



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV VODNÍCH STAVEB

INSTITUTE OF WATER STRUCTURES

STANOVENÍ ÚZEMÍ OHROŽENÉHO ZVLÁŠTNÍ POVODNÍ POD VD ŠANCE

ESTIMATING DAM BREAK INUNDATION FOR THE ŠANCE DAM

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Karel Pekárek

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. JAN JANDORA, Ph.D.

BRNO 2019



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	B3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu	Bakalářský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3647R015 Vodní hospodářství a vodní stavby
Pracoviště	Ústav vodních staveb

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student	Karel Pekárek
Název	Stanovení území ohroženého zvláštní povodní pod VD Šance
Vedoucí práce	doc. Ing. Jan Jandora, Ph.D.
Datum zadání	30. 11. 2018
Datum odevzdání	24. 5. 2019

V Brně dne 30. 11. 2018

prof. Ing. Jan Šulc, CSc.
Vedoucí ústavu

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

PODKLADY A LITERATURA

Boor, B., Kunštátský, J., Patočka, C. Hydraulika pro vodohospodářské stavby. SNTL. Praha. 1968.

Chow, Ven Te. Open Channel Flow. Mc Graw Hill Book Company. 1959.

Čihák, F., Valenta, P., Vaněček, S., Zeman, E. Automatizace inženýrských úloh. ES ČVUT. Praha 1991.

<http://www.hec.usace.army.mil>

Kolář, V., Patočka, C., Bém, J. Hydraulika. SNTL/ALFA. Praha. 1983.

Říha, J. a kol. Matematické modelování hydrodynamických a disperzních jevů. VUT v Brně. Brno. 1997.

Mapové podklady a hydrologická data.

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

Stanovte území ohroženého zvláštní povodní na toku Ostravice pod vodním dílem Šance pomocí matematického modelování v 1D. Modelování bude realizováno v programu HEC-RAS. Model bude proveden až do místa transformace povodňové vlny na hydrologický průtok Q_{100} .

Požadavky na zpracování bakalářské práce:

1. Popis zájmového území.
2. Hydrologická data.
3. Analýza způsobu porušení hráze VD Šance a parametry průlomové vlny.
4. Modelování proudění pod VD Šance.
5. Závěry.
6. Přílohy.

STRUKTURA BAKALÁŘSKÉ 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).

ABSTRAKT

Cílem bakalářské práce je pomocí matematického modelování proudění vody v otevřeném korytě a přilehlém inundačním území stanovit rozsah ploch ohrožených zvláštní povodní pod přehradou Šance. Výstupem tohoto modelu je mapa záplavového území s vyznačenými zasaženými plochami.

KLÍČOVÁ SLOVA

Vodní dílo, přehradní nádrž, protržení hráze, ohrožené území, zvláštní povodeň, porušení sypané hráze, vnitřní eroze

ABSTRACT

The aim of this bachelor's thesis is to determine the extent of territory endangered by dam break flood wave using mathematic modelling of water flowing in the river and inundation under Sance dam. Output result of the model is a map of the extent territory with highlighted flood area.

KEYWORDS

Water dam, water reservoir, dam breach, endangered territory, dam break flood wave, failure of embankment dam, internal erosion

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

Karel Pekárek *Stanovení území ohroženého zvláštní povodní pod VD Šance*. Brno, 2019. 46 s., 5 s. příl. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodních staveb. Vedoucí práce doc. Ing. Jan Jandora, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané bakalářské práce s názvem *Stanovení území ohroženého zvláštní povodní pod VD Šance* je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 9. 5. 2019

Karel Pekárek
autor práce

PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem *Stanovení území ohroženého zvláštní povodní pod VD Šance* zpracoval(a) samostatně a že jsem uvedl(a) všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 9. 5. 2019

Karel Pekárek
autor práce

PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych chtěl poděkovat mému vedoucímu diplomové práce panu doc. Ing. Janu Jandorovi, Ph.D., za jeho přístup, trpělivost a odborné rady při konzultacích. Dále svým rodičům a bratrovi za jejich podporu při studiu a psaní této bakalářské práce. V neposlední řadě bych také chtěl poděkovat firmě VODNÍ DÍLA – TBD a. s. a odbornému konzultantovi Ing. Janu Höllovi, za poskytnutí veškerých potřebných dat, to vše se svolením Povodí Odry, s. p.

OBSAH

1	Úvod	3
2	Popis zájmového území	4
2.1	Vodní dílo Šance	5
2.1.1	Účel vodního díla	5
2.1.2	Kategorie vodního díla	5
2.1.3	Těleso hráze	6
2.1.4	Nádrž	8
2.1.5	Objekty na vodním díle	9
2.1.6	Geologické poměry	11
2.2	Řeka Ostravice	12
2.2.1	Charakter vodního toku	13
2.3	Hydrologická data	14
3	Analýza způsobů porušení hráze a parametry průlomové vlny	15
3.1	Definice zvláštní povodně	15
3.2	Definice průlomové vlny a ohroženého území	15
3.3	Analýza příčin možných poruch	16
3.4	Parametry průlomové vlny	17
4	Matematické řešení modelu	18
4.1	Proudění jednorozměrné, neustálené	18
4.2	Rovnice kontinuity	19
4.3	Věta o změně hybnosti	20
4.4	Formulace úlohy	25
4.5	Numerické řešení	26
5	Modelování proudění pod vodním dílem	27
5.1	Seznámení s použitými softwary	27
5.1.1	HEC-RAS	27
5.1.2	QGIS	27
5.2	Příprava dat	28
5.3	Modelování proudění	29
5.3.1	Varianta řešení ZPV	29
5.3.2	Popis území zasaženého ZPV	30

6	Závěr	32
7	Literatura a elektronické zdroje	33
8	Seznam zkratk a seznam veličin	35
8.1	Seznam zkratk	35
8.2	Seznam symbolů a veličin	35
9	Seznam tabulek	37
10	Seznam obrázků	38
11	Seznam příloh	39

1 ÚVOD

U jakýchkoliv stavebních konstrukcí nikdy nemůžeme předem garantovat, že v průběhu jejich provozu nedojde k poruše nebo jejich destrukci zapříčiněné vnějšími vlivy. Výjimkou nejsou ani vodní díla (dále jen „VD“) vyskytující se na vodních tocích v České republice i ve světě. Proto je vždy u všech vzdouvacích staveb hlavním úkolem jejich majitelů a provozovatelů snaha o zachování bezpečnosti a spolehlivosti dané konstrukce tak, aby bylo obyvatelstvo chráněno před účinky možné poruchy a jejími následky.

I když v celosvětovém měřítku lze pozorovat, že užitky a pozitiva z výstavby přehrad a ostatních vzdouvacích objektů převažují nad negativy a škodami způsobenými jejich poruchami, stále je otázka bezpečnosti vodních děl jedno z citlivých a velmi probíraných témat napříč společnostmi. Proto je vodohospodářský průmysl ze strany společnosti nucen k tomu, aby se rizika z existence přehrad a ostatních vzdouvacích objektů co nejvíce snižovala.

V praxi je známým faktem, že zvyšování bezpečnosti přehrad je ve většině případů možné, neobejde se ovšem bez značných finančních nákladů, které jsou k realizaci stavebních úprav a doprovodných opatření nutné.

Pokud nastane situace, při které se nepodaří zabránit porušení vodního díla, výsledkem protržení přehrady bývá tzv. „zvláštní povodeň“. Rozsah zvláštní povodně pod vodními díly vymezuje oblast ohroženého území.

2 POPIS ZÁJMOVÉHO ÚZEMÍ

Zájmová lokalita se rozkládá v Moravskoslezském kraji kolem řeky Ostravice a její začátek je situován do údolí pod VD Šance. To se nachází v okrese Frýdek-Místek jižně od obce Ostravice. Z nádrže pak vytéká stejnojmenná řeka, která protéká městem Frýdlant nad Ostravicí níže na toku. Řešené zájmové území podél toku končí ve Frýdku-Místku soutokem řek Morávky a Ostravice. Celková délka řešené oblasti cca 21 říčních kilometrů.



Obr. č. 1 Správní členění oblasti povodí Odry s vyznačením zájmové lokality [6]

2.1 Vodní dílo Šance

Údolní nádrž na řece Ostravici u železniční zastávky Šance byla vybudována v letech 1964 až 1969. Původní úvahy o potřebě ochrany obyvatelstva před povodněmi byly doplněny o záměr, podle kterého by přehrada zabezpečila i zásobení ostravského průmyslu a obyvatel pitnou vodou. Vodní dílo je umístěno v ř. km 45,770 vodního toku Ostravice. Jedná se o sypanou kamenitou hráz (ve své době nejvyšší v republice) se šikmým těsnícím jílovým jádrem o celkovém objemu 1 340 000 m³ [4].

Všeobecné údaje:

- | | |
|--|-----------------------------|
| ▪ Číslo hydrologického pořadí: | 2-03-01-015 |
| ▪ Kraj: | Moravskoslezský |
| ▪ Nadřízená obec s rozšířenou působností: | Frýdlant nad Ostravicí |
| ▪ Obec: | Staré Hamry |
| ▪ Vodohospodářské projednání vodního díla: | 18. až 19. 10. 1966 |
| ▪ Vydání vodního oprávnění: | 11. 05. 1966 |
| ▪ Zahájení výstavby: | 01. 04. 1964 |
| ▪ Ukončení výstavby: | 31. 12. 1971 |
| ▪ Uvedení díla do zkušebního provozu: | 01. 04. 1969 |
| ▪ Uvedení díla do trvalého provozu: | 01. 01. 1974 |
| ▪ Správce díla: | Povodí Odry, s. p. [2]; [4] |

2.1.1 Účel vodního díla

VD Šance je součástí víceúčelové vodohospodářské soustavy povodí Odry (dále jen „VHS PO“). Dle VHS PO plní vodní dílo tyto účely:

- dodává surovou vodu pro úpravu na vodu pitnou, která je přiváděna tlakovou štolou na úpravnu vody v Nové Vsi
- zajišťuje dodržení stanovených minimálních průtoků v řece Ostravici (pod VD Šance)
- nadlepšuje průtoky v profilech níže na tocích (zajištění odběrů pro průmysl)
- snižuje povodňové průtoky v toku pod hrází
- umožňuje účelový chov ryb v nádrži
- dodává vodu k energetickému využití v elektrárně umístěné v hrázi [2]

2.1.2 Kategorie vodního díla

Vodní díla v České republice jsou z hlediska bezpečnosti zařazována do čtyř kategorií s ohledem na vznik možných škod, které mohou způsobit porušení stability a na základě

toho snížení bezpečnosti příslušného vodního díla doprovázené vznikem povodňové vlny zvláštní povodně. Stanovení kritérií a postupů pro zařazení vodních děl do kategorií podléhá speciálnímu právnímu předpisu, kterým je vyhláška Ministerstva zemědělství č. 471/2001 Sb. o technickobezpečnostním dohledu nad vodními díly [8]. VD Šance patří dle ustanovení § 4 vyhlášky č. 471/2001 Sb., o technickobezpečnostním dohledu nad vodními díly, ve znění pozdějších předpisů, do I. kategorie [1].

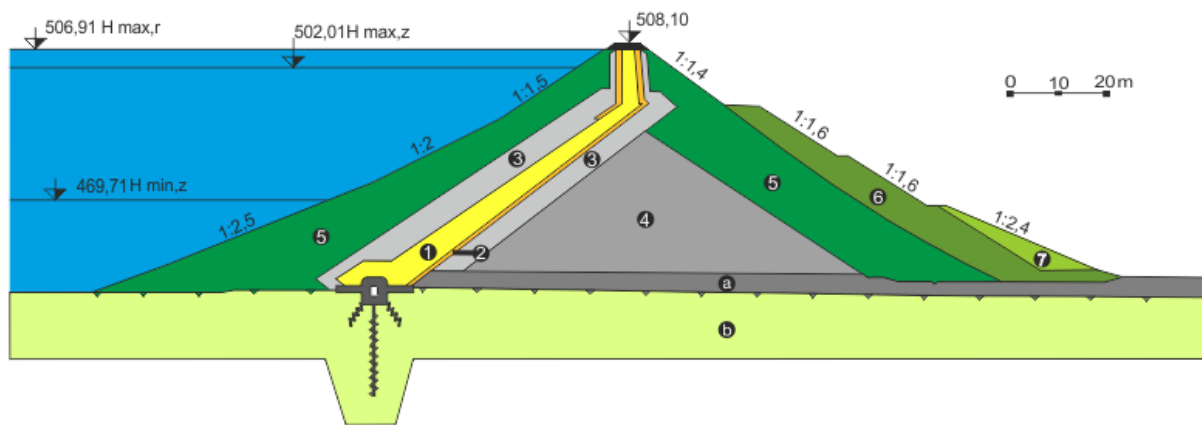
Tab. č. 1 Požadovaná míra bezpečnosti vodních děl při povodni [10]

Skupina vodních děl	Označení výše škody	Kategorie vodního díla [6]	Hodnotící hlediska	Požadovaná míra bezpečnosti vodního díla	
				$P = 1/N$	N
A	Velmi vysoké	I. – II.	Očekávají se značné ztráty na lidských životech	0,0001	10 000
		II.	Ztráty na lidských životech jsou nepravděpodobné	0,0005	2 000
B	Vysoké	III. – IV.	Očekávají se ztráty na jednotlivých lidských životech	0,001	1000
			Ztráty na lidských životech jsou nepravděpodobné	0,005	200
C	Nízké	IV.	Škody pod vodním dílem a ztráty z užitku	0,01	100
			Ztráty jsou jen u vlastníka, ostatní škody jsou nevýznamné	0,02 až 0,05	50 až 20

2.1.3 Těleso hráze

Hráz přehradního tělesa je sypaná, kamenitá se šikmým středním hlinitým těsněním napojeným na injekční chodbu. Na těsnící jádro navazuje z obou stran jednovrstvý filtr. Na ten pak navazuje vrstva tvořená směsí hlinito-kamenitých sutí. Střední část dále tvoří hlinito-kamenité sutě s prokládáním kamenem. Krycí vrstvy jak v návodní, tak i na vzdušní

straně stabilizační části tvoří kámen dusaný deskou. Podloží je těsněno jednořadou injekční clonou do hloubky 20 až 113 m [2].



Obr. č. 2 Příčný řez hrází [4]

1. Zemní těsnicí jádro
 2. Pískový filtr
 3. Hlinito-kamenité sutě
 4. Hlinito-kamenité sutě prokládané kamenem
 5. Hrubozrnný lomový kámen (rockfill)
 6. Rockfill – přísyp
 7. Přísyp kamenitého charakteru
 - a. Údolní štěrky
 - b. Skalní podloží
- H max,r – maximální hladina retenční
H max,z – maximální hladina zásobní
H min,z – hladina stálého nadržení [4]

Injekční základová chodba světlosti 2,50 x 3,50 m, délky 373,10 m je napojena na levém břehu na průzkumnou štolu délky 90 m. V nejhlubším místě údolí je vybudována odvodňovací chodba o délce 163,75 m, na kterou pod hrází navazuje odvodňovací potrubí se zaústěním do řečiště pod hrází [2].

Za účelem omezení přítoku vody do prostoru na vzdušné straně levobřežní větve injekční chodby je v prostoru hráze na levém údolní svahu vybudována drenážní štola. Celková délka ražené části trasy štoly je 139 m. Její podélný sklon činí 1 %. Příčný profil je tvaru podkovy s šířkou v úrovni podlahy 2,22 m, maximální šířky 2,60 m a výšky 2,70 m. Na štolu navazuje svislá drenážní šachta kruhového profilu se světlem průměrem 2,20 m výšky 27,06 m. Nad korunou šachty je situován technologicky nutný rozšířený prostor délky 6 m. Ten je propojen s průzkumnou, přístupovou štolou délky 20,55 m [1].

Koruna hráze má šířku 6 m, na návodní straně je železobetonový vlnolam výšky cca 0,80 m s horním lícem na úrovni 508,92 až 509,22 m n. m. Po koruně hráze vede účelová komunikace, která umožňuje správci VD přístup z pravého břehu, kde se nachází provozní středisko, na levý břeh k státní silnici I/56 [1].



Obr. č. 3 Přehrada Šance [7]

2.1.4 Nádrž

Voda v nádrži zaplavuje vlastní údolí řeky Ostravice v délce 7,60 km, údolí pravostranného přítoku Řečice v délce 2,20 km a levostranného přítoku Velkého potoka v délce cca 1,25 km. Největší šířka zátopy je přibližně 750 m [2].

V prostoru nádrže se vyskytují dvě svážná území, a to pravý břeh v údolí Řečice a levý břeh v údolí Ostravice v prostoru staveništního kamenolomu. Obě svážná území jsou dlouhodobě sledována [2]. Rozdělení prostorů v nádrži dokládají následující tabulky.

Tab. č. 2 Rozdělení prostorů v nádrži – letní období (květen až říjen) [1]

Prostor	Kóta [m n. m.]	Zatopená plocha [mil. m ²]	Objem [mil. m ³]
Stálé nadržení	444,61 – 469,71	0,000 – 0,364	0,000 – 2,128
Zásobní prostor	469,71 – 501,61	0,364 – 2,506	2,128 – 41,626
Retenční ovladatelný	501,61 – 504,20	2,506 – 2,772	41,626 – 48,457
Retenční neovladatelný	504,20 – 507,91	2,772 – 3,173	48,457 – 59,480

Tab. č. 3 Rozdělení prostorů v nádrži – zimní období (listopad až duben) [1]

Prostor	Kóta [m n. m.]	Zatopená plocha [mil. m ²]	Objem [mil. m ³]
Stálé nadržení	444,61 – 469,71	0,000 – 0,364	0,000 – 2,128
Zásobní prostor	469,71 – 502,01	0,364 – 2,546	2,128 – 41,637
Retenční ovladatelný	502,01 – 504,20	2,506 – 2,772	41,637 – 48,457
Retenční neovladatelný	504,20 – 507,91	2,772 – 3,173	48,457 – 59,480

2.1.5 Objekty na vodním díle

Na VD Šance byly v letech 2015 až 2018 v rámci stavby „VD Šance – převedení extrémních povodní“ provedeny rozsáhlé stavební úpravy. Ty zahrnovaly nové vybudování objektů bočního pravobřežního bezpečnostního přelivu, spadiště a skluzu. Původní objekty byly zcela odstraněny a nahrazeny. V místě původního bočního přelivu je vybudován nový boční přeliv s výškově členěnou úrovní přelivné hrany, která má nově dvě úrovně – 504,20 m n. m. délky 12,30 m a 505,90 m n. m. délky 36,30 m. Přes obě úrovně přelivné hrany voda přepadá do společného spadiště. Jeho šířka je cca 15,90 m, kóta dna spadiště při podélném sklonu 2 % se pohybuje od 499,98 až 500,88 m n. m. Celková délka spadiště je cca 48,70 m a celé je proti ose skluzu pootočeno o cca 20° směrem do nádrže [1].

V místě původního skluzu je vybudován skluz nový, který má obdobnou niveletu s podélnou osou otočenou o cca 3° vlevo a se šířkou ve dně 13 m. V horní části skluzu je zachována levobřežní zeď původního skluzu, u které byl mírně změněn příčný profil. V dolní části je pravá stěna a dno skluzu navázáno na stěnu strojovny spodních výpustí. Ve zbývajících úsecích je konstrukce skluzu zcela nově vybudována. Vzhledem k pootočení je oproti původnímu stavu horní část skluzu rozšířena vpravo a dolní část skluzu rozšířena vlevo. Skluz je ukončen odrazovým můstkem zaústěným do vývaru. Do vývaru jsou dále zaústěny dva rozstřikovací uzávěry a odpad z MVE od Francisovy a Bankiho turbíny [1].

Pravobřežní stěna vývaru společně s vyústěním savek MVE je zachována a sanována. Vývar je rozšířen směrem vlevo. Šířka vývaru ve dně je 16,30 až 20,20 m, délka 42,50 m a hloubka 3,50 m [1].

Na vývar navazuje asymetrické koryto s těžkým balvanitým opevněním délky 45 m, ukončené tlumící prohlubní. Vývar společně s drsným korytem a tlumící prohlubní zajišťuje tlumení kinetické energie vody do návrhového průtoku $Q = 120 \text{ m}^3/\text{s}$. Konstrukce vývaru a odpadního koryta zajistí utlumení energie i při vyšších průtocích až $Q = 390 \text{ m}^3/\text{s}$ protékajících skluzem a až $Q = 112 \text{ m}^3/\text{s}$ odvedených do odpadního koryta spodními výpustmi. Při těchto průtocích mohou na konstrukcích vznikat dílčí škody, nesmí však být ohrožena bezpečnost vodního díla jako celku [1].

Souhrn základních údajů:

▪ koruna přelivu	504,20 / 505,90 m n. m.
▪ délka přelivné hrany	12,30 / 36,30 m
▪ dno spadiště	499,98 až 500,88 m n. m.
▪ podélný sklon spadiště	2 %
▪ délka skluzu	207 m
▪ podélný sklon skluzu	27 a 45 %
▪ šířka skluzu ve dně	13 m
▪ dno závěru skluzu	449,13 m n. m.
▪ délka vývaru	42,50 m
▪ šířka vývaru ve dně	16,30 až 20,20 m
▪ práh vývaru	443,07 m n. m.
▪ dno vývaru	439,39 m n. m. [2]

Odběrná věž

Tento objekt tvoří odběrná věž „mokrého typu“, která se skládá z vodovodní a obtokové věže, na které navazuje vodovodní a obtoková štola spodních výpustí. Obě věže mají kruhový tvar o vnitřním průměru 4,10 m a síle stěny 0,80 m. Ve vodovodní věži jsou vybudovány tři etážové odběry a vtok do vodovodní štoly. V obtokové věži jsou pak provedeny další dva etážové odběry a vtok do obtokové štoly. Vtoky do obtokové štoly průměrů DN 3000 a vodovodní štoly DN 2200 jsou opatřeny rychlouzávěrnými stavidlovými tabulemi, které je možné spustit do plného průtoku. Nouzové uzavření umožňuje osazení hradidlové tabule, která je společná pro oba vtoky a spouští se pomocí jeřábu. Obě věže jsou spojeny společnou strojovnou [1].

Ovládání uzávěrů odběrných etáží na vodovodní věži, obtokové věži a stavidlových tabulí na vodovodní a obtokové štole je možné ze strojovny a z domku hrázného. Ovládání uzávěrů odběrných etáží na obtokové věži je možné pouze ze strojovny. Ve strojovně je dále umístěno zařízení pro rozmrazování ledu kolem věží a je instalován elektrický jeřáb o nosnosti 10 tun pro ovládání hradidlové tabule [1].

Přístup do odběrné věže umožňuje visutá lávka pro pěší. V rámci rekonstrukce bezpečnostního přelivu a spadiště byla lávka prodloužena o 14,80 m a překotvena do kotevního bloku v pravobřežní zdi nového spadiště. Prodloužená lávka má dvě pole délky 115,20 m a 72,40 m [1].

Štoly spodních výpustí

Štoly jsou dvě, obtoková a vodovodní a jsou napojeny na obtokovou a vodovodní věž. Jsou raženy v oblouku v pravém břehu. Osová vzdálenost u vtoku je 8,40 m, u výtoku 7,40 m. Obtoková štola délky 301,0 m má světlost DN 3000, vodovodní štola délky 327,0 m potom DN 2200. Obě štoly se ve výtokové části zužují. V prvním případě z DN 3000 na DN 2000 a ve druhém případě z DN 2200 na DN 1600. Výtoky jsou na délku 53 m opancéřovány [1].

Výtokový objekt

Výtokový objekt je situován u vzdušné paty hráze. Ve výtokovém objektu je umístěno vyústění obou štol spodních výpustí včetně koncových regulačních uzávěrů, manipulační uzávěry a dvě soustrojí MVE (označení HC1 a HC2). Jako koncový regulační uzávěr je na obtokové i vodovodní štole instalován rozstřikovací uzávěr. V prvním případě má dimenzi DN 2000 a ve druhém DN 1600. Na vodovodní štole je odbočka DN 1000, která standardně zajišťuje odběr vody pro úpravnu v Nové Vsi. V určitých nouzových případech lze vodovodní odběr zajistit z odbočky z obtokové štoly světlosti DN 800 vzájemným propojením s odbočkou z vodovodní štoly. Tato odbočka z obtokové štoly umožňuje energetické využívání průtoku, odtékajícího do řečiště [1].

Malá vodní elektrárna

Turbíny soustrojí HC1 a HC2 jsou umístěny ve výtokovém objektu a jsou na sobě nezávislé. HC1 tvoří horizontální turbína typu Francis F25. Ta má maximální hltnost 2,14 m³/s. K ní připojený asynchronní generátor má maximální výkon 810 kW. Druhé instalované soustrojí HC2 je turbína typu Banki, která má hltnost v rozsahu od 0,150 m³/s do 0,650 m³/s. Ta je opět připojena k asynchronnímu generátoru, tentokrát o maximálním výkonu 220 kW [1].

V případě výpadku kteréhokoliv soustrojí je zajištěno vypouštění asanačního průtoku do toku automatickým otevřením kalníku na obtokové nebo na vodovodní štole [1].

2.1.6 Geologické poměry

Skalní podklad tvoří flyšové souvrství glaukonitických pískovců a jílovitých břidlic. Pokryvné útvary pak v údolní nivě tvoří říční sedimenty mocnosti 2 až 6 m. Ve svrchní části je to hlinitá vrstva mocnosti průměrně 1 m, pod ní se nachází říční silně zahliněný štěrkopísek stejné průměrné mocnosti. Konečnou vrstvou říčních sedimentů je velmi slabě zahliněný štěrkopísek ve vrstvě silné průměrně 2,50 m. Pokryvné útvary na údolních svazích tvoří hlinito-kamenité sutě a suťové hlíny v celkové mocnosti 2,50 až 5 m [3].

Sesuv Řečice

Již v době výstavby VD Šance na přelomu 60. a 70. let 20. století bylo známé sesuvné území v údolí toku Řečice. Předpoklad možnosti sesuvu byl ověřen inženýrskogeologickým průzkumem. Potvrdilo se, že jižní svah hory Čupel, který tvoří pravý břeh VD Šance v údolí Řečice byl v minulosti porušen rozsáhlým sesuvem. Dle lokalizace dostal i své jméno [3].

Na základě výsledků inženýrskogeologického průzkumu sesuvu Řečice a posouzení vlivu vzduší vody v nádrži na jeho stabilitu byla odvozena prognóza vysoké pravděpodobnosti oživení svahového pohybu po naplnění přehradní nádrže. Tato prognóza se potvrdila v letech zkušebního provozu 1970–1972 [3]. Porušení VD Šance v důsledku sesuvu Řečice není předmětem řešení této bakalářské práce.

2.2 Řeka Ostravice

Řeka Ostravice vzniká soutokem Bílé a Černé Ostravice, přičemž hydrologicky se za pramennou řeku považuje první jmenovaná. Bílá Ostravice pramení v lokalitě Bílá – Hlavatá na moravsko-slovenském pomezí přibližně v nadmořské výšce 720 m n. m. Odtud odtéká severovýchodním směrem a po 9,70 km se stéká s Černou Ostravicí, která do ní ústí z pravé strany. Za soutokem pod názvem Ostravice se její trasa láme a obrací směrem k severu. Po přibližně 54 km ústí do řeky Odry. Toto ústí se nachází v Ostravě. Z uvedené délky toku tvoří přibližně 6 km zátopy VD Šance umístěného na ř. km 45,770. Celý tok Ostravice od pramene až po ústí je ve správě státního podniku Povodí Odry [5].

Nad zátopy údolní nádrže Šance má tok vysloveně bystřinný charakter s podélným sklonem dna pohybujícím se řádově v procentech. Pod nádrží sklon klesá shora od 9 ‰ nad Frýdlantem nad Ostravicí po 1,5 ‰ u ústí do řeky Odry v Ostravě [5].

Před výstavbou přehrad v povodí Odry patřila Ostravice k průtokově nejrozkolísanějším tokům na území České republiky. Její vysoké kulminační průtoky spolu s vysokým podélným sklonem, jejichž kombinace znamená vysokou reliéfovou energii, byly příčinou katastrofálních průběhů hydrologických povodní. Přímo do koryta Ostravice ústí toky víceméně obdobného charakteru např. Morávka, Olešná a Lučina. Kromě těchto větších toků je do Ostravice zaústěna ještě řada dalších menších vodních toků. Příkladem může být Velký potok a Řečice ústící do zátopy vodního díla Šance, dále Smradlava, Frýdlantská Ondřejnice, Čeladenka, Bystrý potok, Baštica a Ostravická Datyňka. Všechny vyjmenované vodní toky mají plochu povodí větší než 10 km² [5].



Obr. č. 4 Detail mapy vodních toků s vyznačením řeky Ostravice [5]

Z větších sídel, která leží přímo na toku, můžeme jmenovat Frýdlant nad Ostravicí, Frýdek-Místek a pak také krajské město Ostrava, jejíž městskými částmi Hrabová, Vítkovice, Moravská Ostrava a Slezská Ostrava řeka Ostravice protéká [5].

2.2.1 Charakter vodního toku

Ostravice má charakter toku celkově odpovídající geomorfologickému uspořádání území a historickému vývoji osídlení a hospodářských poměrů. Odlišný ráz má však řeka nad a pod zátopou údolní nádrže Šance. Nad nádrží se jedná o divoký tok v poměrně sevřeném prostoru horského masivu Beskyd, kde ráz řeky většinou ovlivňují jen souběhy silnic a místních komunikací. Pod přehradou, kde se údolí začíná rozevírat a začíná osídlení houstnout, se jeho charakter mění. Tyto okolnosti vedly nutně k umělým regulačním zásahům do koryta řeky. Historicky Ostravice tvořila zemskou hranici mezi Moravou a Slezskem, na jejíž stabilitě byl dlouhodobý a oboustranný zájem. Zásahy do koryta řeky prodělaly určitý vývoj a souvisely všeobecně s potřebou zajistit jeho směrovou stabilitu. Bylo tomu nejen na Ostravici, ale stejně i u ostatních významnějších toků na beskydské straně povodí Odry. Ve starých archivech lze nalézt dokumenty a citace již od poloviny 16. století. Lokální stabilizace trasy byla předmětem zájmu měst, a to již před povodní v r. 1880, jejíž průběh byl v celém povodí Odry tehdy zvláště ničivý. Po ní se začíná projevovat zájem na stabilizaci divokého toku v širším kontextu a rozsahu. Promítneme-li postupný vývoj úprav koryta řeky až do dnešní doby, tak vlastní Ostravice je od ústí do řeky Odry až po přehradu Šance po celé své délce přibližně 46 km celkově upravena [5].

2.3 Hydrologická data

Aktuálními základními hydrologickými podklady dle ČSN 75 1400 [14] pro profil hráze VD Šance jsou údaje z podkladů od ČHMÚ zn. CHMI/571/1751/2018 z 16. 7. 2018.

- Plocha povodí po profil hráze (F): 146,61 km²
- Průměrný dlouhodobý roční průtok (Q_a): 3,27 m³/s (III. tř.)
- Průměrný roční specifický odtok (q_a): 22,30 l/s/km²
- Průměrný odtok za rok: 103,19 mil. m³
- Dlouhodobá roční výška srážek na povodí (HS_a): 1136 mm
- Předpokládané ztráty výparem: 605 mm [1]

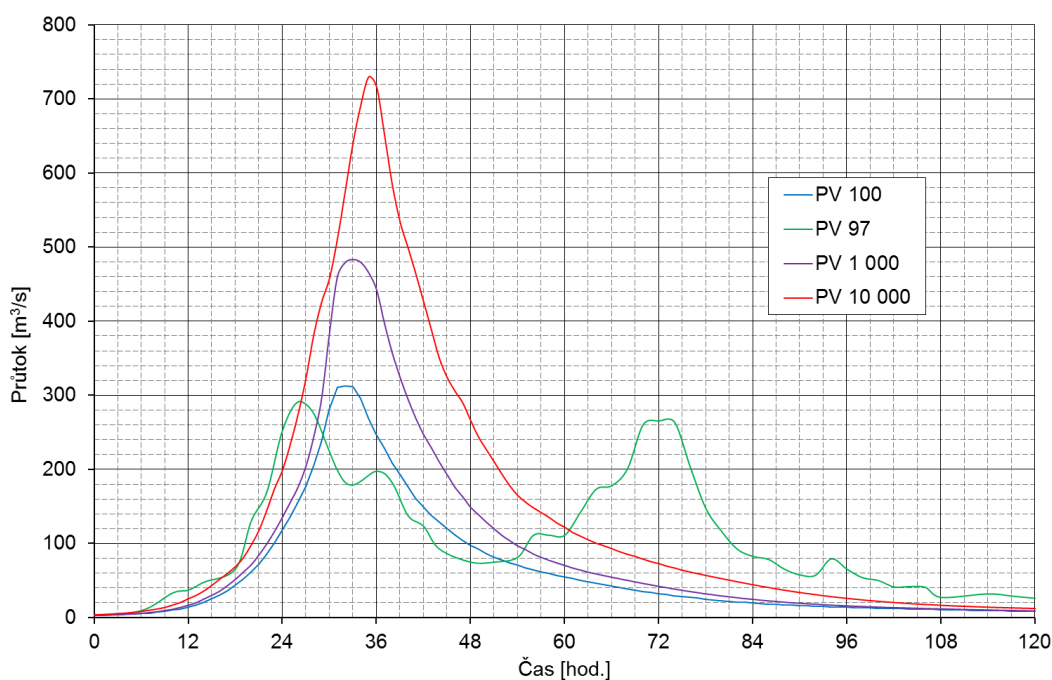
Tab. č. 4 *m*-denní průtoky (hydrologická řada 1981–2010) [1]

<i>m</i>	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	355	364
Q _{<i>m</i>} [m ³ /s]	8,68	4,99	3,28	2,39	1,71	1,23	0,912	0,696	0,579	0,486	0,401	0,300	0,238

Tab. č. 5 *N*-leté průtoky a objemy *N*-letých povodňových vln [1]

Doba opakování	1	2	5	10	20	50	100	1 000	10 000
Q _{<i>N</i>} [m ³ /s]	52,8	84,9	132	170	211	267	313	483	730
W _{PVN} [mil. m ³]	5,99	8,96	12,7	15,7	19,0	22,5	26,2	38,2	60,2

Podmíněná pravděpodobnost překročení objem PV₁₀₀₀₀ je 0,4.



Obr. č. 5 Hydrogramy teoretických *N*-letých povodňových vln a hydrogram PV₉₇ [1]

3 ANALÝZA ZPŮSOBŮ PORUŠENÍ HRÁZE A PARAMETRY PRŮLOMOVÉ VLNY

3.1 Definice zvláštní povodně

Zvláštní povodni se nazývá taková povodeň, která je způsobená poruchou či havárií vodního díla vzdouvajícího nebo akumulujícího vodu nebo nouzovým řešením kritické situace na vodním díle vyvolávající vznik mimořádné události na území pod vodním dílem. Rozeznávají se tři základní typy zvláštních povodní podle charakteru situace, která může nastat při stavbě nebo provozu vodního díla [9]:

- ZPV typu 1 – vzniká protržením hráze vodního díla
- ZPV typu 2 – vzniká poruchou hradicí konstrukce bezpečnostních a výpustných zařízení vodního díla (neřízený odtok vody)
- ZPV typu 3 – vzniká nouzovým řešením kritické situace ohrožující bezpečnost vodního díla prostřednictvím nezbytného mimořádného vypouštění vody z vodního díla, zejména při nebezpečí havárie uzávěrů a hrazení bezpečnostních a výpustných zařízení nebo při nebezpečí protržení hráze vodního díla

Zvláštní povodeň může vzniknout i jako důsledek teroristické a nebo vojenské činnosti [9].

3.2 Definice průlomové vlny a ohroženého území

Průlomová vlna při zvláštní povodni vyvolává prudké zvýšení průtoků a vodních stavů a je charakteristická vysokou rychlostí (až 50 km/h), značnými destrukčními účinky (ničení mostů, železnic, cest, budov, ochranných hrází), extrémními průtoky, ohrožením rozsáhlých území, která výrazně přesahují vymezená záplavová území při přirozených povodních a vysokou pravděpodobností ohrožení lidských životů a majetku v zasaženém území. Graficky se vyjadřuje v podobě hydrogramu ve vybraném profilu vodního toku [9].

Území ohrožené zvláštní povodni může být při vzniku zvláštní povodně zaplaveno vodou. Vymezuje se kulminační hladinou při zvláštní povodni a ve směru po toku končí v profilu, kde kulminační průtok zvláštní povodně poklesne na hodnotu průtoku přirozené povodně s dobou opakování 100 let (Q_{100}), který vymezuje záplavové území. Na úseku toku pod tímto územím se postupuje podle územně příslušného povodňového plánu. Jejich rozsah se vymezení v krizovém plánu v souladu s krizovým zákonem [11]; [9].

3.3 Analýza příčin možných poruch

Pro rámcovou představu, jaké nejčastější poruchy se na sypaných hrázích vyskytují, poslouží statistika americké studie dle Middlebrooka [12], která uvádí stručnou historii zemních sypaných a kamenitých hrází postavených na území USA a také uvádí příčiny jejich poškození. Jde celkově o 220 hrází, které mezi léty 1850–1950 vykazovaly prvky poškození.

Tab. č. 6 Příčina poruch sypaných hrází v USA (1850–1950) [12]

Příčina porušení	Zdroj porušení	Procento
Přelití	Povodeň	30 %
Vnitřní eroze	Průsak	25 %
Netěsnost potrubních výpustí	Vnitřní eroze	13 %
Úprava (dláždění) svahu	Piping	5 %
Sesuv	Různé	15 %
Různá		7 %
Neznámá		5 %

Tab. č. 7 Stáří hrází v době poruchy [12]

Počet roků od výstavby hráze	Příčina poruchy (%)				Celkem (%)
	Přelití	Netěsnost potrubních výpustí	Vnitřní eroze	Sesuv	
0–1	9	23	16	29	19 %
1–5	17	50	34	24	31 %
5–10	9	9	13	12	11 %
10–20	30	9	13	12	16 %
20–50	32	9	24	23	22 %
50–100	3	0	0	0	1 %

Pro VD Šance na řece Ostravici bylo vytipováno několik, více nebo méně pravděpodobných scénářů, jejichž výsledkem by byla zvláštní povodeň jednoho ze tří jmenovaných typů ZPV 1, 2, nebo 3. Řešený model je jednou z variant ZPV 1.

Rozdělení možných narušení tělesa hráze (ZPV 1):

- Vnější eroze hráze při jejím přelití v důsledku hydrologické povodně
- Průsaková eroze hráze a podloží
- Porucha stability hráze, deformační plochy, následky zemětřesení
- Eroze hráze při jejím přelití v důsledku sesuvu do nádrže [3]

3.4 Parametry průlomové vlny

V dokumentu „VD Šance – Parametry zvláštních povodní“ [3] jsou podrobně rozpracována variantní řešení všech typů zvláštních povodní. Pro ZPV 1 zde bylo uvedeno, že nejpravděpodobnějším scénářem z výše jmenovaných typů poruch je průsaková (vnitřní) eroze hráze. Z pěti variant porušení hrázového tělesa vnitřní erozí byla pro tento model vybrána nejextrémnější situace, kdy dochází k narušení hráze vnitřní erozí při průchodu katastrofální povodně. Místem vzniku vnitřní eroze s největší kulminační vlnou ZPV se dle dokumentu jeví přechod šikmého jádra do jeho svislé části v okolí kóty 493,60 m n. m.

Výchozí podmínky a předpoklady pro výpočet hydrogramu ZPV:

- Typ poruchy: vnitřní eroze
- Počáteční kóta průsakového kanálu: 493,60 m n. m.
- Počáteční hladina v nádrži: 507,83 m n. m. (čas $T = 0$)
- Počáteční přítok do nádrže: 509 m³/s (hladina v nádrži 507,83 m n. m., dále dle hydrogramu PV_{10 000}) [3]

Parametry kontrolní povodňové vlny:

- Kulminační průtok $Q_{10\,000}$ 730 m³/s
- Celkový objem vlny: 60,2 mil. m³ [2]

Výsledný hydrogram ZPV [3] (převzatá grafická příloha) vyvolané výše uvedenou poruchou a konečnou velikost otvoru v tělese hráze, který se při uvedené havárii vytvoří, lze charakterizovat těmito hodnotami (Tvar hydrogramu dle grafické přílohy č. 2).

Tab. č. 8 Parametry hydrogramu výsledné ZPV a konečná velikost otvoru [3]

Doba vzestupné větve ZPV	Kulminační průtok	Objem odtoku vody do konce simulace	Šířka otvoru v koruně na konci simulace	Šířka otvoru ve dně na konci simulace	Kóta dna otvoru na konci simulace
[min]	[m ³ /s]	[mil. m ³]	[m]	[m]	[m n. m.]
19,4	39 762	60,13	177,5	19,5	451,50

Tato varianta měla za úkol prověřit vliv počáteční hladiny a přítoku do nádrže na výsledný průběh poruchy a tvar hydrogramu ZPV. Zvoleny byly takové počáteční předpoklady, které představují pro vodní dílo extrémní zatěžovací stav, jaký by nastal pouze při průchodu povodňové vlny s pravděpodobnou dobou opakování $N = 10\,000$ let. Současně byl počátek vytvoření poruchy umístěn do místa zalomení těsnícího jádra, kde se nachází oblast vytypovaná jako nejpravděpodobněji možné místo poruchy dle výsledků šetření TBD [3].

4 MATEMATICKÉ ŘEŠENÍ MODELU

4.1 Proudění jednorozměrné, neustálené

Základní předpoklady pro modelování proudění vody v 1D:

- proudění v korytě se modeluje jako jednorozměrné (tzn. vektor rychlosti je nahrazen průřezovou rychlostí $v(x, t)$);
- voda jako proudící medium je nestlačitelná ($\rho(p, T) = \rho = \text{konstantní}$);
- podélný sklon dna koryta je malý \rightarrow předpokládá se, že proudění v korytě je téměř horizontální;
- délka vlny za neustáleného proudění je řádově vyšší než hloubka vody (proudnice jsou téměř rovnoběžné se dnem) \rightarrow tato podmínka vylučuje vznik významné složky zrychlení ve vertikální rovině;
- předpokládá se hydrostatické rozdělení tlaku po svislici;
- odporový člen pro neustálené proudění lze aproximovat Chézyho vztahem [13].

I když v tomto případě s jistotou není možné označit podélný sklon koryta za malý a nelze tedy s dostatečnou přesností aproximovat:

$$\sin \alpha = \tan \alpha,$$

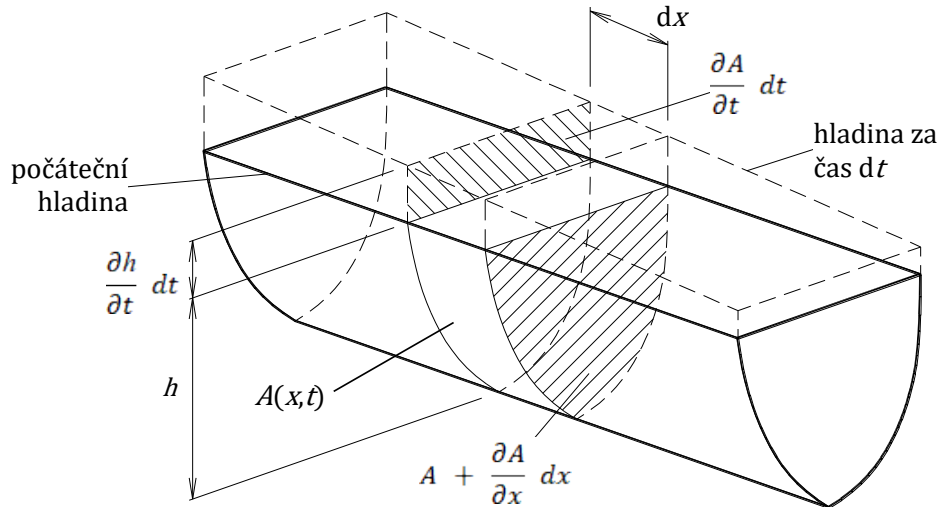
v současnosti nelze zvolit vhodnější přístup. Pokud se ale na problém díváme z praktického hlediska. Výsledky dosažené tímto postupem jsou dostatečně přesné.

Elementární rovnice pro proudění vody ve vodních tocích se odvozují s využitím věty o změně hybnosti a zákona zachování hmotnosti [13].

Neznámé funkce pak jsou:

- $A(x, t)$ průtočná plocha;
- $Q(x, t)$ průtočné množství;
- $v(x, t)$ průřezová rychlost;
- $h(x, t)$ hloubka vody (svislá vzdálenost od nejnižšího dna k hladině);
- $i(x, t)$ sklon čáry energie.

4.2 Rovnice kontinuity



Obr. č. 6 Kontinuita neustáleného proudu - 1D [13]

Rovnice kontinuity pro 1D nestacionární model proudění je diskrétním vyjádřením zákona zachování hmotnosti [13].

Změna za jednotku času $\frac{\partial m(x,t)}{\partial t}$ hmotnosti $m(x,t)$:

$$m(x,t) = \rho A(x,t) dx \quad (4.1)$$

obsažena v infinitesimálním objemu: $A(x,t) dx$ je rovna rozdílu hmotnosti m_p přítoku Q_p a hmotnosti m_o odtoku Q_o :

$$\frac{\partial m(x,t)}{\partial t} = m_p(x,t) - m_o(x,t) \quad (4.2)$$

a pomocí vztahu (7.1) se obdrží změna hmotnosti v čase:

$$\frac{\partial m(x,t)}{\partial t} = \rho \frac{\partial A(x,t)}{\partial t} dx. \quad (4.3)$$

Hmotnost m_p přítoku Q_p je:

$$m_p(x,t) = \rho A(x,t) v(x,t), \quad (4.4)$$

kde $v(x,t)$ je střední průřezová rychlost. Hmotnost m_o odtoku Q_o je:

$$m_o(x,t) = \rho A(x,t) v(x,t) + \rho \frac{\partial(A(x,t) v(x,t))}{\partial x} dx. \quad (4.5)$$

Po dosazení z rovnic (4.3), (4.4) a (4.5) do rovnice (4.2) dostaneme:

$$\rho \frac{\partial A}{\partial t} dx = \rho Av - \left(\rho Av + \rho \frac{\partial(Av)}{\partial x} dx \right) \quad (4.6)$$

a po úpravě:

$$\frac{\partial A}{\partial t} = - \frac{\partial(A v)}{\partial x}, \text{ resp. } \frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial(A v)}{\partial x} = 0. \quad (4.7)$$

Zavedením:

$$Q(x, t) = A(x, t)v(x, t)$$

má rovnice (4.2), která je diskrétním vyjádřením zákona zachování hmotnosti (neuvažujeme boční přítoky, srážky, výpar, infiltraci apod.) v případě 1D modelu proudění tvar:

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0, \quad (4.8)$$

kde $A(x, t)$ označuje průtočný průřez a $Q(x, t)$ průtočné množství. V případě obdélníkového průřezu s proměnnou šířkou $B(x)$ platí:

$$A(x, t) = B(x) h(x, t), \quad (4.9)$$

kde $h(x, t)$ je hloubka vody (svislá vzdálenost od nejnižšího dna k hladině). Rovnice (4.8) nabude tvaru:

$$B \frac{\partial h}{\partial t} + B h \frac{\partial v}{\partial x} + v h \frac{\partial B}{\partial x} + v B \frac{\partial h}{\partial x} = 0, \quad (4.10)$$

kde $h(x, t)$ je hloubka vody a $v(x, t)$ je střední průřezová rychlost. Pro $B = \text{konstantní}$ platí:

$$\frac{\partial h}{\partial t} + h \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial h}{\partial x} = 0.$$

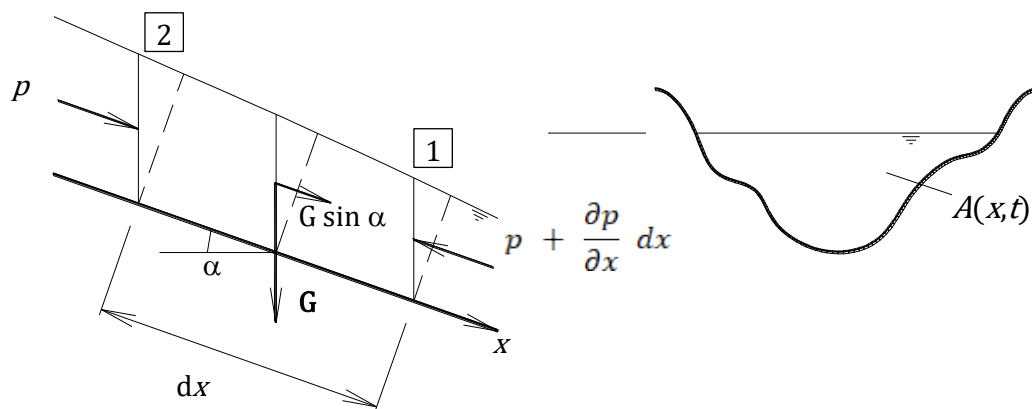
Pro $Q(x, t) = Q = \text{konstantní}$ má rovnice kontinuity tvar:

$$\frac{\partial Q}{\partial x} = 0. \quad (4.11)$$

4.3 Věta o změně hybnosti

Rovnice hybnosti 1D modelu proudění se odvodí ze zákona zachování hybnosti. Impuls I [m.kg/s] síly působící na těleso vyvolá změnu dH jeho hybnosti H [m.kg/s]. Hybnost H je vektor, který je definován součinem hmotnosti tělesa m [kg] a vektoru rychlosti v [m/s]:

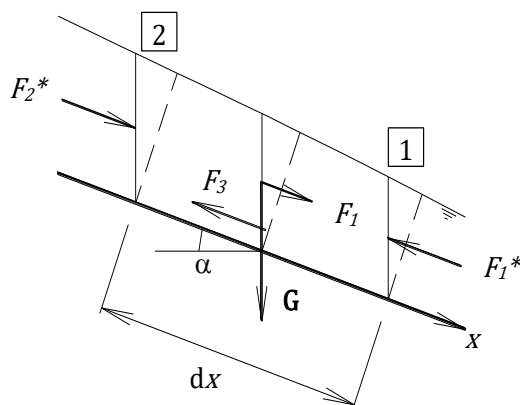
$$I = m \frac{Dv}{Dt}. \quad (4.12)$$



Obr. č. 7 Příčný a podélný řez korytem [13]

Na těleso kapaliny o infinitesimálním objemu $A dx$ působí následující síly:

- F_1 ... složka síly tíže vody mezi profily 1 a 2 (vzdálenost mezi profily se rovná dx) ve směru osy x ,
- F_2 ... výslednice hydrostatického tlaku v profilech 1 a 2 ($F_2 = -F_1^* + F_2^*$),
- F_3 ... výslednice třecích smykových napětí působících na stěnách a dnu koryta mezi profily 1 a 2.



Obr. č. 8 Výsledné síly působící na těleso kapaliny [13]

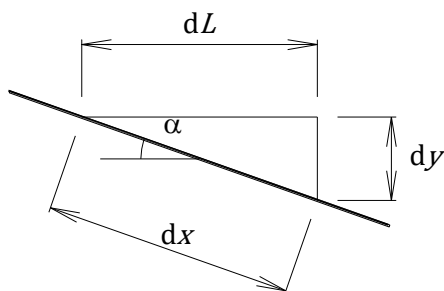
Tíha prvku:

Pro malé sklony dna lze nahradit délku proudu průmětem do vodorovné roviny, a tedy nahradit $\sin \alpha$ dna $\operatorname{tg} \alpha$ (Obr. č. 9):

$$\sin \alpha = \frac{dy}{dx'}$$

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{dy}{dL'}$$

$$\sin \alpha \approx \operatorname{tg} \alpha \text{ (pro malé úhly } \alpha \text{) [13].}$$



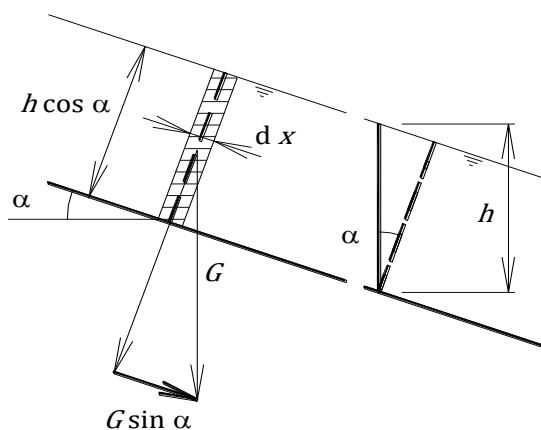
Obr. č. 9 Sklon dna [13]

Pro sklon dna 1:10 (asi 6°) je $\sin 6 = 0,105$, $\text{tg } 6 = 0,105$ (s přesností 3 cifer za desetinou čárkou).

Nebo lze pro malé sklony dna průřezy nahradit svislými řezy (Obr. č. 10):

$$\cos \alpha \approx 1.$$

Pro sklon dna 1:10 je $\cos 6^\circ = 0,995$.



Obr. č. 10 Tíha prvku [13]

Tíha G prvku o infinitesimálním objemu $A dx$ je:

$$G = \rho g A dx. \quad (4.13)$$

Jeho složka F_1 ve směru proudění (rovnoběžná se dnem koryta) je:

$$F_1 = G \sin \alpha \approx G \text{tg } \alpha = -G \frac{dy}{dx}. \quad (4.14)$$

Definováním průměrného sklonu dna mezi profily 1 a 2:

$$-\frac{dy}{dx} = J_D$$

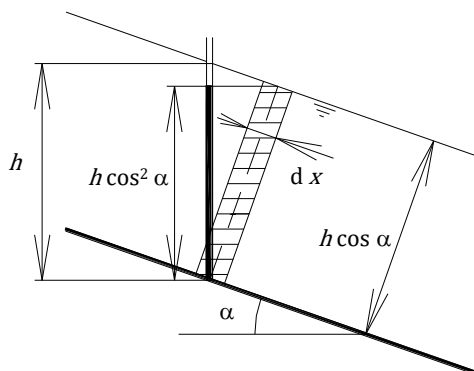
a dosazením za G z (4.13) do (4.14) se obdrží:

$$F_1 = \rho g A J_D dx. \quad (4.15)$$

Tlak vody na prvek (vstupní a výstupní řez):

Předpoklad rozdělení hydrostatického tlaku je platný pro:

- paralelní proudění nebo pro proudění, kde lze s dostatečnou přesností zanedbat zakřivení hladiny.
- sklon dna max. 1:10. Kosinus α pro sklon 1:10 (přibližně 6°) je roven přibližně 0,995. Proto, pro koryta o sklonu menším než 1:10, lze korekční součinitel pro hloubku vody (pro svislý řez) s dostatečnou přesností položit roven 1 [13].



Obr. č. 11 Vstupní a výstupní řez [13]

Obecně je výslednice síly tlaku dána integrálem:

$$F = \iint_A p \, dA. \quad (4.16)$$

V 1D modelu je stejně jako ostatní veličiny $p(x, t)$ funkcí jediné prostorové proměnné x a času t . Výslednice síly hydrostatického tlaku je proto dána vztahem:

$$F = \iint_A p \, dA = p \iint_A dA = p A. \quad (4.17)$$

Platí:

$$F_2 = p A - \left(p + \frac{\partial p}{\partial x} dx \right) A = \frac{\partial p}{\partial x} A dx. \quad (4.18)$$

Vyjádří-li se tlak p jako funkce hloubky $h(x, t)$ (stavová rovnice vážící mezi sebou stavové veličiny p a h) pak:

$$p = \rho g h(x, t).$$

Odtud plyne, že:

$$\frac{\partial p}{\partial x} = \rho g \frac{\partial h}{\partial x}$$

a tedy:

$$F_2 = -\rho g A \frac{\partial h}{\partial x} dx. \quad (4.19)$$

Síly tření:

Proti směru proudu působí na uvažovaný prostorový prvek kapaliny síly tření. Výslednice třecího, smykového napětí τ , která brzdí pohyb, je dána vztahem:

$$\begin{aligned} F_3 &= \tau O dx, & \text{kde } \tau &= -\rho g R J_E, \\ F_3 &= -\rho g A J_E dx, \end{aligned} \quad (4.20)$$

kde O je omočený obvod, R označuje hydraulický poloměr a J_E je sklon čáry energie E , jejíž úbytek:

$$dE = J_E dx$$

je dán disipací energie E třením τ .

Rovnice se zapíše ve tvaru:

$$\sum_{i=1}^3 F_i = m \frac{Dv}{Dt}. \quad (4.21)$$

Protože pro proudící, vodu je x funkcí času t : $x = x(t)$, platí pro Lagrangeovu úplnou (substanciální) derivaci:

$$\frac{Dv(x(t),t)}{Dt} = \frac{\partial v}{\partial t} + \frac{\partial v}{\partial x} \frac{dx}{dt} = \frac{\partial v}{\partial t} + v \frac{\partial v}{\partial x} \quad (4.22)$$

$$\text{kde } \frac{dx}{dt} = v.$$

Po dosazení (7.15), (7.19) a (7.20) do levé strany rovnice a vyjádření pravé strany pomocí rovnice (7.1) a (7.22) se obdrží:

$$\rho g A J_D dx - \rho g A \frac{\partial h}{\partial x} dx - \rho g A J_E dx = \rho A dx \left[\frac{\partial v}{\partial t} + v \frac{\partial v}{\partial x} \right]. \quad (4.23)$$

Formální úpravou se obdrží konečný tvar rovnice vyjadřující zákon zachování hybnosti v neznámých funkcích $A(x,t)$ a $Q(x,t)$:

$$\frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{Q}{A} \right) + \frac{Q}{A} \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{Q}{A} \right) + g \frac{\partial h}{\partial x} = g [J_D - J_E]. \quad (4.24)$$

Pro pomalu proměnný neustálený pohyb vody lze sklon čáry energie vyjádřit jako u ustáleného pohybu (pouze předpoklad, ale i přesto jsou výsledky pro technickou praxi dostatečně přesné) pomocí Chézyho vztahu:

$$J_E = \frac{v |v|}{C^2 R} \text{ resp. } J_E = \frac{Q |Q|}{K^2}, \quad (4.25)$$

kde C je Chézyho rychlostní součinitel [$\text{m}^{0.5}/\text{s}$], R je hydraulický poloměr [m] a K je modul průtoku [m^3/s]; [13].

Chézyho rychlostní součinitel je definován podle Manninga:

$$C = \frac{1}{n} R^{1/6}, \quad (4.25.1)$$

kde n je drsnostní součinitel dna a břehů. Modul průtoku definujeme jako:

$$K = A C \sqrt{R}. \quad (4.25.2)$$

Výpočet průměrného sklonu čáry energie – ztráty třením se vyjadřují z Chézyho rovnice pro průměrný průřez úseku (indexy 1 a 2 značí číslo profilu):

$$J_{Ep} = \left(\frac{Q_1 + Q_2}{K_1 + K_2} \right)^2, \quad (4.25.3)$$

$$J_{Ep} = \frac{J_{E1} + J_{E2}}{2}, J_{Ei} = \frac{Q_i |Q_i|}{K_i^2}, \quad (4.25.4)$$

$$J_E = \frac{Q_p |Q_p|}{A_p^2 C_p^2 R_p}, Q_p = \frac{Q_1 + Q_2}{2}, A_p = \frac{A_1 + A_2}{2}, C_p = \frac{C_1 + C_2}{2}, R_p = \frac{R_1 + R_2}{2}, \quad (4.25.5)$$

$$J_{Ep} = \sqrt{J_{E1} J_{E2}}, J_{Ei} = \frac{Q_i |Q_i|}{K_i^2}, \quad (4.25.6)$$

$$J_{Ep} = \frac{2 J_{E1} J_{E2}}{J_{E1} + J_{E2}}, J_{Ei} = \frac{Q_i |Q_i|}{K_i^2}. \quad (4.25.7)$$

Úloha může být formulována také v neznámých funkcích $A(x, t)$ a $Q(x, t)$:

$$\frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{Q}{A} \right) + \frac{Q}{A} \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{Q}{A} \right) + g \frac{\partial h}{\partial x} = g \left[J_D - \frac{Q|Q|}{K^2} \right], \quad (4.26)$$

kde h značí hloubku vody v profilu – platí jednoznačný vztah mezi hloubkou vody v profilu a průtočnou plochou [13].

4.4 Formulace úlohy

Úlohu jednorozměrného neustáleného proudění vody v 1D lze matematicky popsat soustavou dvou parciálních diferenciálních rovnic prvního řádu – rovnicí kontinuity a pohybovou rovnicí. Úloha je formulována v neznámých funkcích $Q(x, t)$ a $A(x, t)$:

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0, \quad (4.27)$$

$$\frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{Q}{A} \right) + \frac{Q}{A} \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{Q}{A} \right) + g \frac{\partial h}{\partial x} = g \left[J_D - \frac{Q|Q|}{K^2} \right]. \quad (4.28)$$

Tyto rovnice se nazývají jako tzv. Saint Venantovy rovnice [13].

Příslušné počáteční podmínky jsou:

$$Q(x, t_0) = Q_0(x), \quad (4.29)$$

$$A(x, t_0) = A_0(x), \quad (4.30)$$

kde v rovnicích (4.29) a (4.30) jsou $Q_0(x)$ a $A_0(x)$ známé zadané funkce prostorové proměnné x , které charakterizují stav v čase $t_0 = 0$ (např. řešení z ustáleného nerovnoměrného pohybu).

Okrajové podmínky mají tvar:

$$Q(x_0, t) = \overline{Q_0}(t), \quad (4.31)$$

$$A(x_L, t) = \overline{A_L}(t), \quad A = f(h), \quad (4.32)$$

a jedná se o předepsané časové průběhy průtoku a plochy v levém krajním bodě $x = x_0 = 0$, resp. pravém krajním bodě $x = x_L = L$.

4.5 Numerické řešení

Pro řešení soustavy rovnic (4.27) a (4.28) s příslušnými počátečními a okrajovými podmínkami obvykle v praxi používáme metodu konečných diferencí [13].

5 MODELOVÁNÍ PROUDĚNÍ POD VODNÍM DÍLEM

5.1 Seznámení s použitými softwary

Pro stanovení území ohroženého zvláštní povodní byly použity různé softwarové prostředky popsané v následujících kapitolách.

5.1.1 HEC-RAS

U. S. Army Corps of Engineers River Analysis System (HEC-RAS) je softwarový prostředek, který je navržen pro modelování 1D a 2D proudění o volné hladině v přirozených, či umělých korytech. Je možno v něm modelovat nerovnoměrné ustálené nebo neustálené proudění či pohyb splavenin. Do modelu je možno zahrnout i veškeré objekty jako jsou mosty, propustky, jezy, spádové stupně, přehradní nádrže apod. HEC-RAS byl vyvinut institucí Hydrologic Engineering Center (HEC), která je jednou z divizí Institute for Water Resources (IWR), U. S. Army Corps of Engineers (USACE) [16].

S příchodem novějších verzí se program následně zdokonaloval a přidával nové funkce. Jedno z důležitých vylepšení je přidání prostředí RAS Mapper, které umožňuje práci s mapovými podklady, vytváření digitálního modelu terénu a prezentací výsledků ve formě animací. Současná verze HEC-RAS 5.0.7 byla použita pro výpočty a modelování v této bakalářské práci.

5.1.2 QGIS

QGIS je volně dostupný multiplatformní geografický informační systém (dále jen „GIS“). Program vznikl v květnu 2002 a byl zřízen jako projekt na SourceForge v červnu téhož roku. Jelikož je vydán pod licencí GPL (General Public Licence) uživatel má přístup ke zdrojovému kódu a může jej libovolně měnit. QGIS si klade za cíl být uživatelsky příjemný GIS, který poskytuje, pokud možno stejné funkce jako komerční placené programy tohoto typu (např. ArcGIS). Podporuje řadu rastrových i vektorových formátů s podporou vkládání pluginové architektury [17]. V této bakalářské práci byla pro práci s mapovými podklady použita aktuální verze programu QGIS 3.6.2. Noosa.

Jedním z pluginů rozšiřující možnosti a funkce QGISu je RiverGIS. Tento plugin slouží k vytváření HEC-RAS modelů proudění a lze jednoduše doinstalovat ke stávající verzi QGISu. HEC vyvinul skvělé rozšíření HEC-GeoRAS pro komerční ArcGIS. Toto rozšíření je sice volně dostupné, ale náklady na licenci ArcGIS jsou vysoké a pro širokou veřejnost je z toho důvodu ArcGIS téměř nedostupný. Naproti RiverGIS je vydán stejně jako QGIS pod licencí, GPL což znamená, že přenáší funkce HEC-GeoRASu i mezi volně dostupné programové prostředky [18].

5.2 Příprava dat

Před zahájením modelování bylo nutné ze získaných podkladů extrahovat potřebná data. Geodetické zaměření Ostravice [15] bylo dodáno ve formátu dwg, který vyžaduje nutnost vlastnění licence k programu Autodesk® AutoCAD nebo ZWCAD. AutoCAD ve verzi 2017 (a novější) je pro studenty přes školní licenci dostupný, proto nebyl problém se získanými daty pracovat. Ze situačních výkresů toku a příčných řezů koryta se získávaly souřadnice bodů, které AutoCAD umí ve formě jednoduchého textu vyexportovat do textového souboru formátu. Z tohoto souboru ve formátu txt se pak přistoupilo k další fázi úpravy dat v tabulkovém procesoru MS Office – Excel, který finalizoval podobu souřadnic pro jejich jednoduché nakopírování do editoru geometrických dat v programu HEC-RAS.

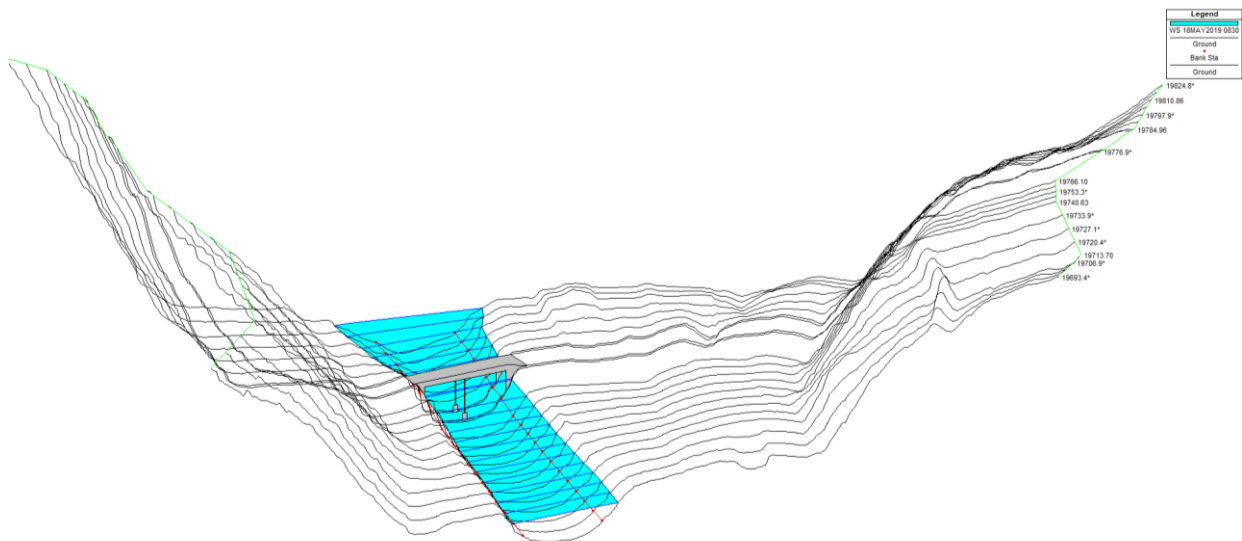
Dalším velmi důležitým podkladem byla síť bodů DMR 5G [21] pro vytvoření digitálního modelu terénu (dále jen „DMT“), který lze taktéž importovat do programu HEC-RAS. Pomocí práce v mapovém editoru QGIS lze z těchto jednotlivých bodů jejich spojením vytvořit TIN povrch, ze kterého lze transformací udělat stínovaný rastr terénu, který pak označujeme jako DMT. Tento vytvořený digitální model terénu zachycuje reliéf krajiny a slouží jako podklad pro doplnění příčných řezů toku o inundační území. Samotný takto vytvořený DMT nezobrazuje reálné parametry koryta toku a nemá dostatečnou přesnost pro okamžité spuštění modelu proudění, jelikož letecký laserový skener, který DMR 5G body snímá a následně vytváří DMR, pracuje v jiných řádech přesnosti, navíc neprohlédne vodní hladinu. Je tedy nutné získaný DMT upravit. Jedná se o sjednocení dat z geodetického zaměření toku tzv. „vyříznutím“ geodeticky zaměřeného koryta do DMT. Tato operace je velmi časově náročná, protože je potřeba ručně projít všechny příčné profily v editoru geometrických dat vytvořených exportem z výkresů a upravit břehové linie toku tak, aby na sebe tyto dva zdroje dat správně navazovaly a před vyříznutím byly eliminovány chyby a nepřesnosti. Následně lze vytvořit nový upravený DMT, který kombinuje přesnost geodetického zaměření toku, které doplňuje o reliéf krajiny v inundačním území toku.

V nejnovějších verzích programu HEC-RAS je možné exportovat jak upravený DMT, tak i geometrická data včetně osy toku všech příčných profilů a také jejich břehové linie. To umožňuje kombinovat softwaru tak, jak si uživatel přeje. V tomto případě byl pro největší kus práce v závěrečné fázi přípravy dat pro HEC-RAS použit plugin RiverGIS. Tento pracovní nástroj má spoustu užitečných funkcí. Například HEC-RAS potřebuje pro 1D model mít všechny profily v délce přes celé údolí, ale zaměřené profily byly pouze v korytě řeky. Proto bylo nutné tyto profily v předpokládaném směru šíření ZPV prodloužit. Při této úpravě byl použit návod pro správné kreslení příčných profilů ze zdroje [20]. Postup získávání všech

údajů pro finální model DMT se zadanou geometrií je popsán včetně následného exportu do HEC-RASu ve zdroji [19]. Po posledním exportu všech dat z RiverGISu do HEC-RASu již probíhalo ladění detailů, zhušťování sítě profilů a zadávání objektů pouze v samotném programu HEC-RAS.

5.3 Modelování proudění

K numerickému řešení matematického modelu byl použit program HEC-RAS ve verzi 5.0.7. Ten pro své kalkulace využívá metodu konečných diferencí. Řešené území bylo pro řešení neustáleného proudění vody zjednodušeno na profily v DMT, jehož příprava je popsána v předchozí kapitole. Počet profilů a jejich rozložení bylo dáno geodetickým zaměřením toku. Tyto profily byly ponechány a pouze upraveny pro výpočet. Protože byly vzdálenosti některých profilů příliš velké, byl jejich počet doplněn zhuštěním interpolací dalších profilů po maximální vzdálenosti 7 m. Vybraný úsek řeky Ostravice od VD Šance po soutok s Morávkou měří cca 21 km. Na toku bylo zohledněno a namodelováno celkem 7 silničních mostů a 1 most železniční. Přítoky byly zanedbány.



Obr. č. 12 Příklad zadaných geometrických dat s mostem ve 3D pohledu

5.3.1 Varianta řešení ZPV

Výpočet proudění ZPV byl proveden pro tuto variantu:

- Průlomová vlna + extrémní povodeň (ZPV 1 + povodeň $PV_{10\,000}$ na toku)
- Počáteční podmínka -> průtok $500\text{ m}^3/\text{s}$ v Ostravici (hydrogram ZPV začíná na této hodnotě)
- Okrajová podmínka za soutokem Ostravice s Morávkou -> uvažován sklon dna v posledním příčném profilu
- Hydrogram protržení je uveden v příloze č. 2

Při řešení numerického modelování a v obecných výpočtech proudění vody v otevřených korytech hraje značnou roli určení Manningova drsnostního součinitele (hydraulická drsnost) povrchu v protékaném profilu. Jelikož ráz krajiny, hustota zástavby a další faktory, které je nutné v území simulovat, se neustále mění, je nezbytné při jejich zavedení ve výpočtech přistoupit k jistým zjednodušením. Původní předpoklad byl, že z vrstev terénu, které budou mít každá svůj součinitel, se budou hydraulické drsnosti v profilech měnit. Zde se však narazilo na limit softwaru HEC-RAS, kdy tento program dovoluje zařazení maximálně 20 změn drsnostního součinitele v jednom profilu. Postupným zjednodušováním, kdy byl model stále nestabilní, bylo přistoupeno k jednotnému určení drsností v celém modelu. Tyto hodnoty drsnostního součinitele shrnuje následující tabulka.

Tab. č. 9 **Souhrn hodnot Manningova drsnostního součinitele**

Koryto řeky	$n = 0,050$
Levé inundační území	$n = 0,300$
Pravé inundační území	$n = 0,300$

5.3.2 Popis území zasaženého ZPV

Území ohrožené zvláštní povodní pod VD Šance je v příloze č. 1 vyznačeno modrou barvou, která určuje plochu maximálních rozlivů. Při výskytu zvláštní povodně v zájmovém území je nutno očekávat materiální škody na korytě toku, budovách, průmyslových objektech, silniční a železniční infrastruktuře apod. Lze také očekávat, že čas k varování obyvatelstva před možným nebezpečím bude minimální nebo žádný. Čím je kratší časový úsek k varování obyvatel, tím se bude jejich ohrožení zvyšovat.

Dle modelu dosahuje povodňová vlna největších hloubek i rychlostí vody v sevřeném údolí těsně pod VD Šance. Rychlost vlny v korytě dosahuje v této oblasti hodnoty přes 30 m/s. Výška (hloubka) sahá až ke 40 metrům vodního sloupce. V čase přibližně 24 minut po protržení a při kulminaci průtoku v profilu pod VD Šance se hlavní vlna dostává do Ostravice, první obce níže na toku. Kulminační průtok vybraným profilem v obci dosahuje hodnoty 24 534 m³/s. Vlna má výšku kolem 20 m a v korytě řeky se šíří rychlostí do 15 m/s. Celá obec by byla v tomto případě vlnou zatopena a pravděpodobně i zničena jejími destruktivními účinky.

Všechna další uvedená čísla průtoků, hloubek (výšek) vln a rychlostí jsou uvedena ve své kulminaci tzn. ve svých nejvyšších dosažených hodnotách, které mají zároveň největší důležitost a vypovídající hodnotu.

Rozliv vlny se s postupným rozevíráním zasaženého území rozšiřuje. V čase přibližně 60 minut od protržení hráze se povodňová vlna dostává do centra města Frýdlant nad Ostravicí na předměstí Nová Ves. Zde se výška hladiny v maximu pohybuje kolem 10 m a vlna je již zpomalena rozlivem. V území kolem toku se šíří v korytě rychlostí do 9 m/s. Územím v profilu u soutoku s Čeladenkou bude protékat 14 942 m³/s. Jelikož rychlost šíření ani hloubka vody již nebudou tak vysoké, dá se předpokládat, že by zatopené území nemuselo být průchodem vlny zcela zdevastováno. Malé části silnice první třídy č. 56 by neměly být zatopeny vůbec, stejně jako část Nové Vsi jménem Kolonie.

Vlna v údolí se šíří dále severním směrem přes centrum Frýdlantu nad Ostravicí, Pržno a přes obec Baška kolem stejnojmenné vodní nádrže. Právě v oblasti kolem jmenované vodní nádrže má rozliv největší šířku. Zatopené jsou kromě Bašky obce Hodoňovice a Kunčičky u Bašky.

Do Starého Města těsně před Frýdkem-Místkem se vlna dostává v čase 100 minut od protržení hráze. V korytě postupuje rychlostí od 5 do 7 m/s. Hloubka vlny v blízkosti vodního toku má kolem 6 m vodního sloupce.

Model byl propočítán jen těsně za soutok Ostravice s Morávkou, proto zde modrá zóna (zátopa) na mapovém podkladu v příloze č. 1 končí. Voda by dále postupovala přes Frýdek-Místek k Ostravě a po soutoku s Odrou až směrem k polským hranicím. Pro grafický výstup v příloze č. 1 byla použita základní mapa ČR v měřítku 1: 25 000 dostupná z webu ČUZK [22].

6 ZÁVĚR

Tato bakalářská práce vyhodnocuje pravděpodobně nejextrémnější možný případ porušení a poškození VD Šance za povodní, který je krajně nepravděpodobný, ale není nemožný. Zvláštní povodňová vlna, která by v souběhu okolností katastrofických povodní a protržení hráze vznikla, by měla obrovské destruktivní účinky. V případě, že by k tomuto scénáři došlo, bylo by nutné okamžitě evakuovat obyvatele obce Ostravice a měst Frýdlant nad Ostravicí a Frýdku-Místku do vyšších poloh údolí. Přesnou oblast zasaženého území zobrazuje mapový výstup v příloze č.1.

Stanovení území zasaženého zvláštní povodní pod VD Šance je zatíženo nejistotami a zjednodušeními, které zkreslují možnou realitu. Tato zjednodušení jsou však pro výpočet modelu nezbytná. Jsou zohledněna v předpokladech řešení a provedené schematizaci. Proto je nutné výsledky této práce brát s určitou rezervou, protože detaily záplavového území i časové parametry ZPV se mohou v reálné situaci lišit. I přesto považujeme řešení a výstupy za dostatečně vypovídající a přesné pro jejich předpokládaný účel použití.

7 LITERATURA A ELEKTRONICKÉ ZDROJE

- [1] AQUATIS. *Manipulační řád vodního díla Šance na řece Ostravici v ř. km 45,770*. Aquatis a. s., Brno, srpen 2018.
- [2] KANTOR, Tomáš. *VD Šance – Program TBD pro ověřovací provoz*. VODNÍ DÍLA TBD a. s., Brno, červenec 2018.
- [3] KANTOR, Tomáš. *VD Šance – Parametry zvláštních povodní*. VODNÍ DÍLA TBD a. s., Brno, prosinec 2016.
- [4] *Povodí Odry: Šance*. Povodí Odry, s. p. [online]. [cit. 2019-05-20]. Dostupné z: <https://www.pod.cz/stranka/sance.html>
- [5] *Atlas vodních toků povodí Odry: Ostravice*. Povodí Odry, s. p. ©2016 [online]. [cit. 2019-05-20]. Dostupné z: https://www.pod.cz/atlas_toku/ostravice.html
- [6] *Plán oblasti povodí Odry: Úvodní zpráva*. Povodí Odry, s. p. ©2007 [online]. [cit. 2019-05-20]. Dostupné z: <https://www.pod.cz/plan-oblasti-povodi-Odry/0-uvod/0-2.html>
- [7] *Stavby v MS kraji: Rekonstrukce přehrady Šance v Beskydech dokončena* [online]. [cit. 2019-05-20]. Dostupné z: <https://www.msstavby.cz/rekonstrukce-prehrady-sance-dokoncena-14-11-2018/>
- [8] Česká republika. Vyhláška MZE č. 471/2001 o technickobezpečnostním dohledu nad vodními díly. Dostupná z: <https://www.zakonyprolidi.cz/print/cs/2001-471/zneni-20100902.htm?sil=1>
- [9] Metodický pokyn odboru ochrany vod MŽP pro zpracování plánu ochrany území pod vodním dílem před zvláštní povodní. *Věstník & Zpravodaj MŽP: Metodické pokyny a návrhy*. 2005, XV(9), str. 77-90. ISSN 0862-9013.
- [10] Česká republika. Vyhláška č. 367/2005 Sb., kterou se mění vyhláška č. 590/2002 Sb. o technických požadavcích pro vodní díla. Dostupná z: <https://www.zakonyprolidi.cz/print/cs/2005-367/zneni-20051101.htm?sil=1>
- [11] Česká republika. Zákon č. 240/2000 Sb., o krizovém řízení a o změně některých zákonů. In: *Sbírka zákonů České republiky*. Dostupný také z: <https://www.zakonyprolidi.cz/print/cs/2000-240/zneni-20170801.htm?sil=1>
- [12] MIDDLEBROOKS, Thomas Alwyn. *Earth-Dam Practice in the United States*. Centennial Transactions. ASCE, 1952, (Paper No. 2620), pp. 697-722.
- [13] JANDORA, Jan, UHMANNOVÁ, Hana: *Proudění v systémech říčních koryt – studijní opora*. FAST VUT v Brně, 2007.
- [14] ČSN 75 1400. *Hydrologické údaje povrchových vod*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2014.

- [15] Geodetické zaměření řeky Ostravice (Vratimov–Šance), Pöyry Environment a.s., Brno, 2008.
- [16] BRUNNER, Gary W. *HEC-RAS River Analysis System: User´s Manual* [online]. Version 5.0. 2016 [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <https://www.hec.usace.army.mil/software/hecras/documentation/HEC-RAS%205.0%20Users%20Manual.pdf>
- [17] QGIS Development Team. *QGIS: User Guide*. [online]. ©2017 [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: https://docs.qgis.org/3.4/cs/docs/user_manual/index.html
- [18] PASIOK, Radosław, DĘBEK Łukasz. Welcome to RiverGIS. *RiverGIS* [online]. ©2015 [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <http://rivergis.com/about.html>
- [19] PASIOK, Radosław, DĘBEK Łukasz. Step by step: HEC-RAS 1D Geometry. *RiverGIS* [online]. ©2015 [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: http://rivergis.com/ras1d_geometry.html
- [20] GOODELL, Chris. How to draw cross sections. *The RAS Solution* [online]. 2012 [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <http://hecrasmodel.blogspot.com/2012/07/how-to-draw-cross-sections.html>
- [21] Digitální model reliéfu ČR 5. generace, objednaný na cuzk.cz firmou VODNÍ DÍLA – TBD a.s.; Prohlížečící služba WMS – DMR 5G dostupná z: <https://geoportal.cuzk.cz/geoprohlizec/default.aspx?wmcid=11273>
- [22] Základní Mapa 1: 25 000. ČUZK: *Geoportál* [online]. ©2010 [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: http://geoportal.cuzk.cz/WMS_ZM25_PUB/WMSservice.aspx

8 SEZNAM ZKRATEK A SEZNAM VELIČIN

8.1 Seznam zkratk

VD	Vodní dílo
VHS PO	Víceúčelová vodohospodářská soustava povodí Odry
TBD	Technickobezpečnostní dohled
ZPV	Zvláštní povodňová vlna
MVE	Malá vodní elektrárna
HC 1, 2	Hydrocentrála 1, 2
PV	Povodňová vlna
ČHMU	Český hydrometeorologický ústav
MŽP	Ministerstvo životního prostředí
MZE	Ministerstvo zemědělství
ČSN	Česká technická norma
IWR	Institute for Water Resources
DMR 5G	Digitální model reliéfu 5. generace
DMT	Digitální model terénu
USACE	U. S. Army Corps of Engineers
GPL	General Public License
GIS	Geografický informační systém

8.2 Seznam symbolů a veličin

A	plocha	[m ²]
V	objem	[m ³]
T	čas	[s]
t	čas	[s]
Q	průtok	[m ³ /s]
h	hloubka	[m]
d	délka	[m]
P	výkon	[kW]
ρ	hustota	[kg/m]
H	hybnost	[m.kg/s]
I	impuls	[m.kg/s ²]
m	hmotnost	[kg]
F	síla	[N]

G	tíha	[N]
g	tíhové zrychlení	[m/s ²]
v	rychlost	[m/s]
R	hydraulický poloměr	[m]
O	omočený obvod	[m]
n	součinitel drsnosti dle Manninga dna a břehů	[-]
τ	smykové napětí	[Pa]
K	modul průtoku	[m ³ /s]
C	Chézyho rychlostní součinitel	[m ^{0,5} /s]
α	úhel	[°]
J_E	sklon čáry energie	[-]
J_D	průměrný sklon dna	[-]
E	energie vztažená na jednotku hmotnosti	[m]
P	tlak	[Pa]
$H_{\max,r}$	maximální hladina retenční	[m n. m.]
$H_{\max,z}$	maximální hladina zásobní	[m n. m.]
$H_{\min,z}$	hladina stálého nadržení	[m n. m.]
Q_a	průměrný dlouhodobý roční průtok	[m ³ /s]
q_a	průměrný roční specifický odtok	[l/s/km ²]
HS_a	dlouhodobá roční výška srážek	[mm]
Q_N	N -letý průtok	[m ³ /s]
Q_m	m -denní průtok	[m ³ /s]
W_{PVN}	objem N -leté povodňové vlny	[mil. m ³]
m_p	hmotnost přítoku	[kg]
Q_p	přítok	[m ³ /s]
m_o	hmotnost odtoku	[kg]
Q_o	odtok	[m ³ /s]

9 SEZNAM TABULEK

Tab. č. 1	Požadovaná míra bezpečnosti vodních děl při povodni [10]	6
Tab. č. 2	Rozdělení prostorů v nádrži – letní období (květen až říjen) [1]	8
Tab. č. 3	Rozdělení prostorů v nádrži – zimní období (listopad až duben) [1]	9
Tab. č. 4	<i>m</i> -denní průtoky (hydrologická řada 1981–2010) [1]	14
Tab. č. 5	<i>N</i> -leté průtoky a objemy <i>N</i> -letých povodňových vln [1]	14
Tab. č. 6	Příčina poruch sypaných hrází v USA (1850–1950) [12]	16
Tab. č. 7	Stáří hrází v době poruchy [12]	16
Tab. č. 8	Parametry hydrogramu výsledné ZPV a konečná velikost otvoru [3]	17
Tab. č. 9	Souhrn hodnot Manningova drsnostního součinitele	30

10 SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. č. 1	Správné členění oblasti povodí Odry s vyznačením zájmové lokality [6]	4
Obr. č. 2	Příčný řez hrází [4]	7
Obr. č. 3	Přehrada Šance [7]	8
Obr. č. 4	Detail mapy vodních toků s vyznačením řeky Ostravice [5]	13
Obr. č. 5	Hydrogramy teoretických N -letých povodňových vln a hydrogram PV_{97} [1]	14
Obr. č. 6	Kontinuita neustáleného proudu – 1D [13]	19
Obr. č. 7	Příčný a podélný řez korytem [13]	21
Obr. č. 8	Výsledné síly působící na těleso kapaliny [13]	21
Obr. č. 9	Sklon dna [13]	22
Obr. č. 10	Tíha prvku [13]	22
Obr. č. 11	Vstupní a výstupní řez [13]	23
Obr. č. 12	Příklad zadaných geometrických dat s mostem ve 3D pohledu	29

11 SEZNAM PŘÍLOH

Příloha č. 1 Plocha rozlivu ZPV

Příloha č. 2 Průběh porušení hráze VD Šance při ZPV 1