



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV VODNÍCH STAVEB

INSTITUTE OF WATER STRUCTURES

HISTORICKÝ VÝVOJ ZANÁŠENÍ HORNÍ NÁDRŽE VD NOVÉ MLÝNY

HISTORICAL DEVELOPMENT OF SEDIMENT DEPOSITION IN UPPER RESERVOIR OF NOVÉ
MLÝNY DAM

DIPLOMOVÁ PRÁCE

DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Magdaléna Komorová

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. ZBYNĚK ZACHOVAL, 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 vodních staveb

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Student	Bc. Magdaléna Komorová
Název	Historický vývoj zanášení horní nádrže VD Nové Mlýny
Vedoucí práce	doc. Ing. Zbyněk Zachoval, Ph.D.
Datum zadání	31. 3. 2019
Datum odevzdání	10. 1. 2020

V Brně dne 31. 3. 2019

prof. Ing. Jan Šulc, CSc.
Vedoucí ústavu

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

PODKLADY A LITERATURA

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.

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

Geometrická data dna horní nádrže VD Nové Mlýny a koryt toků Jevišovky a Dyje.

Hydrologická data Jevišovky a Dyje.

Manipulační řád horní nádrže VD Nové Mlýny.

Zrnitostní křivky usazenin dna.

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

Horní nádrž VD Nové Mlýny se zanáší především splaveninami transportovanými řekou Dyjí.

Cílem práce je popis historického vývoje zanášení horní nádrže VD Nové Mlýny od jejího prvního napuštění až do současnosti.

Studentka provede vyhodnocení historického vývoje zanášení horní nádrže VD Nové Mlýny na základě 1D simulace proudění s transportem splavenin od doby prvního napuštění až do současnosti. Numerický model bude zahrnovat horní nádrž VD Nové Mlýny a úseky toků Dyje a Jevišovky. Výsledkem bude zobrazení vývoje nánosu v čase a vývoj úrovně hladiny při N-letých průtocích.

STRUKTURA DIPLOMOVÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

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

doc. Ing. Zbyněk Zachoval, Ph.D.
Vedoucí diplomové práce

ABSTRAKT A KLÍČOVÉ SLOVÁ

Diplomová práce sa zaoberá zanášaním hornej nádrže vodného diela Nové Mlýny od prvého napustenia do súčasnosti. Začiatok práce je venovaný úvodu do oblasti splavenín, zanášaniam nádrží a opatreniam proti zanášaniam. Súčasťou práce je vytvorenie numerického jednorozmerného modelu pre pohyb splavenín na úseku Dyje, Jevišovka a v rámci hornej nádrže. Vyhodnotenie spočíva v analýze objemov sedimentov, zmeny dna v čase a zmeny kriviek zrnitosti v nádrži. Práca vyhodnocuje vývoj úrovne hladiny pri N -ročných prietokoch pri rôznom stupni zanesenia.

horná nádrž vodného diela Nové Mlýny, historický vývoj zanášania, Dyje, Jevišovka, zmena úrovne hladiny

ABSTRACT AND KEY WORDS

Master thesis is about historical deposition of sediments in the upper reservoir of Nové Mlýny from first fill up with water until present time. Beginning of the thesis concentrates on introduction of types of sediments and their behavior in rivers and reservoirs, sediment deposition in reservoirs and measures against sedimentation in reservoir. Part of the thesis consist of the creation of numerical one-dimensional model with transport of sediments on sections of rivers Dyje, Jevišovka and in the upper reservoir. Output data evaluation consist of analysis of sediment's volume, development of bed in time and variation of bed evaluation in reservoir. Master thesis evaluates the development of water surface with different stages of sedimentation.

upper reservoir of Nové Mlýny dam, historical deposition of sediments, Dyje, Jevišovka, change of water surface level

BIBLIOGRAFICKÁ CITÁCIÁ VŠKP

Bc. Magdaléna Komorová *Historický vývoj zanášení horní nádrže VD Nové Mlýny*. Brno, 2020. 75 s., 0 s. příl. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodních staveb. Vedoucí práce doc. Ing. Zbyněk Zachoval, Ph.D.

VYHLÁSENIE

Vyhlasujem, že som diplomovú prácu spracovala samostatne a že som uviedla všetky použité informačné zdroje.

V Brne dňa 9. 1. 2020

Bc. Magdaléna Komorová
autor práce

POĎAKOVANIE

Veľmi si vážim čas a úsilie docenta Zachovala pri snahe zobudiť v študentoch nadšenie pre vedu. Veľké ďakujem patrí za jeho vecné pripomienky a orlie oči pri čítaní diplomovej práce. Za trpezlivosť pri zodpovedaní mojich otázok a za obohacujúce odpovede nad rámec otázky, z ktorých som sa naučila viac než táto diplomová práca môže ukázať.

Rozhodne musím poďakovať svojej rodine, ktorý ma podporovali a pomáhali so slovenskou terminológiou. V poslednom rade svojmu partnerovi, ktorý chápal moju potrebu ponoriť sa do práce a povzbudzoval, keď sa nedarilo.

OBSAH

ABSTRAKT A KLÚČOVÉ SLOVÁ	4
ABSTRACT AND KEY WORDS	4
BIBLIOGRAFICKÁ CITÁCIÁ VŠKP	5
POĎAKOVANIE	6
OBSAH	7
1 ÚVOD	10
1.1 Cieľ práce a metóda riešenia	11
2 SPLAVENINY	12
2.1 Delenie splavenín.....	12
2.2 Korytotvorné procesy	13
2.2.1 Vymieľanie usadenín	13
2.2.2 Usadzovanie splavenín	14
2.2.3 Pohyb splavenín.....	14
3 ZANÁŠANIE NÁDRŽÍ	17
3.1 Opatrenia proti zanášaniu nádrží.....	18
4 NUMERICKÉ MODELOVANIE	20
4.1 Typy modelov pohybu splavenín	20
4.2 HEC-RAS Ustálené prúdenie.....	20
4.3 HEC-RAS Simulácia pohybu splavenín.....	22
4.3.1 Prítok po častiach ustálený.....	22
4.3.2 HEC-RAS Pohyb splavenín.....	23
5 PROBLÉMY ZANÁŠANIA NÁDRŽÍ NA SLOVENSKU A POUŽITÉ OPATRENIA	29
5.1 VD Krpeľany.....	29
5.2 VD Veľké Kozmálovce	30
6 ÚDAJE O ZÁUJMOVEJ LOKALITE	33
6.1 História VD Nové Mlýny	34

6.2	Základné údaje.....	35
6.1	Rekognoskácia terénu v roku 2018.....	35
6.2	Hydrológia	36
6.3	Morfológia koryta	38
6.3.1	Popis stavu v roku 2018.....	38
6.3.2	Popis stavu v roku 2009.....	38
6.3.3	Popis stavu v roku 1978.....	39
6.4	Zrnistostná skladba dna	39
7	NUMERICKÝ MODEL.....	43
7.1	Výpočet	43
7.2	Zjednodušujúce predpoklady	43
7.3	Okrajové podmienky	44
7.3.1	Horná okrajová podmienka.....	44
7.3.2	Dolná okrajová podmienka	46
7.4	Vstupné parametre	47
7.5	Kalibrácia modelu.....	47
7.5.1	Kalibrácia prúdenia vody.....	47
7.5.2	Kalibrácia pohybu splavenín.....	48
7.6	Simulácia dlhodobého vývoja zanášania nádrže	49
7.7	Simulácia vývoja polohy hladiny pri N-ročných prietokoch.....	49
8	VYHODNOTENIE VÝSLEDKOV SIMULÁCIE.....	51
8.1	Vyhodnotenie zanášania hornej nádrže VD Nové Mlýny.....	51
8.2	Zhodnotenie zmeny kriviek zrnitosti.....	52
8.3	Analýza zmeny dna v pozdĺžnych profiloch	54
8.4	Analýza zmeny vybraného priečného profilu v nádrži.....	58
8.5	Vyhodnotenie vývoja pohybu hladiny pri Q_N.....	59
8.5.1	Horná časť hornej nádrže VD Nové Mlýny	59
8.5.2	Dyje	60
8.5.3	Jevišovka	62
9	ZÁVER	64
10	POUŽITÁ LITERATÚRA.....	66
	ZOZNAM POUŽITÝCH SKRATIEK A VELIČÍN.....	68

ZOZNAM TABULIEK	71
ZOZNAM OBRÁZKOV	72
SUMMARY	74

1 ÚVOD

Zanášanie nádrží materiálom pritekajúcim v prúde vody je celosvetový problém. Zmenšovanie objemu má viacero negatívnych dopadov. Čiastočne zanesená nádrž nemá počas povodne kapacitu zadržať taký objem vody ako bolo projektované, čím má menšiu schopnosť transformovať povodne. Podobná situácia nastáva, keď je sucho a treba zadržať čo najviac vody, aby nádrž mohla vykonávať všetky svoje funkcie, pre ktoré bola postavená. Existujú opatrenia proti zanášaniam, ktoré spomaľujú spomínaný proces. Pre výber správneho opatrenia je nutné pochopiť vývoj zanášania v čase. Opatrenia získavajú preferencie až v súčasnosti, keď sa veľa nádrží stretáva s problémami. U starých nádrží väčšinou platí, že je lacnejšie postaviť novú nádrž než vyťažiť sedimenty zo stávajúcich, ak sú výrazne zanesené. Problémom však je nedostatok vhodných lokalít pre výstavbu nových nádrží.

Sústava troch nádrží nazývaných vodné dielo (VD) Nové Mlýny je v prevádzke od roku 1978 – horná nádrž (stredná nádrž od roku 1981 a dolná od 1989). Za viac ako 40 ročnú prevádzku sa stihli prejaviť nepriaznivé účinky zanesenia hlavne hornej a strednej nádrže. Zanesenie spôsobilo zmenšenie hĺbky vody, ktorá sa rýchlejšie zohrieva pri dopade slnečných lúčov. Prehriata voda obsahuje menej kyslíku, čo negatívne ovplyvňuje organizmy vo vode. Na prítoku do hornej nádrže z usadených častíc vznikli rozširujúce sa ostrovy a lokálne vyvýšeniny v dne.



Obrázok 1.1 Horná nádrž VD Nové Mlýny dňa 16.2.2019 (archív autora)

V diplomovej práci sa prvé kapitoly venujú teórii splavenín, zanášaniam nádrží a opatreniam proti zanášaniam. Následne je rozpísaná teória modelovania pohybu splavenín. V druhej polovici práce sa rieši praktická časť na lokalite v povodí Dyje.

1.1 CIEĽ PRÁCE A METÓDA RIEŠENIA

Cieľom diplomovej práce je vyhodnotenie vývoja zanášania hornej nádrže VD Nové Mlýny od prvého napustenia v roku 1978 po súčasnosť, t. j. 40 rokov. Vyhodnotenie je na základe výsledkov z numerického jednorozmerného kalibrovaného modelu pohybu splavenín. Numerický model zahŕňa úseky tokov Dyje a Jevišovka, taktiež hornú časť hornej nádrže VD Nové Mlýny. Dolná časť hornej nádrže nie je simulovaná, nakoľko nie je geodeticky zameraná v rôznych obdobiach, teda nie je možné pozorovať zanášanie. Metóda riešenia spočíva v zostavení modelu v programe HEC-RAS pre 3 rôzne časové obdobia a následný výpočet pohybu splavenín. Použitím kalibrácie je snaha o dosiahnutie rovnakého zanesenia ako bolo zistené z geodetických meraní. Následne sú výsledky zo simulácií vyhodnotené. Druhotným výsledkom je vývoj úrovne hladiny v nádrži pri N -ročných prietokoch.

Diplomová práca sa zaoberá iba hornou nádržou od prítoku Dyje po most cesty 3. triedy spájajúcej obce Pasohlávky a Brod nad Dyjí. Ďalej sa zameriava na rieku Dyje od prítoku do hornej nádrže po cestný most pri obci Hevlín a na tok Jevišovka od sútoku s riekou Dyje po obec Hrušovany nad Jevišovkou. Dĺžka tokov bola volená tak, aby nebol ovplyvnený prítok splavenín nádržou. Ostatné prítoky Dyje a nádrže sú zanedbané.

2 SPLAVENINY

Splaveniny sú nerozpustené látky, ktoré sa vyskytujú prirodzene vo vodných tokoch a pomocou prúdu sa pohybujú. Pohyb splavenín je spôsobený rôznymi faktormi a ich kombináciou. Tie môžu byť biologické, geologické, geomorfologické, hydrologické a antropogénne. Po dĺžke toku prebiehajú neustále dva fyzikálne deje: vymieľanie a usadzovanie, ktoré v závislosti na vyššie spomenutých faktoroch a úseku toku prevažujú medzi sebou. Stále je po dĺžke toku zachovaná kontinuita transportu splavenín s ich meniacim sa zložením. V hornej časti toku pôsobí hlavne vymieľanie dna a pohybujú sa z veľkej časti iba dnové splaveniny. Stredná časť je charakterizovaná vyrovnaným stavom usadzovania a vymieľania. V dolnom úseku prevláda fyzikálny jav usadzovania so zanášaním nielen nádrží a zdrží, ale i vlastného koryta toku, prevláda pohyb častíc vznášajúcich sa v prúde – plavenín. Z pohľadu človeka je prirodzená zmena koryta toku pomalá.

Každá rieka má iný prietok splavenín. Podľa odhadov má najvyšší hmotnostný prietok plavenín rieka Ganga a Brahmaputra pri ústí do oceánu s hodnotou 1 670 000 000 ton za rok. Obidve rieky odvodňujú Himalájske územie s veľkým množstvom ľadovcov a častým pohybom tektonických dosiek, čo sa prejavuje na zvýšenom prietoku plavenín. Ďalšia rieka v poradí je Žltá rieka v Číne, kde pôda extrémne podlieha erózií. Európa nemá až taký odnos plavenín, Najväčšie množstvo transportuje Dunaj s hodnotou 83 000 000 ton za rok. (Zachoval, 2016)

Splaveniny majú pozitívny dopad na prírodu a ekosystémy. Pre určité druhy živých organizmov sú nevyhnutné ako zdroj živín a prostredníctvom pohybu splavenín tieto živočíchy môžu zmeniť svoju polohu. Negatívny dopad môže byť pre ľudí, v dôsledku zanášania nádrží, objektov a úsekov pred mostami, ohrozenie statiky objektov a vznik hladovej vody, kedy sa voda neobsahuje splaveniny sama sýti časticami z koryta dôležitých pre organizmy žijúce vo vode.

2.1 DELENIE SPLAVENÍN

Nasledujúce delenie je prebraté a preložené do slovenčiny z publikácie Zachovala (2016).

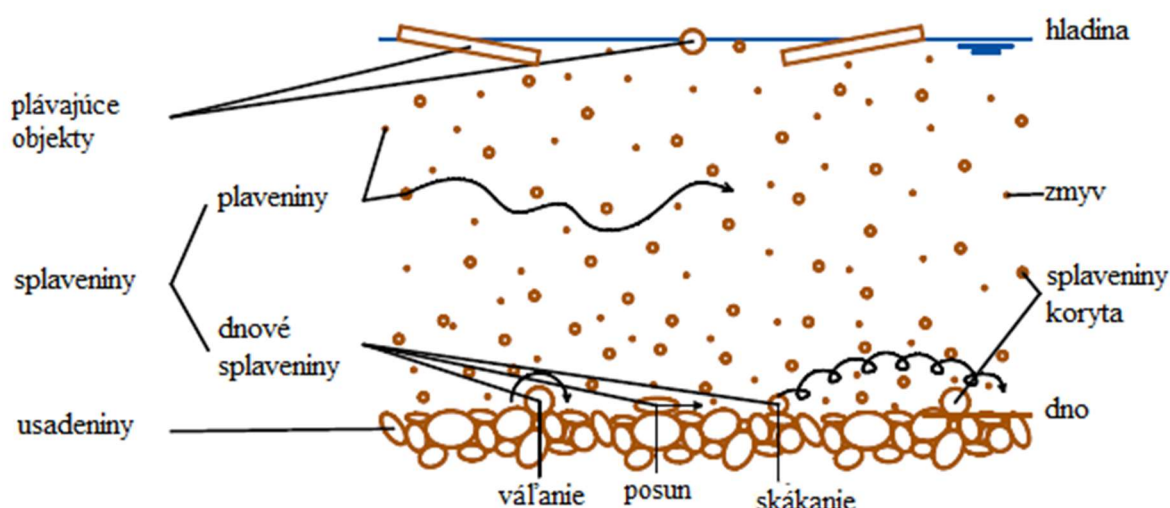
Nerozpustené látky, či už organického alebo anorganického pôvodu, premiestňované vodným tokom, sa podľa charakteru pohybu v prúde delia na (obrázok 2.1):

1. Plávajúce objekty – pohybujú sa pri hladine, aspoň z časti sú nad hladinou.
2. Splaveniny – neplávajúce častice, celé ponorené pod hladinou.
 - a. Dnové splaveniny (splaveniny) – pohybujú sa pri dne (posunom, váľaním, skákaním s rotáciou).
 - b. Plaveniny – pohybujúce sa v suspenzii, vznášajú sa v prúde.

Splaveniny môžeme súčasne rozdeliť podľa pôvodu na (obrázok 2.1):

- i. Splaveniny koryta – vznikli vymieľaním samotného povrchu koryta.
- ii. Zmyv – vznikol vymieľaním povrchu povodia, prakticky nemajú vplyv na pretváranie koryta a v koryte toku sa neusadzujú, zato sa usadzujú vo vodných nádržiach (Morris a Fan, 1998).

Splaveniny zanikajú buď odberom alebo usadením na povrchu v tekutine, čím vytvoria usadeniny (sedimenty).



Obrázok 2.1 Delenie nerozpustených látok premiestňovaných tokom (Zachoval, 2016).

2.2 KORYTOTVORNÉ PROCESY

Kapitola je prebratá a preložená do slovenčiny z publikácie Zachovala (2016).

Korytotvorné procesy, ako procesy meniace koryto toku, môžeme rozdeliť do 3 kategórií: chemické, biochemické a mechanické. Diplomová práca sa bude venovať len mechanickým, nakoľko tie sú spojené so splaveninami. Základné mechanické procesy sú:

1. Vymieľanie – dochádza k vzniku splavenín v dôsledku mechanického odstraňovania častíc z povrchu vplyvom prúdenia.
2. Pohyb – premiestňovanie splavenín prúdom.
3. Usadzovanie – dochádza k vzniku usadenín.

Vymieľanie a usadzovanie prebiehajú neustále, v lokálnej mierke môže jeden jav prevažovať nad druhým, ale nikdy neprebíha len jeden. V prípade, že vymieľanie a usadzovanie sú z dlhodobého pohľadu v rovnováhe, nazývame ju dynamická rovnováha.

Prúdenie v koryte nie je iba pozdĺžne ale i priečne, čím sa prejavuje nestabilita koryta. Trasa koryta sa skladá zo striedajúcich sa oblúkov a priamych úsekov, pričom v každom oblúku na konkávnom brehu dochádza k vymieľaniu (podomletiu brehov), vzniká tzv. brehová nátrž, a v konvexnom brehu dochádza k usadzovaniu. Medzi oblúkmi vzniká prirodzený brod.

2.2.1 Vymieľanie usadenín

Prúd vody mechanicky odstraňuje vrstvy častíc na povrchu koryta a dochádza k erózií (vymieľaniu). Tento jav môže nastať nielen na dne toku ale i na brehoch koryta. Neobvyklým prípadom je spätná erózia, kedy sa s postupom čela výmoľu vymieľa dno koryta proti prúdu. Miestna priehlbina sa nazýva výmoľ. Dlhodobé vymieľanie dna koryta spôsobuje zahĺbenie koryta do terénu. Vymieľanie končí na eróznej báze (základňa výmoľu). Príklady eróznej báze sú: hladina stojatej vody alebo toku, do ktorého daný tok ústi a pevné podložie.

Prvopočiatok pohybu splavenín

Počiatok pohybu usadeniny znamená zmenu stavu z kľudu do pohybu. Každá častica je uvedená do pohybu pri iných podmienkach, preto sa ťažko definuje jednotný počiatok pohybu pre všetky častice.

2.2.2 Usadzovanie splavenín

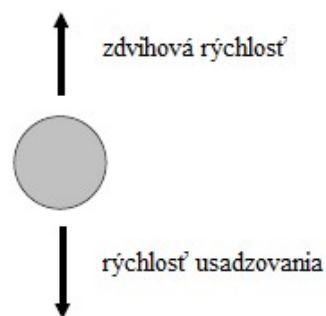
Usadzovanie je proces, pri ktorom častice v tekutine klesajú ku dnu a dochádza k vzniku usadenín. Miestne usadzovanie má za následok nános. Existujú 3 druhy nánosov:

- Lavica (štrková, piesková) – nános nesúdržných usadenín, ktorý má vodorovnú, plošne rozsiahlu plošinu so strmými svahmi.
- Delta – nános v zaústení toku do stojatej vody, či už nádrže alebo more.
- Nánosový kužeľ – nános zaujíma tvar polokružea.

Usadeniny časom konsolidujú, tento proces má ale menší význam pre korytotvorné premeny toku než základné mechanické procesy: vymiešanie a usadzovanie.

2.2.3 Pohyb splavenín

Ako bolo spomenuté v kapitole 2.1, poznáme 2 typy splavenín (plaveniny a dnové splaveniny). Splaveniny zaraďujeme na základe pomeru rýchlosti usadzovania v kľudnej kvapaline a zdvihovej rýchlosti (pôsobí proti usadzovaniu), obrázok 2.2.



Obrázok 2.2 Rýchlosti pôsobiace na časticu v kvapaline (Brunner, 2016).

Zdvihová rýchlosť závisí od fluktuácie prúdu a hydrodynamickej vztlakovej sily – mimo blízkosť dna sa zanedbáva. Ak rýchlosť usadzovania je pri dne väčšia než zdvihová, tak ide o dnovú splaveninu, v opačnom prípade ide o plaveninu. Ak je prúdenie nerovnomerné, tak sa plaveniny po dĺžke toku môžu stať dnovými splaveninami a opačne. V hornej časti toku majú väčšiu váhu dnové splaveniny a v dolnej časti toku zas plaveniny.

Dnové útvary vznikajú pri veľkom pohybe dnových splavenín, ktoré sa musia pri pohybe obtekať. Dnové útvary závisia tiež od druhu prúdenia, čo sa môže určiť bezrozmerným Froudovým číslom Fr (Jandora a Šulc, 2006):

$$Fr = \frac{\alpha v^2 B}{gS}, \quad (1)$$

kde: α – Coriolisovo číslo,

v – stredná prierezová rýchlosť,

B – šírka hladiny,

S – prietokná plocha.

Existujú tri druhy dnových útvarov: vrásky, duny a antiduny. Vrásky vznikajú pri laminárnom obtekaní, kde za vráskou vznikne vír. V závislosti na zrnitosti sa pri riečnom prúdení ($Fr < 1$) vytvárajú duny a pri bystrinnom prúdení ($Fr > 1$) antiduny. Rovné dno je keď nevznikajú žiadne dnové útvary, čo je približne pri $0,6 < Fr < 1$.

Celý pohyb opisuje rovnica spojitosti, odvodená zo zákona zachovania hmotnosti. Odvodzuje sa zvlášť pre dnové splaveniny a plaveniny. Rovnicu pohybu dnových splavenín odvodil v roku 1925 pán Exner a v zjednodušenej verzii, kedy sa predpokladá, že materiálové vlastnosti (hustota a pórovitosť usadenín) sa v čase t ani po dĺžke x nemenia, sa môže zapísať pre 1D:

$$(1 - n_p) \frac{\partial Z_d}{\partial t} = - \frac{\partial q_{dsx}}{\partial x}, \quad (2)$$

kde: n_p – pórovitosť usadenín,
 Z_d – úroveň dna koryta,
 q_{ds} – špecifický prietok dnových splavenín.

Rovnica pohybu rovnakozrnných dnových splavenín v 1D s predpokladom konštantnej hustoty častíc a so zahrnutím premeny dnových splavenín na plaveniny je:

$$(1 - n_p) \frac{\partial Z_d}{\partial t} = - \frac{\partial q_{dsx}}{\partial x} - w(C_e - c_{Vds}), \quad (3)$$

kde: w – rýchlosť usadzovania,
 C_e – bezrozmerná miera strhávania častíc do suspenzie,
 c_{Vds} – objemová koncentrácia dnových splavenín.

Rovnica pohybu rovnakozrnných plavenín v 1D s predpokladom konštantnej hustoty častíc je:

$$\frac{\partial}{\partial t} \left[\int_{Z_d}^{Z_h} c_V dz \right] = - \frac{\partial q_{px}}{\partial x} + w(C_e - c_{Vds}), \quad (4)$$

kde: Z_h – úroveň hladiny,
 c_V – objemová koncentrácia suspenzie,
 dz – zmena po výške,
 q_p – špecifický prietok plavenín.

Rovnica pohybu splavenín v 1D vychádza z vyššie uvedených rovníc a pri zanedbaní malého členu má tvar:

$$(1 - n_p) \frac{\partial Z_d}{\partial t} = - \frac{\partial q_{sx}}{\partial x}, \quad (5)$$

kde: q_{sx} – špecifický prietok splavenín.

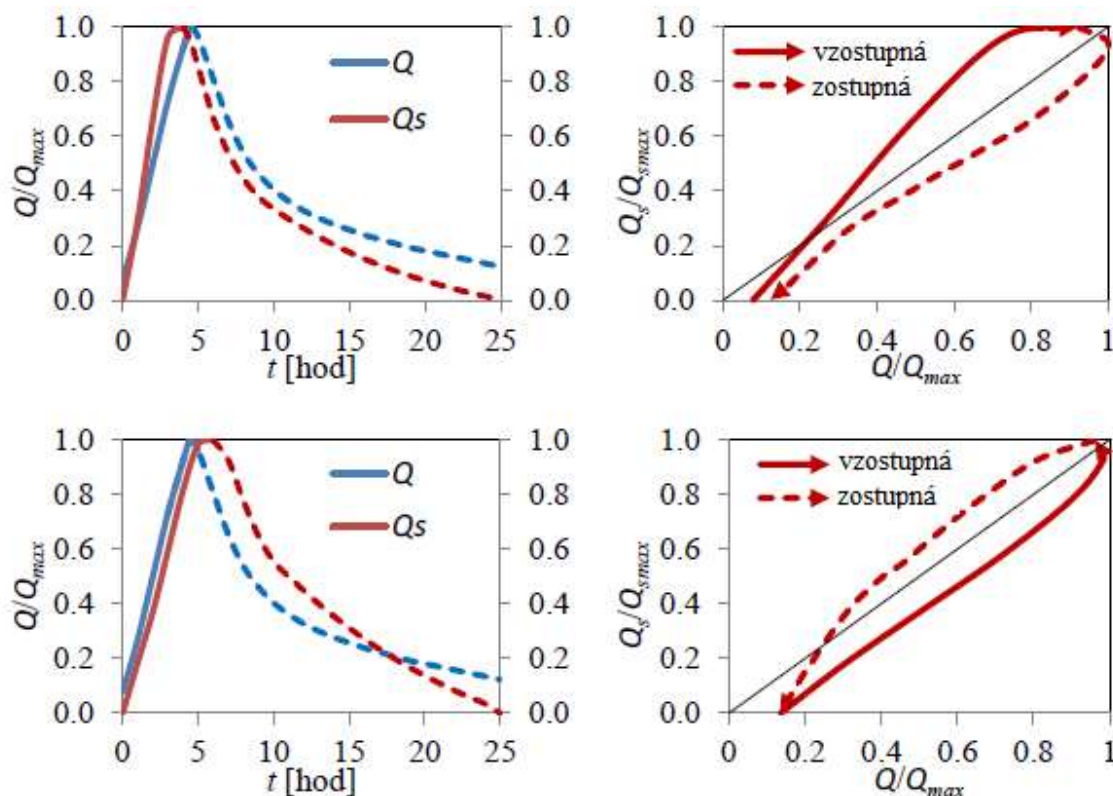
Rovnica (5) ukazuje nezávislosť rovnice pohybu splavenín na vzájomnej premene dnových splavenín a plavenín.

Korytotvorný prietok je prietok premiestňujúci najväčšie množstvo splavenín v priemernom roku. Malé prietoky vody premiestňujú relatívne malé množstvo splavenín, hoci majú dlhšie trvanie než veľké prietoky, ktoré premiestňujú veľký objem splavenín počas krátkej doby.

Dlhodobý vývoj prietoku splavenín závisí v dnešnej dobe hlavne od ľudskej činnosti.

Krivky prietoku splavenín

Prirodzene sa v koryte toku vytvoria zásobníky splavenín, napr. nánosy v koryte, nánosy v hydrotechnických stavbách – vývar. Zásobníky sú pri vzostupnej vetve prietoku zdrojom splavenín a na zostupnej vetve ako odbery (plní a prázdni sa). U povodňových vln skoro vždy vznikne hysterézia krivky časového priebehu prietoku splavenín Q_s na prietok vody Q (vpravo na obrázku 2.3). Väčšinou je kulminálny prietok splavenín Q_{smax} dosiahnutý skôr než kulminácia prietoku vody Q_{max} (hore vľavo na obrázku 2.3). Na obrázku 2.3 vľavo sú použité relatívne vyjadrenia prietoku vody $Q/Q_{max} = f\{t\}$ a splavenín $Q_s/Q_{smax} = f\{t\}$, vpravo relatívne závislosti na sebe $Q_s/Q_{smax} = f\{Q/Q_{max}\}$.



Obrázok 2.3 Relatívne vyjadrenie krivky prietoku vody a splavenín v čase (vľavo) a hysterézia závislosti prietoku splavenín na prietoku vody (vpravo) (Zachoval, 2016)

Zrornosť splavenín a usadenín v toku

Zrornosť splavenín a usadenín po dĺžke toku závisí od súčasného stavu koryta a povodia, ďalej od charakteru prúdu vody a prietoku splavenín, od obrusu častíc. Veľkosť častíc sa smerom po prúde znižuje v dôsledku obrusu, rozdielných rýchlostí pohybu určitých veľkostí častíc, tvaru pozdĺžneho profilu koryta a zvyšovaním prietoku po dĺžke toku (prítoky). V prírodných korytách je zmena veľkosti častice smerom po prúde obvykle plynulá.

Zrornosť splavenín a usadenín v priečných profiloch koryta nie je konštantná. Najväčšie častice sú v najhlbších miestach prúdu, kde vzniká dnová dlažba a kde sú jemnozrnné častice najviac vymieľané. V plytkých úsekoch koryta zas prevažujú jemnozrnné nad hrubozrnnými časticami.

3 ZANÁŠANIE NÁDRŽÍ

Splaveniny, ktoré sa následne usadia v nádržiach, môžu mať okrem nepriaznivých účinkov, ako je zmenšenie retenčného objemu nádrže, obmedzenie plavby naprieč nádržou, zmenu vlastností vody (ekologická stránka – diverzita fauny a flóry), ohrozenie objektov po statickej stránke (zmena zaťaženia konštrukcie) a po funkčnej stránke (neprietočné spodné výpuste), vymieľanie koryta pod nádržou v dôsledku hladovej vody, i priaznivé účinky, čo je prípad VD Nové Mlýny stredná nádrž, kedy sa z usadenín stali ostrovy ako súčasť biokoridoru (Říha a Zachoval, 2011).

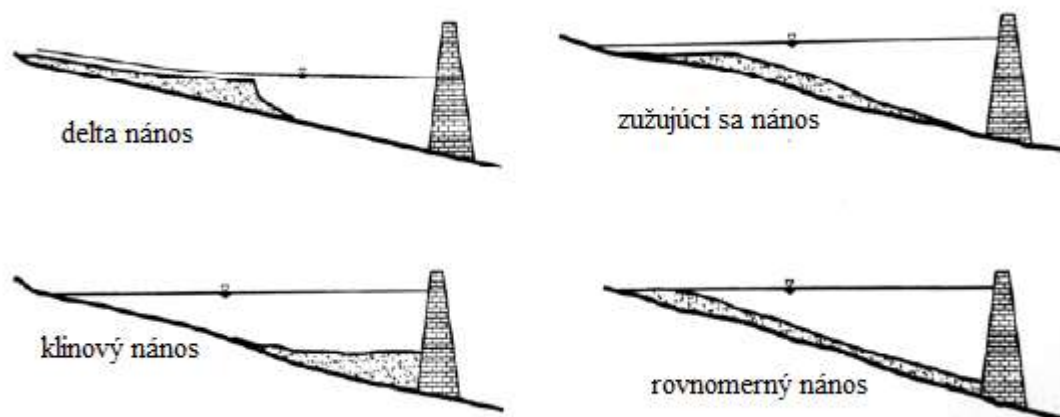
Zdrojom splavenín usadzujúcich sa v nádržiach sú splaveniny prinášané tokom zo zmyvu častíc z priľahlých plôch, ďalej zo zosuvov svahov do nádrže účinkom vetra alebo vln vzniknutých pri plavbe a zosuvov svahov v dôsledku zmeny hydrogeologických pomerov, teda aktívne zosuvy. Zosuvy z hydrogeologických zmien sú väčšinou dlhodobého rázu, málokedy sa stane krátkodobý, t. j. náhly, zosuv ako tomu bolo v roku 1963 na VD Vajont v Taliansku.

Zanášanie nádrží splaveninami sa netýka len mŕtveho priestoru, ako sa môže zdať. V nádržiach dochádza k sedimentácii hrubozrnných splavenín na prítoku do nádrže, keďže sa zmenší rýchlosť prúdu pod unášaciu rýchlosť hrubozrnných častíc. V prípade toku transportujúceho materiál so širokou krivkou zrnitosti sa splaveniny usadzujú postupne na prítoku, čím sa vytvorí zužujúci nános smerom do nádrže, obrázok 3.1. Len malé percento jemnozrnných častíc pokračuje ďalej do nádrže pomocou turbulentných prúdov a následne sa usadí v mŕtvom priestore. (Morris a Fan, 1998)

Iný typ nánosu vznikne v prípade, keď dnové splaveniny výrazne prevládajú nad ostatnými. Dnové splaveniny sa usadia na začiatku nádrže, čím vytvorí delta nános. Sklon plošiny delty je približne polovičný ako sklon dna pôvodného koryta. Čelo delta nánosu sa pohybuje v čase smerom do nádrže a má sklon vnútorného trenia častíc pod vodou, čím dochádza k triedeniu častíc. (Zachoval, 2016)

Ďalší typ nánosu vznikne pri usadzovaní ťažko usaditeľných splavenín bez vzniku hustotného prúdu, kedy sa budú usadzovať splaveniny postupne a vytvorí sa rovnomerný nános po celej dĺžke nádrže.

Ak v prípade prítoku splavenín vznikne hustotný prúd, potom sa splaveniny budú usadzovať až v najhlbšom mieste nádrže, čo väčšinou býva mŕtvy priestor nádrže a tvar nánosu je klin, obrázok 3.1. (Zachoval, 2016)



Obrázok 3.1 Typické nánosy v nádržiach (Morris a Fan, 1998)

Z bilancie transportu splavenín vyplýva, že najrýchlejšie je zanášanie nádrží po prvom napustení a s časom sa spomaľuje. Podľa Zachovala (2016) sa rozlišujú 3 štádia zanesenia nádrže v závislosti na dlhodobom vyjadrení prítoku splavenín Q_{sp} a odtoku splavenín Q_{so} :

1. $Q_{sp} > 0 \wedge Q_{so} = 0$ – celý prítok splavenín sa usadí v nádrži.
2. $Q_{so} > 0 \wedge Q_{so} < Q_{sp}$ – časť Q_{sp} sa usadí v nádrži a časť odtečie ako Q_{so} .
3. $Q_{so} = Q_{sp}$ – splaveniny sa neusadzujú v nádrži, pretože nádrž je zanesená (vždy ale zostane určité percento nádrže, ktoré nie je schopné sa zaniest’).

Časový úsek medzi prvým napustením nádrže a dosiahnutím tretieho štádia zanesenia sa nazýva životnosť nádrže. Nakoľko rovnováha prítoku a odtoku splavenín je dosiahnutá až teoreticky v nekonečne, v dôsledku spomaľovania usadzovania splavenín na základe znižujúceho sa objemu v nádrži, bolo nutné zaviesť termín polčas životnosti nádrže, ktorý nastane pri zanesení polovice objemu nádrže. (Zachoval, 2016)

3.1 OPATRENIA PROTI ZANÁŠANIU NÁDRŽÍ

Existuje 6 základných typov opatrení, ktoré sa dajú urobiť pre minimalizovanie zanášania nádrží, teda nechceného znižovania ich objemu (Zachoval, 2016):

- Zmenšenie prítoku splavenín – úpravami odtokových pomerov v povodí a v nádrži (v čo najväčšej miere zabrániť zmyvu pôdy v povodí, stabilizácia brehov a iné).
- Zachytenie splavenín v usadzovacej nádrži – plní svoju funkciu len dovtedy než sa usadzovacia nádrž plne zanesie, vtedy treba sedimenty odčistiť a zase môže plniť svoju funkciu.
- Premiestňovanie splavenín pod nádrž do koryta toku:
 - Ťažba a následná preprava nákladnými vozidlami – používa sa, ak je sklon nádrže malý a nie sú technicky možné iné typy opatrení.
 - Prevod tlakovým potrubím na dne nádrže.
 - Štôľnou/tunelom (voľný režim prúdenia) mimo trasy nádrže – používa sa ak je krátka vzdialenosť medzi začiatkom a koncom vzdutia.
- Ťažba usadenín z nádrže pri napustenej alebo čiastočne vypustenej (ekonomicky výhodnejšie) nádrži.
- Preplachovanie nádrže – výhodné ak na prítoku prevažujú plaveniny. Používajú sa k tomu spodné výpuste, ktoré sa naplno otvoria a hustotný prúd pritekajúci do nádrže len pretečie skrz nádrž do koryta toku, čím sa v nádrži usadí menej plavenín. Preplachovanie je vhodné pri zníženej hladine. Nevýhoda je v nutnom vypustení časti objemu zadržanej vody v nádrži, čo pri nádržiach s viacročným vyrovnaním nie je vhodné.
- Riadené usadzovanie – prúd nesúci splaveniny sa dočasne prevedie do priestoru určeného k usadzovaniu (slepé rameno, lúka, mŕtvy priestor nádrže) alebo do iného povodia.

Pre výber správneho opatrenia proti zanášaniu nádrže je potrebné poznať hydrologickú veľkosť nádrže, v angličtine známu ako pomer $C:I$ (capacity to inflow), rovnica (6). Niektorí považujú tento pomer za dôležitejší z pohľadu sedimentov než absolútny objem nádrže. (Morris a Fan, 1998)

$$C:I = \frac{V_n}{V_Q}, \quad (6)$$

kde: V_n je celkový objem nádrže,

V_Q je objem, ktorý pritečie do nádrže za jeden rok.

V prípade, že $C:I \geq 0,5$ nádrž sa považuje za hydrologicky veľkú a nie je optimálne proti zanášaniam používať preplachovanie kvôli nemysliteľnej strate vody.

Predpoveď zanášania nádrže sa určuje 3 spôsobmi:

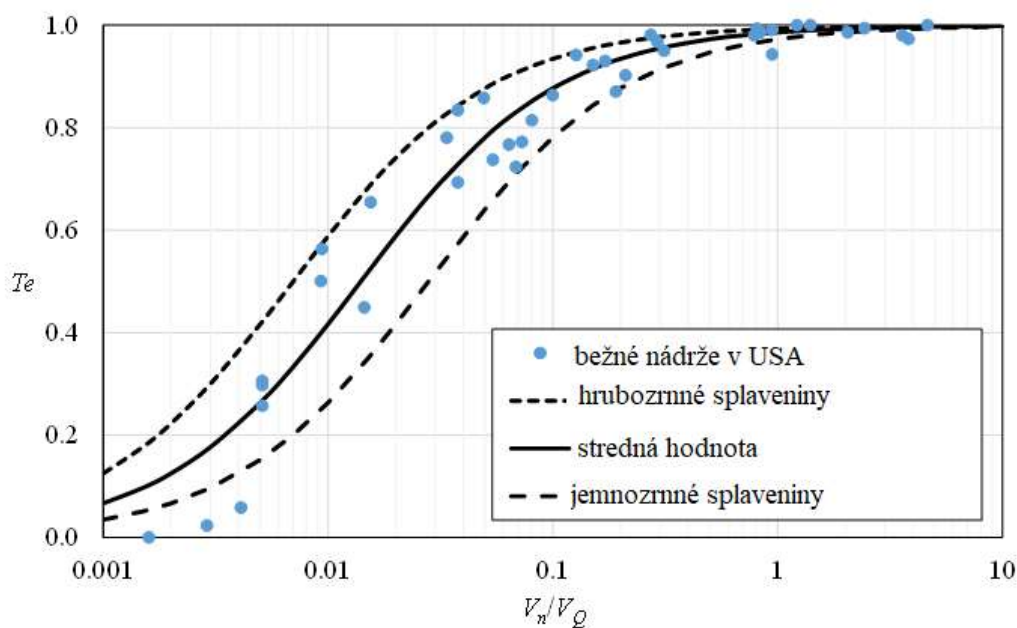
- Fyzikálnym modelom – iba dnové splaveniny.
- Numerickým modelom – podrobnejšie v kapitole 4.1.
- Bilančne.

Bilančná metóda podľa Zachovala (2016) zahrňuje stanovenie účinnosti zachytenia Te . Ak je známy objem splavenín, dá sa Te vypočítať z rozdielu, čo pritečie a odtečie. Avšak málokedy je objem splavenín známy, pretože je ťažké získať dáta objemov splavenín. Preto sa dá účinnosť zachytenia stanoviť ako $Te=f\{V_n/V_Q\}$ podľa nasledujúcej rovnice (Zachoval, 2016):

$$Te = \frac{V_n/V_Q}{C_{Te}+V_n/V_Q}, \quad (7)$$

kde: C_{Te} – súčiniteľ účinnosti zachytenia.

Súčiniteľ C_{Te} pre podnebie v miernom pásme naberá strednú hodnotu 0,014, hrubozrnné splaveniny 0,007 a jemnozrnné 0,028. Závislosť $Te=f\{V_n/V_Q\}$ graficky vyzerá ako na obrázku 3.2. Pri určovaní Te je nutné mať určitý nadhľad, pretože závisí nielen od objemov ale aj od vlastnostiach splavenín, tvaru a veľkosti nádrže, spôsobu manipulácie a ďalších parametroch nezahrnutých v rovnici (7).



Obrázok 3.2 Závislosť účinnosti zachytenia Te od objemu nádrže V_n ku objemu vody pretečenej za rok V_Q (Zachoval, 2016)

Predpoveď zanášania vychádza z rovnice spojitosti doplnenej o účinnosť zachytenia (Zachoval, 2016):

$$\Delta V_n = -\frac{TeQ_s\Delta t}{1-n_p}. \quad (8)$$

Podľa zmeny objemu nádrže za časovú jednotku (väčšinou rok) ΔV_n sa vyberá opatrenie proti zanášaniam v závislosti na finančných prostriedkoch.

4 NUMERICKÉ MODELOVANIE

4.1 TYPY MODELOV POHYBU SPLAVENÍN

Modely pohybu splavenín môžu byť (Zachoval, 2016):

- Ustálené – spoľahlivé a stabilné, použitie obmedzené.
- Po častiach ustálené – používajú sa pre predpoveď dlhodobého vývoja koryta a zanášanie nádrží.
- Neustálené – používajú sa pre simuláciu prúdenia počas povodní.

Výber dimenzie sa volí podľa možnosti zmeny koryta a priestorového charakteru prúdenia, taktiež sa musí zohľadniť na akej výpočtovej technike a s akou časovou dotáciou bude výpočet prebiehať. Delenie modelov podľa priestorovej mierky (Zachoval, 2016):

- 1D – dlhodobé predpovede pretvorenia koryta s pevnými brehmi a malou relatívnou šírkou.
- 2D – simulácia vývoja koryta s veľkou relatívnou šírkou, zahŕňa sa možný bočný zosuv svahov.
- 3D – významné priestorové prúdenie vody (obtekanie prekážok, oblúky korýt a odbery).

Každý model musí mať vhodné počiatočné a okrajové podmienky. Modely sa často zjednodušujú na základe zjednodušujúcich predpokladov, aby bolo možné daný problém vyriešiť, ale vždy musia platiť základné fyzikálne deje.

Kvalita vstupných dát ovplyvňuje kvalitu výstupu z modelu. Zároveň je nutné vedieť, ktoré veličiny majú aký význam pre simuláciu. Pre výpočet pohybu splavenín sa podľa Morrisa a Fana (1998) rozlišujú parametre fyzikálne a výpočtové. Fyzikálne parametre súvisia s tokom, ktorý je modelovaný. Najväčší vplyv na výsledok majú koeficienty drsnosti, prítoky (splavenín i vody) do riešeného úseku, ďalej geometria toku a hrúbka aktívnej vrstvy dna toku. Najmenší význam má teplota vody. U nádrží má ale teplota vody veľký význam z dôvodu vytvorenia hustostných prúdov, čo sa prejaví na inom pohybe splavenín skrz nádrž. Ďalší veľmi dôležitý parameter, ktorému avšak Morris a Fan (1998) neprikladajú až taký význam je krivka zmitosti. Z vlastných skúseností pri kalibrovaní modelu má krivka zmitosti veľký význam. Výpočtové parametre zas vychádzajú z výpočtovej techniky. Najdôležitejší je správny výber transportnej rovnice, dĺžku výpočtového kroku a rovnicu pre výpočet súčiniteľa drsnosti.

V praktickej časti diplomovej práce bude simulácia realizovaná programom HEC-RAS, preto nasledujúce podkapitoly budú venované teórii hydrauliky a modelom pohybu splavenín, ktorú používa software HEC-RAS verzia 5.0.7.

4.2 HEC-RAS USTÁLENÉ PRÚDENIE

Podkapitola vychádza z publikácie Brunnera (2016).

HEC-RAS 5.0.7 výpočet v 1D pre ustálené prúdenie vychádza zo zjednodušenej Bernoulliho rovnice pre dva profily označené dolným indexom 1 a 2, obrázok 4.1:

$$h_1 + z_1 + \frac{\alpha v_1^2}{2g} = h_2 + z_2 + \frac{\alpha v_2^2}{2g} + h_z, \quad (9)$$

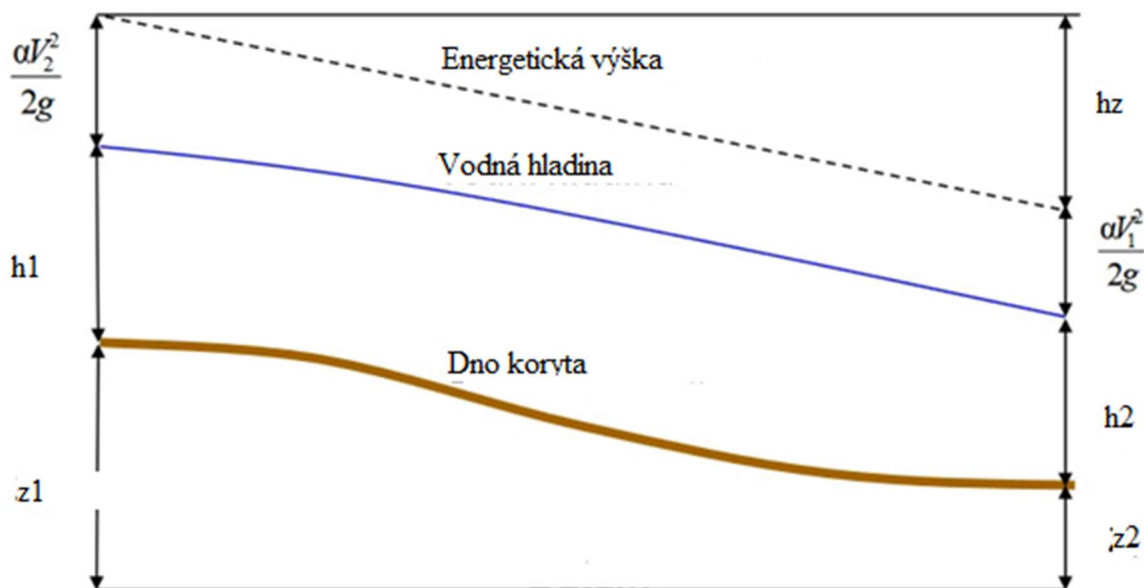
kde: h – hĺbka vody,

z – nadmorská výška (polohová výška),

α – Coriolisovo číslo,

- v – priemerná rýchlosť vody,
- g – tiažové zrýchlenie,
- h_z – strata mechanickej energie.

Rovnica (9) je zjednodušená, pretože za tlakovú výšku dosadzuje priamo hĺbku vody a nie tlak závislý od tiažového zrýchlenia a hustoty vody (čím vlastne zanedbáva zmenu hustoty vody).



Obrázok 4.1 Vyjadrenie členov v Bernouliho rovnici (9) (Brunner, 2016)

Strata mechanickej energie medzi dvoma profilmi sa počíta ako (Brunner, 2016):

$$h_z = L\bar{S}_f + C \left| \frac{\alpha v_2^2}{2g} - \frac{\alpha v_1^2}{2g} \right|, \quad (10)$$

kde: L – prepočítaná vzdialenosť medzi profilmi podľa rovnice (11),

\bar{S}_f – sklon čiary energie medzi profilmi spôsobený trením,

C – stratový koeficient kontrakcie/expenzie.

Rovnica na prepočet vzdialenosti medzi profilmi je (Brunner, 2016):

$$L = \frac{L_{LOB}\overline{Q_{LOB}} + L_{CH}\overline{Q_{CH}} + L_{ROB}\overline{Q_{ROB}}}{\overline{Q_{LOB}} + \overline{Q_{CH}} + \overline{Q_{ROB}}}, \quad (11)$$

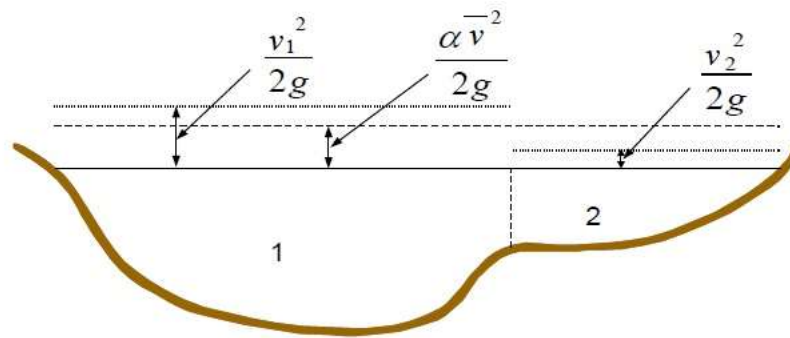
kde: L_{LOB} , L_{CH} , L_{ROB} – vzdialenosť profilov zvlášť pre ľavú inundáciu, koryto a pravú inundáciu,

$\overline{Q_{LOB}}$, $\overline{Q_{CH}}$, $\overline{Q_{ROB}}$ – aritmetický priemer prietoku zvlášť pre ľavú inundáciu, koryto a pravú inundáciu.

Coriolisovo číslo α sa počíta pre priečny profil (obrázok 4.2) podľa nasledujúcej rovnice (indexy 1 a 2 tu znamenajú polohu v priečnom profile):

$$\alpha = \frac{Q_1 v_1^2 + Q_2 v_2^2}{Q v^2}, \quad (12)$$

kde: Q – prietok.



Obrázok 4.2 Stredná hodnota rýchlosti v pričnom profile pre výpočet Coriolisova čísla (Brunner, 2016)

Sklon čiary energie S_f sa spočíta podľa rovnice:

$$S_f = \left(\frac{Q}{K}\right)^2, \quad (13)$$

kde: K – modul prietoku.

Priemerný sklon čiary energie spôsobený trením \bar{S}_f sa získa ako aritmetický priemer zo všetkých sklonov čiary energie.

HEC–RAS 5.0.7 používa spomenutú rovnicu (9) v metóde po úsekoch.

4.3 HEC-RAS SIMULÁCIA POHYBU SPLAVENÍN

Podkapitola vychádza z publikácie Brunnera (2016).

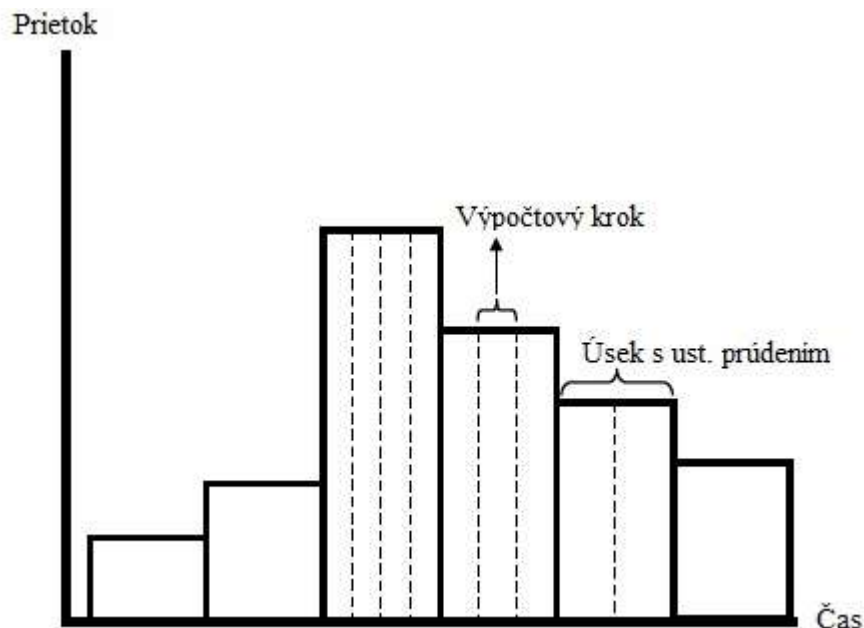
HEC–RAS v každom kroku najprv spočíta hydrauliku a až potom uvedie do pohybu splaveniny a zmení priečny profil podľa výsledkov. Hydrauliku dokáže spočítať pre po častiach ustálené prúdenie a pre neustálené prúdenie.

4.3.1 Prietok po častiach ustálený

Model po častiach ustáleného prietoku zjednodušuje hydrodynamiku a kontinuálny hydrogram zdiskretizuje na úseky, kde je prietok ustálený. Takéto zjednodušenie väčšinou nezachováva prietok ani sa z neho nedá priamo spočítať objem.

Ustálené úseky sú pre výpočet stabilnejšie a rýchlejšie než riešenie matice zo Saint-Venantových rovníc v neustálenom prúdení.

HEC-RAS model používa 3 typy časových krokov, obrázok 4.3. Každý úsek s ustáleným prúdením sa delí na menšie časové výpočtové kroky, v ktorých sa počíta hydraulika a pohyb splavenín, zároveň aktualizuje priečne profily. Ďalej delí výpočtové kroky na menšie podkroky, kedy počíta zmenu vlastností vrstiev dna.



Obrázok 4.3 HEC-RAS Hydrogram upravený na prietok po častiach ustálený (Brunner, 2016)

V zdikretizovaných úsekoch s ustáleným prúdením sa predpokladá konštantný nielen pretok ale aj výšku vodnej hladiny, teplotu vody a množstvo sedimentov.

Výpočtový krok je najdôležitejšia jednotka vo výpočte a preto musí byť menší alebo rovný zdikretizovanému úseku. Zatiaľ čo prietok zostáva nemenným skrz celý úsek, HEC-RAS aktualizuje geometriu dna a hydrodynamiku v každom výpočtovom kroku. HEC-RAS modely sú veľmi náchylné na voľbu dĺžky výpočtového kroku, ktorý určuje ako rýchlo sa zmení geometria dna. Ak je zmena dna príliš rýchla až skoková a výpočtový krok veľký, tak model získa rôzne odozvy z hydraulických výpočtov a z výpočtov pohybu sedimentov, čím dôjde k nezmyselnému vymieľaniu a usadzovaniu splavenín na rôznych miestach, čo spôsobí nestabilitu a dokonca až predčasné ukončenie výpočtu.

HEC-RAS rozdeľuje výpočtový krok na menšie podkroky, kedy počíta zmenu vrstiev dna samostatne na základe triedenia zŕn a možnosti vytvorenia krycej vrstvy, teda v každom výpočtovom kroku prebehne výpočet zmeny vrstiev dna niekoľkokrát. Napriek tomu, že vyššie zmienená zmena sa počíta v podkrokoch, celková zmena dna (vymieľanie, usadzovanie) po výške profilu sa mení až na konci výpočtového kroku. Transportná kapacita toku (unášacia schopnosť toku) sa môže meniť v každom podkroku.

4.3.2 HEC-RAS Pohyb splavenín

Rovnica spojitosti

HEC-RAS vychádza z rovnice spojitosti pohybu sedimentov podľa nasledujúcej rovnice pána Exnera:

$$(1 - n_p)b \frac{\partial z_d}{\partial t} = -\frac{\partial Q_s}{\partial x}, \quad (14)$$

kde: b – šírka aktívnej časti koryta,
 Z_d – úroveň dna (nadmorská výška),
 n_p – pórovitosť aktívnej vrstvy,
 t – čas,
 x – vzdialenosť,
 Q_s – prietok splavenín .

Rovnica spojitosti pána Exnera zahrňuje aj rozdiel prítoku a odtoku splavenín v možnosti uskladnenia sedimentov v suspenzií a nie len na dne ako usadeniny. Zmenu úrovně dna počíta zo šírky a z rozdielu objemu splavenín a pórovitosti. Inak povedané zmena prítoku a odtoku splavenín sa preukáže v zmene krivky zrnitosti dna, vymletím alebo usadením splavenín na dne.

HEC–RAS používa pre výpočet transportnej kapacity pohybu splavenín Q_{sk} rovnicu spojitosti. Čo vystupuje z každého profilu Q_{s-out} porovnáva so vstupom do každého profilu Q_{s-in} . Ak je kapacita Q_{sk} väčšia než dodávka Q_{s-in} , tak HEC–RAS vymeliť koryto, čím vlastne dodá sedimenty do kapacity a zníži tým deficit. Ak je dodávka Q_{s-in} väčšia než kapacita Q_{sk} , tak nadbytok nechá usadiť v danom profile. Výpočet prietoku splavenín vystupujúcich z profilu Q_{s-out} je vlastne množstvo splavenín, ktoré dokáže voda premiestniť, čo nie je tak jednoduché spočítať, nakoľko sa musí vychádzať z hydrodynamiky a z vlastností splavenín. Preto bola zavedená transportná kapacita splavenín (unášacia schopnosť prúdu), čo je maximálny prietok splavenín vyvolaný určitým prietokom vody pre každú frakciu.

HEC–RAS delí sedimenty podľa veľkosti zrna na frakcie od 0,002 mm do 2048 mm. V základnom nastavení je rozpätie rozdelené do 20 skupín, ktoré sa navzájom neprekrývajú. Z každej skupiny sa následne zvolí reprezentant, ktorý vstupuje do všetkých výpočtov pre danú frakciu.

Pre výpočet pohybu sedimentov je nutné v HEC–RASe vybrať 3 dôležité prístupy, podľa ktorých bude počítať a to transportnú rovnicu, metódu triedenia zrn a metódu rýchlosti usadzovania. Každý z 3 prístupov je dôležitý pre správny výsledok.

Transportná rovnica

Transportný potenciál sedimentov je množstvo pohybujúcich sa sedimentov pre danú frakciu, ktorý vie byť uvedený do pohybu pri daných hydraulických parametroch toku. HEC-RAS počíta transportný potenciál pre každú frakciu podľa jednej zvolenej rovnice z ôsmich ponúkaných (Ackers and White, Engelund – Hansen, Laursen – Copeland, Meyer – Peter Müller, Toffaleti, Yang, Wilcock). Výber vhodnej rovnice je veľmi dôležitý pre správny výsledok, nakoľko každá rovnica bola odvodená pre určité podmienky a má svoje obmedzenia. V tabuľke 4.1 sú stručne spomenuté všetky ponúkané transportné rovnice, ich princíp a vhodné použitie. Podrobne sú rozpísané len dve, ktoré sú následne použité v praktickej časti diplomovej práce.

Tabuľka 4.1 Použitie transportných rovníc

Transportná rovnica	Veľkosť zrna	Princíp	Vhodné použitie na	Poznámka
Ackers – White	piesok – jemný štrk	priestorová analýza	dnové útvary	Neobsahuje závislosť šmykového napätia od veľkosti zrna.
Englund – Hansen	piesok	Explicitná funkcia rýchlosti vody, dnového šmykového napätia a d_{50} .	iba piesčité toky	najjednoduchšia
Laursen – Copeland	íl – štrk	bezrozm. šmyk. napätie a pomer trecej rýchlosti od rýchlosti usadzovania	Najlepší na hrubozrnný íl až jemný piesok.	
Meyer – Peter Müller	piesok – štrk	bezrozmerné šmykové napätie	bez dnových útvarov, hlavne pre štrkonosné toky	Najpoužívanější, zvykne podhodnotiť pohyb jemnozrnných materiálov.
Toffaleti	piesok	Regresívna závislosť medzi hydraulikou, splaveninami a teplotou vody.	„Veľké“ rieky, nevhodný pre štrkovú frakciu	Používa vertikálny koncentračný profil a dva rozdielne priemery zrn d_{50} a d_{65} .
Yang	piesok – štrk	„sila“ toku (rýchlosť vody a šmykové napätie)		Citlivý na rýchlosti vody a citlivejší na rýchlosť usadzovania.
Wilcock	piesok - štrk	Sklon dna ovplyvňujú vlastnosti aktívnej vrstvy dna.		Zahrňuje ovplyvňovanie frakcií zrn medzi sebou.

Rovnica Meyer – Peter a Müller (MPM) pochádza z roku 1948 ako jedna z prvých vymyslených a doteraz je najpoužívanějšía pre dnové splaveniny. Funguje na princípe prekročenia bezrozmerného šmykového napätia. Bola odvodená na žľabe s pieskovým až štrkovým rovným dnom bez dnových útvarov. Nevýhoda MPM je v podhodnotení predikcie pohybu jemných frakcií.

Rovnica Toffaleti je primárne odvodená pre piesčitú frakciu a zjednodušene opisuje Einsteinov prístup pričom zavádza niektoré empirické predpoklady. Funkcia nevychádza z prekročenia šmykového napätia ani vymieľacej rýchlosti. Používa regresívnu závislosť medzi splaveninami, hydraulikou a teplotou vody. Toffaleti rozdeľuje hĺbku vody do vertikálnych zón a počíta pre každú zónu vlastný koncentračný profil jednoduchou aproximáciou Rousovho koncentračného profilu. Ďalej používa dva rôzne priemery zrn d_{50} a d_{65} pre lepšie charakterizovanie zrnitosti.

Nakoľko Toffaletiho prístup má horšie výsledky v štrkovej frakcii, HEC-RAS 5.0.7 umožňuje použiť kombinovanú funkciu MPM a Toffaleti, kde do piesčitej frakcie sa počíta Toffaletim a od štrkovej frakcie MPM.

Metóda triedenia zrn

Krycia vrstva (dnová dlažba) sa vytvára triedením zrn, ktoré môže byť statické alebo dynamické. Statické triedenie zrn je vyplavovaním jemnozrnných častíc z dna toku a ponechanie hrubozrnných, tie vytvoria odolnejšiu vrstvu. Toto triedenie prevláda na tokoch pod vodnými dielami, kde voda neobsahuje splaveniny a snaží sa nasýtiť vymieľaním jemnozrnej frakcie, ktorá má nižšiu unášaciu rýchlosť než hrubozrnné. Dynamické triedenie funguje na inom princípe. Ak sa pri zvýšenom prietoku dajú do pohybu všetky frakcie zrn, začne sa kompenzovať malá pohybová vzdialenosť hrubozrnných častíc ich zvýšenou dostupnosťou hneď vo vrchnej vrstve dna.

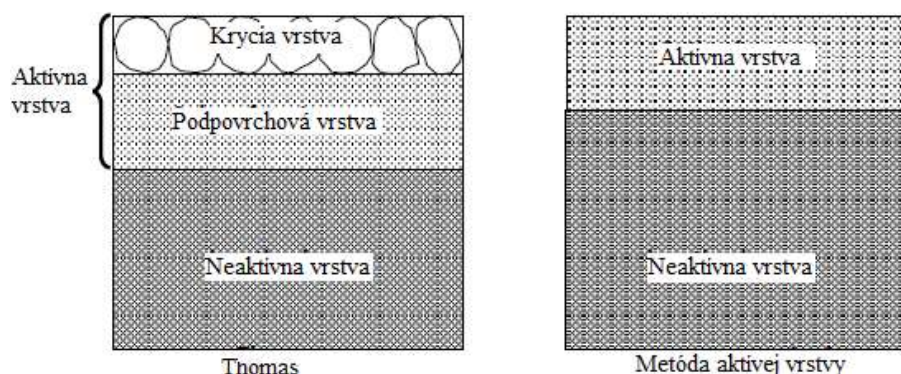
HEC-RAS má zabudované 3 algoritmy pre triedenie zrn a tvorbu krycej vrstvy: Thomas (predtým známa ako Exner 5), Copeland (Exner 7) a Metóda aktívnej vrstvy. Prehľadné porovnanie v tabuľke 4.2. Všetky algoritmy rozdeľujú dno na vrstvu aktívnu a pasívnu. Aktívna vrstva sa priamo podieľa na transporte splavenín. Vyvíja sa samostatne a materiál sa môže pohybovať medzi aktívnou vrstvou a vrstvou pod ňou (podpovrchovou), ak existuje. HEC-RAS počíta zmenu krivky zrnitosti usadenín len v aktívnej vrstve a nie zo všetkých vrstiev dna.

Tabuľka 4.2 Porovnanie algoritmov pre triedenie zrn a tvorbu krycej vrstvy

Algoritmus	Thomas (Ex 5)	Copeland (Ex 7)	M. aktívnej vrstvy
Počet vrstiev	3	4	2
Hrúbka aktívnej vrstvy podľa	rovnovážnej hĺbky h_{eq}	$0,15 \cdot h$ (hĺbky vody) alebo $3 \cdot d_{90}$	konštantná hrúbka
Konštanta krycej vrstvy *	lineárne	polynóm	neexistuje
Vznik krycej vrstvy	okamžitý	pozdvoľný	
Vymieľanie jemnej frakcie	podhodnotené	nadhodnotené	

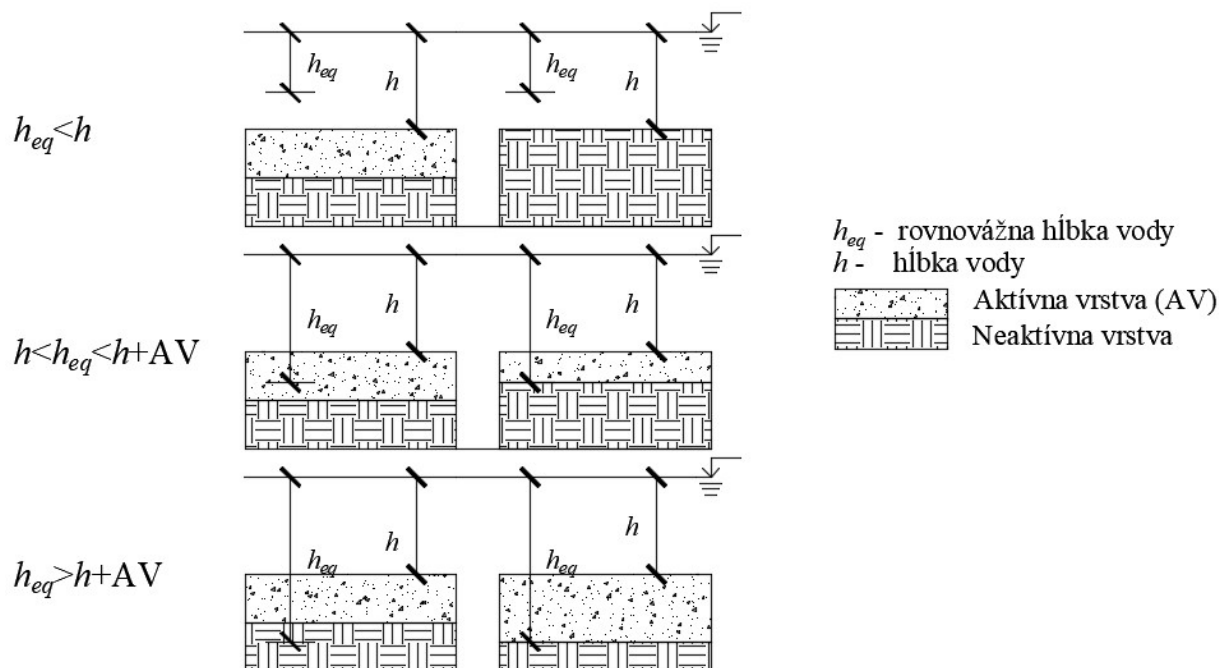
* Konštanta krycej vrstvy naberá hodnoty od 0 do 1. Znižuje deficit splavenín vymletých z podpovrchovej vrstvy, ak má krycia vrstva dostatočné hrubozrnné častice.

Metóda Thomas, pôvodne známa ako Exner 5 (skrátene Ex 5), rozdeľuje dno na 3 vrstvy z toho 2 sa podieľajú na korytotvorných procesoch, na obrázku 4.4 je aj porovnanie oproti zjednodušenej metóde Metóda aktívnej vrstvy.



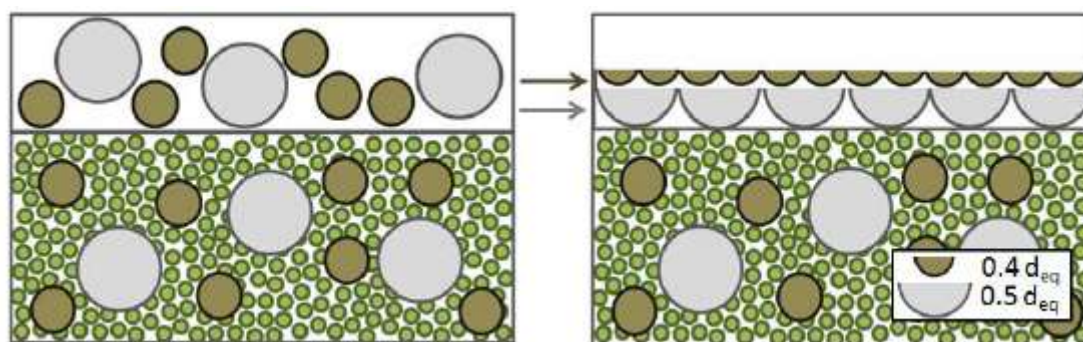
Obrázok 4.4 Porovnanie vrstiev podľa Thomas a Metóda aktívnej vrstvy (Brunner, 2016)

Algoritmus počíta transportnú kapacitu z celej aktívnej vrstvy, ale krycia vrstva sa vytvorí samostatne a reguluje erodibilitu od zbytku aktívnej (podpovrchovej) vrstvy. Thomas počíta na začiatku každého výpočtového kroku (podkroku spomenutom v kap. 4.3.1) rovnovážnu hĺbku h_{eq} , čo je najmenšia hĺbka vody, kedy sedimenty na povrchu dna nie sú v pohybe a vztlačové sily sú príliš malé, aby donútili častice do pohybu. Zároveň je to maximálna hĺbka vymiešania. Následne upraví aktívnu vrstvu aby odpovedala rovnovážnej. Rôzne druhy upravovania aktívnej vrstvy podľa rovnovážnej sú na obrázku 4.5.



Obrázok 4.5 Thomas (Ex 5) upravovanie aktívnej vrstvy podľa rovnovážnej hĺbky vody (vľavo pred úpravou, vpravo po úpravení)

Ďalší dôležitý parameter pre výpočet podľa Thomasa je ekvivalentný priemer zrna d_{eq} , ktorý konvertuje množstvo z každej frakcie zrna na ekvivalentnú hrúbku, čo je násobkom ekvivalentného priemeru zrna (obrázok 4.6).



Obrázok 4.6 Thomasov princíp ekvivalentného priemeru zrna (Brunner, 2016)

Na začiatku každého výpočtového kroku (podkroku) HEC-RAS spočíta váhu stratifikácie krycej vrstvy, čo je súčet ekvivalentných priemerov zrna pre všetky frakcie v krycej vrstve. Ak je váha stratifikácie menšia než 0,5, tak HEC-RAS zničí kryciu vrstvu. Čím znemožní pozorovanie vývoju krycej vrstvy v čase alebo po dĺžke. Dokým krycia vrstva existuje, tak spomaľuje vymiešanie hoci ho nikdy úplne nezastaví.

Taktiež Thomas kryciu vrstvu resetuje vždy, keď nános na krycej vrstve je viac ako cca 0,6 m. Táto metóda predpokladá, že krycia vrstva prestala existovať pod tak hrubým nánosom a zresetuje ju, čo znamená premieša kryciu vrstvu s vrstvou pod ňou. Táto vlastnosť Thomasovej metódy pomáha pri rýchle sa meniacom prostredí, keď je rýchly a častý prechod od usadzovania a statického triedenia krycej vrstvy. Zároveň ale spôsobuje nelineárne zmeny v krivkách zrnitosti na výstupoch zo simulácie.

Metóda rýchlosti usadzovania

Rýchlosť usadzovania závisí od gravitačných a vztlakových síl, ktoré pôsobia na časticu vo vode. Po úprave síl sa dosiahne, že rýchlosť usadzovania je závislá od unášacieho koeficientu C_D , ktorý je zas závislý od Reynoldsova čísla Re , ktoré je závislé na rýchlosti usadzovania, čím sa dostáva do kruhu (rýchlosť usadzovania vlastne závisí od rýchlosti usadzovania). Výpočet teda vedie na iteračný prístup alebo na približné vyjadrenie C_D/Re . Preto HEC-RAS ponúka 5 možných metód (Rubey, Toffaleti, Van Rijn, Report 12, Dietrich), ako tento problém riešiť.

Rubey odvodzuje Reynoldsovo číslo ako jednoduchú analytickú funkciu rýchlosti usadzovania. Toffaleti vymyslel empirické krivky pre rýchlosť usadzovania, z ktorých HEC-RAS priamo čerpá a v prípade potreby interpoluje medzi nimi. Van Rijn používa Rubeyho výpočet ako počiatočnú hodnotu, z ktorej vychádza pre výpočet novej rýchlosti usadzovania podľa kriviek z experimentov závislých na Reynoldsovom čísle. Report 12 používa iteračný prístup, ktorý vychádza z rovnakých kriviek rýchlosti usadzovania ako Van Rijn, ale používa ich na získanie prvotnej rýchlosti usadzovania, z ktorej následne počíta Reynoldsovo číslo, ktoré iteruje dovtedy, než rozdiel rýchlostí usadzovania nie je v prijateľnej tolerancii.

Rýchlosť usadzovania závisí aj od tvaru častice. Každá metóda má dopredu určené buď tvarové opravné konštanty alebo sú rovno zahrnuté v experimentálnych krivkách používajúcich k výpočtu. Jediná metóda Report 12 je schopná počítať rýchlosť usadzovania ako funkciu tvaru častice.

Prediktory drsnosti dna

Pre hydraulické výpočty je veľmi dôležitá drsnosť povrchov, no pre výpočet pohybu splavenín je najdôležitejšia drsnosť dna, ktorá sa v čase mení podľa toho aké sedimenty charakterizujú dno. V prípade, ak jemná frakcia zakryje hrubozrnný materiál, drsnosť okamžite klesne.

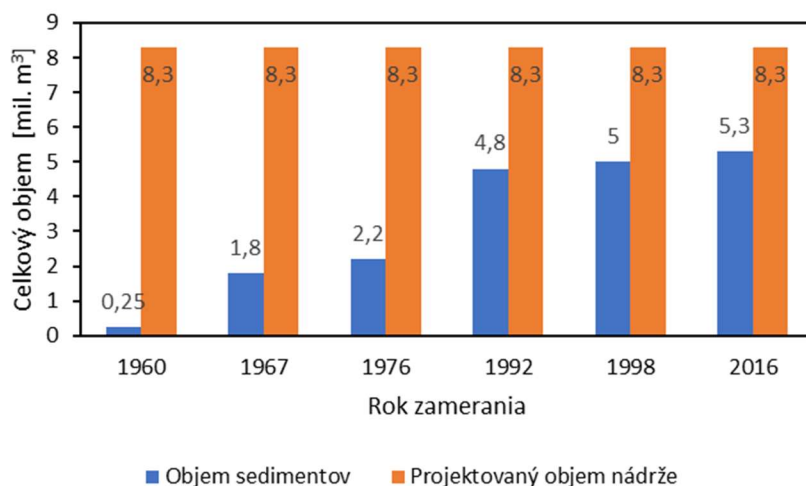
5 PROBLÉMY ZANÁŠANIA NÁDRŽÍ NA SLOVENSKU A POUŽITÉ OPATRENIA

5.1 VD KRPEĽANY

Nasledujúca kapitola vychádza z príspevku Šilly a Mičudy na vedeckej konferencii Vodní toky 2019.

VD Krpeľany sa začalo stavať v roku 1952 a dokončené bolo 1957 ako súčasť Horno-vážskej kaskády (Krpeľany – Sučany – Lipovec), ktorej hlavný účel je výroba elektrickej energie a zníženie povodňový prietokov na toku Váh. VD Krpeľany leží pod sútokom Oravy do Váhu, kde sa očakáva zvýšený pohyb splavenín. Dielo je zároveň ovplyvňované prevádzkou na VD Orava (s vyrovnávacou nádržou Tvrdošín) na rovnomennom toku, a VD Liptovská Mara (s vyrovnávacou nádržou Bešeňová) na Váhu. Projektovaný objem nádrže je 8,33 mil. m³ (Šille a Mičuda, 2019).

VD Krpeľany - Zameraný objem sedimentov
ku projektovanému objemu



Obrázok 5.1 Zamerané zanesenie ku projektovanému objemu VD Krpeľany v období od 1960 do 2016 (Šille a Mičuda, 2019)

VD sa od uvedenia do prevádzky začalo ako každé iné dielo zanášať. Prvé zameranie s ohľadom na sedimenty je až v roku 1960 a nasledujúce sa vykonali nepravidelne s veľkými rozstupmi (Šille a Mičuda, 2019). Na obrázku 5.1 je vidieť zanesenie nádrže v čase podľa nameraného množstva sedimentov.

Pokles zanášania medzi zameraním v roku 1967 a 1976 sa prikladá stabilizácií prietokových pomerov v nádrži, ktoré nastáva po prvom zanesení a okrem iného v roku 1975 bolo uvedené do prevádzky vyššie položené dielo Liptovská Mara, ktoré zachytí väčšinu splavenín prichádzajúcich z hornej časti Váhu. Výrazný skok v množstve sedimentov medzi rokmi 1976 a 1992 je zaujímavý v tom, že toto obdobie sa z hydrologického pohľadu považuje za suchšie, nakoľko vyššie prietoky boli iba zriedkavo a tie sú hlavnými nositeľmi splavenín. Preto sa predpokladá, že hlavný zdroj sedimentov do nádrže majú za následok sanačné práce a preplachovanie VD Orava a vyrovnávacej nádrže Tvrdošín v rokoch 1990 – 1991. (Šille a Mičuda, 2019).

V roku 2016 dosiahol objem sedimentov skoro 65% z projektovaného objemu. A to i napriek opatreniam proti zanášaniam, ktoré začali v roku 1981 v podobe ťažby. V rokoch 1981 až 1992 bolo plávajúcim korčekovým bagrom vyťažených cca 0,8 mil. m³ sedimentov. Tie sa premiestňovali na provizórnu skládku najprv dvomi samovysypnými pramicami. Zároveň nákladné autá zavážali časť mŕtveho ramena Váhu pod hrádzou. V období 1983 – 1988 sa prepravovali sedimenty pomocou tlačných remorkérov a dnových samovysypných člnov na skládku pod hrádzou. Od roku 1992 do 1997 ťažba prebiehala len z hrádze, nakoľko sa pripravovala montáž novej technológie. V roku 1997 začali používať na ťažbu sací bager s potrubím priemeru 125 mm a dĺžkou 1500 m, kedy boli sedimenty uskladňované na skládky na pravej strane Váhu pod hrádzou. Ťažba skončila v roku 2002, kedy sa zistilo, že prítok splavenín je vyšší než kapacita sacieho bagra. (Šille a Mičuda, 2019)

Pri návrhu VD Krpeľany vodohospodári riešili opatrenia proti zanášaniam nádrže. Opatrenie malo byť pravidelné preplachovanie nádrže pri prietokoch vyšších než 500 m³/s vyhradením hradidiel. Vodohospodári pripúšťali zníženie hladiny pri preplachovaní pod minimálnu hladinu. Spomenuté opatrenie kedysi nepoužívali, nakoľko nechceli mať stratu na výkone, teda menšiu výrobu elektrickej energie, čo je hlavný účel VD. V súčasnosti sa prešlo na odstraňovanie sedimentov prepláchnutím pri prietokoch vyšších než 500 m³/s aspoň raz za rok, ak sú vhodné hydrologické podmienky. (Šille a Mičuda, 2019)

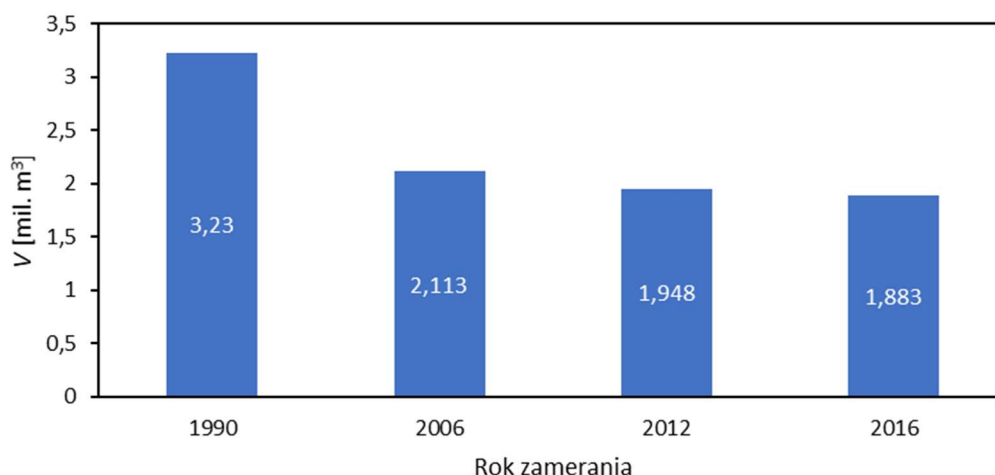
Príklad VD Krpeľany ukazuje silu korytotvorných procesov dosiahnuť rovnovážny stav, kedy za 59 rokov prevádzky diela sa usadilo viac ako 6,1 mil. m³ splavenín (s pričítaním objemu, ktorý vieme, že sa vyťažil) v nádrži s projektovaným objemom 8,3 mil. m³, hoci boli použité opatrenia proti zanášaniam. Zároveň sa prejavuje korelácia prevádzky vodných diel na toku, príkladom bol prepláchnutie VD Orava a následné zvýšené zanesenie VD Krpeľany.

5.2 VD VEĽKÉ KOZMÁLOVCE

Táto kapitola vychádza z príspevku Sočuvky (2017) a z príspevku Ivan a kolektív (2017) na konferencií Sedimenty vodných tokov a nádrží 2017.

Vodné dielo Veľké Kozmálovce leží na dolnej časti rieky Hron riečny kilometer (r. km) 73,500, kedy rieka preteká Podunajskou nížinou po tom čo vyšla zo Štiavnických vrchov. Podunajská nížina je charakterizovaná ako najteplejšia oblasť Slovenska s vysokou hladinou podzemnej vody, kde voľná hladina je zväčša 2 m – 4 m pod povrchom terénu. VD Veľké Kozmálovce započalo výstavbu v roku 1984 a do overovacej prevádzky bola uvedená v roku 1988. Trvalá prevádzka je od roku 1994. Hlavný účel VD je zabezpečenie vody pre jadrovú elektrárň Mochovce a pre závlahový kanál Perec, ďalej vyrovnávanie prietokov Hrona a zabezpečenie využitia energetického potenciálu malej vodnej elektrárne (MVE Veľké Kozmálovce – 3 Kaplanove turbíny). Uvádza sa, že v roku 1990 bol objem nádrže pri výške hladiny 175,50 m n. m. 3,230 mil. m³ (Ivan a kol., 2017). Prvé zameranie nádrže s ohľadom na zanášanie bolo v roku 2006. Ďalší bol v dvoch etapách v roku 2012 pomocou zariadenia Trimble Pathfinder a v roku 2016 pomocou AUV prístroja EcoMapper. Obidva prístroje pracujú na princípe sonaru (Sočuvka, 2017). Z výsledkov zamerania a stanovenia akumulácie objemu pri hladine 175,50 m n. m., obrázok 5.2, vyplýva značný problém zanášania nádrže. Návrh opatrení proti zanášaniam musí zohľadniť nepretržitý odber vody pre jadrovú elektrárň Mochovce, ktorá ešte presne stanovuje v akom rozpätí sa musí udržiavať vodná hladina (Ivan a kol., 2017).

Objem akumuláčného priestoru VD Veľké Kozmálovce (pri prevádzkovej hladine 175,5 m n. m.)



Obrázok 5.2 Zmena akumuláčného objemu nádrže VD Veľké Kozmálovce v rokoch 1990 až 2016 (Sočuvka, 2017)

V roku 2006 činilo zanesenia približne 38% oproti objemu akumuláčného priestoru z roku 1990 (Sočuvka, 2017). Preto bola v roku 2007 vypracovaná štúdia od kolektívu autorov Výskumného ústavu vodného hospodárstva (VÚVH). Výsledkom štúdie bolo navrhnutie opatrení spočívajúcich v odťažení 550 000 m³ sedimentov z nádrže a výstavba dvanástich usmerňovacích líniových stavieb. V skutočnosti sa podarilo odťažiť iba 130 000 m³ sedimentov. (Ivan a kol., 2017)

Výstavba usmerňovacích stavieb prebehla v roku 2011, obrázok 5.3. Líniové stavby boli vybudované z lomového kameňa a z baranených štetovnic. Dve usmerňovacie stavby majú za úlohu ochrániť odberný objekt pre jadrovú elektrárňu Mochovce (kde sa nachádza číslo 2 na obrázku 5.3), hlavne počas povodní, kedy sa splaveniny dostávajú ďalej do nádrže.



Obrázok 5.3 Situácia VD Veľké Kozmálovce - hrubá biela čiara usmerňovacie stavby (Ivan a kol., 2017)

Manipulačný poriadok povoľuje preplachovanie nádrže pomocou zdvihnutia segmentov. Zároveň je v manipulačnom poriadku napísané pri akých prietokoch a pri akých výškach hladiny dôjde k prepláchnutiu akej časti nádrže. (Ivan a kol., 2017)

Prevádzkové skúsenosti sú nasledovné. Vybudované usmerňovacie stavby výrazne pomohli pri preplachovaní strednej časti nádrže, negatívny dopad ale majú vo zvýšenom zanášaní oblastí medzi jednotlivými usmerňovačmi, kde sa zároveň zachytávajú väčšie plaveniny – hlavne stromy, ktoré sa následne ťažko odstraňujú, čo je problematické pre údržbu. Manipulácia prepláchnutia nádrže je zložitá pri zohľadnení zabezpečenia dostatku vody pre odberateľov a súčasne dodržanie prípustnej rýchlosti klesania hladiny v nádrži. Pri dodržaní manipulačného poriadku (prípustnej rýchlosti klesania hladiny) pri prechode z letnej hladiny na hladinu určenú na prepláchnutie celej nádrže pri prietoku $180 \text{ m}^3/\text{s}$ sa dosiahne za 7 dní. Pritom bežná povodeň na toku má trvanie zväčša 4 – 6 dní. Čo by znamenalo, začať znižovať hladinu minimálne 7 dní pred príchodom povodne. Prepláchnutie nádrže pri prietoku $90 \text{ m}^3/\text{s}$ nie je možný z dôvodu zabezpečenia dostatku vody pre odberateľov a ich podmienky pre minimálnu hladinu. (Ivan a kol., 2017)

Výsledkom zanášania nádrže je i opotrebovanie hradiacich konštrukcií ako sú segmenty a klapky, ktoré po 30 rokoch prevádzky budú potrebovať opravu tesnení.

Zrealizované opatrenia proti zanášaniu nádrže pomohli ale nevyriešili problém zanášania, ten teraz leží hlavne v opatreniach proti erózií v povodí rieky Hronu, na poľnohospodárskych a lesných plochách.

6 ÚDAJE O ZÁUJMOVEJ LOKALITE

Sústava troch za sebou idúcich vodných nádrží označovaných ako VD Nové Mlýny sa nachádza v Jihomoravskom kraji na rieke Dyje r. km 63,786 až r. km 72,377 podľa DIBAVOD – Digitální báze vodohospodářských dat (04/2006). Základné parametre všetkých nádrží sú uvedené v tabuľke 6.1.

Tabuľka 6.1 Základné parametre VD Nové Mlýny (VD Nové Mlýny – dolní, 2019) (VD Nové Mlýny – horní, 2019) (VD Nové Mlýny – střední, 2019)

Nádrž	Horná (Mušovská)	Středná (Věstonická)	Dolná (Novomlýnská)
Celková zatopená plocha [ha]	531	1 033	1 668
Celkový objem [mil. m³]	14 313	32 062	83 961
Objem stáleho nadržania [mil. m³]	9 769	17 545	23 685

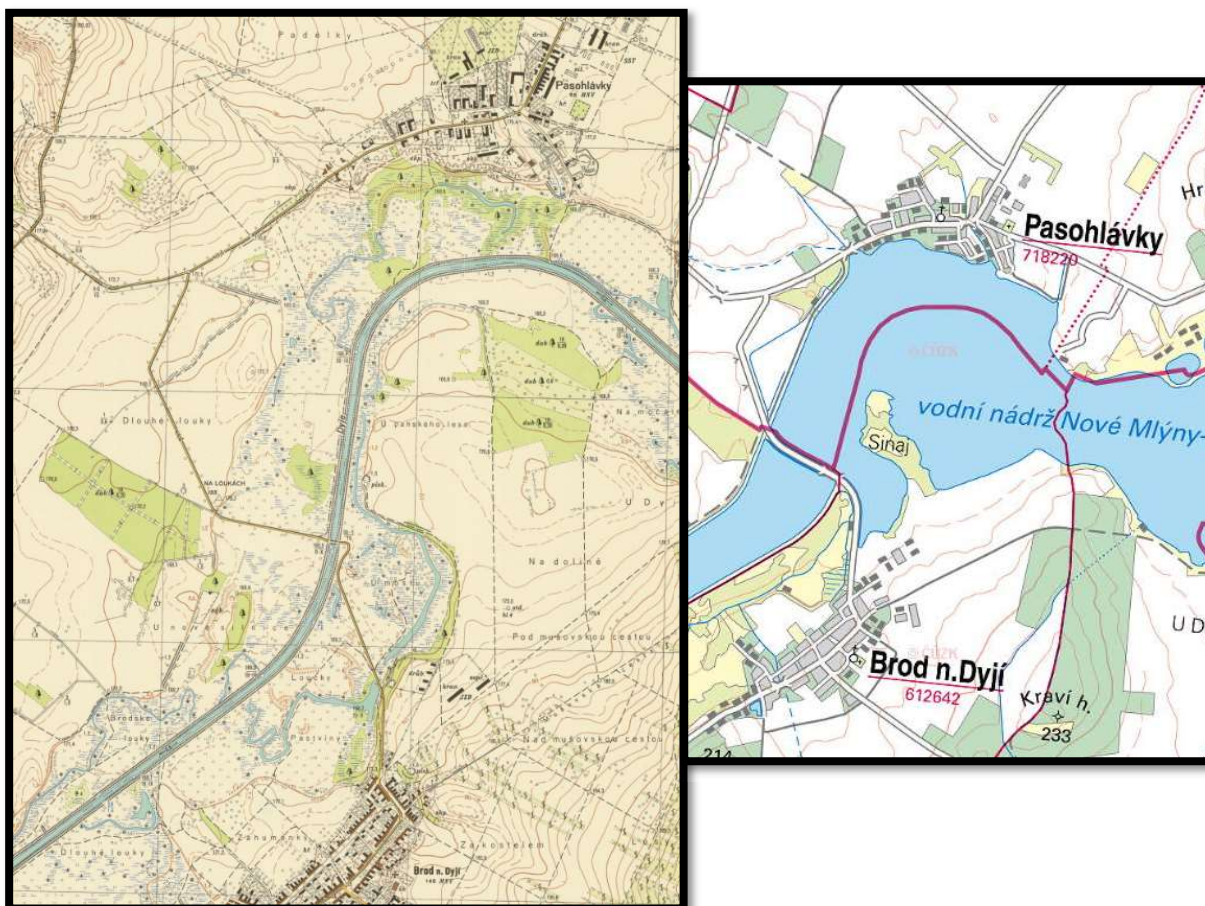
Objem vody v hornej nádrži určite nie je rovnaký ako boli návrhové parametre pri výstavbe VD (tabuľka 6.1), nakoľko nádrž je výrazne zanesená. Usadeniny je možno vidieť i na leteckých snímkach, obrázok 6.1, v ľavej časti sa dokonca vytvorili až ostrovy, kedy sa na nánose zakorenili náletové rastliny.



Obrázok 6.1 Ortofoto zaneseného prítoku (v ľavej časti obrázku) do hornej nádrže VD Nové Mlýny z 3. 7. 2018 (Ortofoto hornej nádrže VD Nové Mlýny, 2019)

VD Nové Mlýny bolo postavené za viacerými účelmi. Hlavný je zníženie povodňových prietokov a transformácia povodňovej vlny, ďalej akumulácia vody pre odbery z nádrže a Dyje pre potreby závlah, priemyslu, rakúsku stranu so zaisteným 1,0 m³/s, zaistenie sanitárneho prietoku v Dyji pod vodným dielom. Iné účely sú zaplavovanie lužného lesa, rybolov, rozvoj

cestovného ruchu a vodných športov, hydroenergetika v podobe malých vodných elektrární, ďalej MVE (MVE Nové Mlýny, MVE Bulhary, MVE Břeclav). Vodné dielo napomohlo k zabráneniu nadrozmerného rozmnožovania komárov zatopením bahnitých plôch v oblasti nádrží, kde predtým boli oblasti močiarov okolo meandrujúcej rieky Dyje a jej prítokov (Mlejnková, 2016). Pre porovnanie plochy močiarov pred a po vybudovaní nádrže slúži obrázok 6.2, kde je možno vidieť na topografickej mape z roku 1952 veľké plochy močiarov medzi obcami Brod nad Dyjí (dole) a Pasohlávky (hore). Na základnej mape už je skoro celá plocha močiarov plne zatopená ako nádrž.



Obrázok 6.2 Vľavo - topografická mapa z 1952 (M-33-118-A-c-1, 1960), Vpravo - základná mapa (Základní mapa 1:10 000, 2010)

6.1 HISTÓRIA VD NOVÉ MLÝNY

Zachovali sa poznatky z 18. storočia, ktoré dokazujú záujem obyvateľov postaviť nádrž pre zníženie povodňového nebezpečia a dôsledkov sucha. Podklad pre konkrétne riešenie sa stal až v roku 1954 Štátny vodohospodársky plán a neskôr v roku 1959 rozhodnutie o vypracovaní štúdií. Bolo nutné zohľadniť dopravné spojenie Brno – Mikulov a Strachotín – Dolní Věstonice, čím sa upravilo rozhodnutie o výstavbe nie jednej nádrže ale sústave troch nádrží, kde na hrádzach budú umiestnené cesty pre spomenuté dopravné spojenia. Projekt bol dokončený a schválený v roku 1972. Prvá etapa zahŕňovala výstavbu hornej a strednej nádrže, započala v roku 1975. O tri roky neskôr bola dokončená horná nádrž a v roku 1980 stredná. V druhej etape 1982–1988 sa vybuďovala dolná nádrž s MVE o výkone 2,3 MW. Do prevádzky bola dolná nádrž uvedená v roku 1989. Stredná nádrž sa stala prírodnou rezerváciou v roku 1994. Počas obdobia 1996–2000 boli zo sedimentov v zaústení rieky Svratky vybudované

ostrovy, ktoré mali slúžiť ako počiatok lužného biokoridora. V roku 2005 bola vyhlásená vtáčia oblasť Natura 2000 ako významné hniezdisko Rybára obecného a viacerých druhov čajok. (Mlejnková, 2016)

6.2 ZÁKLADNÉ ÚDAJE

Zájmové územie leží v povodí rieky Moravy, úmorie Čierneho mora, a spravuje ho štátny podnik Povodí Moravy, s. p. závod Dyje (Jevišovka, horná časť Dyje – po rakúsky úsek) a závod Střední Moravy (Dyje od rakúskeho úseku a nádrž VD Nové Mlýny). Rieka Dyje preteká v zájmovom úseku približne na 550 m Rakúskom, než znova zmení smer a pokračuje na českom území. Správne údaje vychádzajú zo základných vodohospodárskych máp ČR, mapové listy 34 – 12 Pohořelice z roku 1995 a 34 – 14 Mikulov vydané v roku 1999.

Tabuľka 6.2 Zoznam identifikačných údajov o zájmovom území (34-14 Mikulov, 1999), (34-12 Pohořelice, 1995)

Tok	Číslo hydrologického poradia	Plocha čiastkového povodia (celého povodia) [km ²]
Jevišovka	4-14-03-049	26,625 (783,712)
Dyje (časť hornej nádrže VD)	4-14-03-068	1,607 (4516,740)
Dyje	4-14-03-064	0,145
Dyje	4-14-03-062	0,045
Dyje	4-14-03-058	0,140
Dyje	4-14-03-050	5,098
Dyje	4-14-03-098	0,009
Dyje	4-14-02-095	1,444
Dyje	4-14-02-094	0,091
Dyje	4-14-02-091	1,905
Dyje	4-14-02-090	35,229
Dyje	4-14-02-089	0,133
Dyje	4-14-02-078	1,157
Dyje	4-14-02-077	37,036
Dyje	4-14-02-076	13,690

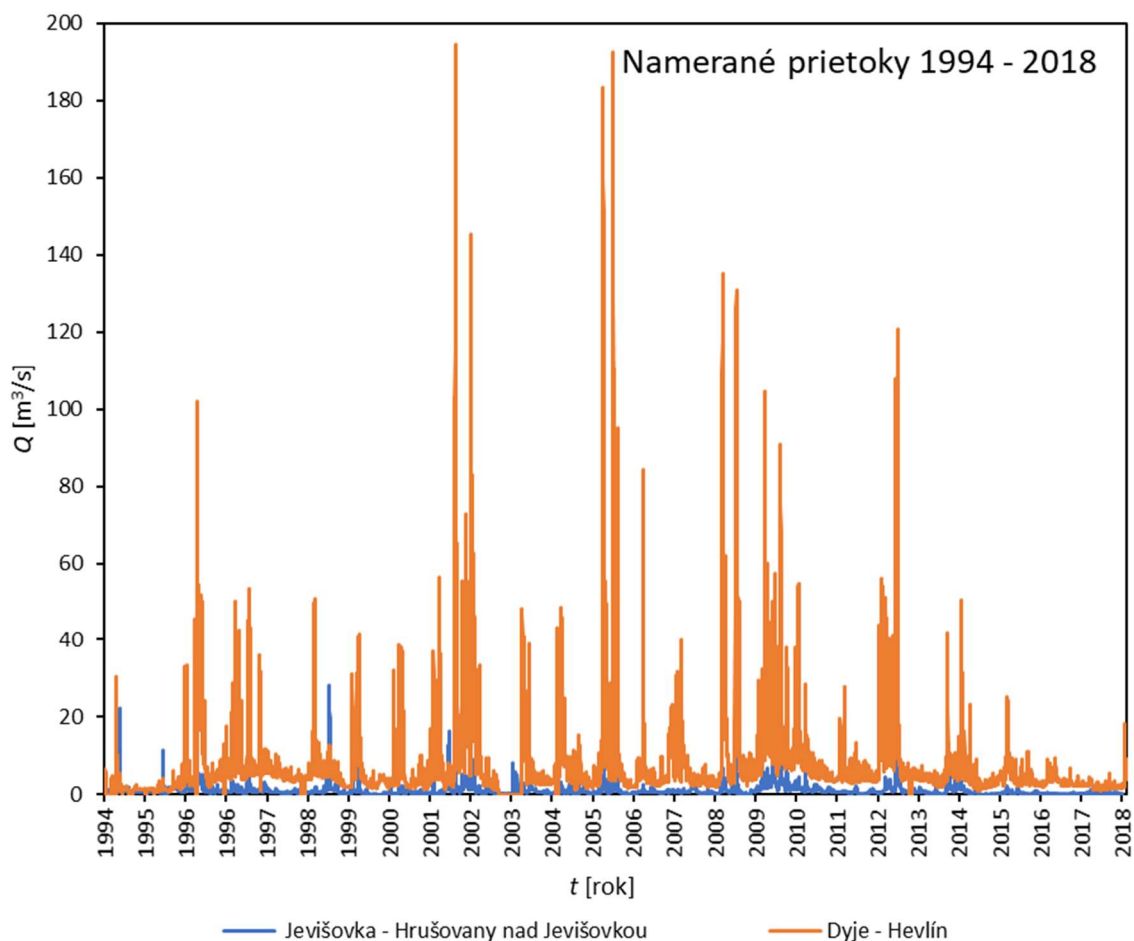
6.1 REKOGNOSKÁCIA TERÉNU V ROKU 2018

VD Nové Mlýny leží v Dyjsko–svrateckom úvale, ktorý je charakterizovaný menšinovým zastúpením lesa a väčšinu plochy územia zaberajú polia. Horná nádrž VD a rieka Dyje sú, ako bude povedané v kapitole 6.3, po celej dĺžke obohnané protipovodňovými hrádzami, ktoré vystupujú nad okolitý terén 2 m – 7 m, čím je zabránené zmyvu z priľahlých poľnohospodárskych plôch. Tok Jevišovka je na väčšine svojej dĺžky ohradená protipovodňovými hrádzami vyčnievajúcimi nad okolitý terén až do 2,5 m. Jediné miesta kedy je terén v rovnakej výške ako horná hrana hrádze je v úsekoch, kde sú mosty.

6.2 HYDROLÓGIA

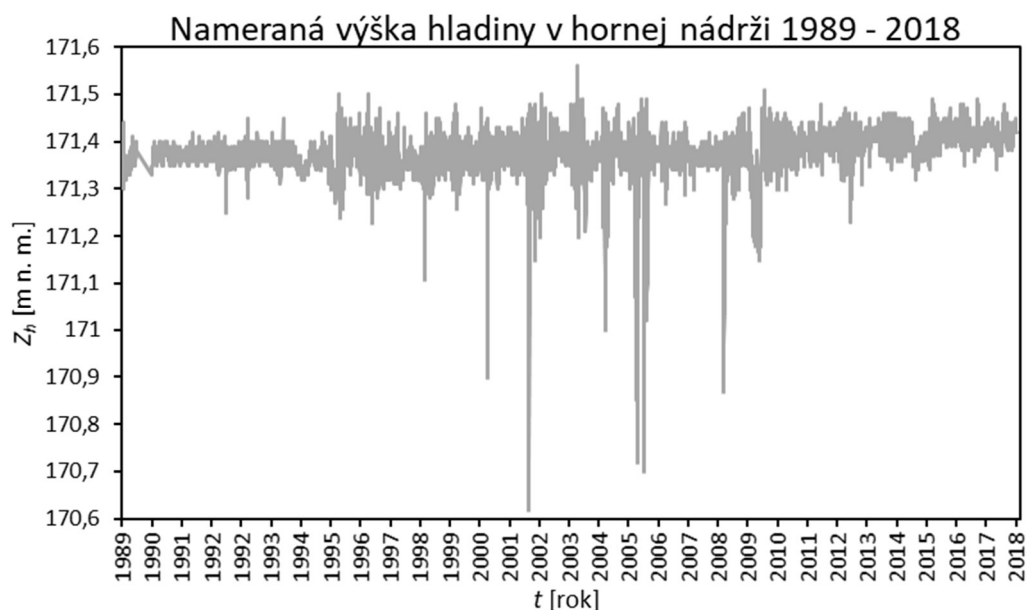
Pre výpočet zanášania hornej nádrže VD Nové Mlýny boli použité prietoky namerané v merných profiloch Jevišovka – Hrušovany nad Jevišovkou a Dyje – Hevlín od 1. 1. 1994 do 31. 12. 2018, ďalej nameraná výška hladiny v hornej nádrži od 1. 1. 1989 do 31. 12. 2018 získané od Povodia Moravy, s.p. (Povodí Moravy, s.p., 2019). Namerané prietoky boli zaznamenané každú hodinu, graficky sú znázornené na obrázku 6.3. Povodne na Dyji s kulmináčnym prietokom nad $140 \text{ m}^3/\text{s}$, kedy sa vyhlasuje 2. stupeň povodňovej aktivity (2. SPA), boli v lete 2002, v zime 2002/2003, na jar a v lete 2006. Posledný stupeň (3. SPA) nebol v sledovanom profile Travní Dvůr vyhlásený z dôvodu prekročenia prietoku, avšak bol vyhlásený z dôvodu prekročenia hĺbky vody (napr. počas jarnej povodne v roku 2006).

Najvyššie zaznamenaný vodný stav na sledovanom profile č. 364 Dyje – Travní Dvůr bol 31. 3. 2006 s hĺbkou vody 558 cm, kedy už bol vyhlásený 3. SPA – Ohrozenie. Deň predtým bol nameraný najvyšší dosiaľ zaznamenaný vodný stav i na rieke Jevišovka na sledovanom profile č. 368 Jevišovka – Hrušovany nad Jevišovkou s hĺbkou vody 256 cm. Aj na tomto toku bol v tom čase vyhlásený 3. SPA, nakoľko stanovená hodnota pre vyhlásenie Ohrozenia je v Hrušovanech nad Jevišovkou 220 cm a pre Travní Dvůr 500 cm. (Evidenční list hlásného profilu č. 364, 2019) (Evidenční list hlásného profilu č. 368, 2019)



Obrázok 6.3 Namerané prietoky na tokoch Dyje a Jevišovka v daných profiloch od 1. 1. 1994 do 31. 12. 2018

Výška hladiny v hornej nádrži VD Nové Mlýny bola zapísaná raz za deň o 7:00 ráno, obrázok 6.4.



Obrázok 6.4 Nameraná výška hladiny v hornej nádrži od 1. 1. 1989 do 31. 12. 2018

Ďalej boli použité m -denné prietoky od ČHMÚ z tabuľky 6.3. m -denné prietoky sú pre iné hlásne profily než sú namerané dáta, táto skutočnosť je zanedbaná nakoľko veľmi neovplyvní výsledok výpočtu. Božice na toku Jevišovka sú o 10,47 km vyššie položené než Hrušovany nad Jevišovkou, takže by prietok v Božiciach mal byť menší. Naopak Travní Dvůr je nižšie položený o približne 6,5 km, než začiatok záujmového úseku.

Tabuľka 6.3 m -denné prietoky pre hlásne profily Jevišovka – Božice a Dyje – Travní Dvůr od ČHMÚ 1981–2010 (Zachoval, 2019)

Tok	Jevišovka	Dyje
Lokalita	Božice	Travní Dvůr
Q_a [m ³ /s]	0,89	11,2
Q_{30d} [m ³ /s]	2,27	28,4
Q_{60d} [m ³ /s]	1,35	14,7
Q_{90d} [m ³ /s]	0,93	11,2
Q_{120d} [m ³ /s]	0,72	8,6
Q_{150d} [m ³ /s]	0,57	7,34
Q_{180d} [m ³ /s]	0,45	6,61
Q_{210d} [m ³ /s]	0,35	6,01
Q_{240d} [m ³ /s]	0,28	5,43
Q_{270d} [m ³ /s]	0,21	4,87
Q_{300d} [m ³ /s]	0,16	4,38
Q_{330d} [m ³ /s]	0,11	3,87
Q_{355d} [m ³ /s]	0,06	3,3
Q_{364d} [m ³ /s]	0,01	2,78

Simulácia vývoja hladiny bola počítaná s Q_N prietokmi pre hlásne profily č. 364 Dyje – Travní dvůr a č. 368 Jevišovka – Hrušovany nad Jevišovkou. Presné hodnoty Q_N sú v nasledujúcej tabuľke.

Tabuľka 6.4 *N*-ročné prietoky od ČHMÚ (Evidenční list hlásného profilu č. 368, 2019) (Evidenční list hlásného profilu č. 364, 2019)

Q_N [m ³ /s]	Q_1	Q_5	Q_{10}	Q_{50}	Q_{100}	Q_a
Dyje – Travní Dvůr	71	140	170	250	290	11.2
Jevišovka – Hrušovany nad Jevišovkou	6,5	21	30	60,5	78,5	1,35

Pred výstavbou VD Nové Mlýny mala extrémna povodeň v roku 1965, ktorá trvala od apríla 6 mesiacov, katastrofické následky. Najvyšší zaznamenaný prietok Dyje v obci Dolní Věstonice bol 310 m³/s. Vtedy sa voda vybrežovala z koryta už pri prietokoch vyšších než 100 m³/s. Bolo to v dobe pred úpravami na Dyji a výstavbou VD Nové Mlýny. Následky boli erózia, podmáčanie poľnohospodárskej pôdy, rozplavenie sedliackych hrádzi a mračno komárov, ktoré oblasť úplne ochromili. (VD Nové Mlýny – horní, 2019)

VD splnilo svoj účel pri veľkých povodniach. Pred augustovou povodňou v roku 2002 malo VD Nové Mlýny kapacitu prijať 35,5 mil. m³, čím sa znížil kulminačný prietok z približne 400 m³/s na 312 m³/s. Ešte lepší príklad je z jarnej povodne 2006, kedy voľný objem v nádržiach činil 42,3 mil. m³. Podarilo sa znížiť kulminačný prietok z 740 m³/s na 657 m³/s. Vodné dielo napomohlo k ochrane slovenského územia na sútoku Moravy a Dunaja a ďalej k ochrane rozvodov plynu v Rakúsku. (VD Nové Mlýny – dolní, 2019)

6.3 MORFOLÓGIA KORYTA

Pre určenie historického vývoja zanášania nádrže je nutné poznať morfológiu korýt Dyje a Jevišovky počas určeného obdobia. Podklady pre diplomovú prácu zahrňovali dáta len z určitých rokov. Presnejšie v roku 2018, čo je koniec záujmového obdobia, bola zameraná horná časť hornej nádrže od mostu Brod nad Dyjí – Pasohlávky po most pri obci Drnholec. V roku 2009 bola zameraná Jevišovka a Dyje. Preto sa nasledujúce podkapitoly budú zvlášť venovať morfológiám v rokoch 2018, 2009 a 1978.

6.3.1 Popis stavu v roku 2018

V roku 2018 bola časť dna nádrže podrobne zmapovaná pomocou sonaru pripevneného na lodi (VARS, 2018) a časť nádrže bola geodeticky zameraná v priečných profiloch pomocou GPS v rámci projektu SEDECO (Marton, 2018).

Vodná nádrž je postavená v širokom údolí, teda celý objem vody zadržujú len hrádze. Priestor medzi pravobrežnou a ľavobrežnou hrádzou má v rozpätí 180 m až 560 m. Sklon svahov hrádzi je priemerne 1:3. Celková dĺžka je 4808 m s pozdĺžnym sklonom 0,26 ‰ (po cestný most pri obci Drnholec). V súčasnosti je horná nádrž značne zanesená, čo jasne ukazuje sklon pozdĺžneho profilu pri porovnaní so sklonom v roku 1978 a 2008, viď kapitola 8.36.3.3. Koniec záujmového úseku nádrže je zemný sypaný násyp cesty 3. triedy spájajúcej obce Pasohlávky a Brod nad Dyjí, r. km 59,351 (r. km prevzatý od Povodí Moravy, s.p. (2009)). Mostný profil má šírku 103 m.

Morfológia korýt tokov Dyje a Jevišovky nie je v roku 2018 známa.

6.3.2 Popis stavu v roku 2009

Povodí Moravy, s.p. (2009) poskytlo geodetické zameranie Dyje a Jevišovky z roku 2009. Zameranie zahrňovalo v prípade Dyje priečne profily po približne 500 m až po hranicu s Rakúskom, nad rakúskym úsekom Dyje neboli poskytnuté žiadne priečne profily a pozdĺžny profil od začiatku hornej nádrže po VD Znojmo aj s priebehom hladín pri *N*-ročných

prietokoch. Jevišovka bola poskytnutá ako body s XYZ súradnicami (Povodí Moravy, s. p., 2009), z ktorých sa následne robil digitálny model terénu a z neho sa potom vytvorili priečne profily, ktoré sa vložili do HEC-RAS.

Nádrž sa v podstate výrazne nezmenila, nakoľko sa nerobili žiadne výrazné úpravy hrádzí, čím šírka nádrže zostala rovnaká ako v roku 2018 a sklony svahov hrádzí taktiež, keďže sú opevnené. Jediné čo sa zmenilo je sklon pozdĺžneho profilu, ktorý má hodnotu 0,25 ‰. Horná časť nádrže začína na r. km 59,351 a končí r. km 64,068.

Priečný profil Dyje tvorí dvojitý lichobežník s priemernou šírkou kynety 19,66 m, sklonom svahov 1:1,12. Na dvojitý lichobežník nadväzujú protipovodňové hrádze výšky 2,45 m a sklonom svahov 1:2,85. Koryto nemá opevnené dno. Celková šírka koryta je priemerne 93,12 m. Priemerný sklon záujmového úseku Dyje bez nádrže je 0,25 ‰. Na toku sa nachádza 5 mostov a zrušený železničný most do Rakúska, z ktorého zostal len pilier v koryte toku. Dĺžka riešeného úseku spoločne s nádržou je 20,527 km. Riešený úsek začína na konci nádrži, t.j. r. km 64,068, a končí r. km 79,817, čo je most pri obci Hevlín.

Jevišovka má v premenlivý priečný profil, v závislosti na šírke medzi povodňovými hrádzami. Šírka koryta sa pohybuje od 18,5 m do 38,8 m, šírka tesne nad sútokom s Dyje je 69,2 m. Priečný profil má tvar dvojitého lichobežníku so šírkou kynety od 5,0 m do 12,3 m a sklonom svahov v priemere 1:1,1. Protipovodňové hrádze majú sklon svahov 1:2,5. Koryto nemá opevnené dno. Celkový priemerný sklon je 0,54 ‰ na dĺžke 5,9786 km. Riešený úsek toku zahŕňa 5 cestných mostov, ktoré sú nahradené zúženým profilom.

6.3.3 Popis stavu v roku 1978

Horná nádrž po kolaudácii pravdepodobne vyzerala rovnako ako v súčasnosti len s rozdielom nadmorskej výšky dna v nádrži, hlavne v koryte toku. Z vrstevníc na topografických mapách 1:10 000 z roku 1952 (TM 1952) sa vytvoril digitálny model terénu (DMT 1952). Treba zmieniť, že vrstevnice sú po 0,5 m a terén v nádrži je plochý, čo znamená malý počet vrstevníc. Následne sa DMT 1952 premietol do priečných profilov z roku 2009 a čiastočne sa dorovnal terén, aby viac menej korešpondoval s DMT. Priečne profily z roku 2009 majú presnosť na 0,01 m, preto nebol úplne použitý DMT 1952, ale len dohladené určité body. Zároveň bolo koryto toku Dyje pred výstavbou nádrže, ktoré je zaznamenaná na TM 1952, vyhlbené do nádrže podľa polohy a dno koryta sa taktiež bralo z TM 1952. Protipovodňové hrádze majú rovnaké charakteristiky ako v kapitole 6.3.1.

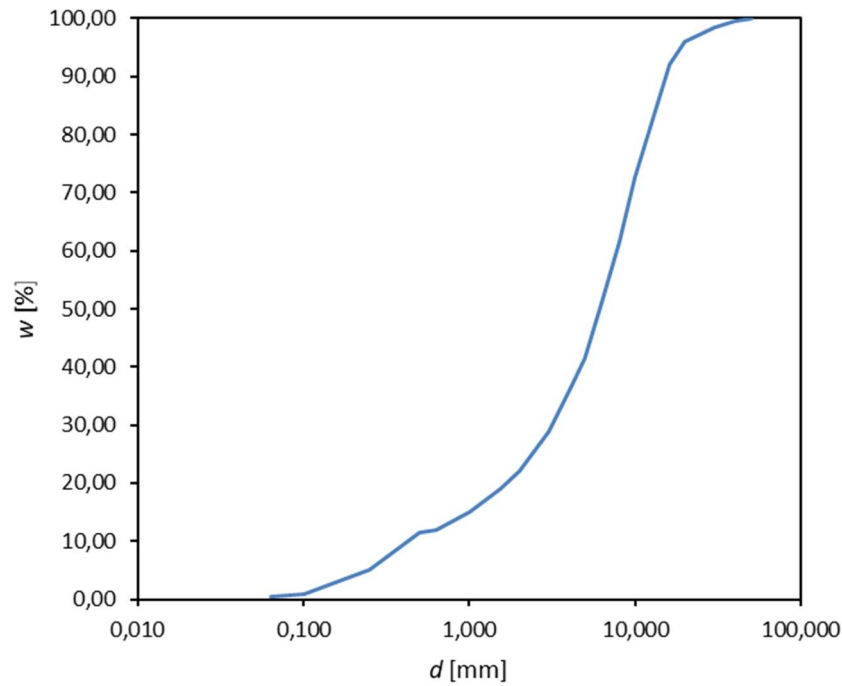
Podklady pre Dyju a Jevišovku boli taktiež TM 1952, kde sa dala prečítať šírka hladiny a hĺbka vody v úsekoch tokov. Už v roku 1952 boli postavené protipovodňové hrádze, ktoré sa len navyšovali, čo pre pohyb splavenín nie je dôležité. Ďalej sa predpokladá nemenná berma, čím sa potrebovala získať pre simuláciu len kyneta. Kyneta sa volila ako lichobežník. Sklon svahov kynety a šírka dna kynety sa volila tak, aby spĺňovala mapové podklady.

6.4 ZRNISTOSTNÁ SKLADBA DNA

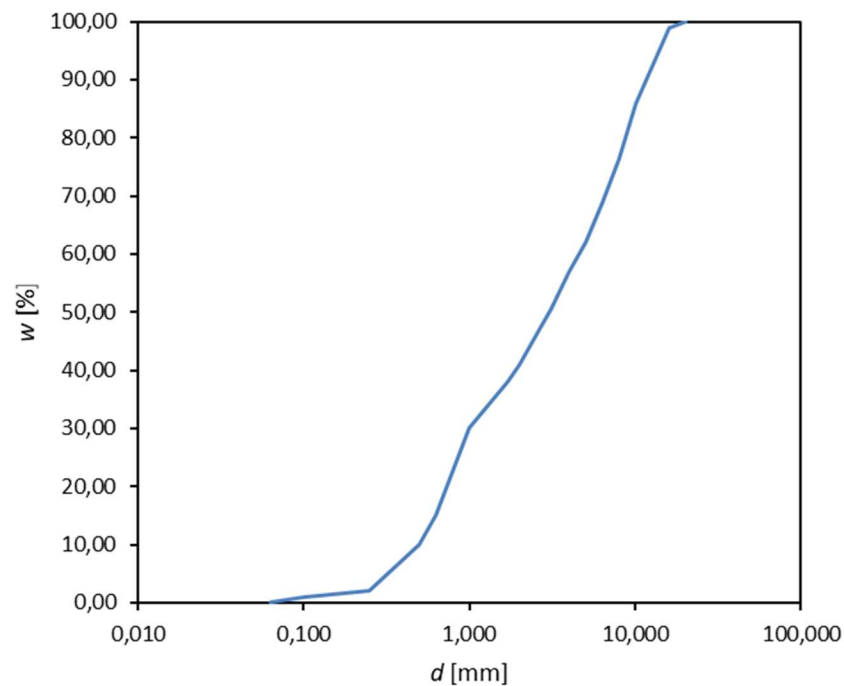
Zrnostná skladba dna pochádza z odberov uskutočnených v rámci projektu SEDECO (ATCZ28) (Paseka a kol., 2019). Odbery boli urobené počas dvoch dní, jeden deň sa odobrali vzorky na tokoch a druhý v nádrži.

Dňa 21. 10. 2018 boli odobrané 3 vzorky, ktoré boli následne vyhodnotené v Laboratóriu vodohospodárskeho výzkumu na Fakulte stavební Vysokého učení technického (FAST VUT). Prvý odber bol na toku Dyje pri obci Dyjákovice cca 70 m nad mostom, odber bol na suchu. Druhá vzorka pochádzala z dna toku Dyje cca 100 m pod mostom pri osade Travní Dvůr. Posledná, tretia vzorka, bola odobraná na toku Jevišovka zo dna koryta 2 m nad mostom

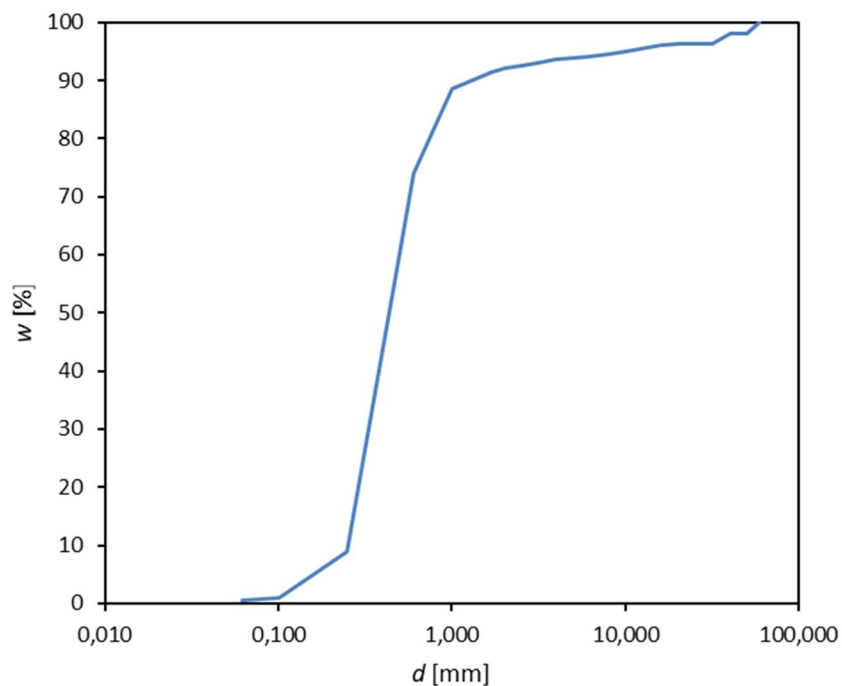
spojujícím obec Pravice a Nový Dvůr. Všetky tri odbery sú považované za celkové, nakoľko krycia vrstva nebola vytvorená. Bola urobená sitová analýza a vyhodnotené krivky zrnitosti.



Obrázok 6.5 Krivka zrnitosti dna koryta Dyje pri obci Dyjákovice (Paseka a kol., 2019)

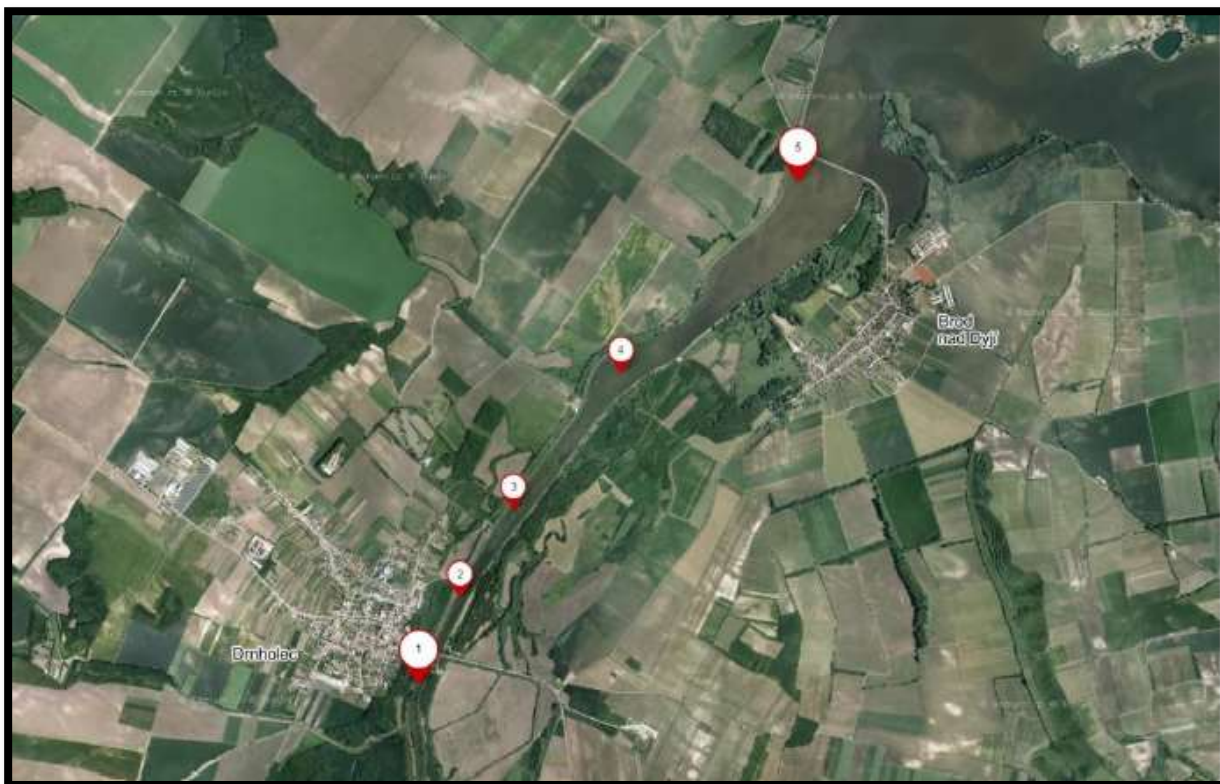


Obrázok 6.6 Krivka zrnitosti dna koryta Dyje pri osade Travní Dvůr (Paseka a kol., 2019)

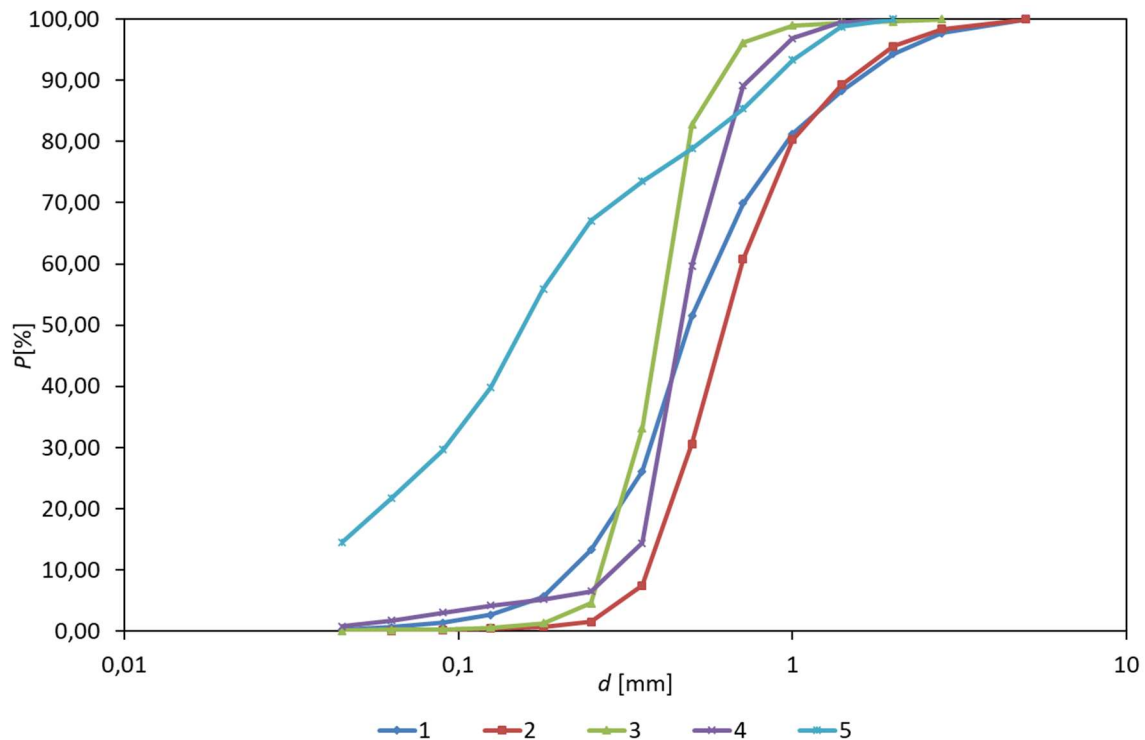


Obrázok 6.7 Krivka zrnitosti dna koryta Jevišovky pri moste spájajúce Pravice a Nový dvůr (Paseka a kol., 2019)

Dňa 2. 11. 2018 bolo odobraných 5 vzoriek usadených sedimentov nad prítokom do nádrže a v hornej nádrži VD Nové Mlýny (obrázok 6.8). Následne boli stanovené krivky zrnitosti v hydroopedologickom laboratóriu na Ústave vodního hospodářství krajiny FAST VUT .



Obrázok 6.8 Miesta odberov 2. 11. 2018, číslovanie je vzostupné z ľava doprava (Paseka a kol., 2019)



Obrázok 6.9 Krivky zrnitosti dna prítoku do nádrže a v nádrži VD Nové Mlýny (Paseka a kol., 2019)

Pre 1D model boli použité len 2 krivky zrnitosti. Jevišovka má len jednu dostupnú pri moste spojujúce Pravice a Nový Dvůr, obrázok 6.7, a tá je použitá na celom úseku. Pre tok Dyje bola zvolená krivka zrnitosti pri osade Travní Dvůr, obrázok 6.6, ako jediný odber z dna toku. Zrnitostná skladba usadenín v nádrži nebola vo výpočte rozlíšená a bola použitá krivka pri osade Travní Dvůr. Z dôvodu stability modelu a taktiež z neistoty odobraných vzoriek pri pohľade do minulosti, presnejšie rok 1978, kedy skladba zrnitosti dna v nádrži bola pravdepodobne veľmi odlišná, nakoľko nádrž nebola zanesená sedimentami. Takisto nebolo triedenie zrn v rámci nádrže, kde sa očakáva hrubozrnnejší materiál na prítoku do nádrže a jemnozrnny na konci pri výpustnom objekte z nádrže, čo je možné pozorovať na výsledkoch z laboratória kriviek zrnitosti z prítoku a nádrže (obrázok 6.9).

7 NUMERICKÝ MODEL

7.1 VÝPOČET

Pre výpočet bol použitý program HEC–RAS 5.0.7 od spoločnosti United States Army Corps of Engineers (USACE). Simulácia prebiehala v 1D, kedy je počítané metódou po úsekoch. V 1D modeli sa počíta s prúdením vody len v jednej dimenzii, čím sa zanedbáva napr. skrutkové, priečne a rotačné prúdenie.

Zanášanie nádrže sa počítalo ako transport splavenín s po častiach ustáleným prúdením. Transportná rovnica bola použitá ako kombinácia MPM a Toffaleti, nakoľko záujmové toky majú, podľa kriviek zrnitosti spomenutých v kap. 6.4, hlavné frakcie piesok a štrk, čím sa vylúčili transportné rovnice Englund – Hansen, Laursen – Copeland a Ackers – White, vid' tabuľka 4.1. Toffaleti má vynikajúce výsledky pre piesčitú frakciu ale horšie pre štrkovú. Zato MPM zvykne podhodnocovať piesčitú frakciu, čo je jeho nevýhoda. Preto bola zvolená kombinácia transportnej funkcie MPM a Toffaleti, nakoľko to HEC–RAS 5.0.7 umožňuje. Metóda pre triedenie zrn a tvorbu krycej vrstvy bola vybraná Thomas (Ex 5), pretože vznik krycej vrstvy môže byť v čase náhly a táto rovnica mi umožňuje rýchle prispôbenie novej skutočnosti, kap. Metóda rýchlosti usadzovania Hoci podľa posledných odberov z roku 2018 (vid' kap. 6.4), krycia dlažba nebola vytvorená, to ale nevylučuje bývalú kryciu dlažbu, ktorá mohla zaniknúť. Pre výpočet rýchlosti usadzovania sa použila rovnica Report 12 z dôvodu možnosti postihnúť tvaru zrn pri výpočte rýchlosti usadzovania spomenuté na strane 28.

7.2 ZJEDNODUŠUJÚCE PREDPOKLADY

Zjednodušujúce predpoklady boli:

- Zanedbanie prítokov a odberov vody na tokoch Dyje a Jevišovka po celej dĺžke modelovaného úseku.
- Priečny profil Dyje v roku 1978 je predpokladaný ako zložený dvojité lichobežník.
- Krivky zrnitosti v roku 1978 sú rovnaké ako boli zaznamenané pri odberoch z roku 2018 a 2019 pri kalibrácii objemu splavenín.
- Použitá bola náhradná ročná povodňová vlna pre chýbajúce meranie prietokov od 1978 do 1993.
- Chýbajúce dáta prietokov v rokoch 1994 až 2018 boli nahradené priemerným ročným prietokom pre daný rok.
- Prúdenie je len 1D.
- Pri výpočte sa zanedbali ľadové javy – pohyb ker.
- Teplota vody má počas celej simulácie konštantnú hodnotu.
- Neznáma poloha hladiny v nádrži od 1.1.1978 po 1.1.1989 bola určená na 171,42 m n. m., čo je kóta zásobného priestoru podľa manipulačného poriadku (Povodí Moravy, s.p., 2001).
- Pre výpočet splavenín boli mosty nahradené zúženým profilom.
- Konštantná drsnosť koryta tokov je po celú dobu simulácie rozdielna len pre kynetu (dno a brehy zvlášť) a bermy každého toku.

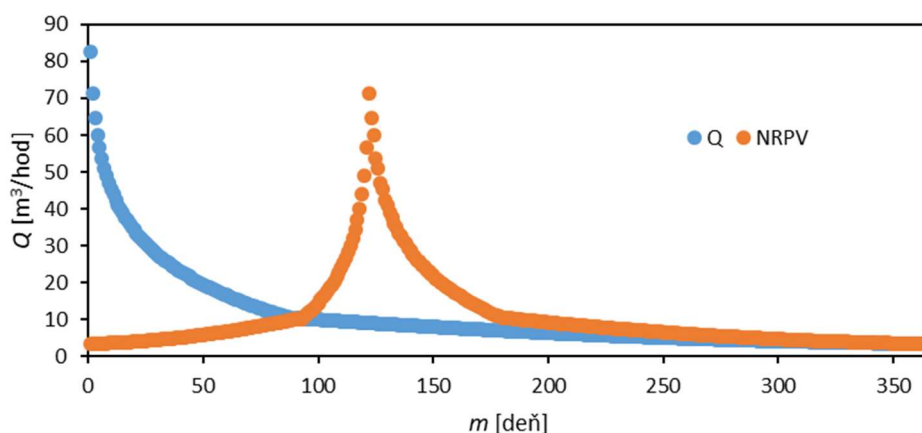
7.3 OKRAJOVÉ PODMIENKY

7.3.1 Horná okrajová podmienka

Ako horná okrajová podmienka pre Dyje i Jevišovku boli použité namerané hodnoty prietoku počas sledovaného obdobia 1994 – 2018. Pred rokom 1994 neboli zaznamenávané prietoky. Po dohode s vedúcim diplomovej práce sa rozhodlo chýbajúce dáta do roku 1993 (vrátane) nahradiť opakujúcim sa hydrogramom povodne z náhradnej ročnej povodňovej vlny (NRPV).

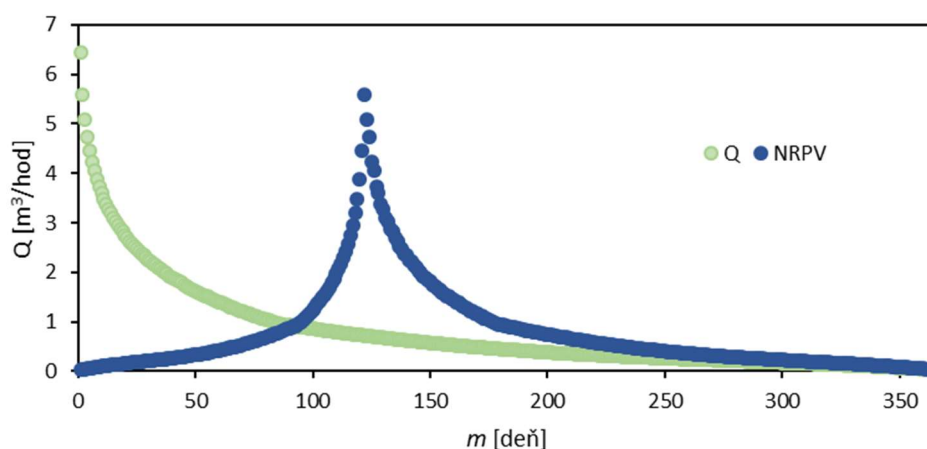
NRPV vznikla pretvorením m -denných prietokov, z tabuľky 6.3. Kde sa rozdelila krivka Q_m na úseky $m < 90$ dní a $m > 90$ dní. Krivka Q_m pre $m < 90$ dní sa opísala logaritmickou funkciou pomocou ktorej sa dopočítali chýbajúce prietoky, aby výsledkom bol prietok každý deň. Druhý úsek krivky Q_m , kde $m > 90$ dní, sa opísal funkciou polynómu 4. stupňa. Použitím funkcie polynómu sa dopočítali všetky neznáme prietoky na tomto úseku krivky. Následne sa mohla vytvoriť NRPV, ktorá má kulminačný prietok v 122. dni. Vzniknuté NRPV sú na obrázku 7.1 a obrázku 7.2. Z obrázku 7.1 a obrázku 7.2 je zrejmé, že rieka Jevišovka má niekoľkonásobne menší prietok než Dyje.

Náhradná ročná prietoková vlna Dyje



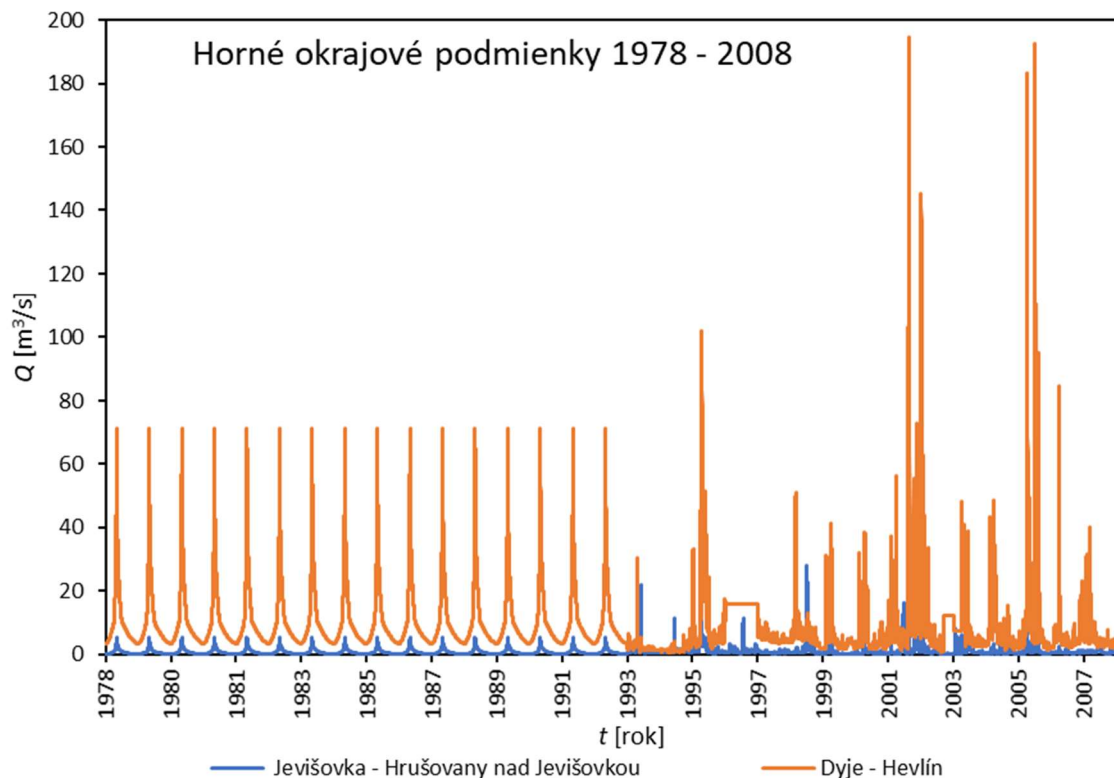
Obrázok 7.1 Náhradná ročná prietoková vlna pre tok Dyje použitá ako horná okrajová podmienka v období 1978 - 1993

Náhradná ročná prietoková vlna Jevišovky



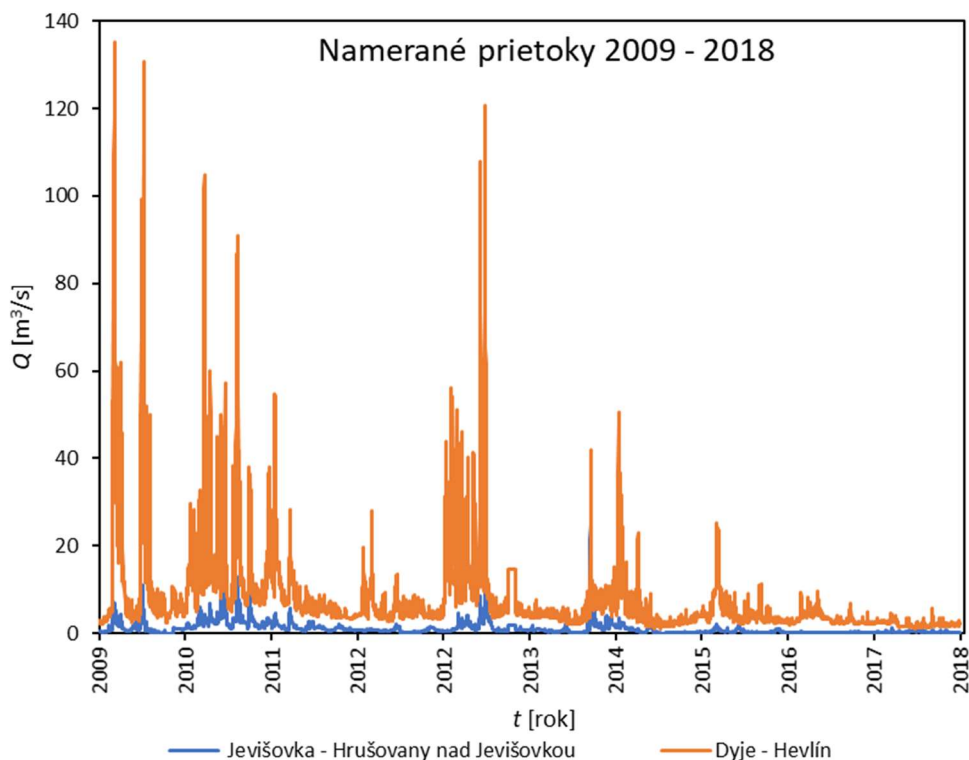
Obrázok 7.2 Náhradná ročná prietoková vlna pre tok Jevišovka použitá ako horná okrajová podmienka v období 1978 - 1993

Horné okrajové podmienky pri spojení NRPV a nameraných dát vyzerali ako na obrázku 7.3 NRPV sa opakuje 16 krát za sebou. Kulminačný prietok v NRPV simuluje vyšší prietok než v bežnom roku, ale nižší než počas najväčších povodní, zaznamenaných od roku 1994. NRPV má dostatočný prietok, aby uviedol do pohybu splaveniny. Týmto prístupom môže dôjsť k inému prietoku splavenín než v realite. Z dôvodu absencie nameraných dát v období 1978 až 1993, nebolo možné zistiť presné údaje o prietokoch na záujmových tokoch.



Obrázok 7.3 Horné okrajové podmienky pre toky Jevišovka a Dyje v období od 1. 1. 1978 do 31. 12. 2008

Po roku 1994 boli ako horná okrajová podmienka použité skutočné namerané prietoky. Časový krok bol zvolený 8 hodín, nakoľko HEC-RAS, má podmienku maximálne 40 000 hodnôt pri zadávaní hydrogramov, s viac hodnotami nedokáže pracovať. Druhý dôvod je geodetické zameranie tokov v roku 2008, čím sa automaticky ponúka možnosť rozdeliť výpočet na dva samostatné (1978 – 2008 a 2009 – 2018). V prvom období, 1978 – 2008, je s 8 hodinovým časovým krokom presne 33 969 hodnôt. Druhé obdobie, 2009 – 2018, má iba 10 956 hodnôt, grafické znázornenie je na obrázku 7.4. Z dôvodu zachovania časovej zmeny sa nemenil časový krok v druhom období. Prietoky od Povodia Moravy, s.p. boli namerané každú hodinu, aby sa dosiahol požadovaný časový krok, vypočítal sa z daných prietokov vážený priemer. Chýbajúce dáta boli buď interpolované, ak chýbalo pár hodnôt, alebo sa použil priemerný ročný prietok daného roku.

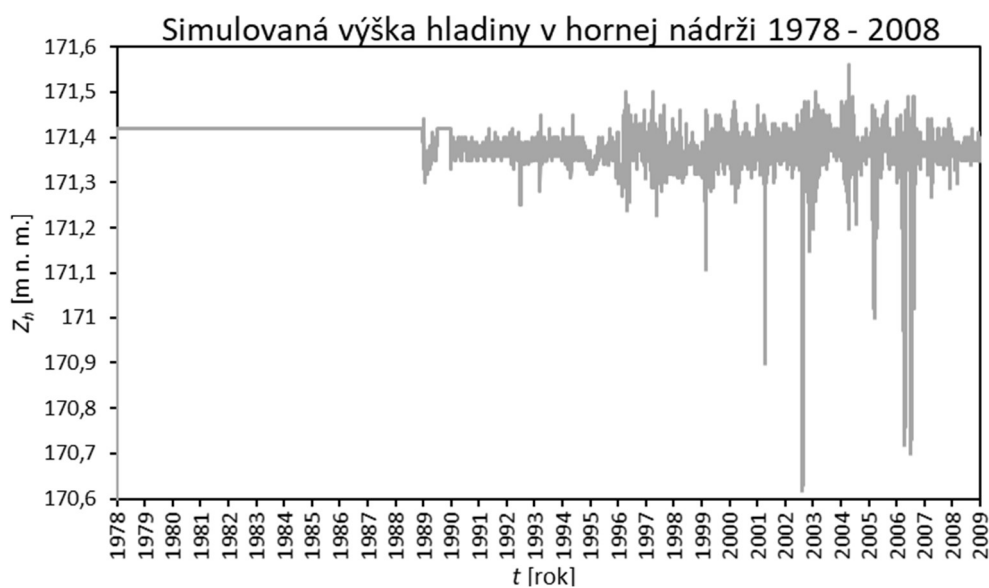


Obrázok 7.4 Namerané prietoky na Dyji a Jevišovke v období od 1. 1. 2009 do 31. 12. 2018 použité ako horná okrajová podmienka pre dané obdobie

Simulácia pohybu splavenín vyžaduje aj hornú okrajovú podmienku splavenín. Nakoľko nie sú namerané dáta o prietoku splavenín, bol zadaný rovnovážny stav prietoku splavenín.

7.3.2 Dolná okrajová podmienka

Dolná okrajová podmienka bola výška hladiny v nádrži. Do roku 1989 bola daná výška hladiny z výšky hladiny zásobného priestoru nádrže po roku 1989 (171,42 m n. m.), po roku 1989 boli zadané skutočné namerané hodnoty výšky hladiny. Grafické zobrazenie okrajových podmienok pre obidve obdobia sú na obrázku 7.5 a na obrázku 7.6



Obrázok 7.5 Dolná okrajová podmienka - simulovaná výška hladiny v nádrži od 1978 do 2008



Obrázok 7.6 Dolná okrajová podmienka ako výška hladiny pre druhé simulované obdobie od 2009 do 2018

7.4 VSTUPNÉ PARAMETRE

Parameter výpočtu je konštantná teplota vody $9,5^{\circ}\text{C}$ po celú dobu výpočtu. Priemerná teplota vzduchu pre Jihomoravský kraj sa pohybuje podľa merania ČHMÚ od $8,9^{\circ}\text{C}$ v roku 1978 do $10,8^{\circ}\text{C}$ v roku 2018 (Historické územné teploty, 2019). Presnú priemernú teplotu vody nebolo možné dohľadať.

7.5 KALIBRÁCIA MODELU

7.5.1 Kalibrácia prúdenia vody

Kalibrácia prúdenia vody spočívala v kalibrácii hydraulického koeficientu n koryta s ustáleným prietokom pre $Q_1, Q_5, Q_{10}, Q_{50}, Q_{100}$, kde sa porovnávala výška hladiny na Dyji v rôznych profiloch s pozdĺžnym profilom na geometrii z roku 2009 od Povodí Moravy, s.p. (2009). Jevišovka mala zložitejšiu kalibráciu, keďže nebolo na čo kalibrovať. Jediná možnosť bola kalibrácia na maximálnu výšku hladiny v sledovanom profile Hrušovany nad Jevišovkou, kde ČHMÚ zaznamenalo najvyššiu hladinu dňa 30. 3. 2006 (Evidenčný list hlásného profilu č. 368, 2019). Podľa nameraných hodnôt prietokov (Povodí Moravy, s.p., 2018) sa dal dohľadať prietok. Presné hodnoty drsnosti sú uvedené v tabuľke 7.1.

Tabuľka 7.1 Drsnosť koryta určená kalibráciou na dáta od Povodí Moravy, s.p.

Tok	Staničenie [r. km]	n kyneta [-]	n bermy [-]
Jevišovka	0,000 – 5,9786	0,016	0,033
Dyje	66,739 – 79,878	0,035	0,045
Dyje	64,109 – 66,739	0,042	0,045
Dyje	64,109 – 64,932	0,050	0,050
Dyje (nádrž)	59,351 – 64,109	0,055	–

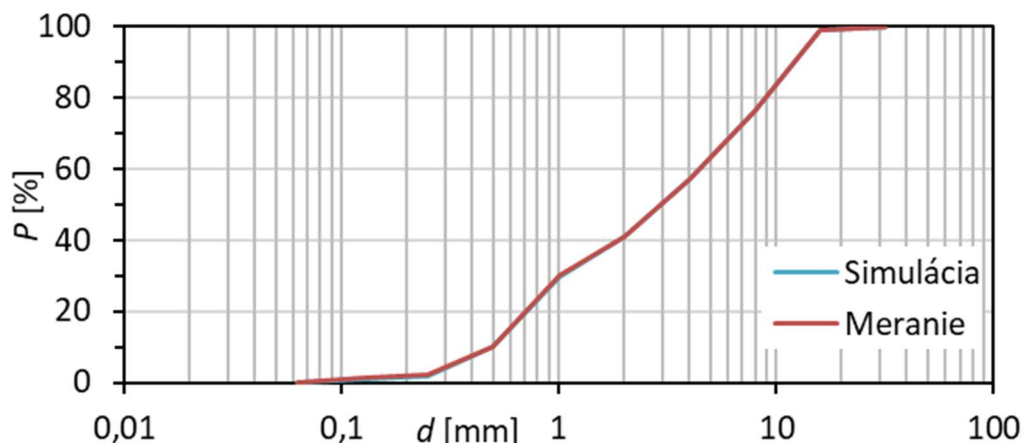
Kyneta Jevišovky má veľmi malú drsnosť podľa tabuľky 7.1 dosiahnutá pri kalibrácii modelu. Dôvody môžu byť dva. Prvý je malá vzdialenosť medzi najvyšším profilom a sledovaným profilom, na ktorom sa kalibrovalo, čo mohlo spôsobiť ešte neustálenie hladiny ako býva zvykom na začiatkoch modelov. Druhý dôvod je nepresnosť dna v geometrii, keďže sú profily od seba vzdialené 500 m – 1000 m a nie je dôsledne zachytená poloha dna v okolí mostov, kde je možnosť výmoľov a nánosov. Interpolácia medzi zameranými profilmi je lineárna, čím je možná chyba v profilmi medzi. A to ovplyvnilo výšku hladiny v sledovanom profile.

Zároveň je treba podotknúť, že drsnosť sa počas roka mení s vegetačným cyklom a nie je možné v rozsahu tejto práce zahrnúť i menenie drsnosti. Preto sa zvolila len jedna pre každý tok ako zjednodušenie výpočtu, teda modelu.

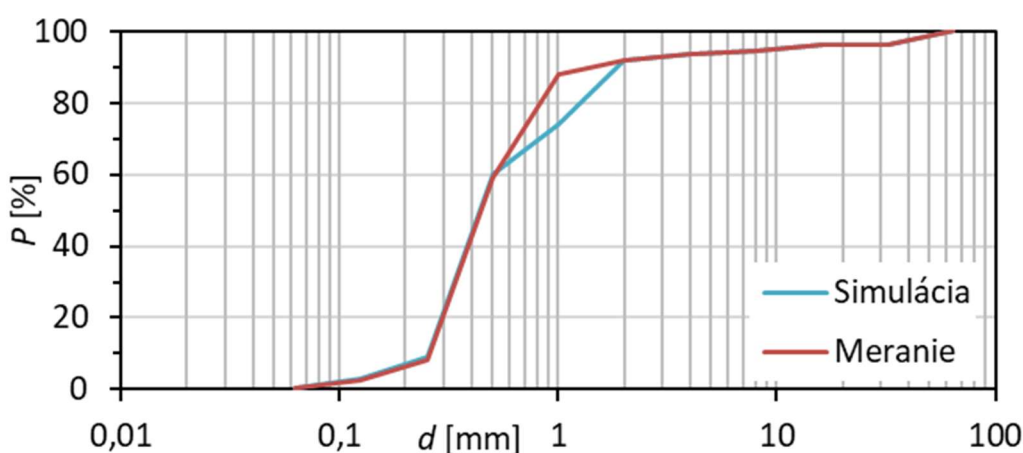
7.5.2 Kalibrácia pohybu splavenín

Kalibrácia pohybu splavenín v sebe zahrňovala najprv kalibráciu objemu splavenín v nádrži medzi obdobiami a následnú kalibráciu kriviek zrnitosti. Objem splavenín sa určoval od mostu pri obci Drnholec po koniec hornej časti hornej nádrže (záujmový úsek). Objem sa počítal z 1D dát, čo znamená podložili sa priečne profily v rovnakom staničení z dvoch geometrií (1978 – 2008, 2008 – 2018) a vypočítala sa plocha medzi krivkami. Následne sa zistená plocha pre násobila dĺžkou medzi profilmi pomocou lichobežníkového pravidla. Súčet všetkých objemov z profilov dal výsledný objem. Celkový objem splavenín usadených v nádrži pre obdobie 1978 – 2008 je $165\,859\text{ m}^3$ a pri prepočítaní na usadeniny s pórovitosťou 0,4 je objem $99\,515\text{ m}^3$. V druhom období, t. j. od 2009 do 2018, je objem splavenín usadených $220\,014\text{ m}^3$ a pri prepočítaní na usadeniny s rovnakou pórovitosťou 0,4 je objem $132\,009\text{ m}^3$. Pórovitosť bola zvolená ako 0,4 z predpokladu piesčitých až jemnozrnných usadenín. Kalibrácia spočívala v menení parametru transportného koeficientu, čím sa menila krivosť transportnej krivky. Kalibrácia skončila, keď výsledný objem splavenín bol v rozpätí $\pm 5\%$ od nameraného objemu. Výsledná hodnota koeficientu je 0,72 pre obdobie 1978 – 2008, pre druhé obdobie je koeficient 3.

Druhá kalibrácia bola pre zaistenie správnej krivky zrnitosti pri zachovaní objemu splavenín z prvej kalibrácie. Nakoľko nameraná dáta kriviek zrnitosti boli z roku 2018, čo určite neodpovedá krivke zrnitosti v roku 1978. Kalibrovanie spočívalo vo veľmi jemnom posúvaní dolnej polovice krivky zrnitosti smerom doprava, čo znamená znižovanie podielu jemnej frakcie a nakoľko sa predpokladá, že tok si vymelie jemnú frakciu smerom po toku. Počas kalibrácie bola použitá 1 krivka zrnitosti pre Dyje, obrázok 7.8, a jedna pre Jevišovku, obrázok 7.8, v nádrži neboli rozlíšené v roku 1978. Pre druhé obdobie boli z prvého obdobia vytiahnuté výsledky na 7 miestach (Dyje horná štvrtina úseku, Jevišovka horná štvrtina úseku a 5 kriviek na mieste, kde sú odbery v roku 2018). Kalibrácia bola ukončená, keď krivky zrnitosti v nádrži na 5 miestach boli podobné na konci výpočtu ako odobrané vzorky v roku 2018.



Obrázok 7.7 Krivka zrnitosti Dyje v roku 1978 použitá v simulácií



Obrázok 7.8 Krivka zrnitosti Jevišovka v roku 1978 použitá v simulácií

7.6 SIMULÁCIA DLHODOBÉHO VÝVOJA ZANÁŠANIA NÁDRŽE

Zanášanie hornej nádrže VD Nové Mlýny bolo simulované od 1. 1. 1978 do 31. 12. 2018. Použitý výpočtový program HEC–RAS nie je schopný počítať s viac ako 40 000 hodnotami prietokov v okrajových podmienkach, z tohto dôvodu bola simulácia rozdelená na dva samostatné výpočty. Prvý výpočet bol od 1. 1. 1978 do 31. 12. 2008 a druhý pokračoval od 1. 1. 2009 do 31. 12. 2018. Prelom rokov 2008 a 2009 bol zvolený z dôvodu dostupnosti dát od Povodí Moravy, s.p (2009). Dáta obsahovali priečne rezy Dyje od konca hornej nádrže VD Nové Mlýny po úsek v Rakúsku a ďalej obsahovali celkový pozdĺžny profil od VD Znojmo po VD Nové Mlýny. Takisto bolo dostupné geodetické zameranie celého simulovaného toku Jevišovka z roku 2009, čím sa pomohlo lepšie kalibrovať neznáme geometrické dáta a drsnosť koryta oboch tokov v roku 1978.

7.7 SIMULÁCIA VÝVOJA POLOHY HLADINY PRI N-ROČNÝCH PRIETOKOCH

Simulácia vývoja hladiny bola počítaná na numerickom modeli s ustáleným prúdením bez modelovania prúdenia splavenín. Pre určenie vývoja bola simulácia spočítaná 3krát prerôzne geometrie, t. j. geometria z roku 1978, 2009 a 2018. Prietoky boli ako kombinácie Q_N Dyje a Q_N Jevišovky, tabuľka 7.2. Dôležitý prietok pre kapacitu koryta Dyje je Q_{100}

a pre korytový prietok (prietok v kynete) je Q_1 . Koryto Jevišovky nemá kapacitu na Q_{100} . Pri jarnej povodni 2006, kedy prietok bol cca Q_{10} , sa na určitých úsekoch medzi Hrušovanmi nad Jevišovkou a sútokom s Dyje, voda vybrežovala z koryta. Preto bol do kombinácie na vývoj hladiny vybratý prietok Jevišovky Q_{10} . Pre vývoj kynety Jevišovky bol určený Q_a .

Dolná okrajová podmienka bola hladina na výtoky zo simulovanej časti nádrže, podľa tabuľky 7.2. Kóta 171,54 m n. m. je maximálna hladina v nádrži a kóta 171,42 m n. m. je hladina zásobného priestoru. Predpokladá sa, že pri Q_{100} na Dyji bude nádrž plná a všetko sa bude prepúšťať nižšie po toku. Pri Q_{10} na Dyji a Q_{100} na Jevišovke sa zas predpokladá plný len zásobný priestor. Nakoľko simulácia prebiehala v ustálenom režime prúdenia, nebola zahrnutá retenčná schopnosť nádrže.

Tabuľka 7.2 Kombinácie Q_N použité v simulácií vývoja polohy hladiny pri Q_N

Kombinácie Q_N	Dyje [m ³ /s]	Jevišovka [m ³ /s]	Pod sútokom [m ³ /s]	Hladina [m n. m.]
$Q_{100}+Q_{10}$	290	30	320	171,54
$Q_{10}+Q_{100}$	170	78,5	248,5	171,42
Q_1+Q_a	71	1,35	72,35	171,42

8 VYHODNOTENIE VÝSLEDKOV SIMULÁCIE

Výsledky simulácie z numerického modelu dopadli podľa očakávania. Zhodnotenie výsledkov v ďalších podkapitolách bude podľa nasledujúceho poradia. Najprv bude celkové vyhodnotenie zanášania hornej nádrže podľa objemov usadenín. Následne sa vyhodnotí zmena kriviek zrnitosti na konci simulácie s krivkami zrnitosti odobranými v roku 2018. Potom sa bude venovať vývoju dna v nádrži, dna Dyje a Jevišovky. Ako posledné bude zhodnotenie rozdielu polohy hladiny pri rôznych kombináciách Q_N spomenutých v kap.7.7.

Modelovanie pohybu splavenín je vedná disciplína zaťažená chybovosťou, ktorá pramení z nedostatočného poznania všetkých fyzikálnych javov, ktoré do výpočtu pohybu splavenín vstupujú. I v laboratórnych podmienkach vykazujú pokusy veľký rozptyl výsledkov. Takže na výsledky treba pozerat' s nadhľadom.

8.1 VYHODNOTENIE ZANÁŠANIA HORNEJ NÁDRŽE VD NOVÉ MLÝNY

Z nameraných dát, spočítanie objemov ako bolo spomenuté v kapitole 7.5.2, vychádza, že zanášanie nádrže v prvých 30 rokoch bolo výrazne nižšie než v nasledujúcich 10 rokoch, tabuľka 8.1. Ročný prírastok sedimentov bol skoro 4-násobný po roku 2008. Dôvod, prečo sa zrazu tak razantne zvýšilo zanášanie môže byť niekoľko, napríklad preplachovanie vyššie položených nádrží, zmena v povodí alebo nepresné určenie počiatočného stavu dna nádrže. Ak od roku 2008 neboli žiadne antropogénne zásahy do režimu splavenín, môžeme predpokladať, že nádrž ešte nedosiahla vyrovnaný stav a bude sa i naďalej výrazne zanášať.

Tabuľka 8.1 Analýza objemov zo nameraných dát

Obdobie	Objem usadenín [m ³]	Objem usadenín za rok [m ³ /rok]
1978 – 2008	165 859	5 529
2009 – 2018	220 016	22 002
Celkom	385 875	27 531

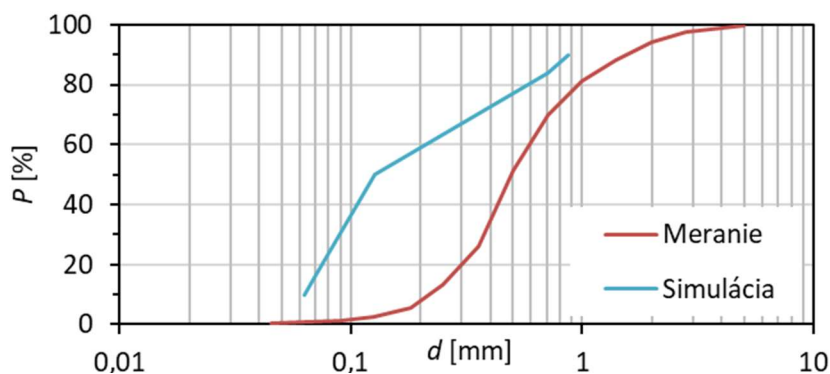
Výsledky simulovaných objemov sú v tabuľke 8.2. Finálna odchýlka objemu po kalibrácii i kriviek zrnitosti bola pre prvé obdobie -4,71 % a pre druhé obdobie +0,64%, čo sa považuje za veľmi pekný výsledok. Celková odchýlka je -1,96 %.

Tabuľka 8.2 Výsledky simulovaných objemov splavenín a usadenín

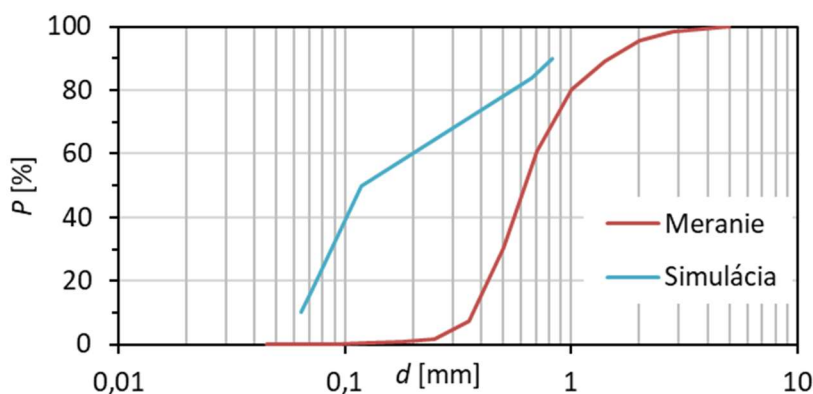
Obdobie	Objem usadenín [m ³]	Odchýlka objemu [%]
1978 – 2008	158 037	-4,71
2009 – 2018	220 291	+0,63
Celkom	378 328	-1,95

8.2 ZHODNOTENIE ZMENY KRIVIEK ZRNITOSTI

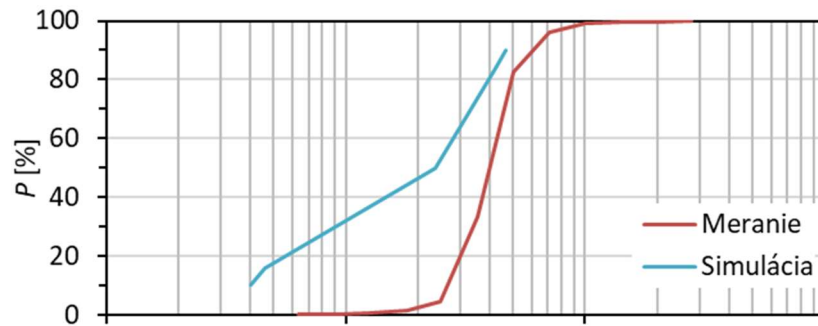
Kalibráciou modelu na objem a následná kalibrácia podľa kriviek zrnitosti ale pri zachovaní objemu sa dostalo nasledujúcich výsledkov. HEC–RAS umožňuje ako výstup zo simulácie nie celé krivky zrnitosti, ale len pre určité d (d_{10} , d_{16} , d_{50} , d_{84} , d_{90}) sa dá zistiť percentuálne zastúpenie, z čoho vyplýva, že simulované krivky zrnitosti sú vytvorené z piatich bodov. Teda tvar medzi bodmi nemusí byť v skutočnosti lineárne spojený, než ako je urobené na nasledujúcich obrázkoch. Z porovnania simulovaných a nameraných kriviek vychádza, že model má nadhodnotený prietok jemnozrnných splavenín, ktoré sa v nádrži usadia a posunú krivky zrnitosti do jemnozrnejšej frakcie. Vo väčšine prípadov sa podarilo zachovať sklon strednej časti krivky zrnitosti, len by ju chcelo celú posunúť do hrubozrnejšej frakcie, aby viac korešpondovala s nameranou krivkou. Odchýlka kriviek zrnitosti môže byť spôsobená odlišným miestom odberu a výstupu z HEC–RAS v rámci priečneho profilu, čo je najpravdepodobnejšie. HEC–RAS dáva výsledky v najnižšom mieste priečneho profilu, zatiaľ čo odber vzoriek bol náhodne. Ďalší významný faktor sú hustotné prúdy, ktoré môžu zmeniť prúdenie splavenín v nádrži. Hustotné prúdy v nádrži môžu vzniknúť len pri stratifikácii v nádrži a pri rozdielnej teplote pritekajúcej vody. Čo v prípade modelu nebolo dovolené, nakoľko v zjednodušujúcej podmienke je konštantná teplota vody po celú dobu simulácie. Porovnanie kriviek zrnitostí v rôznych profiloch sú na obrázkoch 8.1 – 8.5.



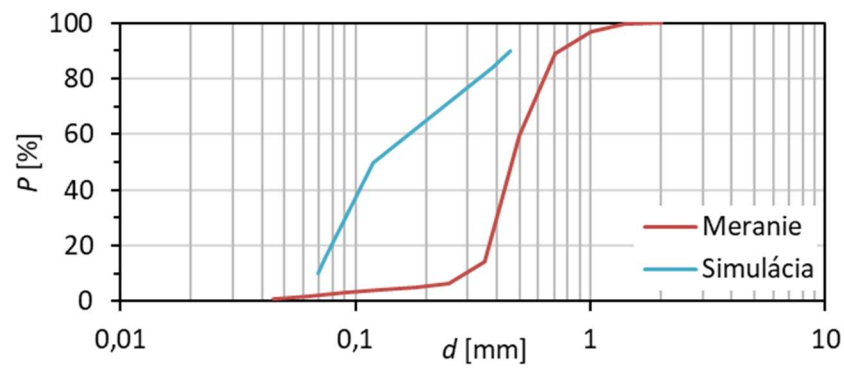
Obrázok 8.1 Krivka zrnitosti nádrž 1



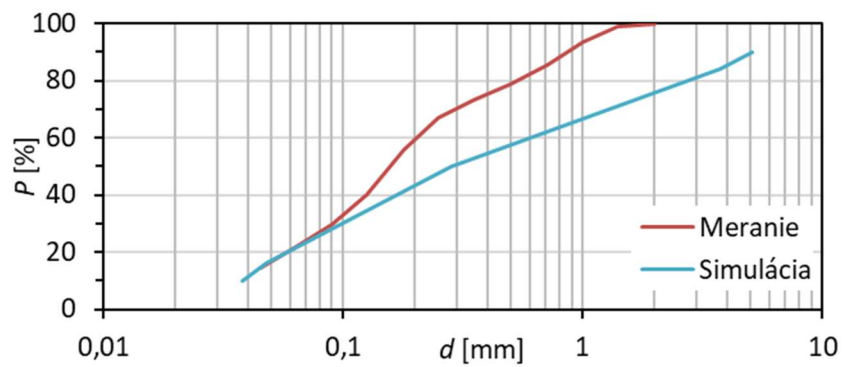
Obrázok 8.2 Krivka zrnitosti nádrž 2



Obrázok 8.4 Krivka zrnitosti nádrž 3



Obrázok 8.3 Krivka zrnitosti nádrž 4

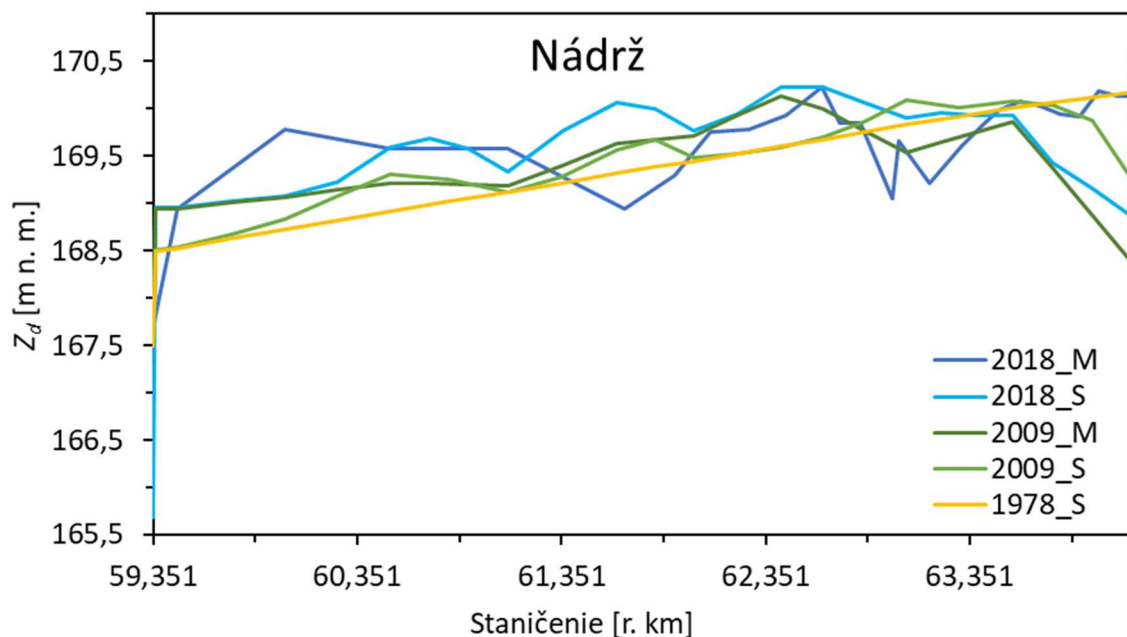


Obrázok 8.5 Krivka zrnitosti nádrž 5

8.3 ANALÝZA ZMENY DNA V POZDĹŽNYCH PROFILOCH

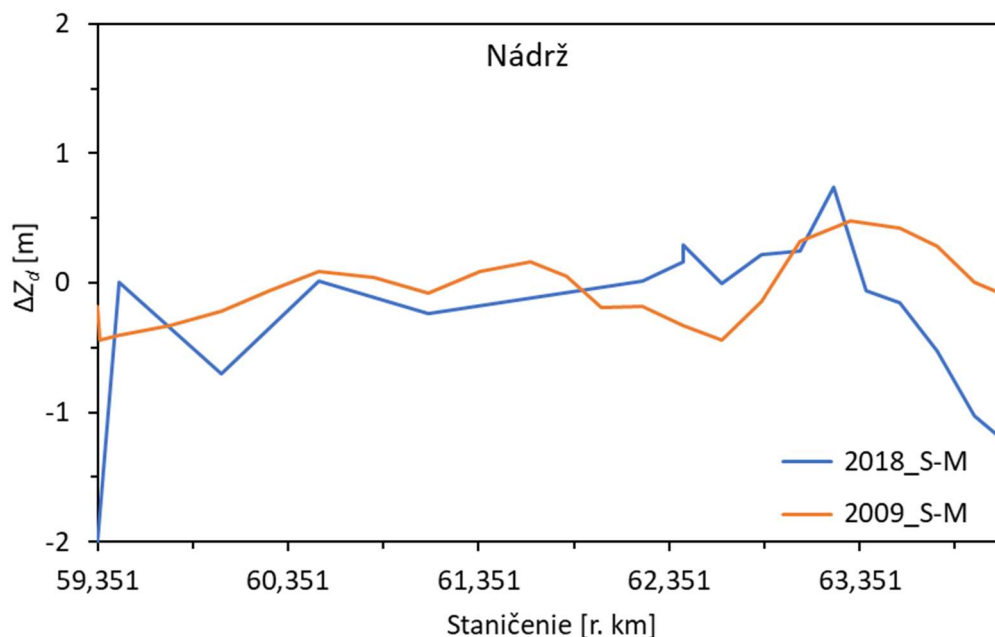
Simulácia bola kalibrovaná na objemy usadenín, nie na pozdĺžny profil dna. Čím sa úplne nepodarilo dosiahnuť podobný tvar simulovanej a nameranej krivky pozdĺžneho profilu. Krivky s popisom „S“ sú simulované, s popisom „M“ sú namerané. Staničenie je podľa Povodí Moravy, s.p (2009).

Z merania vyplýva, že nános v nádrži je niečo medzi zužujúcim sa a delta nánosom, nakoľko dolná časť nie je zanesená, obrázok 8.6.



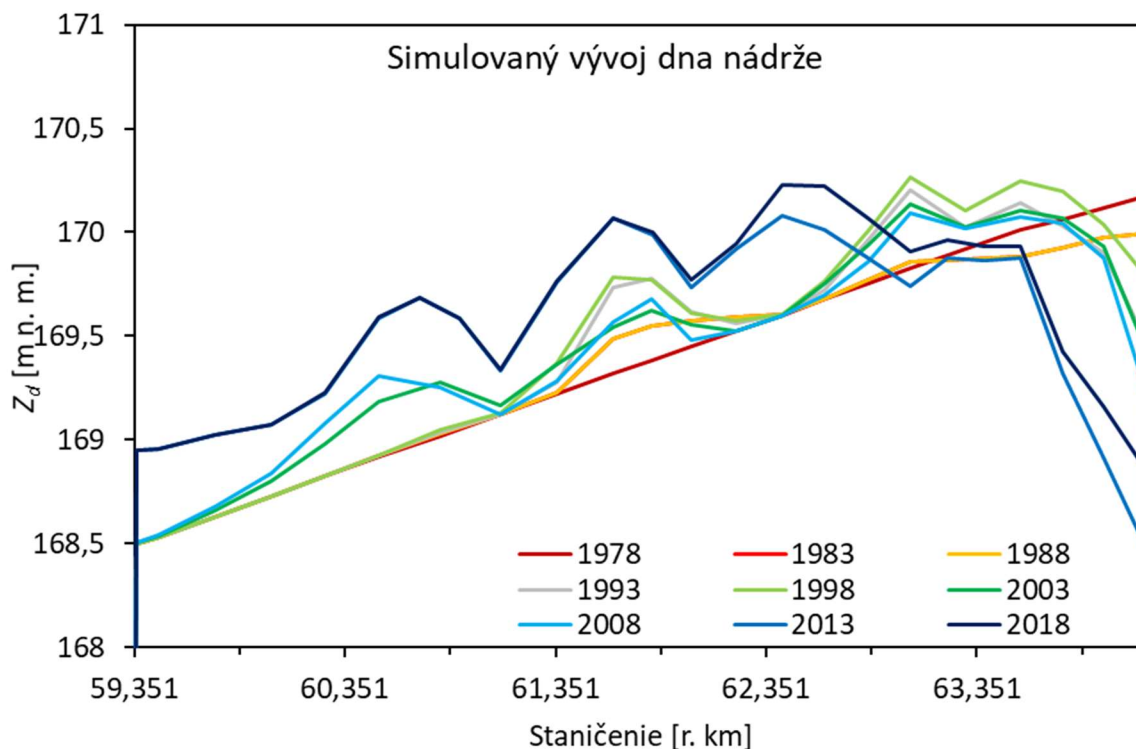
Obrázok 8.6 Vývoj zmeny dna simulovaných a nameraných výsledkov v hornej časti hornej nádrže

Rok 2018 v nádrži sa dá charakterizovať celkovo veľmi podobným zanesením v simulácii oproti zameraniu, obrázok 8.6. Podobne je tomu v roku 2009, ktorý už ale je niečo lepší pri porovnaní simulácie a zamerania. Výrazné zahĺbenie dna okolo r. km 64,078 je z dôvodu mostu, ktorý sa nachádza na r. km 64,088. Pri zadávaní geometrie v roku 1978 výmoľ zanedbal, keďže nie je možné vedieť, či vôbec existoval a aký bol hlboký, ak existoval. V roku 2008 je známa jeho hĺbka ale v roku 2018 je podľa zameraniu plne zanesený usadeninami. V nádrži pod mostom Drnholec, r. km 64,088, odchýlka dosahuje skoro 1,3 m, obrázok 8.7. Ďalší výrazný rozdiel dna je na dolnom konci nádrže pod mostom Pasohlávky – Brod nad Dyjí, r. km 59,351, kedy simulácia v roku 2018 úplne nezachytila zanesenie pod spomínaným mostom. V skutočnosti je dno pod mostom o 2 m vyššie než v simulácii. V roku 2018 je priemerná odchýlka medzi simulovaným a nameraným -0,22 m. Rok 2009 má podobnú odchýlku +0,19 m. Dôvodov je viacero: nahradenie mostov zúženým profilom pre vyššiu stabilitu výpočtu čím sa zanedbal trojrozmerný charakter prúdu v mostnom profile. Ďalej neznáme krivky zrnitosti v čase a neznáma morfológia v roku 1978, čo je štartovací bod pre simuláciu končiacu v roku 2009. Teplota vody bola celý čas konštantná, čo v skutočnosti neplatí a mala hodnotu 9,5°C. Teplota vody má veľký význam v nádržiach, kde sa najviac prejavuje rozdielna hustota vody, v závislosti na teplote, vo forme hustotných prúdov. Prvých 16 rokov simulácie so začiatkom v roku 1978 má vygenerované prietoky vody, kedy sa 16krát po sebe zopakuje jedna povodňová vlna, ktorá nemusela vôbec nastať, ale lepšie dáta neboli k dispozícii.



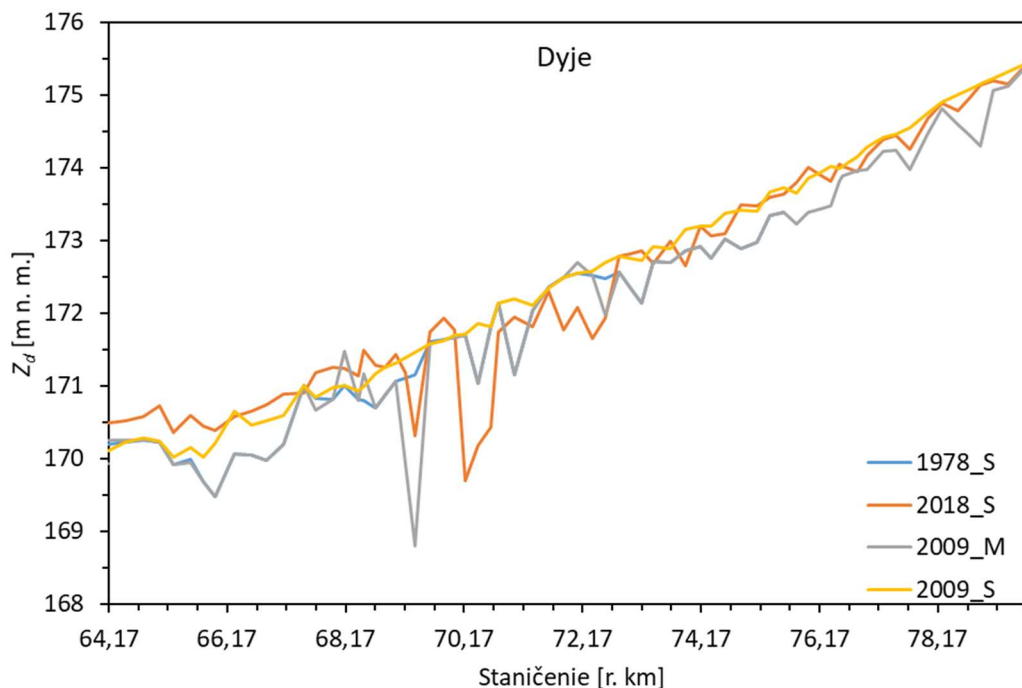
Obrázok 8.7 Absolútne vyjadrenie rozdielu dna v nádrži

Na obrázku 8.8 je simulovaný vývoj dna nádrže s intervalom 5 rokov. V pravej časti obrázku 8.8 je možné pozorovať zahlbujúce sa dno v čase pod mostom Drnholec, r. km 64,088. Na ľavej strane je vidieť vplyv povodní v roku 2002 (leto a prelom s rokom 2003), kedy vznikol ďalší nános, ktorá predtým nebol. Zároveň sa podarilo v roku 2018 dosiahnuť relatívne vyrovnané dno medzi r. km 59,351 a r. km 60,40. O čo sa pokúšalo počas celej simulácie od roku 2009, kedy v skutočnosti bolo. Dôvod oneskoreného zanesenia spočíva pravdepodobne v krivke zrnitosti. Model zároveň zachytil vymieľanie a následné zanášanie dna pod mostom Drnholec, r. km 64,078.



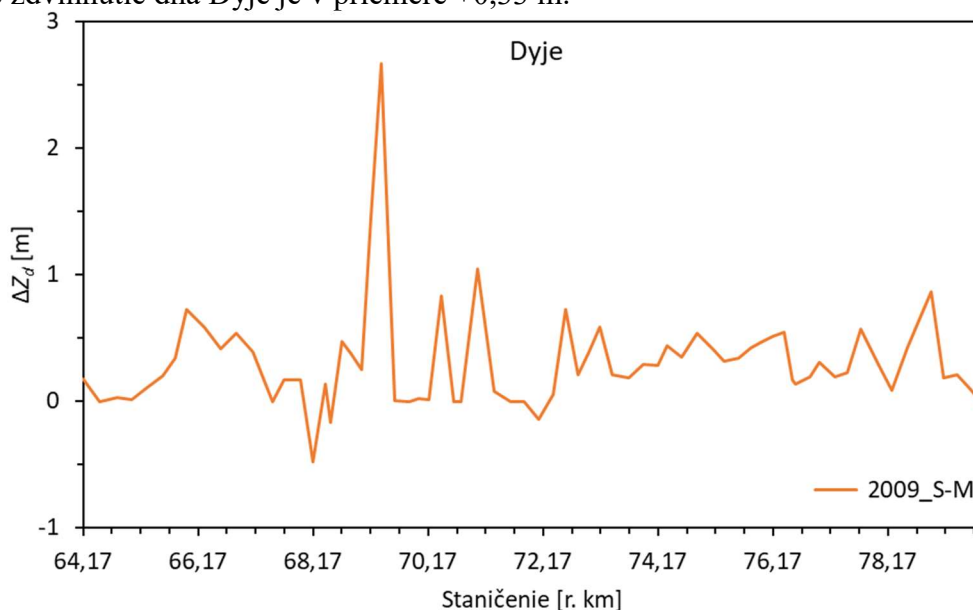
Obrázok 8.8 Simulovaný vývoj dna nádrže s intervalom každých 5 rokov

Dyje nemá v roku 2018 a 1978 geodetické zameranie dna, teda nie je s čím porovnať výsledky zo simulácie. Simulácia z roku 2009 vykazuje výrazné zanesenie dna skoro po celej dĺžke úseku, obrázok 8.9. Dôvodov je niekoľko, najdôležitejší je neznáma morfológia v roku 1978, ktorá je nahradená kytenu v tvare lichobežníku a odlišné chovanie modelu v oblasti mostov. Neznáma krivka zrnitosti má svoje dopady vo väčšom podiele jemnozrnej frakcie dna. Rozdiel dna medzi rokom 2009 a 2018 je minimálny.



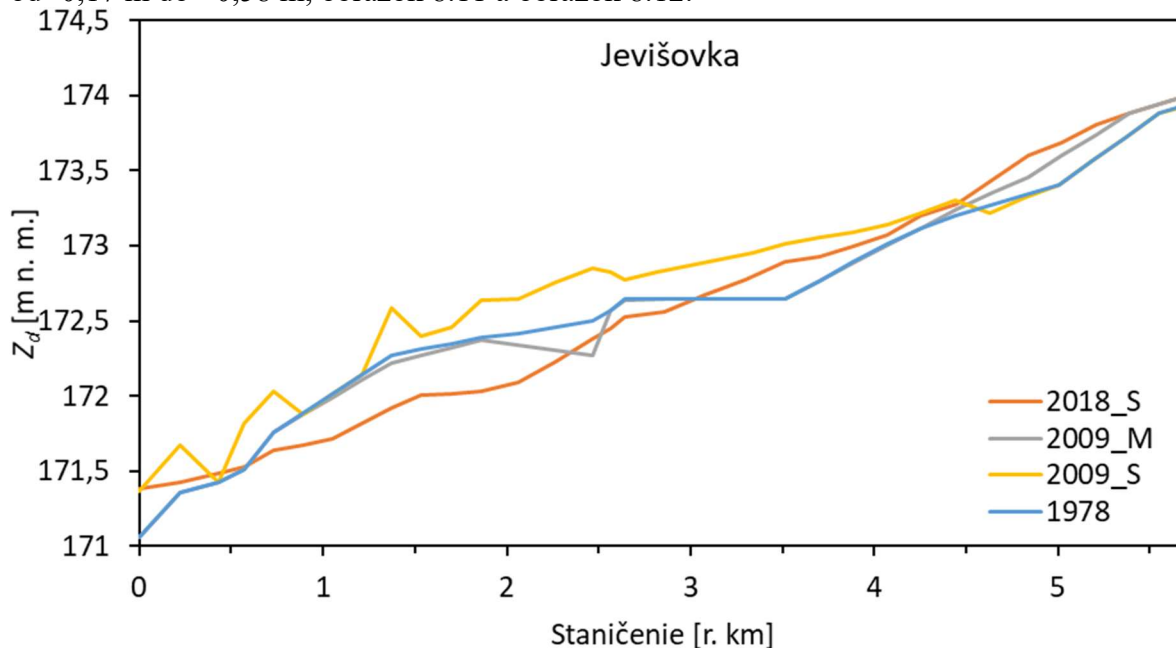
Obrázok 8.9 Vývoj polohy dna Dyje simulovaných a nameraných výsledkov

Absolútna zmena dna na obrázku 8.10 ukazuje najväčšiu odchýlku okolo r. km 69,2, kedy pod mostom nevznikol dostatočne veľký výmol'. Dôvod je jednoduchý, geometria z roku 1978 musela byť v tomto mieste upravená, pretože vznikala nestabilita modelu, takže sa celý výmol' odstránil v roku 1978 ako je možno vidieť na obrázku 8.9. Celkové zdvihnutie dna Dyje je v priemere +0,33 m.

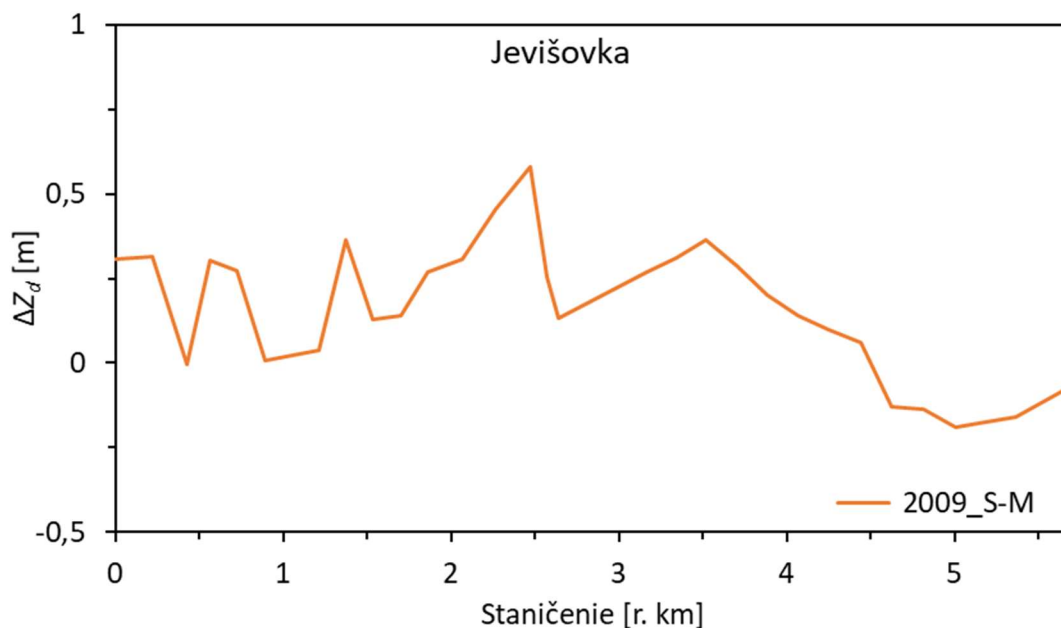


Obrázok 8.10 Absolútna zmena dna Dyje medzi simulovaným a nameraným dnom

Jevišovka v roku 2009 dosiahla zanesený stav v strednej časti, taktiež je možno vidieť 3 nestability modelu v dolnej časti, obrázok 8.11, kedy sa náhle zvýšilo dno bez zjavných príčin. Dôvody rozdielu „S“ a „M“ dát sú rovnaké aké boli pre Dyju. Rok 2018 a 1978 nemá geodetické zameranie, takže nie je možné porovnať výsledky. Absolútna odchýlka je v rozpätí od -0,17 m do +0,58 m, obrázok 8.11 a obrázok 8.12.



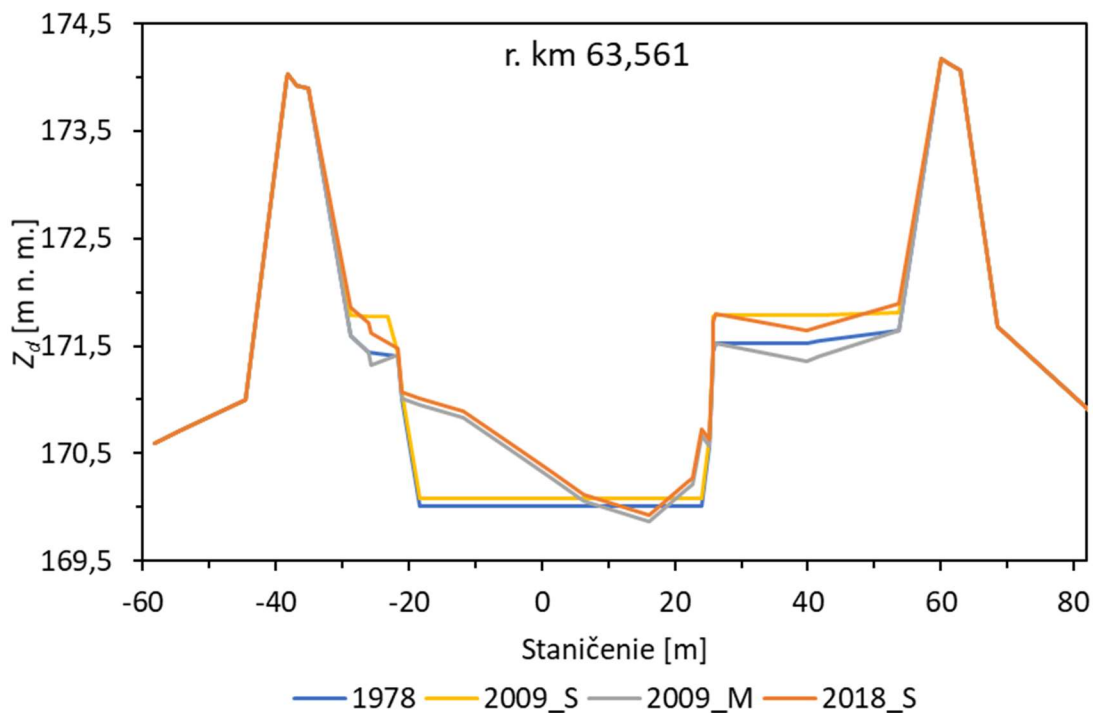
Obrázok 8.11 Vývoj zmeny dna simulovaných a nameraných výsledkov na Jevišovke



Obrázok 8.12 Absolútna zmena dna Jevišovky medzi simulovaným a nameraným dnom

8.4 ANALÝZA ZMENY VYBRANÉHO PRIEČNEHO PROFILU V NÁDRŽI

HEC-RAS nevie úplne presne simulovať zmenu priečného profilu pokiaľ počíta v 1D. Veľmi dobre je vidieť tento nedostatok na obrázku 8.13, kedy pri zadaní lichobežníkového koryta v roku 1978 vrátil na konci simulácie rok 2009_S lichobežník len posunutý vyššie na základe v tomto prípade zanesenia. Priečný profil nikdy nedosiahne 2009_S taký tvar aký ma mať podľa zamerania, krivka 2009_M. Rovnaká situácia nastáva v simulácii 2009 – 2018, kedy pri zadaní iného tvaru než lichobežník, krivka 2009_M na obrázku 8.13, vyjde na konci simulácie krivka iba posunutá v smere osy Z, podľa toho či nastane vymletie alebo zanesenie profilu, v tomto prípade nastalo zanesenie.

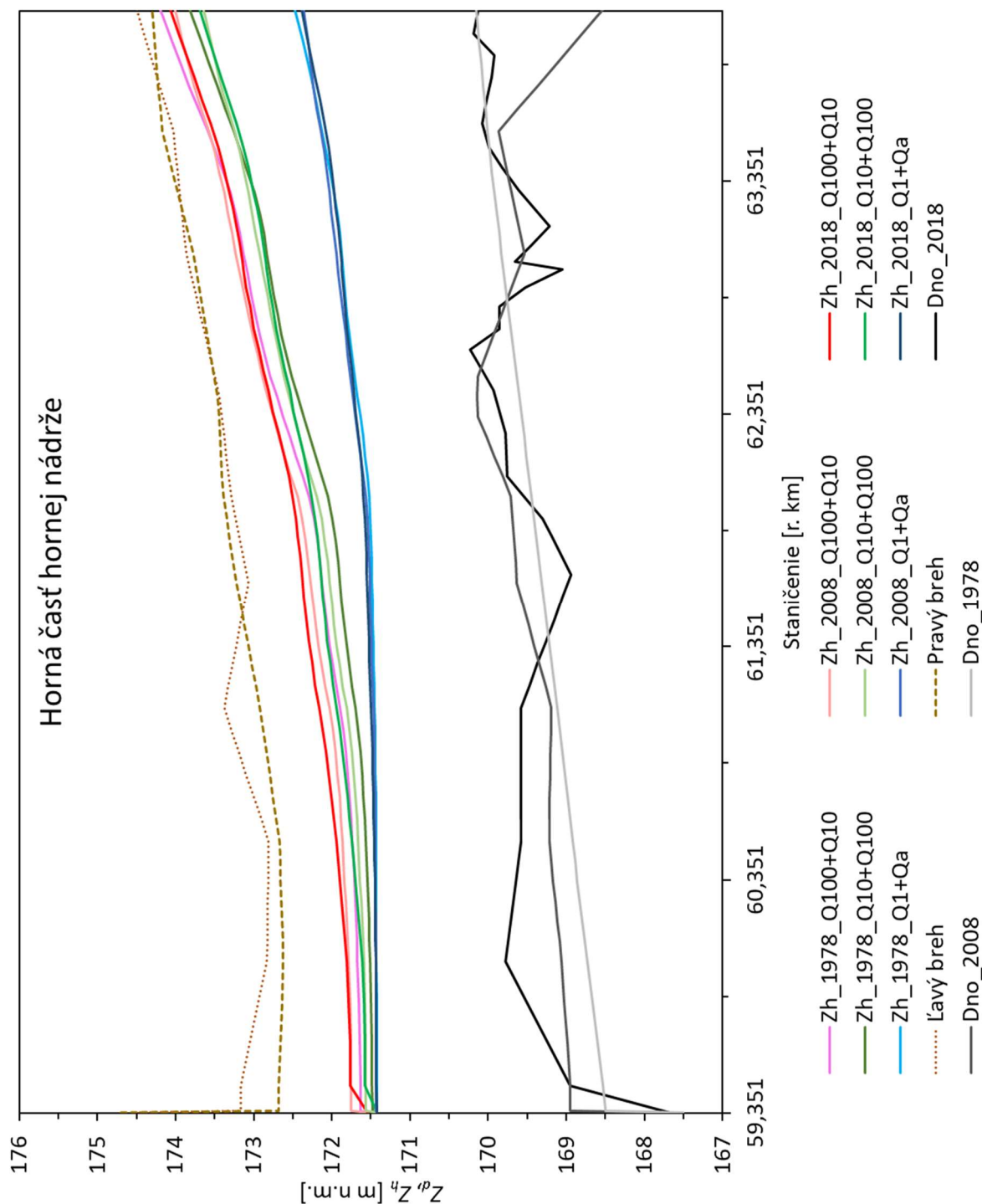


Obrázok 8.13 Zmena priečného profilu na r. km 63,561 (v nádrži)

8.5 VYHODNOTENIE VÝVOJA POHYBU HLADINY PRI Q_N

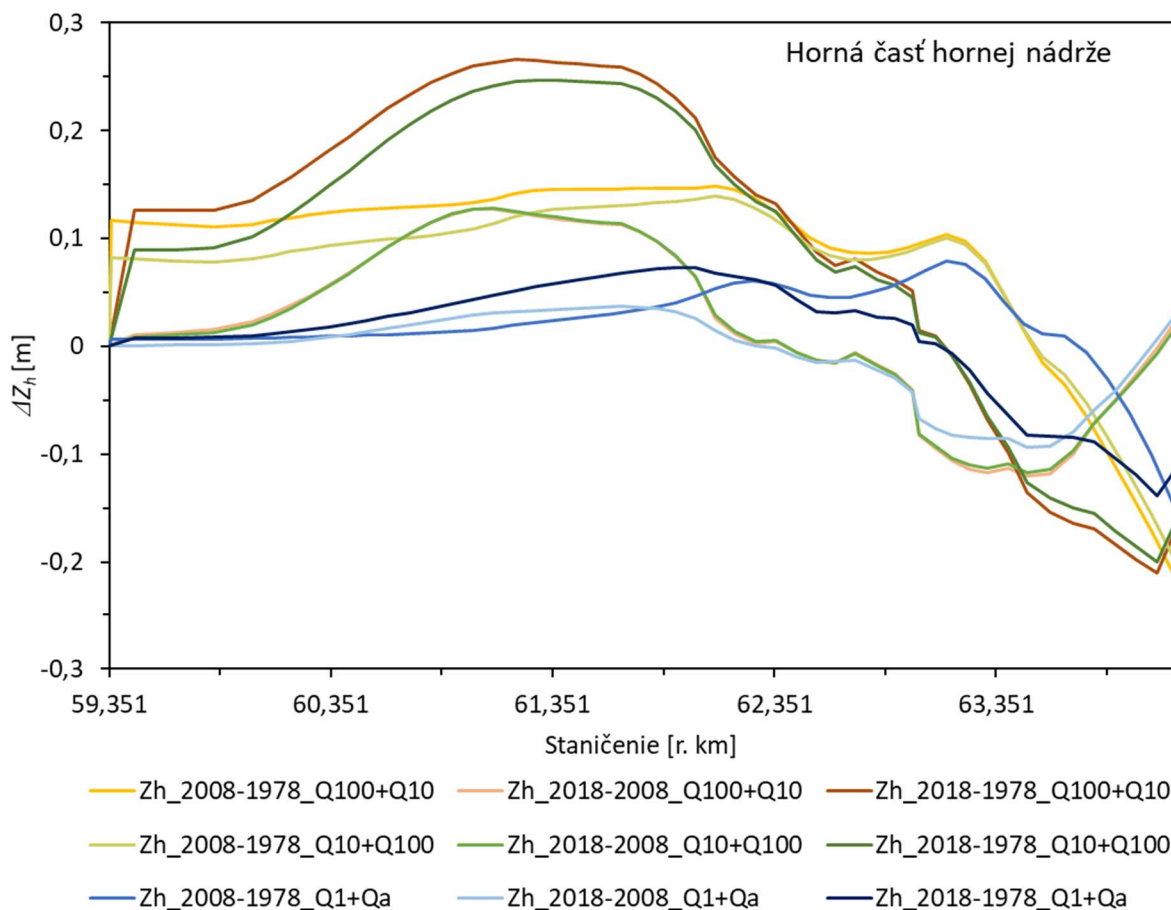
8.5.1 Horná časť hornej nádrže VD Nové Mlýny

Vývoj hladiny v nádrži je možno pozorovať na zvyšujúcej sa kóte hladiny medzi rokom 1978 a 2018, obrázok 8.14. Vo všetkých simuláciách bola zachovaná drsnosť koryta. Z obrázku 8.14 je zjavné, že rozdiel hladín v nádrži v rámci každej kombinácie je medzi obdobiami minimálny, pohybujúci sa v desiatkach milimetrov, čo pri rezerve medzi hladinou a hrádzou nie je podstatné. V žiadnej časti nádrže nedôjde k vyliatiu vody ponad hrádzu.



Obrázok 8.14 Vývoj hladiny v nádrži pri Q_N

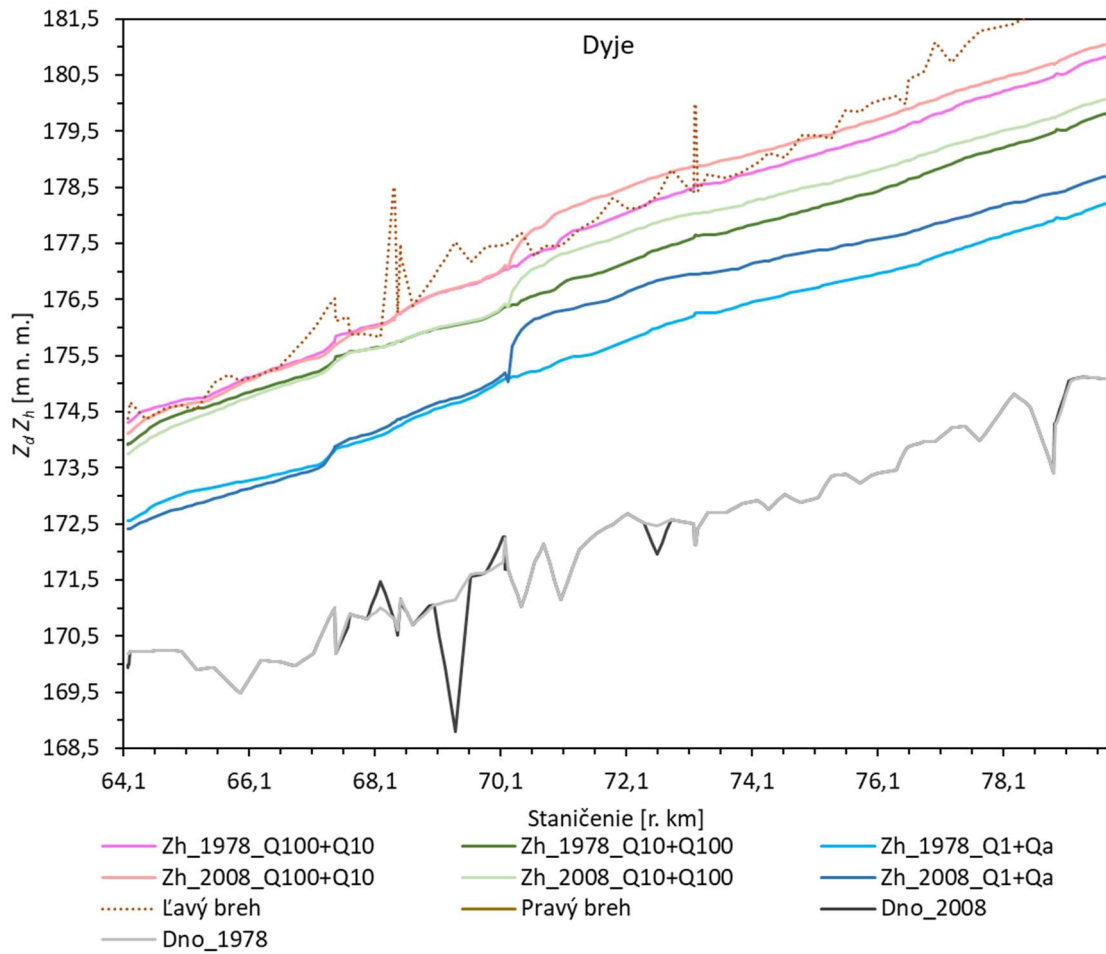
Prehľadnejší rozdiel hladín je v absolútnom vyjadrení na obrázku 8.15. Z obrázku 8.15 je vidieť, že najväčší rozdiel hladín je medzi rokmi 2018 a 1978, čo sa predpokladalo. Maximálny rozdiel je na r. km 61,18 s hodnotu 0,26 m pri kombinácii Q_{100} Dyje + Q_{10} Jevišovka. V priemere je odchýlka hladín malá menšia než 0,067 m. V skutočnosti môže byť odchýlka vyššia, za určitého vegetačného obdobia, pretože vegetácia na nánosoch spôsobí zvýšenú drsnosť.



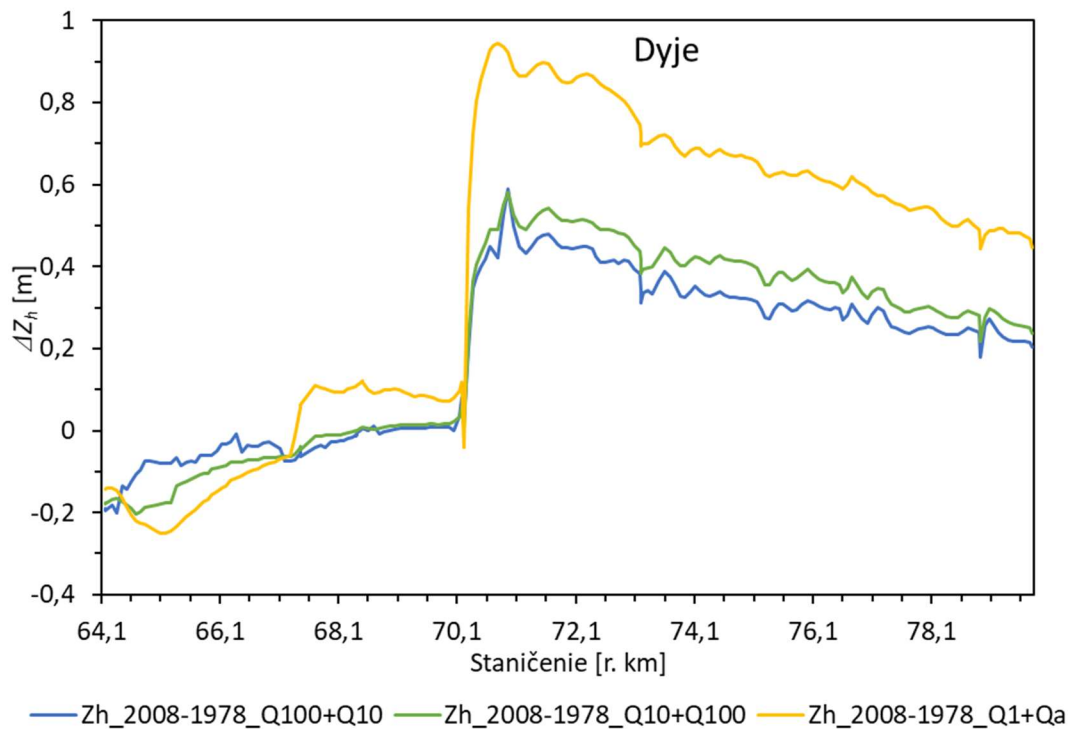
Obrázok 8.15 Absolútny rozdiel hladín medzi prvým napustením do súčasnosti pre rôzne kombinácie Q_N

8.5.2 Dyje

Opäť bola zachovaná drsnosť koryta vo všetkých troch obdobiach. Dyje na rozdiel od nádrže vykazuje veľký rozdiel hladín okolo r. km 70,2, obrázok 8.16 a obrázok 8.17. Výrazný pokles hladiny je okolo stupňa na dne toku. Poloha hladiny v roku 2008 je skoro totožná s výsledkami od Povodí Moravy, s. p. (2009) počítané v roku 2009. Hlavným dôvodom pre tento rozdiel je v neznámej morfológií (hlavne kynety) v roku 1978. Kedy má mať koryto podľa TM 1952 koryto v mieste stupňa vo dne šírku hladiny približne 20 m pri hĺbke vody 1 m. Zatiaľ čo v geometrii z roku 2009 má pri rovnakej hĺbke v danom mieste šírku hladiny 2 m. Absolútne vyjadrenie je na obrázku 8.17, kde je možné pozorovať rozdiel hladín od 0,1 m do skoro 1 m. Napriek veľkej neistote v geometrii z roku 1978 sa môže konštatovať, že pri Q_{100} na Dyji dôjde k vybreženi z koryta od rakúskeho úseku, r. km cca 70,3, až do polky vzdialenosti medzi mostom pri obci Travní Dvůr a mostom pri obci Hevlín, r. km cca 75,35, s výnimkou pri moste pri obci Travní Dvůr.



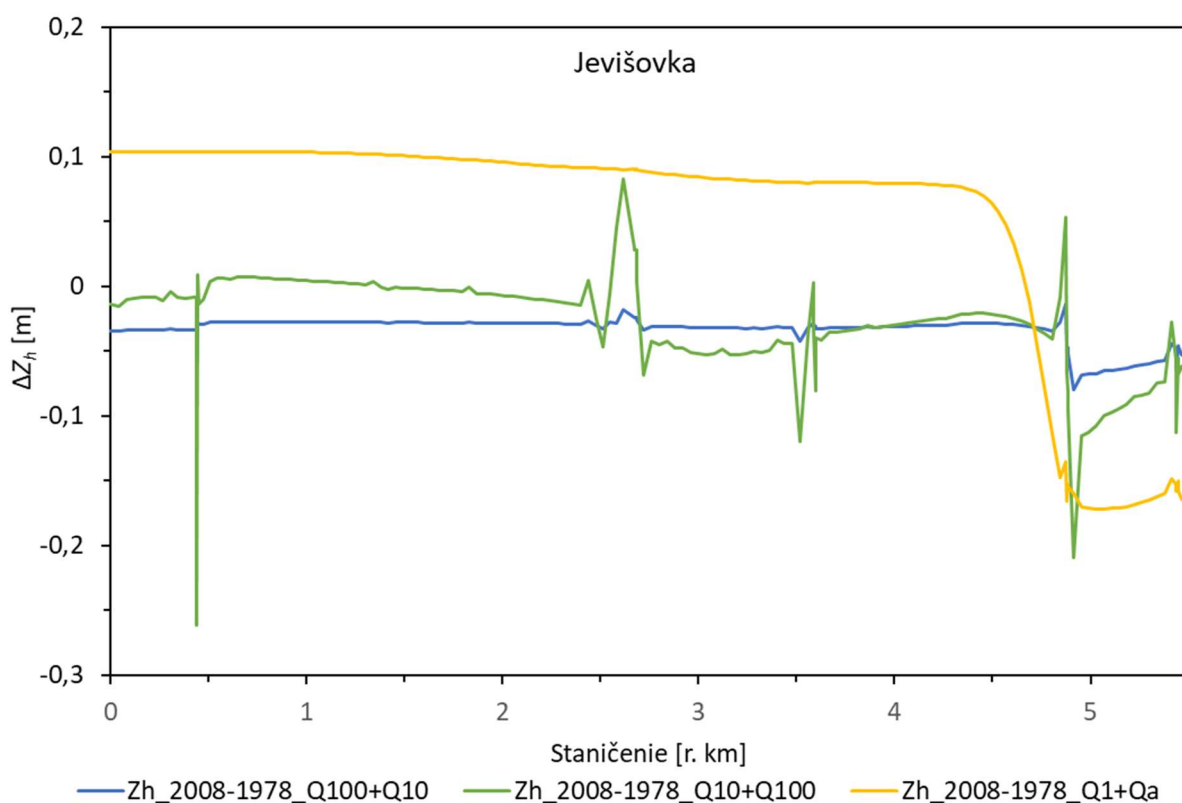
Obrázok 8.16 Vývoj hladiny Dyje od nádrže po Hevlín



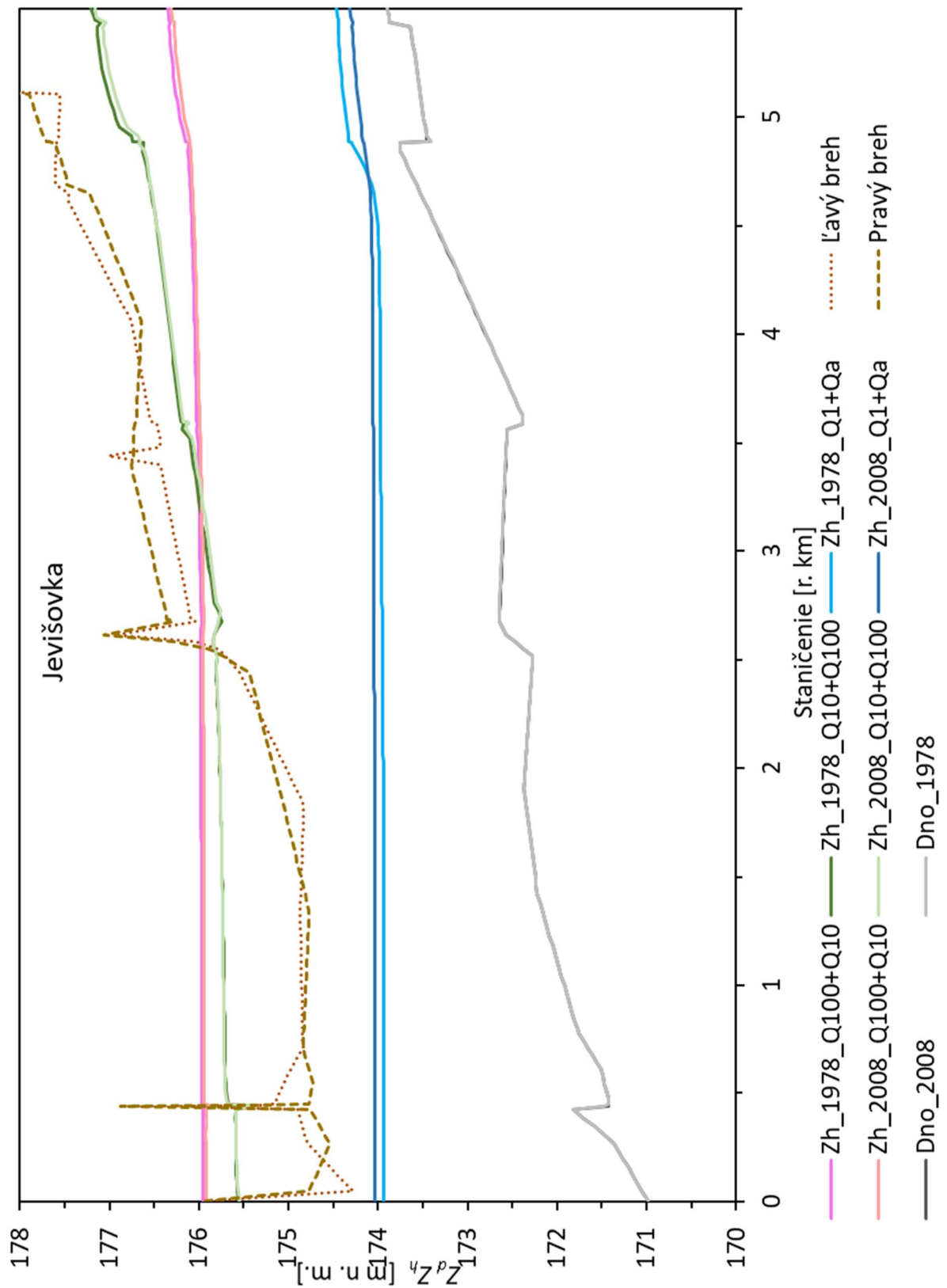
Obrázok 8.17 Absolútny rozdiel hladiny Dyje od nádrže po most pri obci Hevlín

8.5.3 Jevišovka

Pri výpočtoch zostala drsnosť rovnaká. Prehľadnejšie absolútne vyjadrenie rozdielu hladín na obrázku 8.18 ukazuje, že rozdiel hladín je najmenší zo všetkých troch úsekov (nádrž, Dyje, Jevišovka). Priemerný rozdiel hladín je $-0,01$ m zo všetkých kombinácií. Vývoj hladiny na Jevišovke z obrázku 8.19 je minimálny. Iba kombinácia Q_1 na Dyji a Q_a na Jevišovke, ukázala pohyb hladiny kedy v roku 2008 je hladina vyššie než v roku 1978 podľa obrázka 8.19. Pri pohľade na obrázok 8.18 je rozdiel ale výraznejší. Náhle zmeny pri kombinácií Q_{10} Dyje + Q_{100} Jevišovka sú vždy okolo mostov, kde nastávajú rýchle zmeny dna koryta. Treba zohľadniť, že morfológia koryta v roku 1978 je veľmi neistá a výsledok pravdepodobne nie je úplne spoľahlivý. Pri vyšších prietokoch už nemá morfológia až taký dopad. Z hladiny v roku 1978 a kombinácií Q_{100} Dyje a Q_{10} Jevišovka je možné vidieť, kam až zvýšená hladina na Dyji ovplyvňuje Jevišovku. Zároveň táto kombinácia má najmenšiu odchýlku hladín. Zároveň z obrázku 8.19 je možné vidieť, že Jevišovka vybrežuje z koryta až po druhý most, r. km 2,67, ak je na Dyji vyšší prietok než Q_{10} . Jevišovka nemala geodetické zameranie v roku 2018 a z toho dôvodu nebola počítaná výška hladiny, pretože geometria, čo vyšla z pohybu splavenín v roku 2018, veľmi pravdepodobne nie je úplne vierohodná.



Obrázok 8.18 Absolútny rozdiel hladín na Jevišovke medzi obdobiami 2008 a 1978



Obrázok 8.19 Vývoj hladiny na Jevišovke pri Q_N

9 ZÁVER

V horná časti hornej nádrže VD Nové Mlýny sa za 40 rokov (1978 – 2018) usadilo približne 386 000 m³ usadenín. Objem usadenín udáva o koľko sa zmenšil objem nádrže, ktorý už nie je možný použiť ako využiteľný priestor. Podľa geodetických meraní, poskytnutých Povodím Moravy, s.p., sa za prvých 30 rokov zanášala skoro 4-krát menej než v posledných 10-tich rokoch. Dôvodov môže byť niekoľko. Napríklad zle určená morfológia nádrže v roku 1978, ktorá nemá zameranie a vychádzala sa z topografických máp 1:10 000, preplachovanie vyššie položených nádrží alebo výrazná zmena v povodí Dyje a Jevišovky.

Numerický 1D model zahrňoval 3 úseky: horná časť hornej nádrže, časť Dyje a Jevišovky. Celková dĺžka simulovaných úsekov bola 26,506 km. Ostatné prítoky ako zdroje splavenín boli zanedbané. V modeli sa kalibrovala drsnosť koryta ustáleným prúdením, kalibroval sa objem usadenín pomocou transportu splavenín a neznáma krivka zrnitosti v roku 1978.

Výsledky simulácií vývoja dna sa priblížili skutočným geodetickým zameraniam. Neočakával sa úplne presný výsledok simulácie v porovnaní so zameraním, nakoľko súčasné simulačné programy nevedia v jednodimenziálnom (1D) modelovaní obsiahnuť všetky fyzikálne deje, ktoré pri transporte splavenín nastávajú a musia použiť zjednodušujúce predpoklady, aby vôbec mohli počítať. Takže treba výsledky brať s nadhľadom. Napriek tomu odchýlka dna v nádrži medzi zameraním a simuláciou má v priemere len +0,2 m, čo je uspokojivý výsledok. V simulácií sa podarilo zachytiť trend zanášania a vymieľania dna v rôznych častiach nádrže. Obmedzenie výpočtového programu pri výpočte v 1D je aj v zmene priečného profilu, nakoľko veľmi nevie zdeformovať tvar koryta, len vie zaniest priečny profil usadeninami alebo vymlieť celé dno. Dôvodom je zanedbanie napr. priečného alebo rotačného prúdenia v koryte. I keď sa môže zdať, že vyššie uvedené obmedzenia výrazne ovplyvnili vývoj nánosov, výsledky preukázali, že tomu tak nie je. Keďže bol model kalibrovaný na objem usadenín a nie na presnú polohu dna v nádrži, preto mierne odchýlky nie sú problémom, ak je zachytená tendencia, čo sa podarilo. Presnosť simulácie dna Dyje (mimo nádrží) a Jevišovky sa posudzovala zložitejšie, nakoľko neexistujú geodetické zamerania z roku 1978 a 2018.

Kalibrácia neznámej krivky zrnitosti v roku 1978 bola zložitá úloha, nakoľko HEC-RAS nemá vo výstupoch celú krivku zrnitosti ale len priemery zrn pre určité prepady cez sito (d_{10} , d_{16} , d_{50} , d_{84} a d_{90}). Namerané boli dáta kriviek zrnitosti z roku 2018 v 7 náhodných profiloch a tým sa snažilo vo výpočte čo najviac priblížiť. Krivky zrnitosti na konci simulácie mali často veľmi podobný tvar ako namerané krivky, ich jedinou chybou bolo posunutie celej krivky do jemnozrnnejšej frakcie. Táto výrazná odchýlka mohla byť spôsobná inou polohou odberu a výsledkov zo simulácie v rámci priečného profilu. Najviac sa to prejavilo na vzorke č.5, ktorý sa nachádza na ľavej strane nádrže, zatiaľ čo výstup zo simulácie je v najhlbšom mieste v rovnakom staničení. Ďalším dôležitým faktorom bola teplota vody, ktorá nie je vôbec meraná a bola stanovená na konštantnú hodnotu 9,5 °C. Teplota vody sa odráža na hustote vody a vzniku tzv. hustotných prúdov, ktoré môžu výrazne ovplyvniť transport splavenín v rámci nádrže. Iný faktor môže byť doba odberu vzoriek, ktorá mohla zapríčiniť odber vzoriek, ktoré boli jedinečné a nie aké obyčajne v nádrži sú. Zistené krivky zrnitosti v roku 1978 (zvlášť pre Dyju a zvlášť pre Jevišovku) boli len veľmi málo posunuté, pohyb v desatinách percenta, do hrubozrnnejšej frakcie.

Dôležitým výstupom diplomovej práce bol vývoj hladiny pri rôznych kombináciách N -ročných prietokov s ohľadom na vývoj dna pri zachovaní rovnakých drsností koryta. Hladina bola počítaná pomocou ustáleného prúdenia, kedy Q_N kombinácie boli volené tak, aby sa zohľadnilo vybreženie z koryta a korytový prietok, ktorý mení tvar kynety. Kombinácie boli nasledovné: Q_{100} Dyje + Q_{10} Jevišovka, Q_{10} Dyje + Q_{100} Jevišovka, Q_1 Dyje + Q_a Jevišovka. Výsledok

preukázal, že v nádrži došlo pri zanášaní dna k rozdielu hladiny v priemere len o $+0,067\text{m}$. Táto hodnota môže byť v skutočnosti vyššia, nakoľko v určitom vegetačnom období môže byť drsnosť koryta v nádrži zvýšená, hlavne na nánosoch, kde sa zakorenili náletové rastliny a dreviny. Na žiadnom úseku nádrže nedôjde k vybreženiu z nádrže. Hladina na Dyji vykazuje oveľa vyššie rozdiely hladín. Spôsobené je to hlavne neznámou morfológiou koryta v roku 1978. Napriek všetkým pochybnostiam o správnosti výsledkov hladiny v roku 1978, je možné konštatovať, že dochádza k vybreženiu z ochranných protipovodňových hrádzí pri prietoku Q_{100} od rakúskeho úseku cca r. km 70,3, až do polovice vzdialenosti medzi mostom pri obci Travní Dvůr a mostom pri obci Hevlín, r. km cca 75,35, s výnimkou pri moste pri obci Travní Dvůr. Výška hladiny na Jevišovke je výrazne ovplyvňovaná výškou hladiny v Dyji z dôvodu nízkeho pozdĺžneho sklonu koryta Jevišovky. Už od prietoku Q_{10} na Dyji sa Jevišovka vybrežuje z koryta až po r. km 2,67, čo je druhý most a skoro polovica simulovaného úseku.

Diplomová práca ukázala, že simulovať historický vývoj zanášania nádrže bez dostatočných vstupných dát, ako je morfológia koryta a krivka zrnitosti, je zložitá úloha. Prostredníctvom simulácie vychádzajúceho z historického vývoja zanášania vodných tokov a nádrží je možné určiť kde sa budú sústreďovať usadeniny i v najbližších rokoch a určiť prírastok usadenín za časové obdobie avšak za predpokladu, že sa nezmenia podmienky v povodí a budú podobné prietoky. Súčasne jasne ukazuje, či došlo k dosiahnutiu dynamickej rovnováhy alebo sa dá ďalej očakávať zanášanie. V hornej časti hornej nádrže VD Nové Mlýny sa môže očakávať nárast usadenín pod mostom pri obci Drnholec a následné vymieľanie hneď za nánosom. Zvýšený nárast usadenín sa predpokladá v dolnej časti simulovanej nádrže, nad mostným objektom spájajúci Brod nad Dyjí a Pasohlávky. Celkovo sa dá hodnotiť zanášanie hornej časti hornej nádrže VD Nové Mlýny ako proces neukončený, t. j. nedosiahnutá dynamická rovnováha, a predpokladá sa i naďalej výrazné zanášanie.

10 POUŽITÁ LITERATÚRA

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

34-14 Mikulov: Základní vodohospodářská mapa ČR [1:50 000], 1999. 3. Praha: Český úřad zeměměřický a katastrální.

BRUNNER, G.W., 2016. *HEC RAS River Analysis System: Hydraulic Reference Manual*. Version 5.0. United States of America, 547 s. Dostupné z:

<https://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/documentation/HEC-RAS%205.0%20Reference%20Manual.pdf>

ČÚZK, 2018. DMR5G_DMR5G_celek.h5

Evidenční list hlásného profilu č. 364, 2019. *Český hydrometeorologický ústav: Hlásná a předpovědní povodňová služba* [online]. Praha: Portál ČHMÚ, 6.6.2019 [cit. 2019-12-31]. Dostupné z: http://hydro.chmi.cz/hpps/hpps_prfbk_detail.php?seq=306976

Evidenční list hlásného profilu č. 368, 2019. *Český hydrometeorologický ústav: Hlásná a předpovědní povodňová služba* [online]. Praha: Portál ČHMÚ, 6.6.2019 [cit. 2019-12-31]. Dostupné z: http://hydro.chmi.cz/hpps/hpps_prfbk_detail.php?seq=306979

Historické územní teploty, 2019. *Český hydrometeorologický ústav* [online]. Praha: Portál ČHMÚ [cit. 2019-12-02]. Dostupné z: <http://portal.chmi.cz/historicka-data/pocasi/uzemni-teploty>

IVAN, P., J. JURICA a J. MICHALKOVÁ, 2017. Vodná stavba Veľké Kozmálovce - problém zanášania zdrže a návrhy riešenia. *Sedimenty vodných tokov a nádrží 2017*. Bratislava: Slovenská vodohospodárska spoločnosť pri Výskumnom ústave vodného hospodárstva v Bratislave. ISBN 978-80-89740-13-0.

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. profily.xls

MLEJNKOVÁ, H., 2016. *Zatopené kulturní a přírodní dědictví jižní Moravy*. 1. Praha: Výzkumný ústav vodohospodářský T.G. Masaryka, veřejná výzkumná instituce. ISBN 978-80-87402-52-8.

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

Ortofoto hornej nádrže VD Nové mlýny, 2019. *Mapy.cz* [online]. Česká republika: Seznam.cz a.s. a OpenStreetMap [cit. 2019-12-01]. Dostupné z:

<https://en.mapy.cz/letecka?x=16.5769939&y=48.8916931&z=14>

PASEKA, S., MARTON, D., ZACHOVAL, Z., KAMENÍČKOVÁ, J. 2019. *Zpráva z odběru a vyhodnocení vzorků zrnitosti v horní nádrži Nové Mlýny: SEDECO (ATCZ28) Report – shrnutí výsledků za MO4*. Brno, 20 s.

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

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

Povodí Moravy s. p., 2009. jevišovka.dwg

Povodí Moravy, s. p., 2009. PD1.pdf

Povodí Moravy, s. p., 2009. PF1-1.pdf

Povodí Moravy, s. p., 2009. PF1-2.pdf

Povodí Moravy, s. p., 2009. PF1-3.pdf

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

SOČUVKA, V., 2017. Analýza zanášania vodného diela Veľké Kozmálovce. *Sedimenty vodných tokov a nádrží 2017*. Bratislava: Slovenská vodohospodárska spoločnosť pri Výskumnom ústave vodného hospodárstva v Bratislave. ISBN 978-80-89740-13-0.

ŠILLE, A., MIČUDA, M., 2019. Stav sedimentov významných vodných stavieb Váhu.

KOCOUR, D et al.. *Vodní nádrže 2019*.1. Brno: Povodí Moravy, s.p., 7, s. 73-79. ISBN 978-80-907141-3-7.

VARŠ, 2018. Nove_Mlyny_komplet_05xyz.txt

VD Nové Mlýny – dolní, 2019. *Povodí Moravy* [online]. Povodí Moravy s.p.: Media Age Digital, 02/2018 [cit. 2019–11–27]. Dostupné z: <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 z: <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 z: <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. Základní mapa 1:10 000, 2010. *Geoportál ČÚZK* [online]. Praha: ČÚZK, 2010 [cit. 2020-01-05]. Dostupné z: <https://geoportal.cuzk.cz/geoprohlizec/?wmcid=486>

ZACHOVAL, Z., 2019. A_geometrie_vyuka.xls

Topografické mapy 1:10 000 (TM 1952):

M-33-118-A-c-1, 2019. *Archivní mapy ČÚZK* [online]. 1960 [cit. 2020-01-05]. Dostupné z: https://archivnimapy.cuzk.cz/uazk/topos52/topos52_data/010k/M_33_118_A_c_1_index.html

M-33-118-A-c-3, 2019. *Archivní mapy ČÚZK* [online]. 1962 [cit. 2020-01-05]. Dostupné z: https://archivnimapy.cuzk.cz/uazk/topos52/topos52_data/010k/M_33_118_A_c_3_index.html

M-33-118-B-d-4, 2019. *Archivní mapy ČÚZK* [online]. 1970 [cit. 2020-01-05]. Dostupné z: https://archivnimapy.cuzk.cz/uazk/topos52/topos52_data/010k/M_33_118_B_d_4_index.html

M-33-117-D-b-1, 2019. *Archivní mapy ČÚZK* [online]. 1970 [cit. 2020-01-05]. Dostupné z: https://archivnimapy.cuzk.cz/uazk/topos52/topos52_data/010k/M_33_117_D_b_1_index.html

M-33-117-D-b-2, 2019. *Archivní mapy ČÚZK* [online]. 1971 [cit. 2020-01-05]. Dostupné z: https://archivnimapy.cuzk.cz/uazk/topos52/topos52_data/010k/M_33_117_D_b_2_index.html

M-33-117-D-b-3, 2019. *Archivní mapy ČÚZK* [online]. 1970 [cit. 2020-01-05]. Dostupné z: https://archivnimapy.cuzk.cz/uazk/topos52/topos52_data/010k/M_33_117_D_b_3_index.html

M-33-117-D-b-4, 2019. *Archivní mapy ČÚZK* [online]. 1971 [cit. 2020-01-05]. Dostupné z: https://archivnimapy.cuzk.cz/uazk/topos52/topos52_data/010k/M_33_117_D_b_4_index.html

M-33-117-D-d-1, 2019. *Archivní mapy ČÚZK* [online]. 1971 [cit. 2020-01-05]. Dostupné z: https://archivnimapy.cuzk.cz/uazk/topos52/topos52_data/010k/M_33_117_D_d_1_index.html

ZOZNAM POUŽITÝCH SKRATIEK A VELIČÍN

SKRATKY

1D	jednorozmerné
ČHMÚ	Český hydrometeorologický ústav
ČR	Česká republika
DIBAVOD	Digitální báze vodohospodářských dat
DMT	digitálny model terénu
Ex5	Exner 5 (metóda pre triedenie zrn použitá v HEC-RAS)
Ex7	Exner 7 (metóda pre triedenie zrn použitá v HEC-RAS)
FAST	Fakulta stavební
HEC-RAS	Hydrologic Engineering Center's River Analysis System
CH	koryto
LOB	ľavá inundácia
NRPV	náhradná ročná prietoková vlna
ROB	pravá inundácia
SEDECO	Sedimentové a ekosystémové služby vo vzájomnom pôsobení s povodňami a suchom v pohraničnej oblasti AT–CZ
SPA	stupne povodňovej aktivity
TM	topografické mapy
USACE	United States Army Corps of Engineers
VD	vodné dielo
VUT	Vysoké učení technické v Brně
VÚVH	Výskumný ústav vodného hospodárstva Bratislave

VELIČINY

<i>a</i>	Coriolisovo číslo	[-]
<i>b</i>	šírka aktívnej časti koryta	[m]
<i>B</i>	šírka v hladine	[m]
<i>c_v</i>	objemová koncentrácia suspenzie	[-]
<i>c_{vas}</i>	objemová koncentrácia dnových splavenín	[-]
<i>C</i>	stratový koeficient kontrakcie/expenzie	[-]
<i>C:I</i>	hydrologická veľkosť objemu nádrže	[-]

C_e	bezrozmerná miera strhávania častíc do suspenzie	[-]
C_{Te}	súčiniteľ účinnosti zachytenia	[-]
d_{eq}	ekvivalentný priemer zrna	[m]
d_X	priemer zrna pri $X\%$ prepade skrz sito	[m]
dz	zmena po výške	[m]
g	tiažové zrýchlenie	[m/s ²]
h	hlbka vody v koryte	[m]
h_{eq}	rovnovážna hĺbka vody v koryte	[m]
h_z	strata mechanickej energie	[m]
K	modul prietoku	[m ³ /s]
L	vzdialenosť medzi profilmi	[m]
n	drsnostný súčiniteľ	[-]
n_p	pórovitosť	[-]
P	zastúpenie	[-]
q_{ds}	špecifický prietok dnových splavenín	[m ² /s]
q_{ds}	špecifický prietok dnových splavenín	[m ² /s]
q_p	špecifický prietok plavenín	[m ² /s]
q_s	špecifický prietok splavenín	[m ² /s]
Q	prietok (vody)	[m ³ /s]
Q_a	priemerný ročný prietok	[m ³ /s]
Q_m	prietok, ktorý je dosiahnutý alebo prekročený počas m dní za rok	[m ³ /s]
Q_{max}	maximálny prietok (vody)	[m ³ /s]
Q_N	prietok s pravdepodobnosťou prekročenia raz za N rokov	[m ³ /s]
Q_s	prietok splavenín	[m ³ /s]
Q_{s-in}	prietok splavenín pritekajúceho do profilu	[m ³ /s]
Q_{smax}	maximálny prietok splavenín	[m ³ /s]
Q_{so}	prietok splavenín odtekajúcich z nádrže	[m ³ /s]
Q_{s-out}	prietok splavenín odtekajúcich z profilu	[m ³ /s]
Q_{sp}	prietok splavenín pritekajúcich do nádrže	[m ³ /s]
S	prietočná plocha	[m ²]
S_f	sklon čiary energie	[-]
Te	účinnosť zachytenia	[-]
v	priemerná prierezová rýchlosť	[m/s]

V_n	celkový objem nádrže	[m ³]
V_Q	pritekající objem vody do nádrže za 1 rok	[m ³]
w	rýchlost usadzovania	[m/s]
z	nadmorská výška	[m]
Z_d	úroveň dna koryta	[m n. m.]
Z_h	úroveň hladiny v nádrži	[m n. m.]

ZOZNAM TABULIEK

Tabuľka 4.1 Použitie transportných rovníč	25
Tabuľka 4.2 Porovnanie algoritmov pre triedenie zrn a tvorbu krycej vrstvy	26
Tabuľka 6.1 Základné parametre VD Nové Mlýny (VD Nové Mlýny – dolní, 2019) (VD Nové Mlýny – horní, 2019) (VD Nové Mlýny – střední, 2019).....	33
Tabuľka 6.2 Zoznam identifikačných údajov o záujmovom území (34-14 Mikulov, 1999), (34-12 Pohořelice, 1995)	35
Tabuľka 6.3 m -denné prietoky pre hlásne profily Jevišovka – Božice a Dyje – Travní Dvůr od ČHMÚ 1981–2010 (Zachoval, 2019)	37
Tabuľka 6.4 N -ročné prietoky od ČHMÚ (Evidenční list hlásného profilu č. 368, 2019) (Evidenční list hlásného profilu č. 364, 2019)	38
Tabuľka 7.1 Drsnost' koryta určená kalibráciou na dáta od Povodí Moravy, s.p.	47
Tabuľka 7.2 Kombinácie Q_N použité v simulácií vývoja polohy hladiny pri Q_N	50
Tabuľka 8.1 Analýza objemov zo nameraných dát.....	51
Tabuľka 8.2 Výsledky simulovaných objemov splavenín a usadenín	51

ZOZNAM OBRÁZKOV

Obrázok 1.1 Horná nádrž VD Nové Mlýny dňa 16.2.2019 (archív autora).....	10
Obrázok 2.1 Delenie nerozpustených látok premiestňovaných tokom (Zachoval, 2016).	13
Obrázok 2.2 Rýchlosti pôsobiace na časticu v kvapaline (Brunner, 2016).....	14
Obrázok 2.3 Relatívne vyjadrenie krivky prietoku vody a splavenín v čase (vľavo) a hysterezia závislosti prietoku splavenín na prietoku vody (vpravo) (Zachoval, 2016).....	16
Obrázok 3.1 Typické nánosy v nádržiach (Morris a Fan, 1998).....	17
Obrázok 3.2 Závislosť účinnosti zachytenia Te od objemu nádrže V_n ku objemu vody pretečenej za rok V_Q (Zachoval, 2016).....	19
Obrázok 4.1 Vyjadrenie členov v Bernoulliho rovnici (9) (Brunner, 2016).....	21
Obrázok 4.2 Stredná hodnota rýchlosti v priečnom profile pre výpočet Coriolisova čísla (Brunner, 2016).....	22
Obrázok 4.3 HEC-RAS Hydrogram upravený na prietok po častiach ustálený (Brunner, 2016).....	23
Obrázok 4.4 Porovnanie vrstiev podľa Thomas a Metóda aktívnej vrstvy (Brunner, 2016) ...	26
Obrázok 4.5 Thomas (Ex 5) upravovanie aktívnej vrstvy podľa rovnovážnej hĺbky vody (vľavo pred úpravou, vpravo po upravení)	27
Obrázok 4.6 Thomasov princíp ekvivalentného priemeru zrna (Brunner, 2016)	27
Obrázok 5.1 Zamerané zanesenie ku projektovanému objemu VD Krpeľany v období od 1960 do 2016 (Šille a Mičuda, 2019).....	29
Obrázok 5.2 Zmena akumuláčného objemu nádrže VD Veľké Kozmálovce v rokoch 1990 až 2016 (Sočuvka, 2017)	31
Obrázok 5.3 Situácia VD Veľké Krpeľany - hrubá biela čiara usmerňovacie stavby (Ivan a kol., 2017).....	31
Obrázok 6.1 Ortofoto zaneseného prítoku (v ľavej časti obrázku) do hornej nádrže VD Nové Mlýny z 3. 7. 2018 (Ortofoto hornej nádrže VD Nové Mlýny, 2019).....	33
Obrázok 6.2 Vľavo - topografická mapa z 1952 (M-33-118-A-c-1, 1960), Vpravo - základná mapa (Základní mapa 1:10 000, 2010).....	34
Obrázok 6.3 Namerané prietoky na tokoch Dyje a Jevišovka v daných profiloch od 1. 1. 1994 do 31. 12. 2018.....	36
Obrázok 6.4 Nameraná výška hladiny v hornej nádrži od 1. 1. 1989 do 31. 12. 2018	37
Obrázok 6.5 Krivka zrnitosti dna koryta Dyje pri obci Dyjákovice (Paseka a kol., 2019).....	40
Obrázok 6.6 Krivka zrnitosti dna koryta Dyje pri osade Travní Dvůr (Paseka a kol., 2019) ..	40
Obrázok 6.7 Krivka zrnitosti dna koryta Jevišovky pri moste spájajúce Právice a Nový dvůr (Paseka a kol., 2019)	41
Obrázok 6.8 Miesta odberov 2. 11. 2018, číslovanie je vzostupné z ľava doprava (Paseka a kol., 2019).....	41

Obrázok 6.9 Krivky zrnitosti dna prítoku do nádrže a v nádrži VD Nové Mlýny (Paseka a kol., 2019).....	42
Obrázok 7.1 Náhradná ročná prietoková vlna pre tok Dyje použitá ako horná okrajová podmienka v období 1978 - 1993.....	44
Obrázok 7.2 Náhradná ročná prietoková vlna pre tok Jevišovka použitá ako horná okrajová podmienka v období 1978 - 1993.....	44
Obrázok 7.3 Horné okrajové podmienky pre toky Jevišovka a Dyje v období od 1. 1. 1978 do 31. 12. 2008.....	45
Obrázok 7.4 Namerané prietoky na Dyji a Jevišovke v období od 1. 1. 2009 do 31. 12. 2018 použité ako horná okrajová podmienka pre dané obdobie.....	46
Obrázok 7.5 Dolná okrajová podmienka - simulovaná výška hladiny v nádrži od 1978 do 2008.....	46
Obrázok 7.6 Dolná okrajová podmienka ako výška hladiny pre druhé simulované obdobie od 2009 do 2018.....	47
Obrázok 7.7 Krivka zrnitosti Dyje v roku 1978 použitá v simulácií.....	49
Obrázok 7.8 Krivka zrnitosti Jevišovka v roku 1978 použitá v simulácií.....	49
Obrázok 8.1 Krivka zrnitosti nádrž 1.....	52
Obrázok 8.2 Krivka zrnitosti nádrž 2.....	52
Obrázok 8.3 Krivka zrnitosti nádrž 4.....	53
Obrázok 8.4 Krivka zrnitosti nádrž 3.....	53
Obrázok 8.5 Krivka zrnitosti nádrž 5.....	53
Obrázok 8.6 Vývoj zmeny dna simulovaných a nameraných výsledkov v hornej časti hornej nádrže.....	54
Obrázok 8.7 Absolútne vyjadrenie rozdielu dna v nádrži.....	55
Obrázok 8.8 Simulovaný vývoj dna nádrže s intervalom každých 5 rokov.....	55
Obrázok 8.9 Vývoj polohy dna Dyje simulovaných a nameraných výsledkov.....	56
Obrázok 8.10 Absolútna zmena dna Dyje medzi simulovaným a nameraným dnom.....	56
Obrázok 8.11 Vývoj zmeny dna simulovaných a nameraných výsledkov na Jevišovke.....	57
Obrázok 8.12 Absolútna zmena dna Jevišovky medzi simulovaným a nameraným dnom.....	57
Obrázok 8.13 Zmena priečného profilu na r. km 63,561 (v nádrži).....	58
Obrázok 8.14 Vývoj hladiny v nádrži pri Q_N	59
Obrázok 8.15 Absolútny rozdiel hladín medzi prvým napustením do súčasnosti pre rôzne kombinácie Q_N	60
Obrázok 8.16 Vývoj hladiny Dyje od nádrže po Hevlín.....	61
Obrázok 8.17 Absolútny rozdiel hladiny Dyje od nádrže po most pri obci Hevlín.....	61
Obrázok 8.18 Absolútny rozdiel hladín na Jevišovke medzi obdobiami 2008 a 1978.....	62
Obrázok 8.19 Vývoj hladiny na Jevišovke pri Q_N	63

SUMMARY

Upper part of Upper reservoir of Nove Mlyny in 40 years of its existence (1978 – 2018) has accumulated 386 000 m³ of sediments. Volume of sediments is how much less of volume there is which can be used for storing water. By difference in terrains in different periods of life of the reservoir, which provided Povodí Moravy, s.p., can be said that in the first 30 years sedimentation of reservoir was almost 4-times less than in the last 10 years. Reasons can be many. For one, wrong morphology of reservoir in the 1978, which didn't have proper geodetic survey and only resource for making terrain were topological maps 1:10 000. Second reason is probably flushing of upper reservoirs in the watershed or distinct change in the catchment area of rivers Dyje and Jevišovka.

Numerical 1D model consisted of 3 parts: upper part of Upper reservoir, river reach of Dyje and river reach of Jevišovka. Together there was simulated 26,506 km of rivers. Rest of stream tributaries were neglected. Model was calibrated on roughness of water surfaces in steady flow, then volume of sediment in transport of sediments and also was calibrated unknown variation of bed evaluation in 1978.

Development of bed elevation has resulted in very good accordance with geodetic surveys. Wasn't expected to have absolute agreement between simulation and geodetic surveys, because current software for simulation of transport of sediments in 1D cannot comprehend all physics phenomenon and have to use simplifying assumptions. Error of bed elevation in reservoirs is in average +0.2 m, what is very nice result. The simulation was able to comprehend the development of reservoir sedimentation in different parts of reservoir. Software, in this case HEC-RAS, has limitation that it can't properly simulate change in cross section, in the form of deformation, it can only fill cross section up with sediments or scour the cross section, but the shape remains the same. This limitation was known before the start of simulation and was taken into account when model was calibrated. Calibration was primarily focused on volume of sediments. The exact bed elevation is not a problem if the development of bed was comprehended. Error of Dyje (without reservoir) and Jevišovka was difficult to calculate, because there is no geodetic survey in 1978 and 2018.

Calibration of unknown variation of bed evaluation in 1978 was complex problem, as result of HEC-RAS output which consist not of exact variation of bed evaluation but only for d_{10} , d_{16} , d_{50} , d_{84} and d_{90} . In 2018 there was survey of variation in bed in 7 random sites, 5 of which were in reservoir and two on the upper river locations. Calibration consisted of changing two variations of bed evaluation in upper river locations (one for Dyje and one for Jevišovka) until bed variations in reservoirs in 5 exact sites were identical. The results are slightly varied but still similar, due to different location in cross section for each site. For example, sample number 5 is in the left side of the reservoir while output form HEC-RAS is always in the deepest part of cross section. Another reason can be constant water temperature in simulation, which then cannot make diversity in density in reservoir, which can significantly affect transport of sediments in reservoir. There is none measurement data for water temperature. Change in variation of bed evaluation in 1978 was made in only 0,1 percentage and moved into more coarse material.

Next output from master thesis is development of stage of water surface in the reservoir as result of development of bed elevation by using combination of steady N -year flow and by preserving roughness. Combinations of N -year flow were selected as looking when the water will leave the channel and which flow is the most changing channel geometry. Selection was as follow: Q_{100} Dyje + Q_{10} Jevišovka, Q_{10} Dyje + Q_{100} Jevišovka, Q_1 Dyje + Q_a Jevišovka. Result is that there is minimal change in water surface between 1978 and 2018 as result of

change of bed elevation, mean is only +0.018 m in the reservoir. There can be slight derivation from the value as roughness was simplified to constant value in the whole simulation, which is not true due to change in vegetation. In particular vegetation season, there can be higher roughness mostly on deposition of sediments, which are higher than water surface, islands, which will influence stage of water surface, will make it go higher. Also in any point there will not be water leaving reservoir to cause flooding of catchment area. Dyje has bigger variation in water surface due to unknown morphology in 1978. Validation of morphology in 1978 is very unsure but still there can be said there will be water leaving channel and flooding nearby area between river kilometers 70.3 and 75.35, from Austrian part of Dyje to middle part between bridges in Travní Dvůr and Hevlín. Water surface of Jevišovka is interacting with water surface in Dyje by as soon as flow in Dyje is Q_1 . From Q_{10} in Dyje, stage of water surface in Jevišovka is higher than bank for as long as first half of simulated section.

Master thesis has shown how difficult it is to simulate development of reservoir sedimentation, when there is not good enough input such as unknown morphology and importance of variation of bed evaluation in the beginning of simulation. Historical development of deposition of sedimentation in reservoir helps to realise where sediments depositions are in time and to predict volume and position of these depositions. Also can be defined yearly how much sediments it can anticipated if flow variations and catchment are stay the same. Concurrently can be assumed if reservoir also with watershed is in dynamical balance or if reservoir is going to be filling with sediments.