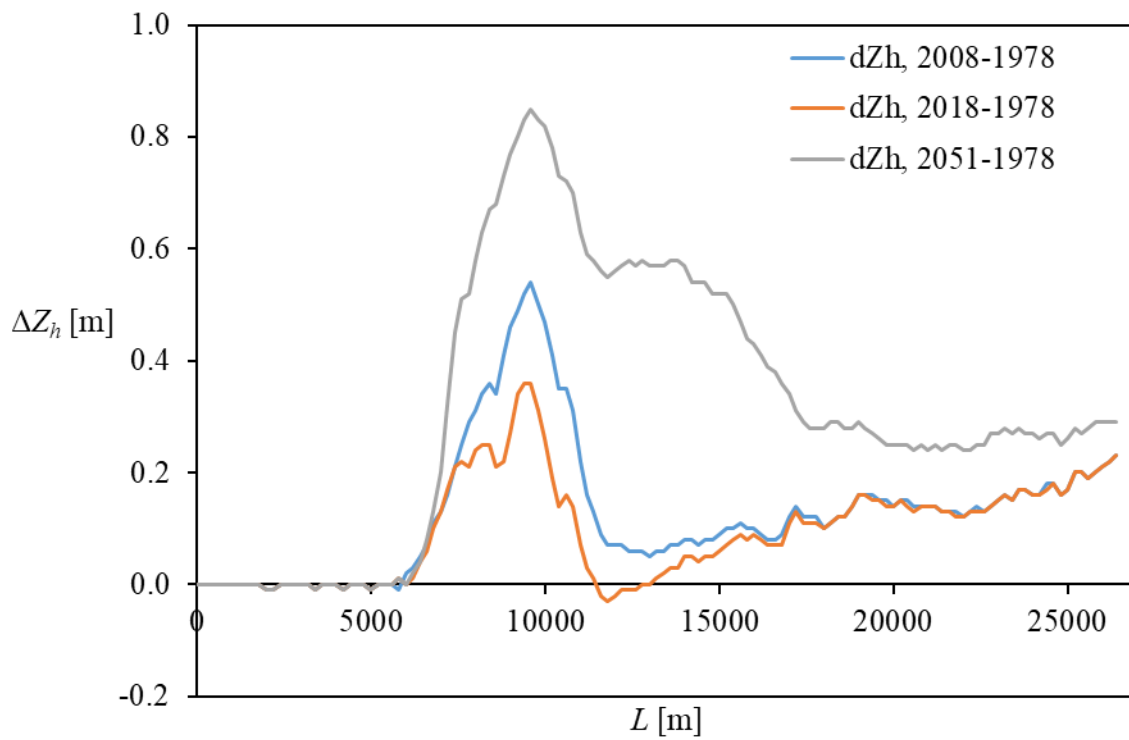
Pro kvantifikaci změny ohrožení oblastí za hrázemi byly provedeny simulace proudění vody za čtyř stavů zanesení nádrže: 1978 (bez zanesení), 2008, 2018 a 2051 (stav platný pro KS1). Každý stav měl jinou geometrii příčných profilů a rovněž i součinitel drsnosti po příčném profilu. Geometrie historických stavů byla převzata z měření, geometrie budoucího stavu byla převzata z 1D simulace. Simulovány byly ustálené průtoky  $Q_1$ ,  $Q_5$ ,  $Q_{10}$ ,  $Q_{50}$  a  $Q_{100}$  vždy v obou tocích (Dyje, Jevišovka) se stejnou  $N$ -letostí (nejhorší možný stav). Do výpočtu není zahrnuto inundační území mimo hráze (počítán pouze průtok korytem), aby bylo vidět, jak vysoké by musely být hráze pro ochranu území za nimi.

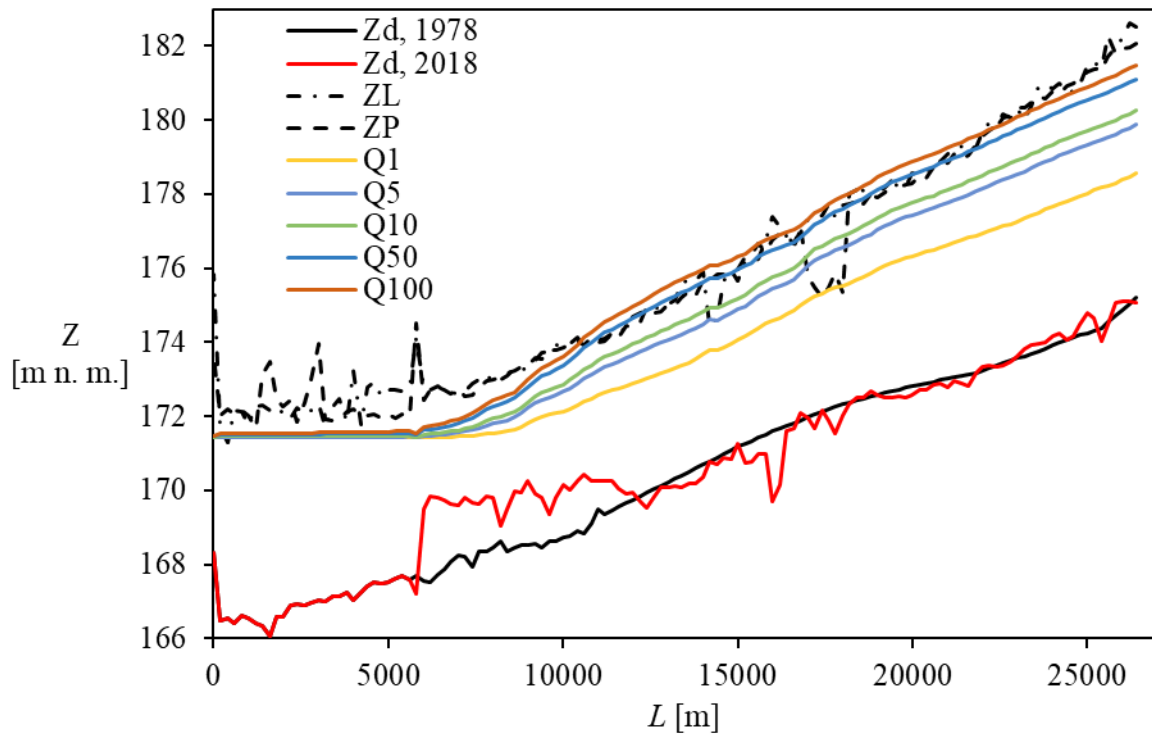
Vývoj úrovně hladiny spolu s vývojem úrovně dna je vyobrazen pro průtok  $Q_{100}$  ve schématickém podélném profilu pro Dyji na Obr. 26. Z podélného profilu Dyje vyplývá, že historická změna úrovně hladiny vznikala především v úseku km 6,0 až km 10,0. Budoucí zvýšení úrovně hladiny však lze očekávat na podstatně delším úseku koryta, konkrétně od km 6,0 až do km 17,0. Horní část toku, která je přibližně v dynamické rovnováze, je chráněna na  $Q_{100}$ . Ochrana na  $Q_{100}$  nebyla splněna od uvedení nádrže do provozu v úseku od km 11 až po km 22. V současném stavu není splněna od km 10 až po km 23. V roce 2051 lze očekávat, že nebude splněna od km 8 až po km 23.

Změny v úrovni hladiny v čase pro Dyji zobrazuje Obr. 27. Kvantifikace změn pro Jevišovku nebyla provedena, protože je dominantně určena vývojem v Dyji. Z Obr. 27 vyplývá, že maxima změn úrovně hladiny na Dyji jsou v km 9,6. Do roku 2008 se zde zvýší hladina  $Q_{100}$  o 0,36 m, do roku 2018 o 0,54 m a v roce 2051 lze očekávat zvýšení až o 0,85 m.

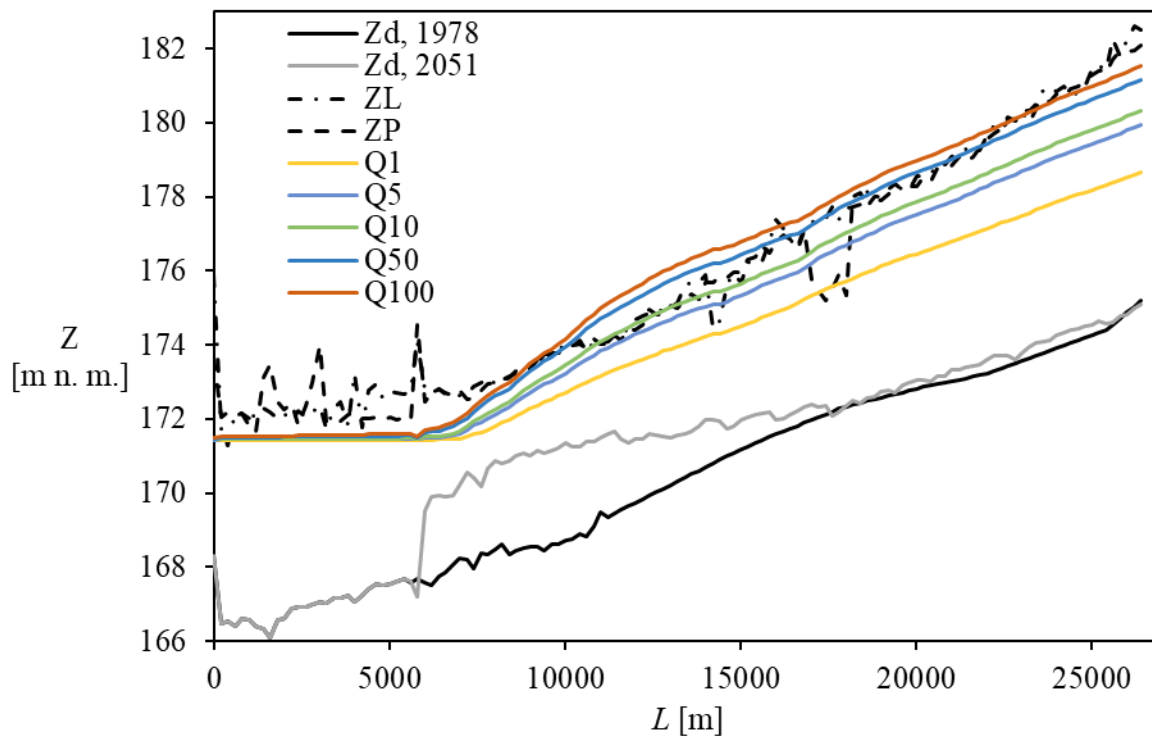
Dále je na Obr. 28 a Obr. 29 uveden průběh hladin  $N$ -letých průtoků po délce Dyje odpovídajících roku 2018 a roku 2051. Z obrázků vyplývá, že ochrana území k roku 2018 je (kromě dvou míst, Jevišovka a území Rakouska, kde chybí data) téměř na průtok  $Q_{50}$ , v roce 2051 již nebude ani na  $Q_{10}$ .

Z výše popsaného vyplývá, že vznik nánosů a jejich zarůstání vegetací má významný negativní vliv na ohroženost území za hrázemi. S postupujícím časem se rychlost změn zvyšuje a zvětšuje se délka úseku toku, která je změnami dotčena.


 Obr. 26. Schématický podélný profil Dyje,  $Q_{100}$ 

 Obr. 27. Změna úrovně hladiny při  $Q_{100}$  v Dyji oproti stavu z roku 1978



Obr. 28. Hladiny na Dyji za stavu roku 2018



Obr. 29. Hladiny na Dyji za stavu roku 2051

## 6 Možná opatření s doporučeními

V kapitole je uveden souhrn výsledků popsanych v průběžných zprávách „Report 30 – Návrh opatření pro eliminaci negativních důsledků zanášení horní části horní nádrže VD Nové Mlýny“, „Report 34 – Projednání a úprava návrhu opatření, výběr lokalit pro usazovací objekty“ a „Report 39 – Návrh usazovacích prostorů“.

### 6.1 Analýzy

Před vlastním návrhem opatření bylo nutné provést několik analýz: analýzu přirozeného chování Dyje, analýzu chování koryta Dyje na plošině nánosů a analýzu transportní schopnosti průtoků, které sloužily jako podklad pro návrh opatření. Z analýz vyplývá několik důležitých podkladů pro návrh opatření, která jsou uvedena níže.

Přirozené koryto toku Dyje by pravděpodobně v dané oblasti nad zaústěním do nádrže meandrovalo, případně by se větvilo. V současné době je vedeno prakticky v přímé linii. Koryto, které meandruje, případně se větví, má menší podélný sklon než koryto přímé (bez spádových stupňů), proto transportuje menší množství splavenin. Z uvedeného vyplývá, že uvedením koryta Dyje (a Jevišovky) v dlouhém úseku nad zaústěním do nádrže do přirozeného stavu by se zpomalila rychlost zanášení nádrže.

Soustavná úprava koryta nad soutokem s Jevišovkou je navržena (odhadnuto z příčných profilů) s šířkou kynety ve dně 17,65 m a kapacitou cca  $Q_1$ . Přirozené koryto by mělo pravděpodobně průměrnou šířku mírně menší. Z měření ve výše položeném úseku byla stanovena šířka 14 m s rozsahem od 11 m do 19 m. Z analogie s jinými toky vyplývá šířka 12 m až 21 m (dle vegetace). Pokud by v úseku docházelo pouze k vymílání, pak by koryto mělo šířku ve dně cca 9 m. Kapacita kynety na  $Q_1$  odpovídá korytovým průtokům přirozených toků. Z výše uvedeného vyplývá, že kapacita kynety a její příčný profil je navrženy tak, že přibližně dopovídá přirozenému korytu.

Koryto na plošině nánosů delty má přirozenou tendenci se větvit. Pokud existuje boční omezení, zde ochranné hráze, pak se v blízkosti omezení formují významná koryta. Koryta jsou po určitých vzdálenostech přirozeně propojena.

Z analýzy transportní schopnosti průtoků vyplývá, že kyneta až do jejího korytového průtoku v soustavně upravené části Dyje nad soutokem s Jevišovkou transportuje cca 95 % objemu splavenin. Z uvedeného vyplývá, že se bermy prakticky nezanášejí a na transportu splavenin se podílejí nevýznamně. Pod soutokem je situace jiná. Zde se kynetou transportuje přibližně polovina objemu splavenin, a tudíž se bermy na průtoku splavenin podílejí významně a vlivem vzduť se zanášejí.

## 6.2 Navržené varianty

Navrženy byly tři varianty opatření. Každá varianta měla své výhody a nevýhody. Žádná z variant nesplňuje všechny požadavky pro návrh opatření zcela. Všechny varianty jsou funkční z krátkodobého hlediska cca 30 let. Doba funkčnosti je odvislá od klimatického scénáře, nejkratší je při KS3, nejdelší je při KS1.

Varianta 1 reprezentovala uvedení nádrže a zaneseného úseku Dyje do původního stavu, tedy stavu platnému k roku 1978.

Varianta 2 ponechává prakticky současný stav nánosů, kompenzačním opatřením je zvýšení ochranných hrází. Ochranné hráze by bylo nutné zvýšit tak, aby do zvoleného termínu zabezpečovaly požadovanou ochranu. Zvýšení hrází při zabezpečení současné šířky v koruně by si vyžádalo nasyvat zemní materiál z návodní strany, což by způsobilo zúžení koryt a zmenšení objemu nádrže. Kompenzací by bylo odtěžení materiálu pro zvýšení hrází z nánosů v korytech toků a z nánosů v nádrži.

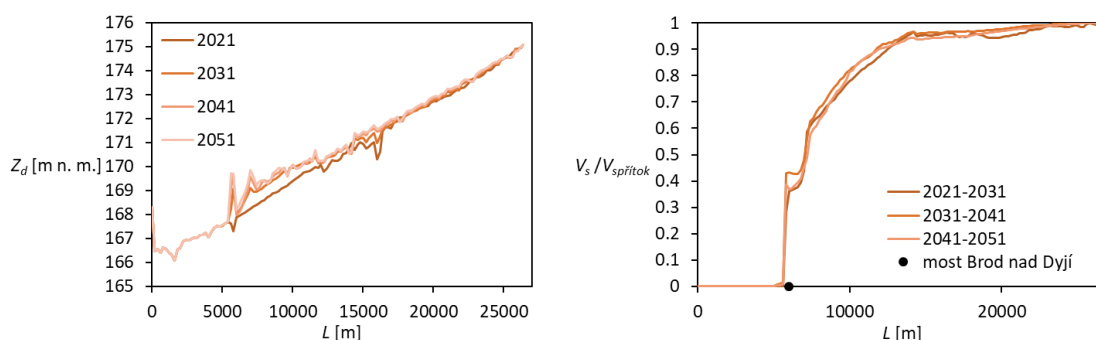
Varianta 3 je charakteristická vytvořením transportního koryta v korytě Dyje a v horní části HN VD NM. Transportní koryto je v korytě Dyje prakticky kyneta, která má samostatné valy s korunou výš, než je dno berem, ale současně níž, než je koruna ochranných hrází. V nádrži je transportní koryto koncipováno jako koryto s nánosovými podélnými valy. Úprava poproudňe začíná v profilu mostu Nový Přerov a končí v profilu mostu Brod nad Dyjí.

Na jednání s PP3 Povodím Moravy, s.p., bylo dohodnuto, že bude dále detailně rozpracována varianta 3. Varianta 3 byla postupně upravována až do dvou výsledných modifikací: bez usazovacího prostoru a s usazovacím prostorem.

Kapacita transportního koryta je u obou modifikací na  $Q_1$  a svým tvarem kopíruje koryto ve výše položeném úseku. Tím je zaručena stejná transportní schopnost obou úseků bez zanášení a vymílání. Šířku ve dně má 17,65 m, je blízká šířce ve dně přirozeného koryta. Sklony svahů koryta jsou 1:2, aby byla zaručena jejich stabilita po celé délce včetně nádrže. Hloubka je 3,32 m, aby byla splněna kapacita na  $Q_1$ , kdy se transportuje cca 95 % objemu splavenin. Půdorysné trasování transportního koryta je vedeno s ohledem na mostní profily a s ohledem na zaústění potoků. Hlavní výhodou varianty 3 je, že maximalizuje přirozený transport splavenin z horní části HN do její dolní části. Usazování v dolní části nádrže je v oblasti poproudňe pod mostem Brod nad Dyjí. Jedná se přibližně o 40 % materiálu z přítoku splavenin do nádrže (Obr. 30). Pokud nebude prováděna těžba usazenin z transportního koryta, pak opatření nezhorší míru ochrany území za hrázemi na 30 let. Pokud bude prováděna těžba, pak podstatně déle. Mezi nevýhody se řadí nutnost údržby transportního koryta, které se bude v části nádrže zanášet (Obr. 30). Usazeniny v transportním korytě bude nutné odtěžit přibližně po 10 letech v objemu cca 72 000 m<sup>3</sup>, nejpozději po 30 letech v maximálně trojnásobném

objemu. Pokud se po 10 letech neodtěží, bude se více zanášet prostor mimo transportní koryto v nádrži.

Pro obě modifikace byl doporučen způsob údržby a byly kvantifikovány objemy přemístěného materiálu. Rovněž byl proveden návrh postupu výstavby, který se doporučuje provádět protiproudě po úsecích.

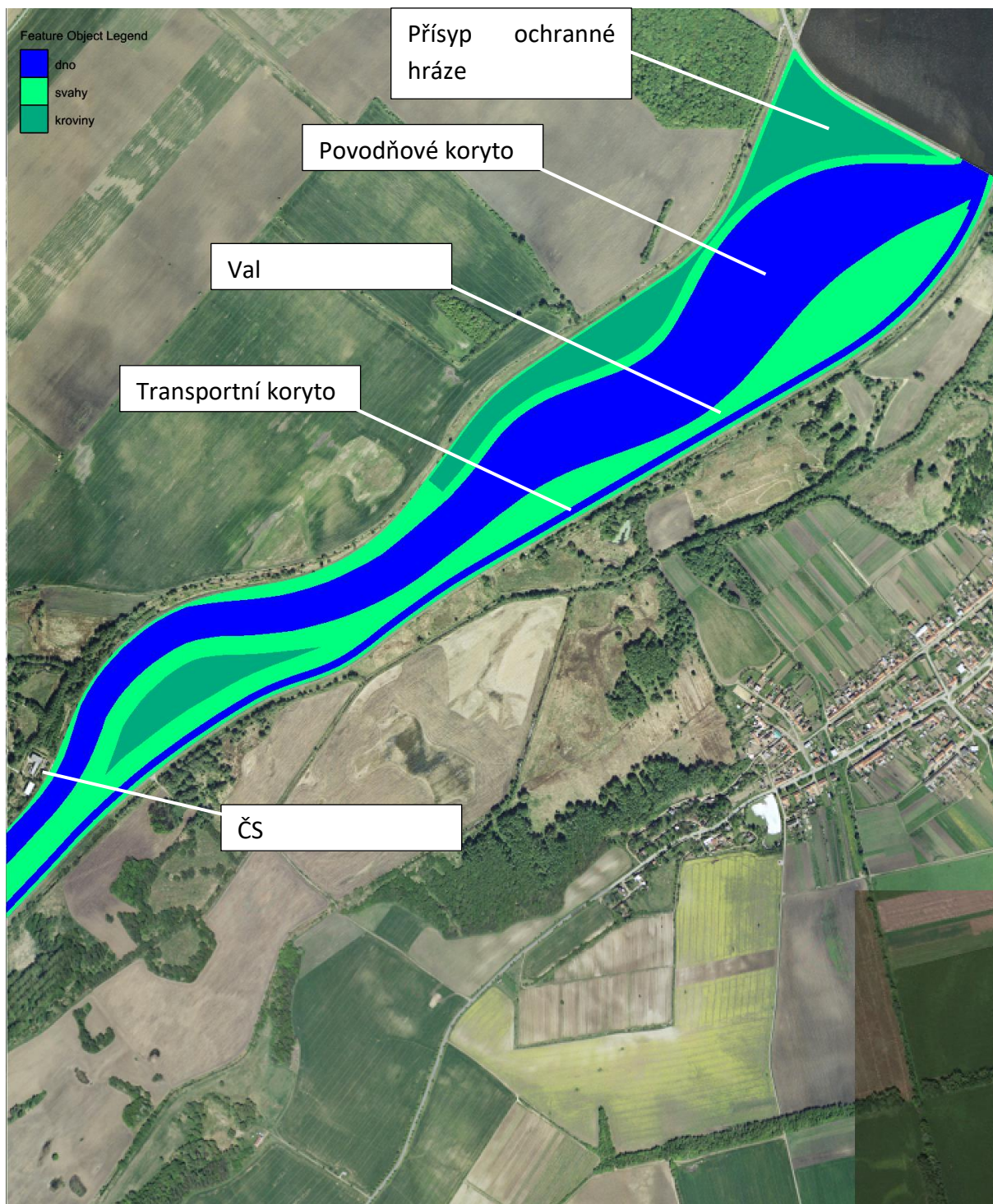


Obr. 30. Podélný profil vývoje nánosu (vlevo) a relativního objemu transportu splavenin (vpravo) v transportním korytě

## 6.3 Doporučená varianta bez usazovacího prostoru

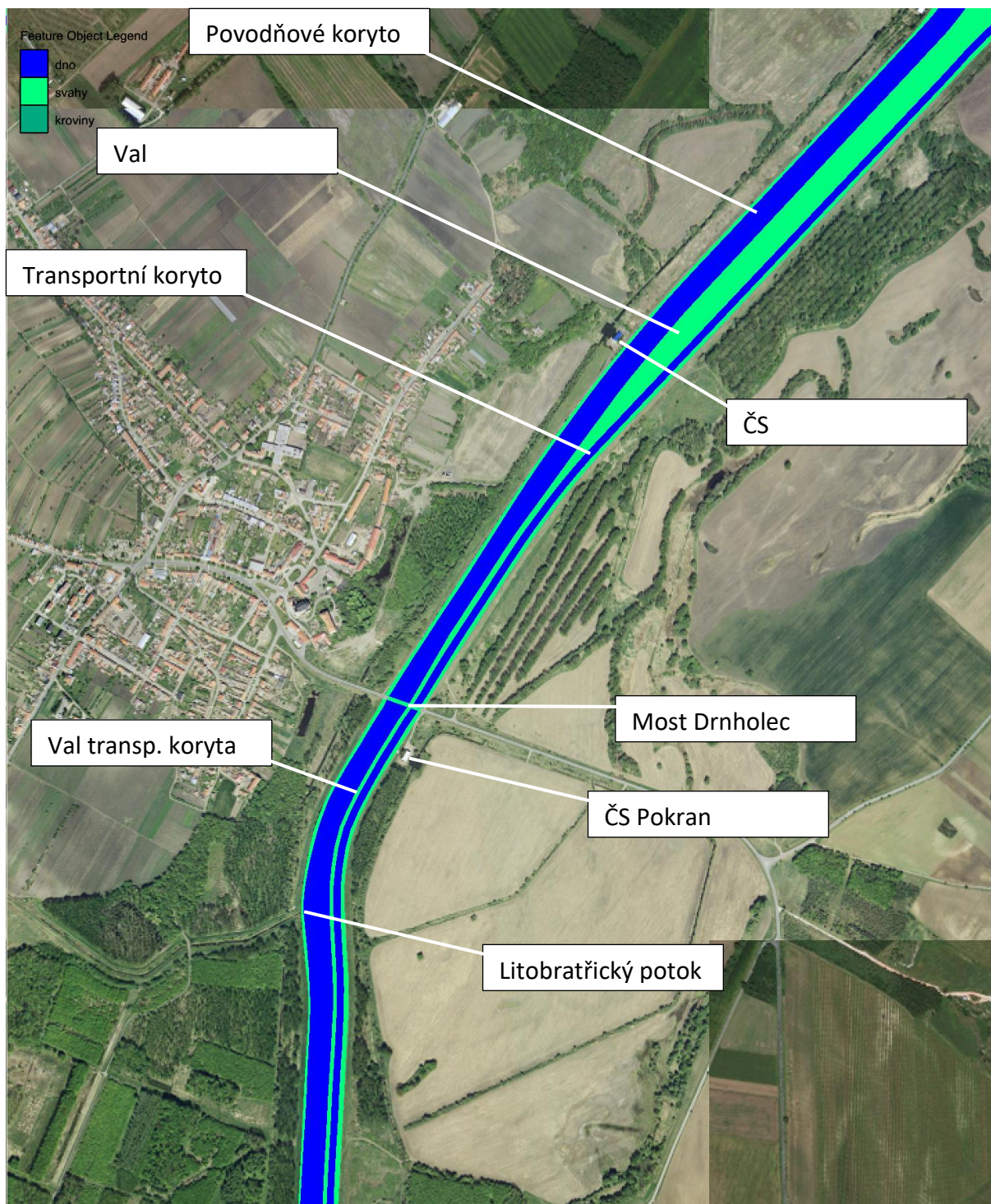
### 6.3.1 Popis varianty

Popis úpravy se specifikací povrchu terénu a popisem významných objektů je uveden na obrázcích Obr. 31, Obr. 32 a Obr. 33. Geometrie úpravy dotčeného úseku je uvedena v podobě digitálního modelu terénu (DMT) na obrázcích Obr. 34, Obr. 35 a Obr. 36. Všechny obrázky jsou podloženy leteckými snímky.

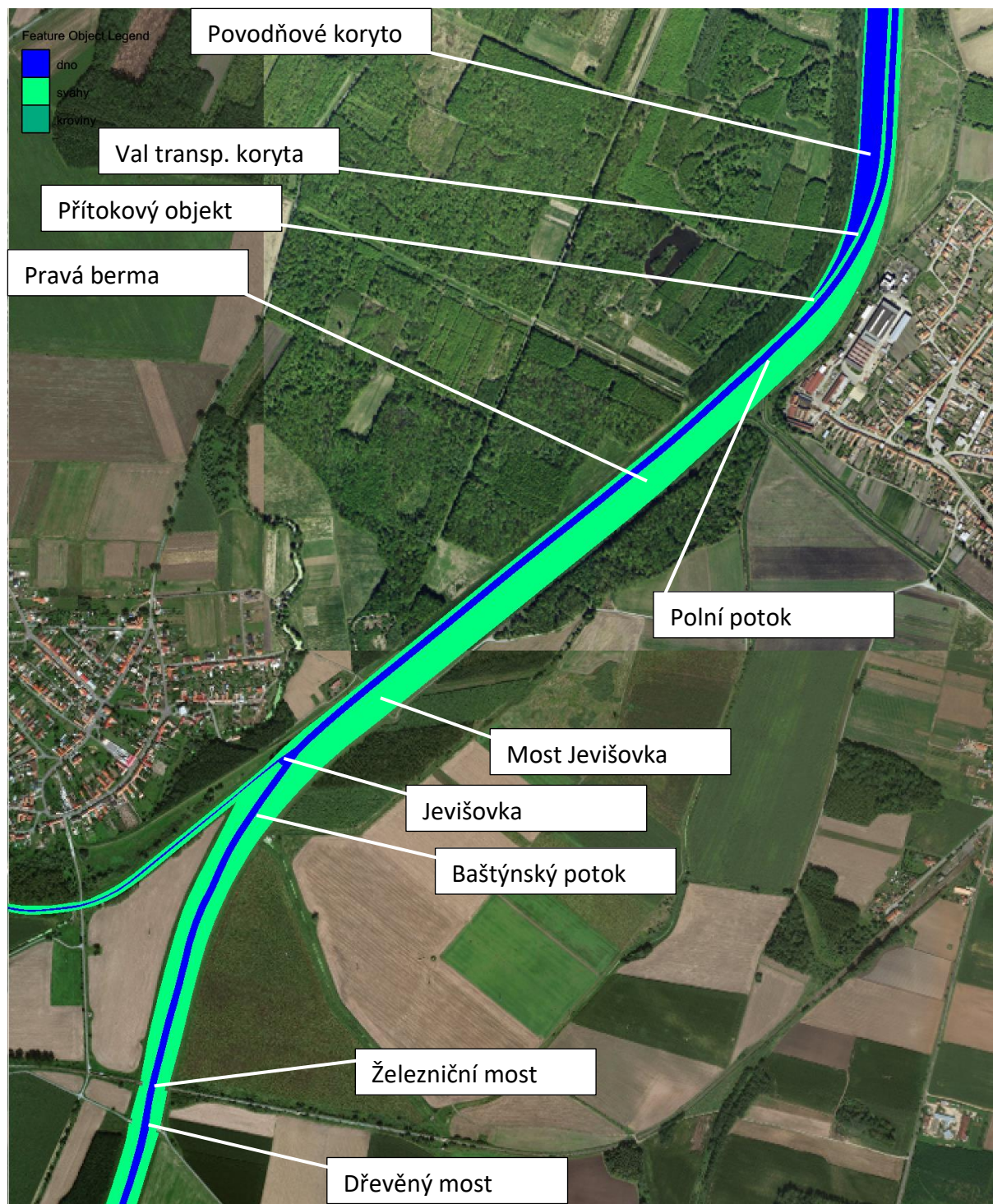


Obr. 31. Povrch území navrhovaného stavu dolní části

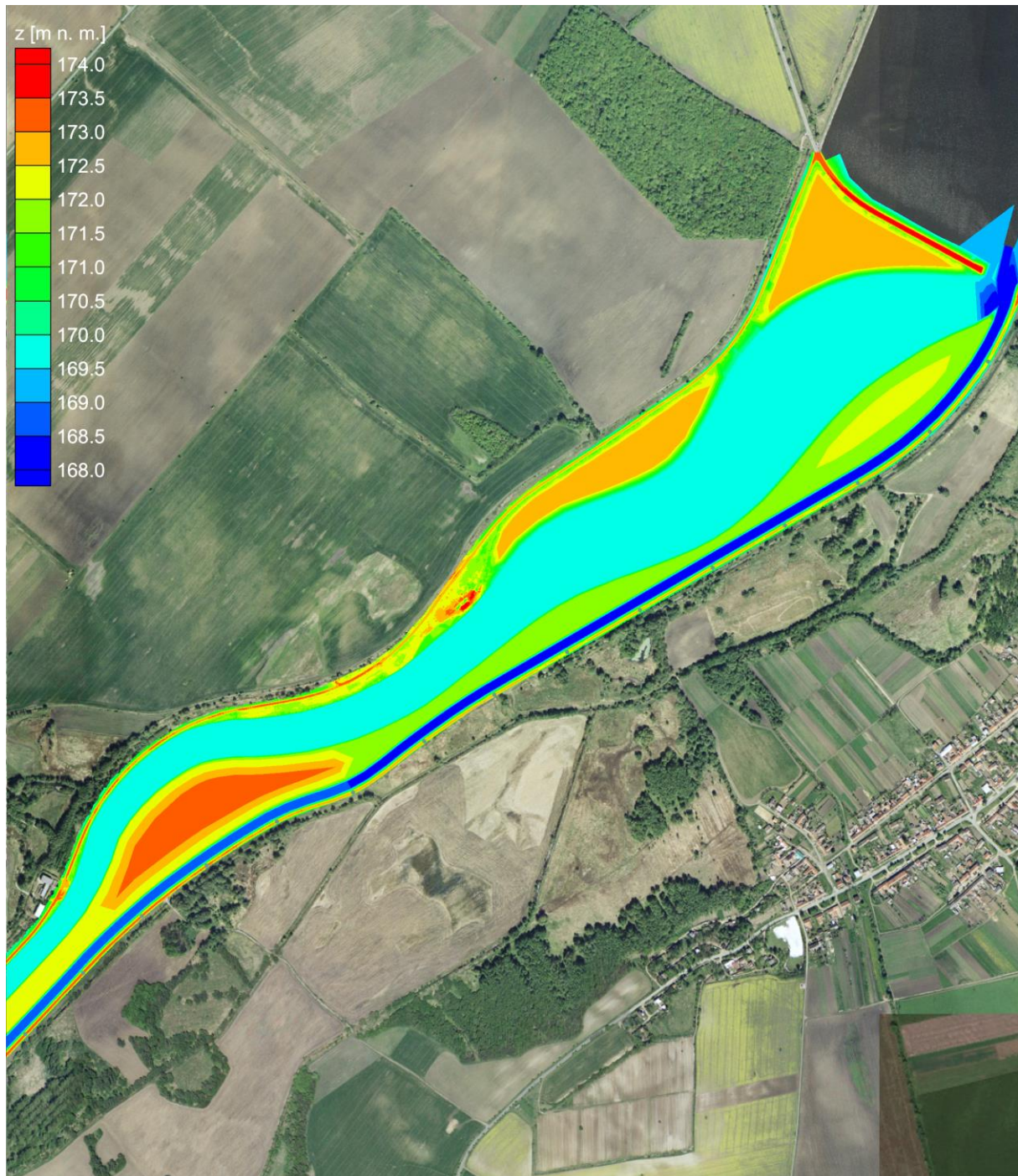




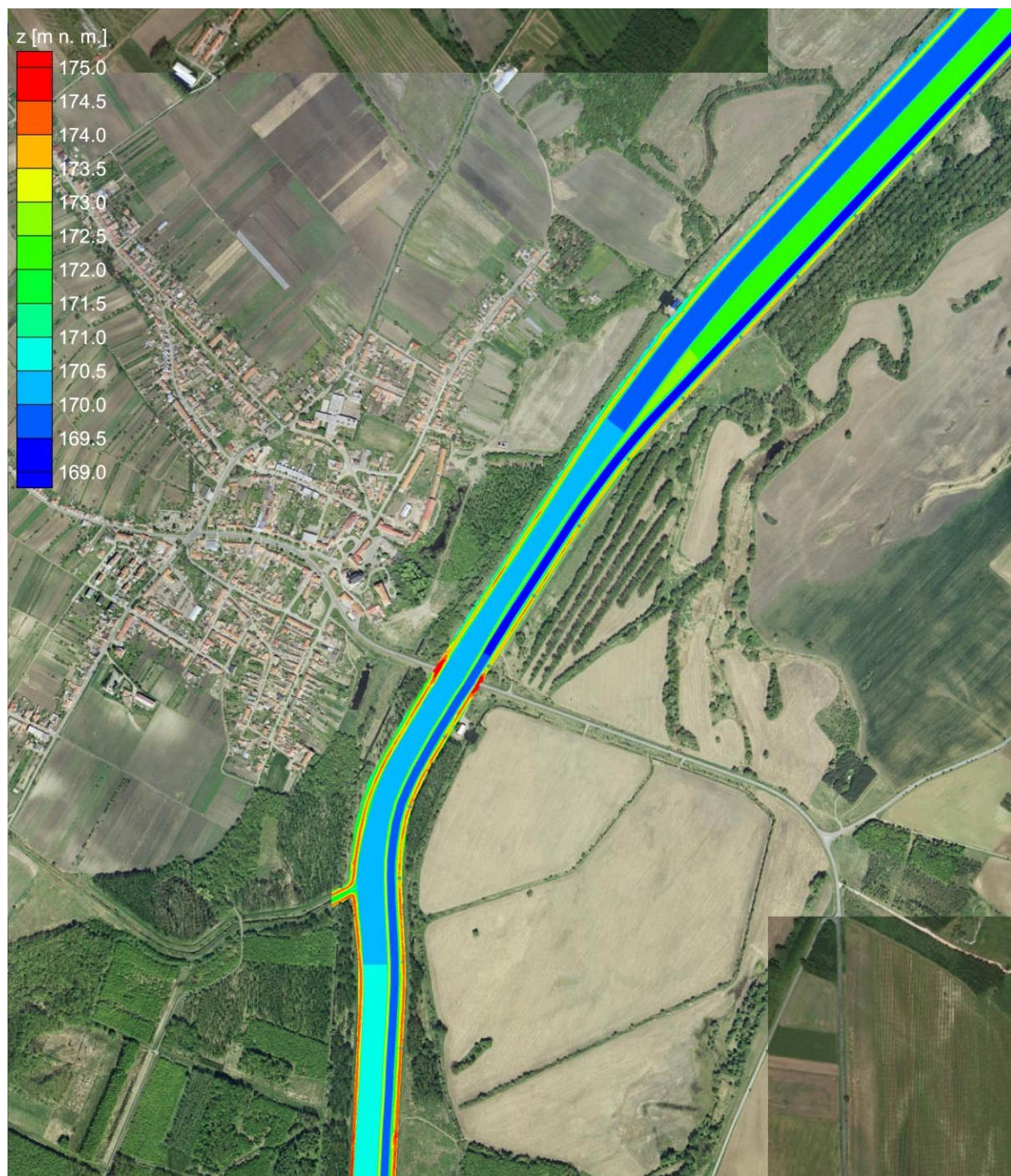
Obr. 32. Povrch území navrhovaného stavu střední části



Obr. 33. Povrch území navrhovaného stavu horní části



Obr. 34. DMT navrhovaného stavu dolní části



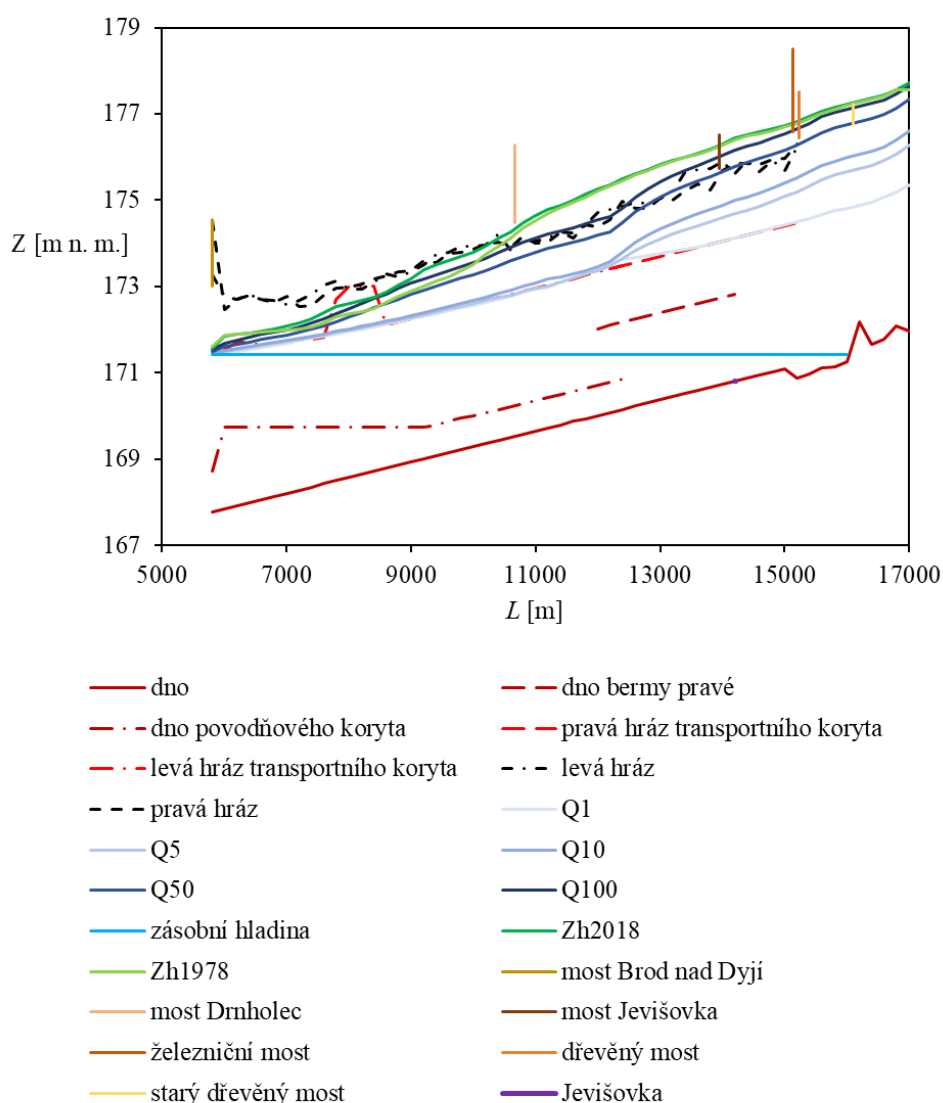
Obr. 35. DMT navrhovaného stavu střední části



Obr. 36. DMT navrhovaného stavu horní části

### 6.3.2 Míra ochrany území za hrázemi

Na Obr. 37 je vyobrazen podélný profil korytem Dyje s vyobrazením úrovní den koryt, pravé bermy, koruny valu a úrovní hladin při průtocích  $Q_1$ ,  $Q_5$ ,  $Q_{10}$ ,  $Q_{50}$ ,  $Q_{100}$ . Z podélného profilu vyplývá (nepředpokládá se proudění v území za hrázemi), že území za hrázemi v úseku pod mostem Drnholec bude ochráněno na průtok  $Q_{100}$ , území nad mostem až po přítokový objekt povodňového koryta bude ochráněno na průtok  $Q_{50}$  a výše lze odhadnout ochranu na  $Q_{20}$ . Navrhovanou úpravou významně poklesne hladina při průtoku  $Q_{100}$  v úseku pod mostem Drnholec až k čerpací stanici a rovněž nad mostem Drnholec až po most Jevišovka. Snížení úrovně hladiny dosahuje až ke státní hranici s Rakouskem.



Obr. 37. Podélný profil korytem Dyje

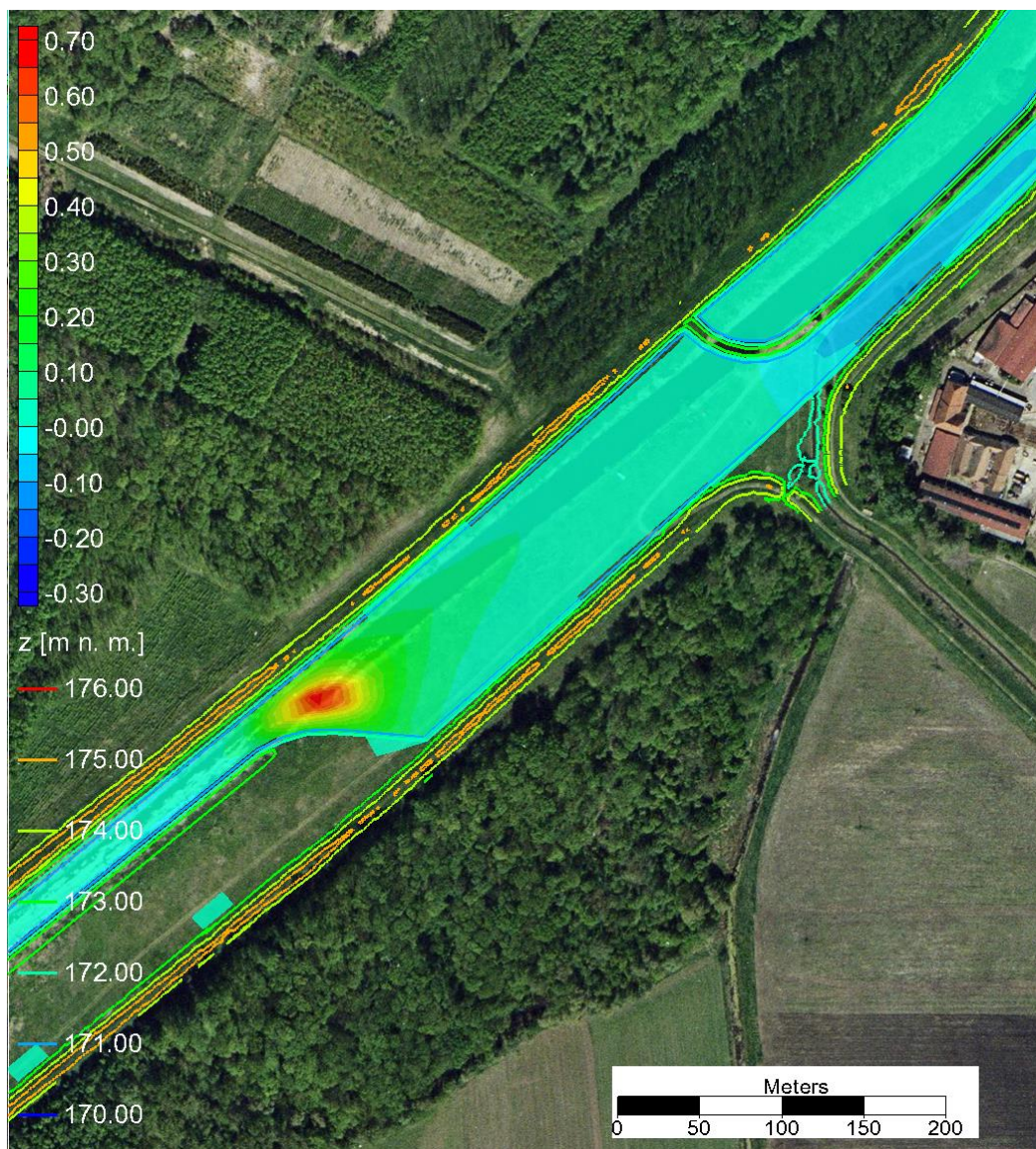
#### 6.4 Doporučená varianta s usazovacím prostorem

Jednou z nevýhod transportního koryta je nutnost jeho údržby. Vzhledem k délce transportního koryta a neustálenému přítoku splavenin by bylo nutné lokalizovat nánosy a určit rozsah jejich těžby před každou periodou těžby. Z uvedeného důvodu vzešel požadavek na návrh usazovacího objektu, který by umožnil lokálně zachytit část splavenin, které by se jinak usazovaly v transportním korytě, a přitom, aby zachytával co možná nejméně jemnozrnné splaveniny, které se požaduje v maximální míře transportovat transportním korytem do dolní části HN VD NM.

Navrženy byly čtyři lokality pro umístění usazovacího objektu (3 usazovací prostory a jedna usazovací nádrž): usazovací prostor v nádrži, usazovací prostor v korytě Dyje, usazovací prostor na soutoku Dyje s Jevišovkou a usazovací předsazená nádrž na Dyji. Na jednání s Povodím Moravy, s.p., bylo dohodnuto, že dále budou detailně rozpracovány usazovací prostor v nádrži, usazovací prostor na soutoku a jejich kombinace.

Každý z usazovacích prostorů byl podroben návrhu základních parametrů (délka, šířka, zahloubení, sklon dna) pomocí 1D a 2D simulací. Ukázalo se, že nejvhodnější je usazovací prostor v nádrži nad zaústěním Polního potoka. Usazovací prostor využívá maximálně šířku ohrázaného prostoru. Z hlediska délky byla stanovena jako nejvhodnější délka aktivní části usazovacího prostoru 300 m a dno vodorovné bez zahloubení (v odtokovém profilu). Geometrii usazovacího prostoru a úprav níže položeného úseku zobrazuje Obr. 38 včetně vývoje nánosů. Výhodou varianty s usazovacím prostorem je vhodnější řešení zaústění Polního potoka do Dyje a méně komplikované trasování transportního koryta.

Doporučená varianta s usazovacím objektem je vně úprav začleňujících usazovací prostor identická s variantou bez usazovacího objektu, proto není dále blíže popsána.



Obr. 38. Usazovací prostor s délkou aktivní části 300 m, výška nánosů [m]



## 7 Zhodnocení provedených prací a dosažené výsledky

V rámci řešení projektu byl detailně a v maximálním možném rozsahu dle možností, které umožňovala podkladová data, popsán historický vývoj zanášení horní části HN VD NM. Uvedená historická data sloužila ke zhodnocení historického vývoje a kalibraci a verifikaci numerických modelů, které měly za úkol predikovat budoucí stav.

Na základě 1D a 2D numerických modelů byl predikován krátkodobý a střednědobý budoucí vývoj zanášení HN VD NM pro tři klimatické scénáře. Uvedené modely umožnily kvantifikovat vývoj změny ochrany území za hrázemi. Na základě analogie se zanášením jiných nádrží byl po kalibraci vypočítán dlouhodobý vývoj zanášení horní části HN VD NM až do úplného zanesení.

Na základě důkladné analýzy chování koryta Dyje a historického zanášení nádrže byly navrženy 3 základní možné varianty opatření k dosažení dlouhodobě stabilního managementu splavenin a usazenin v nádrži se specifikováním jejich výhod a nevýhod. Po zvážení jednotlivých variant byla vybrána pro další zpracování varianta s transportním korytem. Tato varianta byla rozpracována pro případ bez usazovacího prostoru a pro případ s usazovacím prostorem. Jako vhodnější se jeví varianta s usazovacím prostorem.

Navržená opatření managementu splavenin v nádrži vedou k minimalizaci negativních důsledků zanášení nádrže spojených především se změnou ochrany území za hrázemi, a přitom vytváří vhodné podmínky pro rozvoj ekosystému toků a nádrže.

Vytyčený cíl skládající se ze tří hlavních bodů uvedených na počátku řešení projektu byl bezezbytku splněn.

## 8 Seznamy

### 8.1 Seznam literatury

Zachoval, Z., 2017. Splaveniny ve vodních tocích. Modul 01. Brno: VUT, FAST.

Zachoval, Z., 2018. Periodická zpráva. MO4. Brno: VUT, FAST, ÚVST, LVV.

Zachoval, Z., 2019. Příprava 1D modelu proudění vody a transportu splavenin. Report – shrnutí výsledků za MO5. Brno: VUT, FAST, ÚVST, LVV.

Zachoval, Z., 2020. Simulace historického vývoje zanášení horní nádrže VD Nové Mlýny. Report – shrnutí výsledků za MO6. Brno: VUT, FAST, ÚVST, LVV.

Zachoval, Z., 2020. Simulace budoucího vývoje zanášení horní nádrže VD Nové Mlýny. Report – shrnutí výsledků za MO7. Brno: VUT, FAST, ÚVST, LVV.

Zachoval, Z., 2021. Dlouhodobý vývoj zanášení horní části horní nádrže VD Nové Mlýny a návrh opatření pro eliminaci negativních důsledků. Report – shrnutí výsledků za MO8. Brno: VUT, FAST, ÚVST, LVV.

Zachoval, Z., 2021. Návrh opatření pro eliminaci negativních důsledků zanášení horní části horní nádrže VD Nové Mlýny. Report – shrnutí výsledků za MO9. Brno: VUT, FAST, ÚVST, LVV.

Zachoval, Z. 2022. Projednání a úprava návrhu opatření, výběr lokalit pro usazovací objekty. Report – shrnutí výsledků za MO10. Brno: VUT, FAST, ÚVST, LVV.

Zachoval, Z. 2022. Návrh usazovacích prostorů. Report – shrnutí výsledků za MO11. Brno: VUT, FAST, ÚVST, LVV.

### 8.2 Seznam značek veličin

$d$	průměr částice	[m]
$L$	délka (staničení od hráze HN VD NM)	[m]
$L_{UP}$	délka aktivní části usazovacího prostoru	[m]
$P$	zastoupení	
$Q$	průtok vody	[m <sup>3</sup> /s]
$Q_a$	průměrný roční průtok vody	[m <sup>3</sup> /s]
$Q_{min}$	minimální průtok vody	[m <sup>3</sup> /s]
$Q_{max}$	maximální průtok vody	[m <sup>3</sup> /s]
$Q_s$	průtok splavenin	[m <sup>3</sup> /s]
$t$	čas	[s]
$t_0$	počáteční čas	[s]

$V_s$	objem splavenin	[m <sup>3</sup> ]
$V_{spřítok}$	objem transportovaných splavenin na přítoku	[m <sup>3</sup> ]
$V_n$	objem nádrže	[m <sup>3</sup> ]
$V_{n0}$	počáteční objem nádrže	[m <sup>3</sup> ]
$Z$	úroveň	[m n. m.]
$Z_d$	úroveň dna	[m n. m.]
$\Delta Z_h$	změna úrovně hladiny	[m]

### 8.3 Seznam zkratk

HN	horní nádrž
KS	klimatický scénář
MO	monitorovací období
NM	Nové Mlýny
VD	vodní dílo

### 8.4 Seznam obrázků

Obr. 1.	Vymezení zájmové oblasti (www.mapy.cz, 2022) .....	5
Obr. 2.	Zanášení nádrže a zarůstání nánosů (Povodí Moravy, 2018) .....	6
Obr. 1.	Použité staničení, velké kruhy po 1 km, malé kruhy po 100 m .....	8
Obr. 2.	DMT, zleva rok 1978, 2008, 2018 .....	9
Obr. 3.	Hydrogramy průtoků, vlevo Dyje, vpravo Jevišovka, dole úroveň hladiny v nádrži 10	
Obr. 4.	Zrnitostní křivka usazenin .....	11
Obr. 5.	Vývoj nánosů v obdobích [m], vlevo 1978-2008, vpravo 2008-2018 .....	12
Obr. 6.	Vývoj nánosů [m] za celé období 1978-2018.....	13
Obr. 7.	Úroveň dna v ose koryta .....	13
Obr. 8.	Vývoj úrovně dna na Dyji od roku 1978 do konce roku 2008 (2009) .....	16
Obr. 9.	Vývoj úrovně dna na Dyji od roku 2009 do konce roku 2018 (2019) .....	16
Obr. 10.	Změna úrovně dna [m] za období 2009 až 2018 simulovaná 2D modelem .....	18
Obr. 11.	Detail změny úrovně dna [m] v místě čela nánosů za období 2009 až 2018 simulovaná 2D modelem.....	19
Obr. 12.	Porovnání skutečné a simulované úrovně dna 1D a 2D modelem.....	20
Obr. 13.	KS1 nahoře, KS2 uprostřed, KS3 dole, výška nánosů v roce 2031 [m] .....	22
Obr. 14.	KS3, vývoj nánosů v čase [m], 2023, 2025, 2027, 2029, 2031 .....	23
Obr. 15.	KS1, Dyje, budoucí vývoj změny úrovně dna (vlevo) a objemu usazenin (vpravo)	24
Obr. 16.	KS1, Jevišovka, budoucí vývoj změny úrovně dna (vlevo) a objemu usazenin (vpravo)	25
Obr. 17.	KS2, Dyje, budoucí vývoj změny úrovně dna (vlevo) a objemu usazenin (vpravo)	25

Obr. 18.	KS2, Jevišovka, budoucí vývoj změny úrovně dna (vlevo) a objemu usazenin (vpravo)	25
Obr. 19.	KS3, Dyje, budoucí vývoj změny úrovně dna (vlevo) a objemu usazenin (vpravo)	26
Obr. 20.	KS3, Jevišovka, budoucí vývoj změny úrovně dna (vlevo) a objemu usazenin (vpravo)	26
Obr. 21.	Objem usazenin v horní části od roku 2021 do roku 2051 .....	27
Obr. 22.	Dyje, podélný profil úrovně dna v roce 2051 pro jednotlivé KS .....	27
Obr. 23.	Jevišovka, podélný profil úrovně dna v roce 2051 pro jednotlivé KS .....	28
Obr. 24.	Dyje, podélný profil objemu usazenin v roce 2051 pro jednotlivé KS .....	28
Obr. 25.	Dlouhodobé zanášení horní části HN VD NM .....	30
Obr. 26.	Schématický podélný profil Dyje, $Q_{100}$ .....	32
Obr. 27.	Změna úrovně hladiny při $Q_{100}$ v Dyji oproti stavu z roku 1978 .....	32
Obr. 28.	Hladiny na Dyji za stavu roku 2018 .....	33
Obr. 29.	Hladiny na Dyji za stavu roku 2051 .....	33
Obr. 30.	Podélný profil vývoje nánosů (vlevo) a relativního objemu transportu splavenin (vpravo) v transportním korytě .....	36
Obr. 31.	Povrch území navrhovaného stavu dolní části .....	37
Obr. 32.	Povrch území navrhovaného stavu střední části .....	38
Obr. 33.	Povrch území navrhovaného stavu horní části .....	39
Obr. 34.	DMT navrhovaného stavu dolní části .....	40
Obr. 35.	DMT navrhovaného stavu střední části .....	41
Obr. 36.	DMT navrhovaného stavu horní části .....	42
Obr. 37.	Podélný profil korytem Dyje .....	43
Obr. 38.	Usazovací prostor s délkou aktivní části 300 m, výška nánosů [m] .....	45