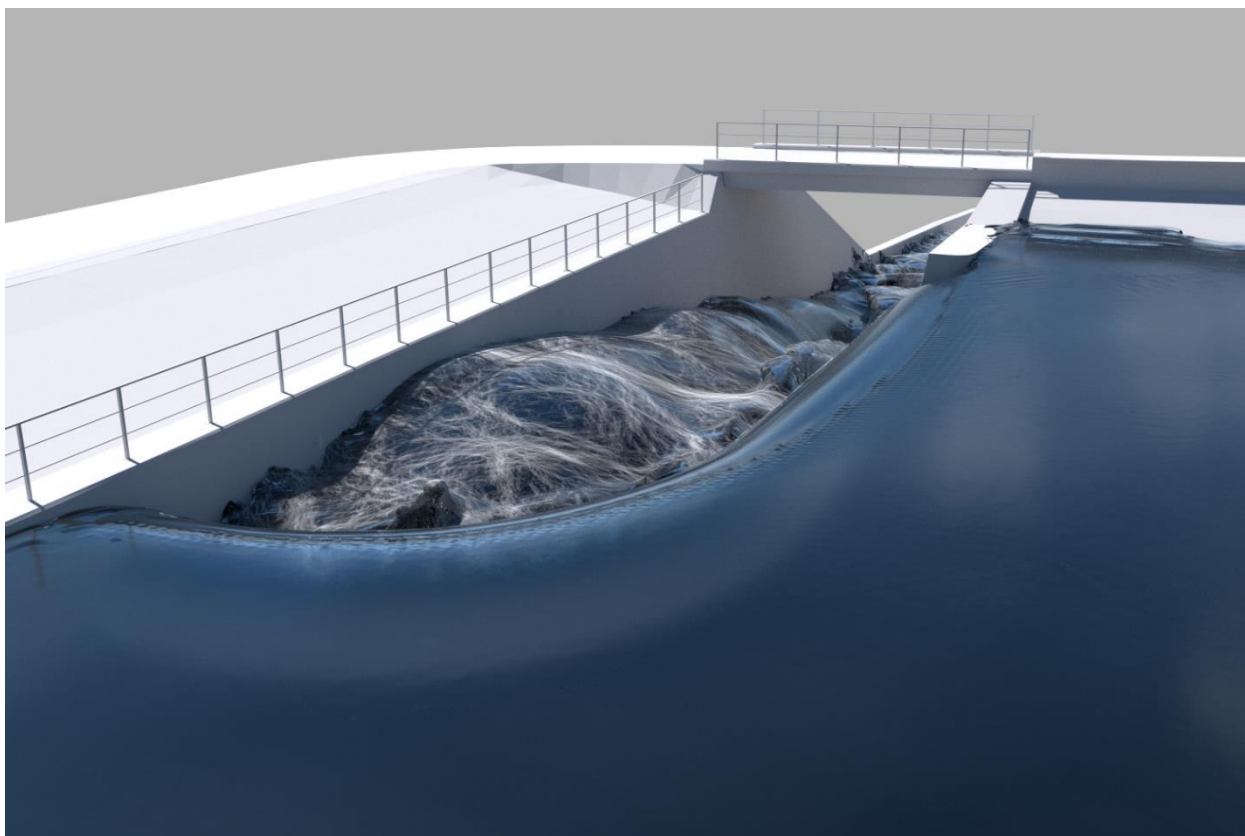


VD SLUŠOVICE – HYDROTECHNICKÉ POSOUZENÍ BEZPEČNOSTNÍHO PŘELIVU



V Brně, květen 2017

Výtisk č.
Archivní číslo: 2743/403

VODNÍ DÍLA - TBD a. s., Hybernská 40, 110 00 Praha 1

Telefon 221 408 111 Fax 224 212 803 www.vdtbd.cz

Pracoviště Studená 2, 638 00 Brno

Telefon 544 222 434 Fax 544 222 642

Ředitel	Ing. Miloš Sedláček
Vedoucí útvaru 403	Ing. Jiří Hodák, PhD.
Vypracoval	Ing. Jan Höll
Spolupracoval	Ing. Tomáš Kantor

**VD SLUŠOVICE – HYDROTECHNICKÉ POSOUZENÍ
BEZPEČNOSTNÍHO PŘELIVU**

Objednatel	Povodí Moravy, s.p.
	Dřevařská 11, Brno, 602 00
Číslo projektu	P 2551
Archivní číslo	2743/403
Vypracováno	V Brně, květen 2017

OBSAH:

1	ÚVOD.....	4
1.1	Identifikační údaje stavby a investora.....	4
2	SEZNAM POUŽITÝCH PODKLADŮ.....	5
2.1	Mapové a projektové podklady.....	5
2.2	Hydrologické podklady.....	5
2.3	Zprávy, studie, dokumenty, literatura.....	5
2.4	Normy, zákony, vyhlášky.....	5
3	VD SLUŠOVICE.....	6
3.1	Účel a popis vodního díla.....	6
3.1.1	Účel vodního díla.....	6
3.1.2	Popis a technické parametry vodního díla.....	6
3.1.3	Hydrologické podklady.....	10
3.1.4	Geodetické podklady.....	10
3.1.5	Manipulace na vodním díle za povodní.....	11
3.2	Prověření kapacity bezpečnostního přelivu, spadiště a skluzu.....	12
3.2.1	Bezpečnostní přeliv.....	12
3.2.2	Spadiště (mostní profil).....	13
3.2.3	Skluz.....	13
4	MATEMATICKÝ 3D MODEL PŘELIVU A SKLUZU.....	15
4.1	Sestavení matematického modelu.....	15
4.1.1	Tvorba geometrie a výpočetní sítě.....	15
4.1.2	Volba okrajových a počátečních podmínek.....	17
4.1.3	Numerické nastavení simulace.....	18
5	TRANSFORMACE POVODŇOVÝCH VLN.....	19
5.1	Určení měrné křivky stávajícího přelivu po úroveň 319,59 m n.m.	19
5.2	Ověření a výpočet transformací PV Q20 až PV Q10 000.....	20
5.2.1	Předpoklady výpočtu a popis manipulace.....	20
5.2.2	Přehled výsledků transformací.....	20
6	POSOUZENÍ REŽIMU PROUDĚNÍ TRANSFORMOVANÝCH POVODŇOVÝCH PRŮTOKŮ NA BEZPEČNOSTNÍM PŘELIVU A SKLUZU.....	22
6.1	Režim proudění na bezpečnostním přelivu a ve spadišti.....	22
6.2	Režim proudění na skluzu.....	23
6.3	Celkové zhodnocení bezpečnostního objektu.....	23
6.4	Nápravná opatření.....	23
7	ZÁVĚR.....	25
8	SEZNAM PŘÍLOH.....	26

1 ÚVOD

Předkládaný dokument „**VD Slušovice – hydrotechnické posouzení bezpečnostního přelivu**“ byl vypracován v rámci smlouvy o dílo, uzavřené mezi Povodím Moravy, s.p., (č. smlouvy objednatele PM20140/2017-504) a VODNÍ DÍLA-TBD a.s. (č. zhotovitele A1824/17).

Cílem odborného posudku je sestavení matematického 3D modelu proudění na přelivu a skluzu a posouzení režimu proudění pro povodňové průtoky Q_{20} až $Q_{10\,000}$, včetně návrhu a prověření nápravních opatření na těchto dvou částech bezpečnostního objektu.

V rámci posudku bylo zpracováno následující:

- prohlídka bezpečnostního přelivu a skluzu, geodetické zaměření v rozsahu potřebném pro sestavení 3D modelu, pořízení fotodokumentace,
- sestavení matematického 3D modelu stávajícího bezpečnostního přelivu a skluzu,
- určení měrné křivky stávajícího bezpečnostního přelivu (po úroveň 319,45 m n.m.) a provedení jejího porovnání s křivkou z Posudku,
- ověření výpočtu transformací PV $Q_{1\,000}$ a PV $Q_{10\,000}$ z „Posudku bezpečnosti VD Slušovice za povodní – II. revize“ (dále jen „Posudek“) a jejich doplnění o výpočty transformací PV Q_{20} , PV Q_{50} , PV Q_{100} , PV Q_{200} a PV Q_{500} ,
- posouzení režimu proudění na bezpečnostním přelivu a skluzu transformovaných povodňových průtoků Q_{20T} , Q_{50T} , Q_{100T} , Q_{200T} , Q_{500T} , $Q_{1\,000T}$, $Q_{10\,000T}$ (u Q_{100T} a $Q_{10\,000T}$ určené oběma nezávislými uvedenými metodami),
- prověření závěrů odborného posouzení stávajícího přelivu a skluzu ve variantě č. 1 v Posudku (uvažování dosypání hráze s dotěsněním koruny hráze, umožňující zvýšení mezní bezpečné hladiny za povodní až do úrovně 319,30 m n.m.),
- navržení a prověření vhodné technické úpravy na bezpečnostním přelivu a skluzu za účelem bezpečného převedení povodní,
- posouzení spadiště a skluzu na vznik příčných vln,
- porovnání výsledků 3D matematického modelu s „Hydraulickým výzkumem skluzu a spodních výpustí přehrady na Dřevnici u Slušovic“.

1.1 Identifikační údaje stavby a investora

Název akce	VD Slušovice – hydrotechnické posouzení bezpečnostního přelivu
Kraj	Zlínský
Místo	k.ú. Hrobice, Trnava u Zlína
Tok	Dřevnice
ČHP	4-13-01-007
Stupeň projekt. dokumentace	Odborný posudek
Investor	Povodí Moravy, s.p. Dřevařská 11, Brno, PSČ 602 00
Zhotovitel	VODNÍ DÍLA - TBD a.s. Hybernská 1617/40, 110 00 Praha 1
Datum	květen 2017

2 SEZNAM POUŽITÝCH PODKLADŮ

2.1 Mapové a projektové podklady

- [1] ČÚZK. *Ortofotomapa* [wms]. Praha, 2016.
- [2] VODNÍ DÍLA - TBD a.s. *Fotodokumentace* [jpg]. VD Slušovice, 2017.
- [3] VODNÍ DÍLA - TBD a.s. *Geodetické zaměření* [xyz]. VD Slušovice, 2017.

2.2 Hydrologické podklady

- [4] ČHMÚ. *Odvození teoretických povodňových vln klasickými a deterministickými postupy*. Brno, 2006.
- [4a] ČHMÚ. *Ověření platnosti dat hydrologické studie z r. 2005*. Brno, 2016.

2.3 Zprávy, studie, dokumenty, literatura

- [5] VODNÍ DÍLA - TBD. *VD Slušovice – Posouzení bezpečnosti VD za povodní II. revize*. Brno, 2012.
- [6] VODNÍ DÍLA - TBD. *VD Slušovice – Program TBD pro trvalý provoz*. Brno, 2013.
- [7] POVODÍ MORAVY. *Manipulační řád pro vodní dílo Slušovice na Dřevnici v km 29,335*. Brno, 2016.
- [8] VUT BRNO. *Hydraulický výzkum skluzu a spodních výpustí přehrady na Dřevnici u Slušovic*. Brno, 1972.
- [9] HOLINKA, M. *Numerické modelování proudění v bezpečnostním objektu vodního díla*. Brno, 2016.
- [10] ROHÁČOVÁ, D. *Vliv zrnitosti krycí vrstvy na hydraulickou drsnost dna*. Brno, 2013.
- [11] VLČEK, P. *Modelování turbulentního proudění*. Praha.
- [12] JANDORA, J. *Hydraulika a hydrologie*. Brno, VUT, 2005.
- [13] BROŽA, V.; KRATOCHVÍL, J.; PETER, P.; VOTRUBA, L. *Přehrady*. Praha, 1987.
- [14] VERSTEEG, H.K.; MALALASEKERA, W. *An introduction to Computational fluid dynamics – The Finite Volume Method*. England, 2007.
- [15] LOBOSCO, R.J.; SCHULZ, H.E.; SIMOES, A.L.A. *Analysis of Two Phase Flows on Stepped Spillways*. Brazil, 2011.
- [16] US ARMY CORPS OF ENGINEERS. *HEC-RAS River Analysis System - User's Manual* [pdf]. USA, 2016.
- [17] CFD DIRECT. *OpenFOAM User Guide* [<https://cfd.direct/openfoam/user-guide/>].

2.4 Normy, zákony, vyhlášky

- [18] ČSN 75 2340 *Navrhování přehrad – hlavní parametry a vybavení*.
- [19] ČSN 75 2935 *Posuzování bezpečnosti vodních děl při povodních*

3 VD SLUŠOVICE

3.1 Účel a popis vodního díla

Údaje jsou převzaty z MŘ [7].

3.1.1 Účel vodního díla

Hlavním účelem VD je zajištění dodávky surové vody pro úpravnu vody Klečůvka v množství $0,226 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Následně zajištění minimálního průtoku v toku pod nádrží v množství $MQ = 0,040 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, snížení kulminací povodňových průtoků a v neposlední řadě energetické využití průtoků v MVE.

3.1.2 Popis a technické parametry vodního díla

Rozdělení prostoru nádrže

Objekt, hladina	Prostor nádrže	Výšková úroveň	Zatopená plocha	Objem
		[m n.m.]	[ha]	[tis m ³]
Dno nádrže	Stálé nadržení	288,80	0	0
Hladina stálého nadržení		302,00	27,248	1 567,10
Max. provozní hladina - H _Z	Zásobní	316,40	74,400	7 245, 192
Max. hladina retenčního prostoru	Retenční neovladatelný	317,90	78,423	1 136, 666
	Celkový	317,90	78,423	9 949, 018

Přehradní těleso - hráz

Vzdouvacím objektem je nehomogenní zemní sypaná hráz se středním jílovým těsněním. Těsnící jádro je tvořeno z místních jílových hlín a stabilizační líce ze štěrků těžných v zátopě. Na koruně je obslužná komunikace s asfaltovým povrchem a silničními svodidly na straně jedné, v části návodního líce se nachází monolitický vlnolam. Opevnění návodního líce hráze tvoří penetrační makadam. Vzdušní líc hráze je ohumusován a oset.

Kóta koruny hráze:	319,0 m n.m.
Převýšení koruny hráze nad max. hladinu:	1,10 m
Šířka koruny hráze:	4,0 m
Šířka v patě hráze :	170,0 m
Výška hráze nad dnem údolí:	30,2 m
Délka hráze v koruně:	562 m
Sklon vzdušného líce:	1:2,5 po kótu 302,00 m n.m. 1:2 po kótu 310,00 m n.m. 1:2 zbývajících horní část svahu
Sklon návodního líce:	1:5 po kótu 299,00 m n.m. 1:3,2 zbývajících horní část svahu
Kóta koruny vlnolamu	319,59 m n.m.

Boční bezpečnostní přeliv

Objekt je situován na levém břehu nádrže. Přeliv i skluz jsou železobetonové konstrukce. Přelivná hrana je zhotovena z kamenořezu. Skluz je ukončen vývarem. Součástí skluzu je přemostění v koruně hráze. Mostovka je zkonstruována z železobetonových prefabrikovaných nosníků. Vozovku šířky 4,0 m tvoří vyrovnávací beton opatřený izolací a ochrannou vrstvou.

Kóta přelivné hrany: 316,41 m n.m.

Délka přelivné hrany: 26,0 m

Kapacita přelivu Q_{BP} při H_{MAX} : 89,5 m³.s⁻¹

Šířka dna spadiště: 6,1 m

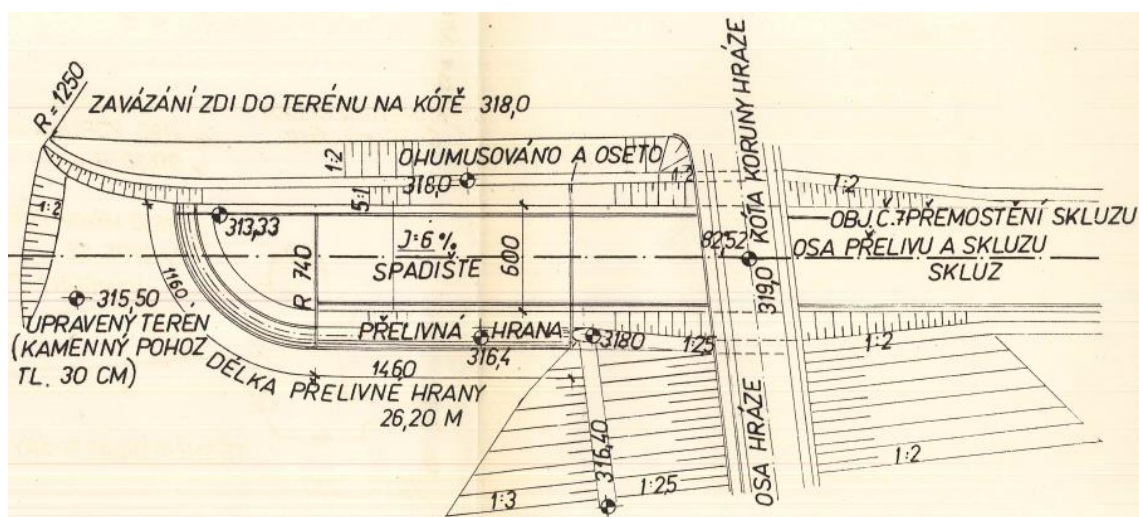
Sklony zdí spadiště: 3:1, 5:1

Šířka skluzu: 6,0 m

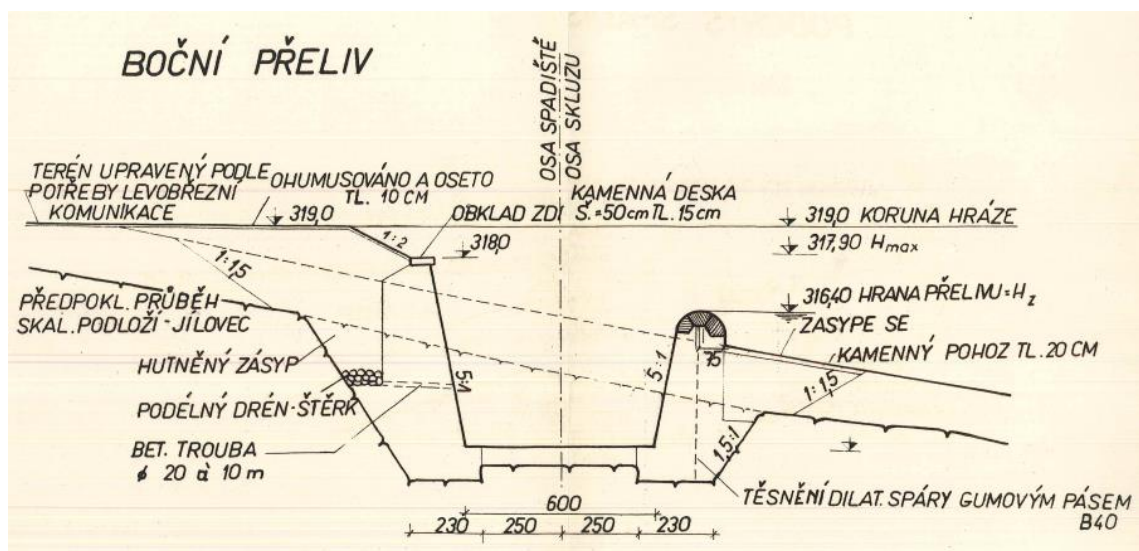
Podélný sklon skluzu: 6 - 46 ‰

Celková délka skluzu: 120,7 m

(*) Kapacita přelivu byla přešetřena (viz kapitola 3.2.1) Souhrnná měrná křivka je uvedena v příloze č. 2.2.



Obrázek 1 - Půdorys spadiště z podkladu [8]



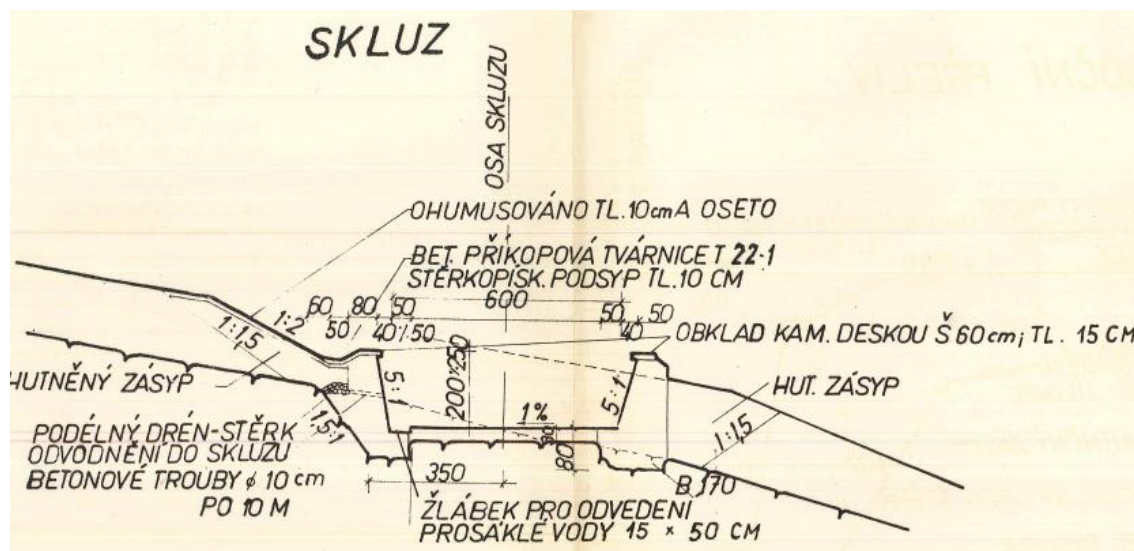
Obrázek 2 - Vzorový příčný řez spadištěm z podkladu [8]



Obrázek 3 - Fotografie současného stavu přelivu a spadiště



Obrázek 4 - Fotografie současného stavu skluzu



Obrázek 5 - Vzorový příčný řez skluzem z podkladu [8]

Vtokový objekt

Jedná se o železobetonovou věž situovanou před zemní hráz u levé údolní paty hráze. Je provedena jako tzv. „mokrý věž“ a skládá se ze základové konstrukce, dříku věže a strojovny. Obsahuje spodní výpusti a vodárenské odběry.

Půdorysný tvar věže je obdélníkový 9,15 x 8,40 m.

Kapacita spodních výpustí DN 1000:

hladina stálého nadržení 302,00 m n.m.	2 x 7,7 m ³ .s ⁻¹
max. zásobní hladina 316,40 m n.m.	2 x 11,0 m ³ .s ⁻¹
max. hladina 317,90 m n.m.	2 x 11,2 m ³ .s ⁻¹

Výpustná chodba

Je tlamovitého tvaru a navazuje na zadní stěnu věže. Štolou prochází obě spodní výpusti o průměru 1 000 mm.

Vývar a odpadní koryto

Skluz bočního přelivu je ukončen vývarem o délce 35,0 m. Dne je opatřeno rozražeči. Stěny vývaru jsou ve sklonu 10:1 a jsou nad kótou prahu obloženy kyklopským zdivem. Odpadní koryto za spodními výpustmi má délku 37,0 m. Tvarově se jedná o lichoběžníkový profil s šířkou ve dně 5,5 m a sklonem svahů 5:1. Povrch dna a části svahů jsou opatřeny ocelovým pancířem. Dno je tvořeno betonovou deskou tloušťky 1,0 m.

3.1.3 Hydrologické podklady

Podkladem jsou Hydrologické údaje - ČHMÚ, 10/2006 [4] potvrzené 11/2016 [4a].

Základní hydrologické údaje pro povodí toku Dřevnice

Profil - hráz VD Slušovice:

Hydrologické číslo povodí	4-13-01-007
Plocha povodí (F)	42,36 km ²
Průměrná roční výška srážek	816 mm
Průměrný roční průtok, (Q _a)	0,431 m ³ .s ⁻¹
Průměrná nadmořská výška povodí	468,5 m n.m.

N-leté průtoky a objemy povodňových vln odvozené statistickými metodami pro profil hráze (třída III. do N=100)

N (roky)	1	2	5	10	20	50	100	100*
Q _N (m ³ .s ⁻¹)	6,1	12,0	22,5	33,0	45,0	64,5	82,0	84,2
W _N (mil. m ³)	0,67	1,1	1,9	2,43	3,03	3,96	4,92	3,19

N (roky)	200	500	1 000	2000	5000	10 000	10 000*
Q _N (m ³ .s ⁻¹)	102	133	160	190	236	276	256
W _N (mil. m ³)	5,78	7,0	8,3	---	---	10,8	8,7

*označuje údaje zpracované jiným (deterministickým) modelem

3.1.4 Geodetické podklady

Pro potřebu posudku bylo v březnu 2017 provedeno geodetické výškopisné a polohopisné zaměření bezpečnostního přelivu, skluzu, mostovky a nejbližšího okolí pro vhodné postihnutí problematiky 3D modelem. V tabulce jsou uvedeny důležité kóty pro další hydrotechnické výpočty.

Délka přelivné hrany	26,86 m
Koruna přelivné hrany	316,41 – 316,42 m n.m.
Šířka spadiště a skluzu ve dně	6,0 m
Kóta dna konce spadiště	311,73 m n.m.
Koruna hráze	318,89 - 318,99 m n.m.
Koruna vlnolamu	319,59 - 319,63 m n.m.

Výsledky geodetického zaměření jsou přehledně zpracovány v příloze č. 1.

3.1.5 Manipulace na vodním díle za povodní

Údaje jsou převzaty z MŘ [7].

V nádrži je k dispozici volný zásobní prostor

Při příchodu povodně se nejdříve plní volný zásobní prostor - vytvořený předpouštěním v období před jarním táním nebo uvolněný povolenými odběry z nádrže.

Manipuluje se následujícím způsobem:

1. Při nástupu povodně se manipuluje se spodními výpustmi tak, aby celkový odtok z VD (součet průtoku na spodních výpustech) vyrovnával přítok do nádrže až do průtoku $22 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.
2. Pokud by nárůst povodně byl velmi rychlý a ještě v průběhu plnění zásobního prostoru by se přítok blížil $22 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, mohou se otevřít obě výpusti na plnou kapacitu ještě před naplněním na přeliv. K této manipulaci si hrázný vyžádá souhlas dispečinku.
3. Pokud by během plnění zásobního prostoru přítoky začaly klesat, je nutno spodní výpusti uzavřít, aby se zajistilo naplnění zásobního prostoru po maximální hladinu 316,40 m n.m. Po uzavření spodních výpustí se upraví odtok výpustí asanačního průtoku a přes MVE postupně až na MQ a přebytkem přítoku se plní zásobní prostor.
4. Při nárůstu průtoků, kdy začne voda přepadat přes přeliv, postupuje se dle ustanovení následujících odstavců.

V nádrži není k dispozici volný zásobní prostor pro zachycení povodní.

Při neočekávaném příchodu povodně, kdy není v nádrži uvolněn žádný objem v zásobním prostoru pro zachycení povodní, manipuluje se následujícím způsobem:

1. Při stoupání hladiny nad úroveň přelivu se manipuluje se spodními výpustmi tak, aby celkový odtok z VD (součet průtoku na bezpečnostním přelivu a spodních výpustech) vyrovnával přítok do nádrže. Současně nesmí být překročen neškodný odtok z nádrže ($22 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$).
2. Pokud přítoky i nadále stoupají, výpusti se začnou postupně přivírat a celý průtok se převede na přeliv. Při dosažení hladiny 316,98 m n.m. budou obě výpusti uzavřeny a celkový odtok je $22 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.
3. V případě očekávání extrémně velkých průtoků, lze na pokyn vodohospodářského dispečinku při stoupání hladiny nad přeliv nechat spodní výpusti otevřené.

Jakmile jsou obě spodní výpusti uzavřeny a přítoky dále stoupají, nastává neovladatelná retence.

Žádné další manipulace se neprovádí až do doby, kdy se hladina bude blížit maximální hladině 317,90 m n.m.

Vzhledem k tomu, že koruna těsnícího jádra byla zjištěna na významné části hráze prakticky v úrovni maximální hladiny, mohou se spodní výpusti otevírat postupně (obě souběžně) až na plnou kapacitu již od kóty 317,60 m n.m. Snahou je, aby max. hladina nebyla, pokud možno, vůbec dosažena, resp. překročena. Tuto manipulaci nařizuje vodohospodářský dispečink po konzultaci s TBD.

3.2 Prověření kapacity bezpečnostního přelivu, spadiště a skluzu

3.2.1 Bezpečnostní přeliv

Výpočet kapacity bezpečnostního přelivu byl po zpřesňujícím doměření (viz kapitola 3.1.4) proveden podle následujících vztahů:

$$Q = m \cdot b_0 \cdot \sqrt{2g} \cdot h_0^{\frac{3}{2}};$$

kde: m součinitel přepadu,
 b_0 účinná délka přelivné hrany (m),
 h_0 energetická přepadová výška (m),

$$b_0 = b - 0,1 \cdot n \cdot \xi \cdot h_0;$$

kde: b celková délka přelivu (26,86 m),
 n počet kontrakcí (2),
 ξ součinitel kontrakce (0,45 a 0),

$$h_0 = h + \frac{\alpha \cdot v^2}{2g};$$

kde: h přepadová výška (m),
 α Coriolisovo číslo (1),
 v přítoková rychlost (0 m/s).

Hodnota přepadového součinitele byla stanovena pro půlkruhovou přelivnou hranu podle Kramera:

$$m = \frac{2}{3} \cdot \left\{ 1,02 - \frac{1,015}{\frac{h}{r} + 2,08} + \left[0,04 \cdot \left(\frac{h}{r} + 0,19 \right)^2 + 0,0223 \right] \cdot \frac{r}{s} \right\}; \text{ maximálně však } 0,5$$

kde: r poloměr přelivné hrany (0,75 m),
 s výška přelivu na návodní straně (1,18 m).

Dále pak podle Stary:

$$m = 0,349494 + 0,307084 \cdot \frac{\frac{h}{s}}{\left(\frac{h}{s} \right)^{1,62877} + \left(\frac{s}{2 \cdot r} \right)^{-1,45694} + 0,223402};$$

V neposlední řadě byla vytvořena měrná křivka pro konstantní součinitel přepadu $m = 0,43$.

Srovnání jednotlivých měrných křivek je uvedeno v obrázku č. 6. Pro vytvoření souhrnné měrné křivky, která byla následně porovnávána s výsledky matematického 3D modelu, byl použit součinitel přepadu dle Kramera.

3.2.2 Spadiště (mostní profil)

Platnost měrné křivky dokonalého přelivu končí při zvýšení hladiny na počátku spadiště do takové úrovně, kdy hloubka vody ve spadišti dosahuje 1/3 až 1/2 výšky přepadového paprsku. Od této úrovně až po úplné zatopení přelivu probíhá přepad v tzv. režimu přechodové oblasti. V momentě, kdy je přeliv zcela zatopen, má na odtok z nádrže rozhodující vliv kapacita profilu na konci spadiště a ne kapacita přelivu.

U spadiště proběhla kontrola měrné křivky přelivu pro případ, kdy je již zatápen. Toto bylo provedeno podle výsledků úkolu PTR 806/B (Ing. Kybast VRV - TBD, Praha, 1986). Výpočet je založen na předpokladu výpočtu průtoku z hodnot kritických hloubek, které vzniknou v koncovém profilu spadiště při přechodu do bystřinného proudění.

Byla tak vytvořena aktualizovaná souhrnná měrná křivka, ve které je již započítána kapacita profilu na konci spadiště. V obrázku č. 7 je doplněna souhrnnou měrnou křivkou z Posudku.

3.2.3 Skluz

Výpočet kapacity skluzu byl proveden pomocí programu HEC-RAS s předpokladem vzniku rovnoměrného ustáleného popř. neustáleného 1D proudění. Řešení je založeno na řídicí rovnici pro 1D proudění (Bernoulliho). Jedná se ve své podstatě o řešení metodou po úsecích. Výpočetní vztah je uveden níže:

$$z_2 + h_2 + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} = z_1 + h_1 + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} + Li_e + \xi \left(\frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} - \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} \right);$$

kde: z úroveň dna v profilu,
 h hloubka vody v profilu,
 V průměrná průřezová rychlost,
 α Coriolisovo číslo,
 g gravitační zrychlení,
 L vzdálenost mezi profily,
 i_e sklon čáry energie.

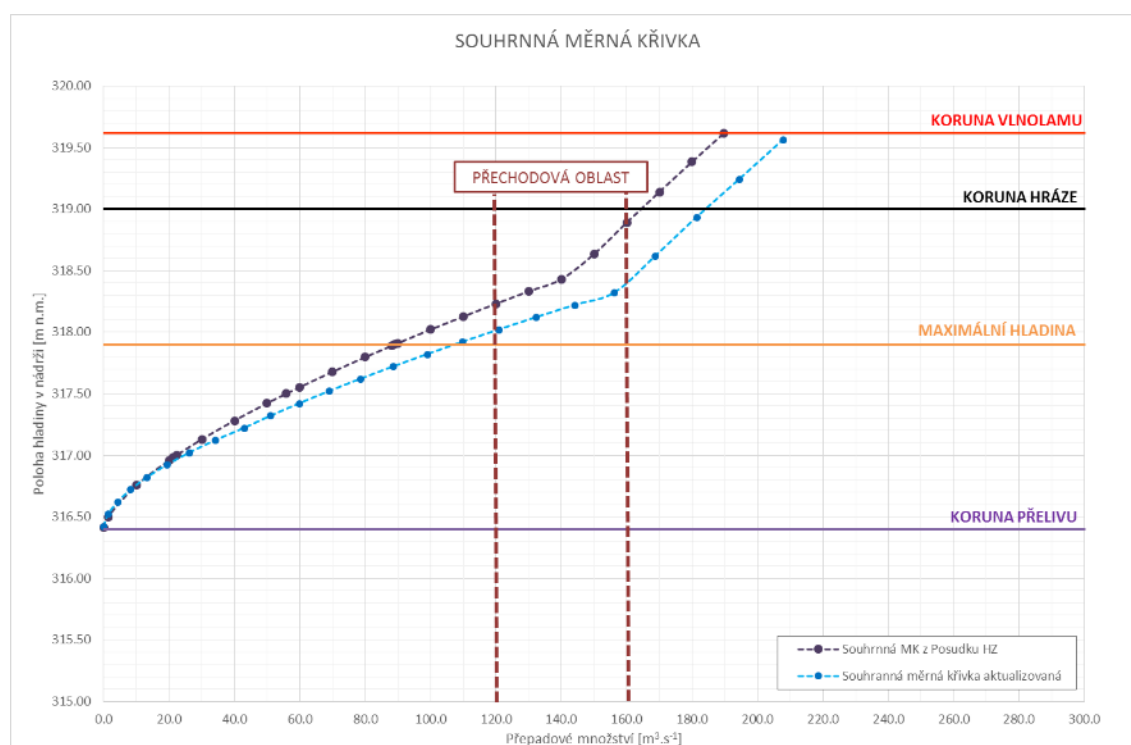
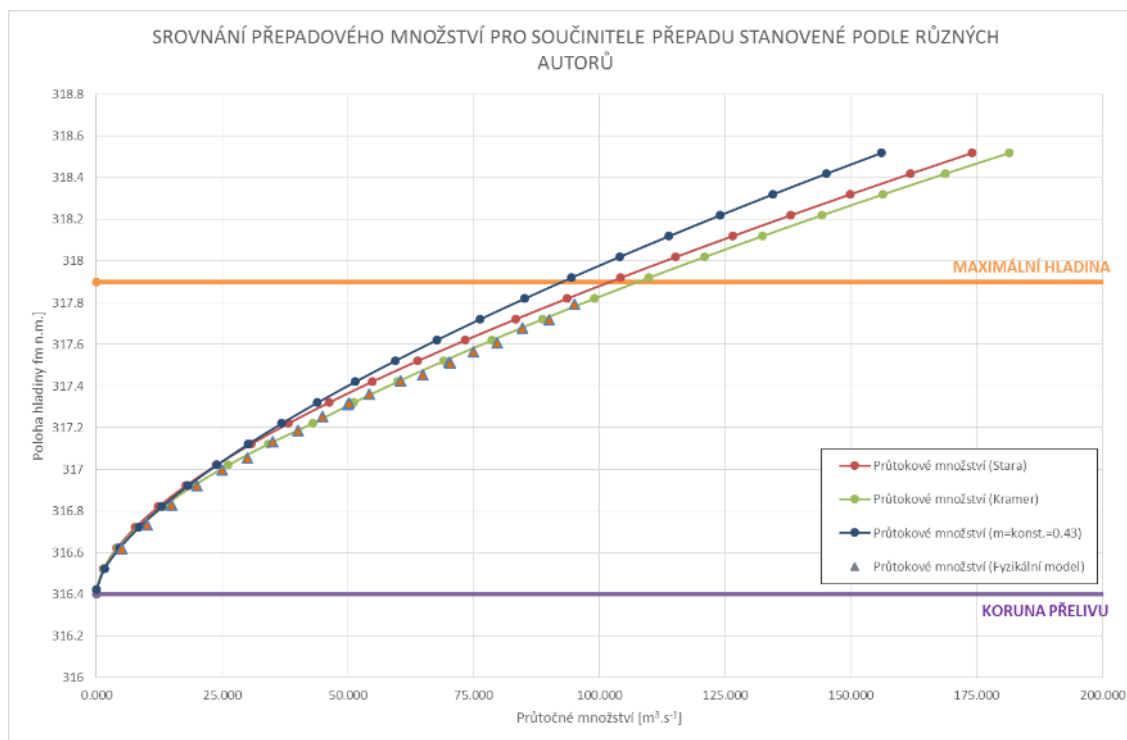
Výstup z programu HEC-RAS byl nakonec doplněn o výpočet vlivu provzdušnění proudu. To bylo provedeno dle Hickoxe [13]. Koncentrace vzduchu ve vodě závisí na úhlu sklonu dna skluzu a na specifickém průtoku ve skluzu. Níže je uveden výpočetní vztah:

$$c = 0,743 \log \frac{\sin \alpha}{q^{1/5}} + 0,723;$$

kde: α sklon dna skluzu (°),
 q specifický průtok skluzem (m².s⁻¹).

Hloubka provzdušněného proudu se pak vypočítá ze vztahu:

$$h_p = \frac{h}{1-c};$$



Spodní výpusti

Kapacita spodních výpustní nebyla v rámci posudku prověřena. Pro výpočet transformací byla použita měrná křivka z manipulačního řádu [7].

4 MATEMATICKÝ 3D MODEL PŘELIVU A SKLUZU

Pro matematické modelování proudění vody byl použit software OpenFOAM (Open Source Field Operation and Manipulation), jež vychází pod licencí GNU General Public Licence (www.openfoam.org). OpenFOAM slouží k modelování CFD (Computational Fluid Dynamics) simulací metodou konečných objemů s použitím RANS (Reynolds Averaged Navier-Stokes) rovnic.

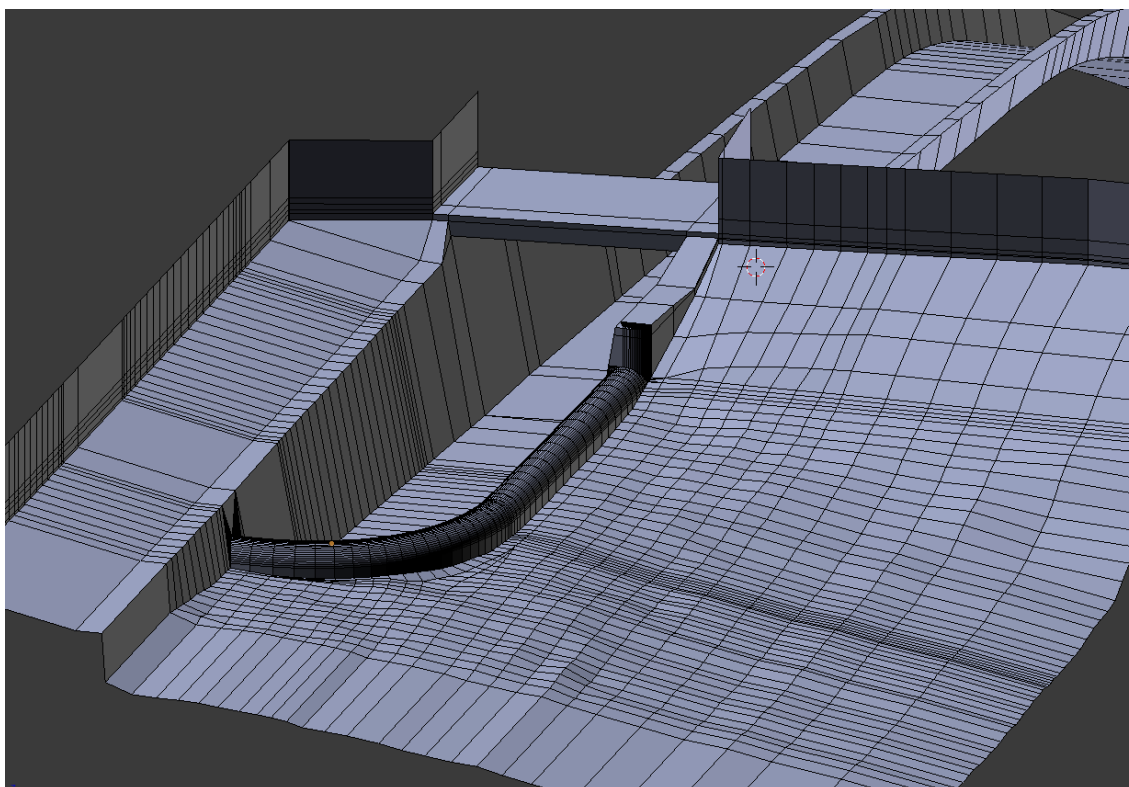
Matematický model bezpečnostního přelivu VD Slušovice byl řešen pomocí metody VOF (Volume of Fluid), která umožňuje přesné zachycení rozhraní voda-vzduch.

4.1 Sestavení matematického modelu

4.1.1 Tvorba geometrie a výpočetní sítě

Geometrie byla vytvořena na základě geodetického doměření v programech AutoCAD Civil 3D a Blender (www.blender.org). Bylo modelováno předpolí přelivu do vzdálenosti cca 25 m, kde by již nemělo docházet k ovlivnění hladiny přelivem. Rovněž byl modelován prostor za levou zdí spadiště do vzdálenosti cca 10 m, dále pak mostovka, část tělesa hráze a vlastní bezpečnostní objekt. V rámci zjednodušení nebylo v modelu uvažováno zábradlí na levé zdi spadiště a na mostovce, stejně tak betonové obrubníky nacházející se na krajích mostovky.

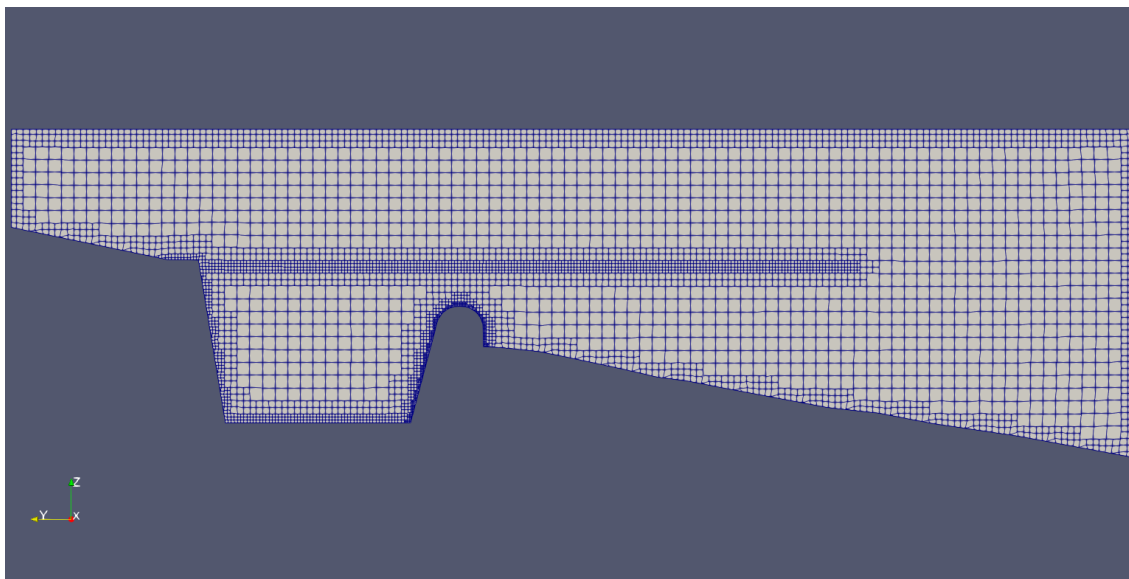
Celá geometrie byla pro potřeby tvorby výpočetní sítě (mesh) exportována do formátu STL s tím, že bylo nutné zajistit „vodotěsnost“ celého modelu. Pokud tomu tak není, může docházet ke zkreslení výsledků z řešitele OpenFOAM.



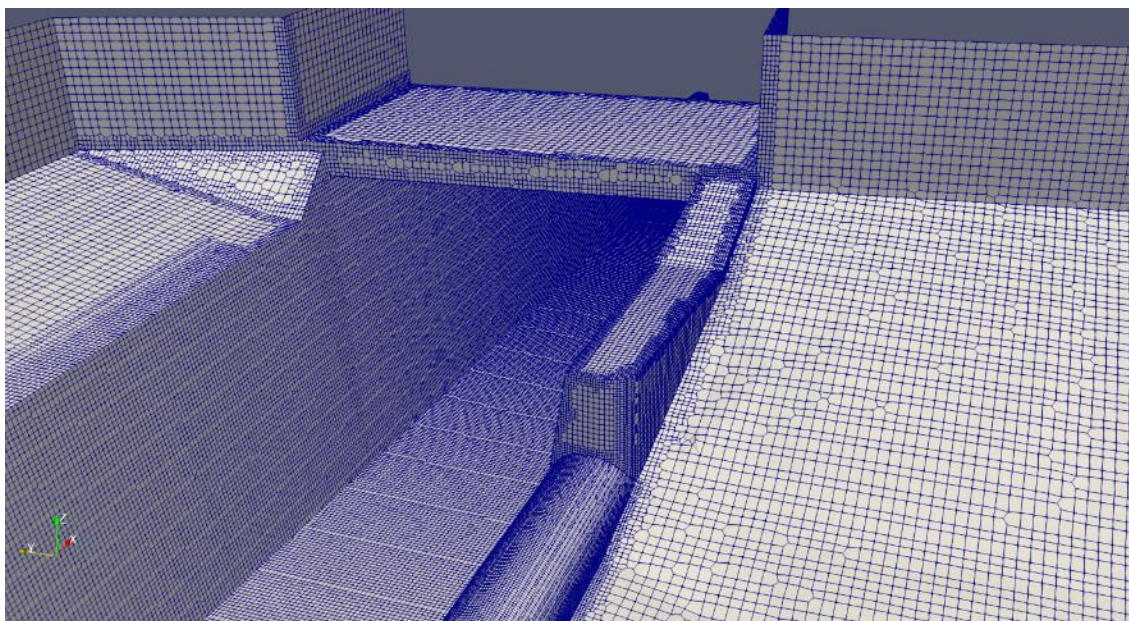
Obrázek 8 - Tvorba 3D modelu v programu Blender

Předpokladem pro výsledkově správné a výpočetně rychlé řešení simulace je volba kvality výpočetní sítě, která slouží k diskretizaci oblasti řešené úlohy. Pro potřeby simulace byla celá oblast rozdělena do buněk o základní velikosti hrany 40 cm. V blízkosti geometrie důležitých objektů jako je přelivná hrana, spadiště, skluz a předpokládané hladiny vody nad přelivem došlo k lokálnímu zjemnění sítě až na buňky o délce hrany 5 cm. Takto zvolená síť je kompromisem mezi požadovanou přesností výpočtu a časovou náročností ve smyslu dosažení ustáleného řešení v co nejkratším čase.

Meshing byl proveden programem *snappyHexMesh* jež je součástí balíku OpenFOAM. Určitou představu o výpočetní síti si lze udělat z následujících obrázků. Celkem se výpočetní síť sestávala z cca 1,3 miliónů buněk.



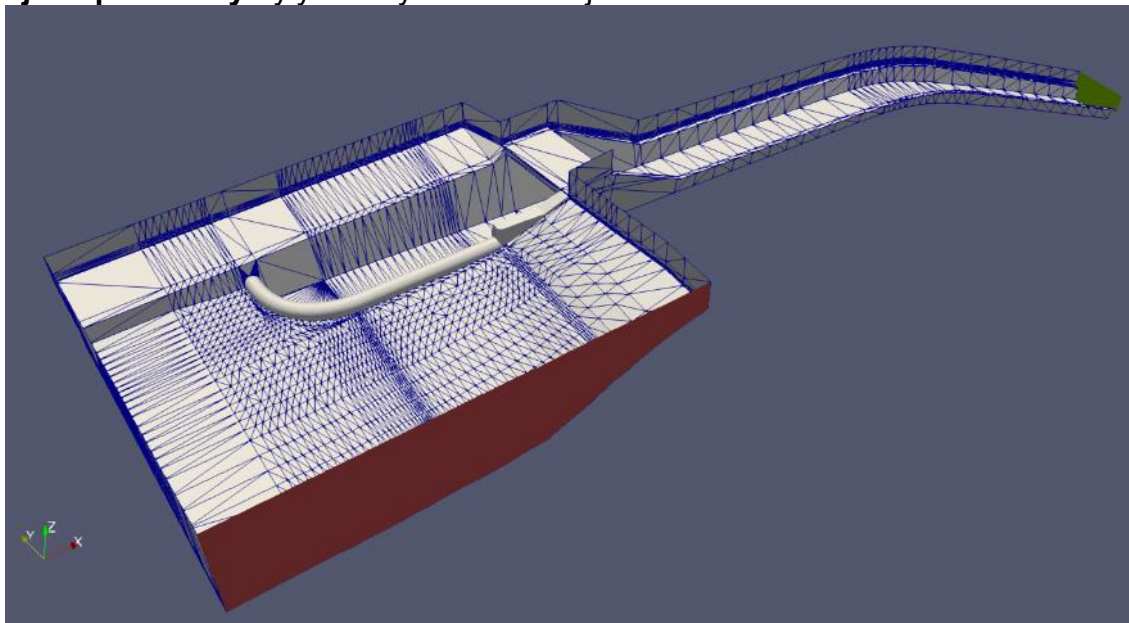
Obrázek 9 - Příčný řez spadištěm s předpolím přelivu



Obrázek 10 - Lokální zjemnění sítě v místech se složitější geometrií

4.1.2 Volba okrajových a počátečních podmínek

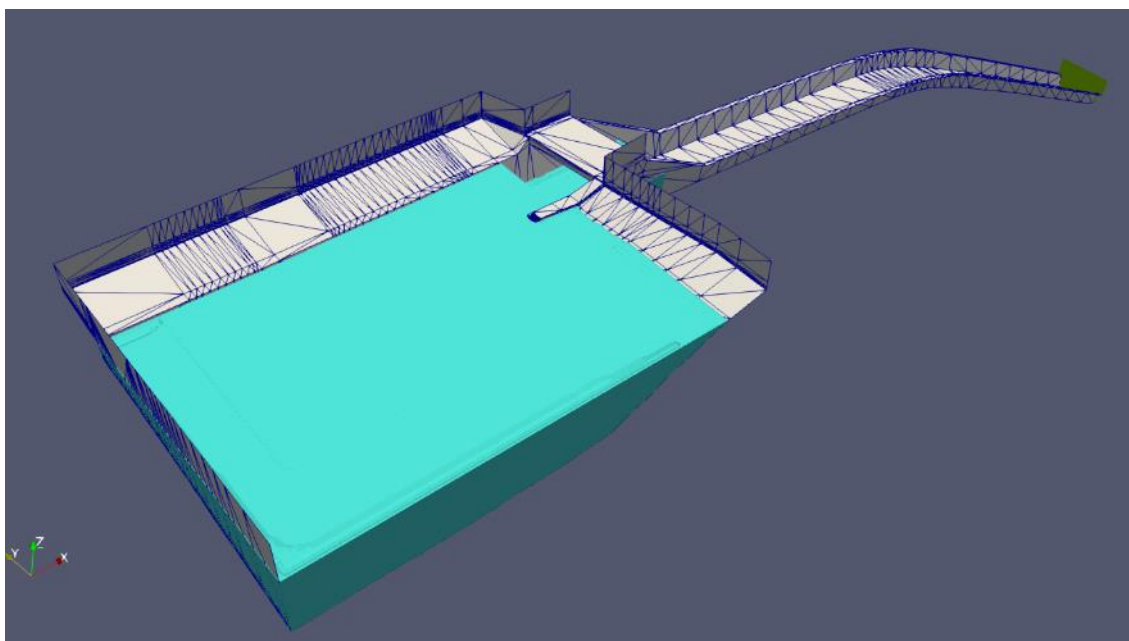
Okrajové podmínky byly voleny dle následujícího schématu:



Obrázek 11 - Schéma nastavení okrajových podmínek

- *inlet* (červeně označená plocha): zadána konstantním přítokovým množstvím v $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$,
- *outlet* (zeleně označená plocha): zadána jako neovlivněný odtok z oblasti (zeroGradient),
- *wall* (šedé plochy): zadány jako stěna – nepropustná hranice,
- *air* (na obrázku není): horní hranice oblasti zadána jako atmosférický tlak.

Počáteční podmínky (stav simulace v čase $t=0\text{s}$) byly zadány předpokládanou polohou hladiny v předpolí přelivu pro daný průtok (dle aktualizované měrné křivky).



Obrázek 12 - Zobrazení počátečních podmínek v čase $t=0\text{s}$

4.1.3 Numerické nastavení simulace

Následuje popis a nastavení dalších aspektů programu OpenFOAM, které vstupují do výpočtu proudění dvoufázového prostředí (voda-vzduch).

Fyzikální vlastnosti simulované tekutiny

Modelování proudění bylo provedeno za těchto předpokladů:

- trojrozměrný model proudění (3D),
- voda je nestlačitelná Newtonovská kapalina,
- kinematická viskozita vody $\nu = 1\text{e-}06 \text{ m}^2\cdot\text{s}^{-1}$,
- hustota vody $\rho = 1\,000 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$,
- povrchové napětí vody $\sigma = 0,07 \text{ N}\cdot\text{m}^{-1}$,
- kinematická viskozita vzduchu $\nu = 1,48\text{e-}05 \text{ m}^2\cdot\text{s}^{-1}$,
- hustota vzduchu $\rho = 1,0 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$.

Drsnost betonových povrchů

V případě povrchů, u kterých se předpokládalo ovlivnění proudící vody svojí drsností, byla zadána drsnost mírně degradovaného betonu formou *Nikuradseho ekvivalentní pískové drsnosti* K_s [m] (vyžaduje OpenFOAM). Doporučené hodnoty pro betonové povrchy jsou v intervalu 0,3 – 3 mm [10].

- drsnost betonu $K_s = 3 \text{ mm}$.

Model turbulence

Proudění na přelivech a skluzech se vyznačuje velmi vysokými hodnotami Reynoldsova čísla, to je rovněž znamením pro vyvinutý turbulentní režim proudění. V simulaci byl použit *k- ω SST* (Shear-Stress Transport) model turbulence.

Výběr řešitele

Balík OpenFOAM obsahuje nespočet dalších řešitelů (solver), každý vhodný pro jiný druh úlohy. Pro proudění o volné hladině (VOF) byl vybrán řešitel *interFoam*, jenž řeší pohyb tekutiny pomocí systému dvou základních rovnic:

- zákon zachování hmotnosti,
- průměrované Navier-Stokesovy rovnice.

Vliv provzdušnění proudu

Vzhledem k tomu, že řešitel *interFoam* uvažuje dvoufázové prostředí – v našem případě voda-vzduch, je v simulaci uvažováno i s vlivem provzdušnění. Koeficient provzdušnění α se v simulaci pohybuje v rozmezí 0-1 a vyjadřuje podíl objemu frakce vody vůči objemu buňky, ve které je počítán. Číslo 1 tedy značí buňku kompletně vyplněnou vodou a číslo 0 naopak buňku vyplněnou pouze vzduchem [15].

Ve fázi zpracování výsledků a určení polohy hladiny je nutné stanovit pro jakou hodnotu součinitele α budou výsledky verifikovány. V případě fyzikálního modelu [8] nebylo provzdušnění pozorováno, tudíž není možné výsledky spolehlivě kalibrovat.

Poloha hladiny v simulaci byla tedy uvažována pro hodnotu $\alpha = 0,5$.

Délka simulace

Celková délka simulace pro všechny počítané varianty bylo 60 s. V tomto čase došlo k ustálení hladiny v předpolí přelivu a ve skluzu.

5 TRANSFORMACE POVODŇOVÝCH VLN

Dle specifikace prací v SOD byl proveden výpočet transformace povodňových vln PV Q₂₀ až PV Q_{10 000} na základě měrné křivky zpřesněné 3D matematickým modelem.

Následovalo ověření proudění transformovaných průtoků na skluzu v celé jeho délce se zaměřením na vznik situací, které by mohly ovlivnit bezpečnost VD Slušovice. Jednalo se zejména o přelévání zdí skluzu popřípadě vznik příčných vln.

5.1 Určení měrné křivky stávajícího přelivu po úroveň 319,59 m n.m.

V rámci studie byla zpracována zpřesněná měrná křivka přelivu na základě matematického 3D modelu. Bylo vypočteno celkem 8 variant průtoků ve snaze co nejlépe vystihnout průběh měrné křivky zejména v místě přechodové oblasti. Ukázalo se, že MK z 3D modelu věrně kopíruje MK vypočtenou dle Kramera až do průtoků cca 130 m³.s⁻¹ (hladina cca 318,10 m n.m.). U vyšších průtoků již dochází k zahlcování přepadového paprsku vodou ve spadišti a celkovou kapacitu určuje profil na konci spadiště – zhruba v místě přemostění skluzu.

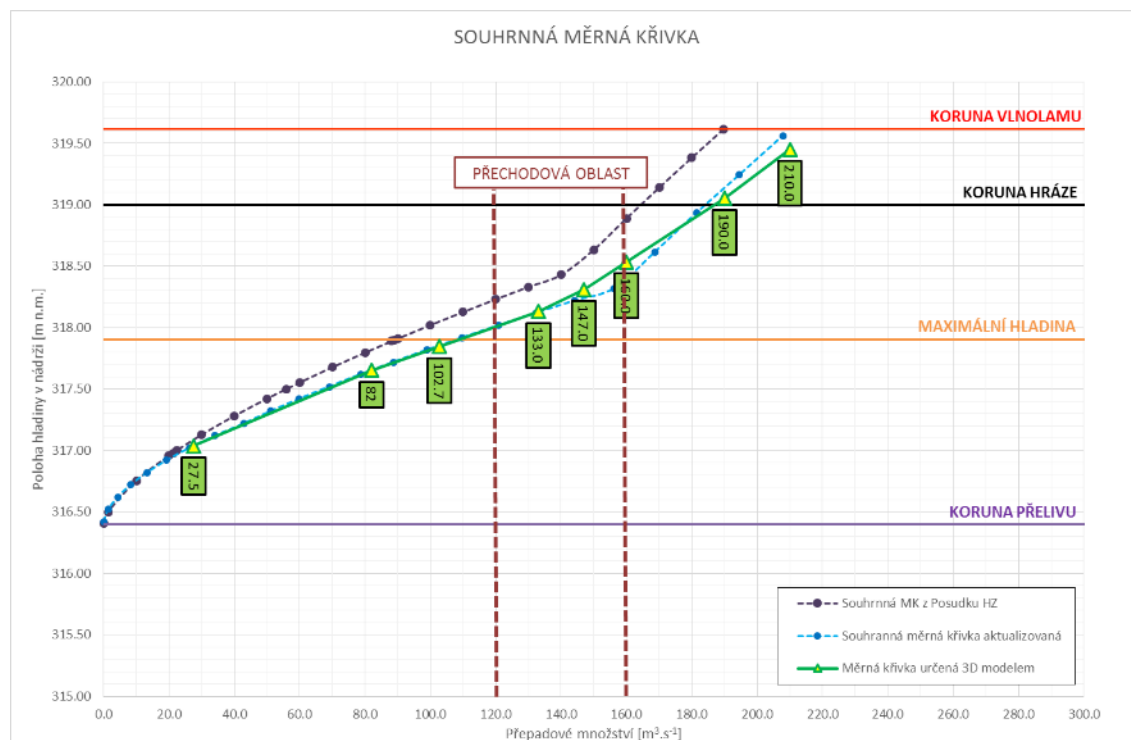
Měrná křivka z výsledků 3D modelu je určena po kótu 319,45 m n.m. Toto rozhodnutí vzniklo na základě výsledků z Posudku [5], kde je i za předpokladu méně kapacitního přelivu uvažován maximální transformovaný průtok přes přeliv 192 m³.s⁻¹.

Výsledky z modelu jsou představeny v tabulce níže. Následuje rovněž zpřesněná měrná křivka přelivu na základě 3D modelu.

Tabulka 1 - Výsledky z 3D modelu pro určení MK

Doba opakování	Průtokové množství	Přepadová výška	Přítoková rychlost	Rychlostní výška	Úroveň hladiny nad přelivem
N	Q _{3D}	h _{p3D}	V _{03D}	h _{r3D}	H _{3D}
roků	[m ³ /s]	[m]	[m]	[m]	[m n.m.]
5	27,5	0,61	0,33	0,01	317,04
100	82,0	1,22	0,45	0,01	317,65
200	102,7	1,38	0,91	0,04	317,84
500	133,0	1,65	1,06	0,06	318,13
750	147,0	1,87	0,63	0,02	318,31
1000	160,0	2,09	0,68	0,02	318,53
2000	190,0	2,60	0,77	0,03	319,05
3000	210,0	3,00	0,75	0,03	319,45

Poznámka: Proložené hodnoty doby opakování jsou stanoveny odborným odhadem



Obrázek 13 - Měrná křivka zpřesněná 3D matematickým modelem

5.2 Ověření a výpočet transformací PV Q_{20} až PV $Q_{10\,000}$

5.2.1 Předpoklady výpočtu a popis manipulace

Na začátku simulace je nádrž plná na hladinu zásobního prostoru $H_z = 316,40$ m n.m., tudíž v nádrži není k dispozici volný zásobní prostor pro zachycení povodní. Manipulace probíhá v souladu s platným MŘ [7] a to následovně:

- při stoupání hladiny nad úroveň přelivu se manipuluje se spodními výpustmi tak, aby celkový odtok z VD (součet průtoku na bezpečnostním přelivu a spodních výpustech) vyrovnával přítok do nádrže. Současně nesmí být překročen neškodný odtok z nádrže ($22 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$).
- pokud přítoky i nadále stoupají, výpusti se začnou postupně přivírat a celý průtok se převede na přeliv. Při dosažení hladiny 316,98 m n.m. budou obě výpusti uzavřeny a celkový odtok je $22 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.
- v případě očekávání extrémně velkých průtoků, lze na pokyn vodohospodářského dispečinku při stoupání hladiny nad přeliv nechat spodní výpusti otevřené.

Hydrogramy povodňových vln byly použity z podkladu [4]. Bylo vypočteno celkem 9 variant transformací povodňových vln.

K výpočtu průchodu povodní nádrží vodního díla byl použit software NÁDRŽ, který řeší problematiku vodohospodářského řešení nádrže. Je tvořen na základě numerického řešení bilanční rovnice přítoku, odtoku a akumulace vody v nádrži.

5.2.2 Přehled výsledků transformací

Následuje tabulka zahrnující výsledky jednotlivých variant. Z výsledků je patrné, že kulminace PV nastává při dosažení nižších úrovní hladin vody v nádrži a rovněž při nižších průtocích bezpečnostním přelivem. Toto je jednoznačně umožněno vyšší kapacitou bezpečnostního přelivu vycházející z matematického 3D modelu oproti

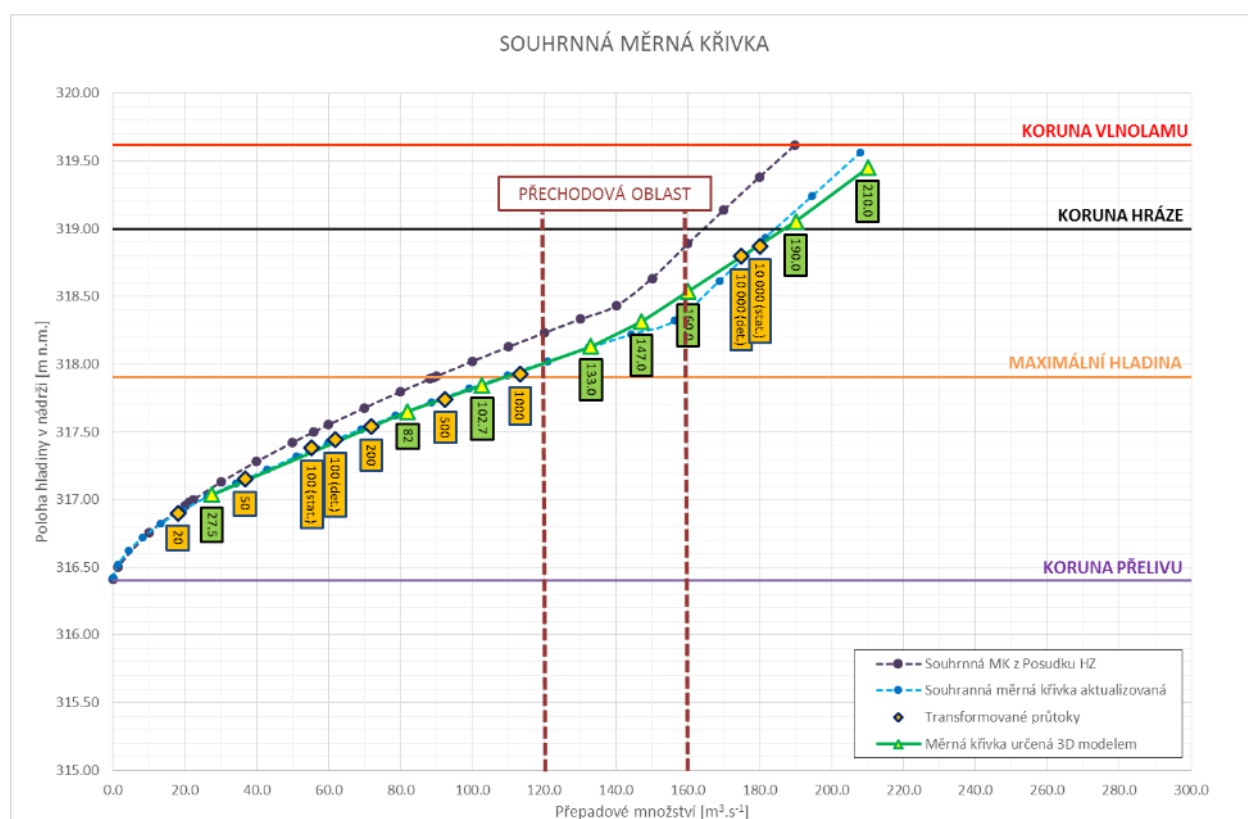
kapacitě vypočítané v Posudku [5]. Kapacita přelivu je vyšší ve všech jeho režimech proudění. U žádné z transformací také nedojde k překročení úrovně koruny hráze kulminační hladinou v nádrži.

Výsledky matematického modelu prokázaly snížení kulminační hladiny PV 10 000 z 319,14 m n.m. na 318,88 m n.m. v případě statisticky odvozené vlny. Pro deterministicky odvozenou PV 10 000 došlo ke snížení z 319,05 m n.m. na 318,79 m n.m. oproti stávajícímu Posudku [5].

Grafické výstupy k jednotlivým variantám transformací jsou umístěny v přílohách č. 2.3.

Tabulka 2 - Výsledky transformací pomocí MK zpřesněné 3D modelem

	Kulminační přítok do nádrže	Kulminační odtok SV	Kulminační odtok BP	Kulminační odtok celkem	Maximální dosažená hladina	
N-let	Q	Q _{SV}	Q _{BP}	Q _{TRANS}	H _{TRANS}	POZN.
	[m³/s]	[m³/s]	[m³/s]	[m³/s]	[m n.m.]	
20	45.000	3.40	18.0	21.4	316.90	
50	64.500	0.00	36.7	36.7	317.15	
100	84.200	0.00	61.9	61.9	317.44	deterministický
100	82.000	0.00	55.3	55.3	317.37	statistický
200	102.000	0.00	71.9	71.9	317.55	
500	133.000	0.00	92.5	92.5	317.76	bez použití SV při dosahování max. H
500*	133.000	17.40	85.6	103.0	317.69	s použitím SV při dosahování max. H
1000	160.000	22.00	113.3	135.3	317.95	
10000	256.576	22.00	174.8	196.8	318.79	deterministický
10000	276.000	22.00	180.0	202.0	318.88	statistický



6 POSOUZENÍ REŽIMU PROUDĚNÍ TRANSFORMOVANÝCH POVODŇOVÝCH PRŮTOKŮ NA BEZPEČNOSTNÍM PŘELIVU A SKLUZU

Kulminační odtok bezpečnostním přelivem z výsledků transformací byl použit jako vstup do 3D modelu s cílem posoudit režim proudění v rozsahu celého bezpečnostního objektu. Pro zhodnocení režimu proudění byly použity shodné řezy objektem, které vycházejí z fyzikálního modelu [8]. To rovněž umožnilo oba modely porovnat. Zde je nutné zmínit, že průtoky použité při zkoumání na fyzikálním modelu se neshodují s řadou průtoků vycházející z transformací PV. Pro srovnání byly vždy použity nejbližší možné průtoky. Následuje tabulka staničení jednotlivých řezů objektem použitých ke srovnání.

Tabulka 3 - Popis řezů bezpečnostním přelivem

Číslo řezu	1	2	3	4
Staničení [m]	0,0	-5,0	-10,0	-14,6

Tabulka 4 - Popis řezů skluzem

Číslo řezu	1	2	3	4	5	6	7	8
Staničení [m]	10,0	22,5	35,0	49,14	62,2	73,3	86,94	99,44

Pozn.: Staničení 0 m odpovídá konci spadiště.

Výsledky z matematického 3D modelu jsou reprezentovány polohami hladiny, bodovými rychlostmi v jednotlivých pohledech a řezech a také zobrazením proudnic (u vybraných PV), které reprezentují prostorovou trajektorii vodního proudu.

6.1 Režim proudění na bezpečnostním přelivu a ve spadišti

V této části lze souhlasit se závěry z fyzikálního modelování, a sice že součinitel přepadu lze aproximovat Kramerovým vzorcem. V porovnání s fyzikálním modelem však došlo k prošetření průtoků vyšších než $95 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Pozitivním zjištěním je, že k ovlivnění přepadajícího paprsku dochází až od průtoku cca $125 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (zhruba Q_{1000}^T). Maximální vypočtený součinitel přepadu je 0,512. Po dosažení hraničního průtoky $125 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ dochází k ovlivňování podtlaku vzniklého na lici přelivu hladinou ve spadišti a tím i ke snižování přepadového součinitele.

Průběh hladiny ve spadišti byl rovněž porovnán s fyzikálním modelem. Z podkladů [8] bylo zjištěno, že fyzikální model uvažoval nižší úroveň dna spadiště a to až o 1,0 m. Z porovnání je patrné, že průběh hladiny se tvarově příliš neliší, nicméně je výškově posunut.

Ve spadišti se v podstatě odehrává jev vodního skoku, který se v průběhu změny průtoky mění z oddáleného k přilehlému a následně i ovlivňuje přepadající paprsek. Z hlediska hydraulického dochází ke kýženému útlumu kinetické energie proudu, nicméně předpoklad vzniku kritické hloubky na konci spadiště je dosažen spíše u průtoků nižších než Q_{1000}^T . U průtoků vyšších (Q_{1000}^T a výše) dochází, z hlediska polohy hladiny ve spadišti a začátku skluzu, k vytvoření šikmého vodního skoku a tím pádem i k situování většího množství vody při pravé zdi skluzu.

Kapacita přelivu a spadiště je tedy mírně větší, než udává Posudek [5], a to zejména díky větší délce přelivné hrany a příznivějším součinitelem přepadu dle Kramera.

Srovnání měrných křivek fyzikálního modelu a matematického 3D modelu se nacházejí v příloze 3.1.

6.2 Režim proudění na skluzu

Z příloh 3.3 je patrné, že na skluzu vznikají příčné vlny a to zejména díky nerovnoměrně rozloženému průtoku v konci spadiště, jak je popisováno v předchozí kapitole. Z vizualizace proudnic lze vypočítat, že amplituda těchto vln je spíše menší hodnoty a proud se od změny sklonu nivelety dna do prudší části začíná postupně uklidňovat. Rozdíl v převýšení hladiny v řezech dosahuje hodnoty max. 0,3 m. Nejvíce je vznik příčných vln a nerovnoměrného rozložení proudu patrný u průtoků $Q_{10\,000}^T$, což je však extrémní situace.

Celkově je skluz kapacitní do průtoku $Q_{1\,000}^T$ ($113 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) s přihlédnutím k výběhu příčných vln a provzdušnění. Při tomto průtoku může docházet k ojedinělým výstřikům vody nade zdi skluzu, avšak bez vlivu na bezpečnost hráze.

Co se týká provzdušnění hladiny, zejména v prudší části skluzu, bylo postupováno dle popisu v kapitole 4.1.3. Koncentrace vzduchu ve vodě vyjádřená součinitelem α je uvažována konstantní v celé délce skluzu a to hodnotou 0,5. Je nutno podotknout, že součinitel může v této části skluzu dosahovat nižších hodnot (větší koncentrace vzduchu). Nicméně tato situace nemohla být z důvodu nedostupných kalibračních dat ověřena. Jen pro názornost, pokud by se koncentrace vzduchu zvýšila na hodnotu 0,7 ($\alpha=0,7$), znamenalo by to zvýšení hladiny o cca 0,2 m.

Rychlost vody na konci skluzu při přechodu do vývaru dosahuje hodnoty cca $24 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

6.3 Celkové zhodnocení bezpečnostního objektu

Na základě výsledků matematického 3D modelu je patrné, že celková kapacita bezpečnostního přelivu a spadiště je v porovnání s Posudkem [5] větší, - např. o cca $20 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ při hladině 319,45 m n.m., což je nejvyšší řešená hladina. Při průchodu KPV (tj. kontrolní PV) $Q_{10\,000}^T$ (cca $180 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) kulminuje hladina v nádrži na úrovni 318,88 m n.m., což je 0,98 m nad úrovní současné MBH a H_{\max} . Kulminace hladiny při průchodu NPV (tj. návrhové PV) $Q_{1\,000}^T$ ($113 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) je pak v úrovni 317,95 m n.m., což je jen 0,05 m nadu úrovní současné MBH a H_{\max} . V žádné ze zkoumaných variant transformace PV nedochází k překročení úrovně koruny hráze.

Ve skluzu dochází ke vzniku výraznějších příčných vln a přelévání zdí skluzu až od průtoku $Q_{1\,000}^T$ ($113 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) a to zejména díky nerovnoměrnému rozložení proudu v přechodu ze spadiště do skluzu.

6.4 Nápravná opatření

Bezpečné převedení PV $10\,000^T$ bezpečnostním objektem

Kulminace KPV $Q_{10\,000}^T$ dosahuje úrovně hladiny v nádrži na kótě 318,88 m n.m., což je o 0,98 m výše než je současná H_{\max} a MBH. V této věci se jako vhodné nápravné opatření jeví Varianta 1 nápravného opatření z Posudku [5] v kombinaci s navýšením zdí skluzu. Varianta 1 představuje přetěsnění koruny hráze s jejím mírným navýšením bez úpravy bezp. přelivu, které by umožnilo posunutí MBH až do úrovně 319,30.

Navýšení zdí skluzu vyplývá z výsledků mat. 3D modelu. Převýšení je vhodné volit různé pro úseky s rozdílným sklonem dna a rovněž pro levou a pravou stranu. Následující tabulka doporučených hodnot respektuje provzdušnění proudu s koncentrací vzduchu $\alpha=0,5$. Podélný profil skluzu s polohou hladiny sloužící ke stanovení převýšení zdí se nachází v příloze 3.3.11.

Staničení/strana skluzu	Levá	Pravá
0 – 80 m	1,2 m	0,8 m
80 – 110 m	0,4 m	0,4 m

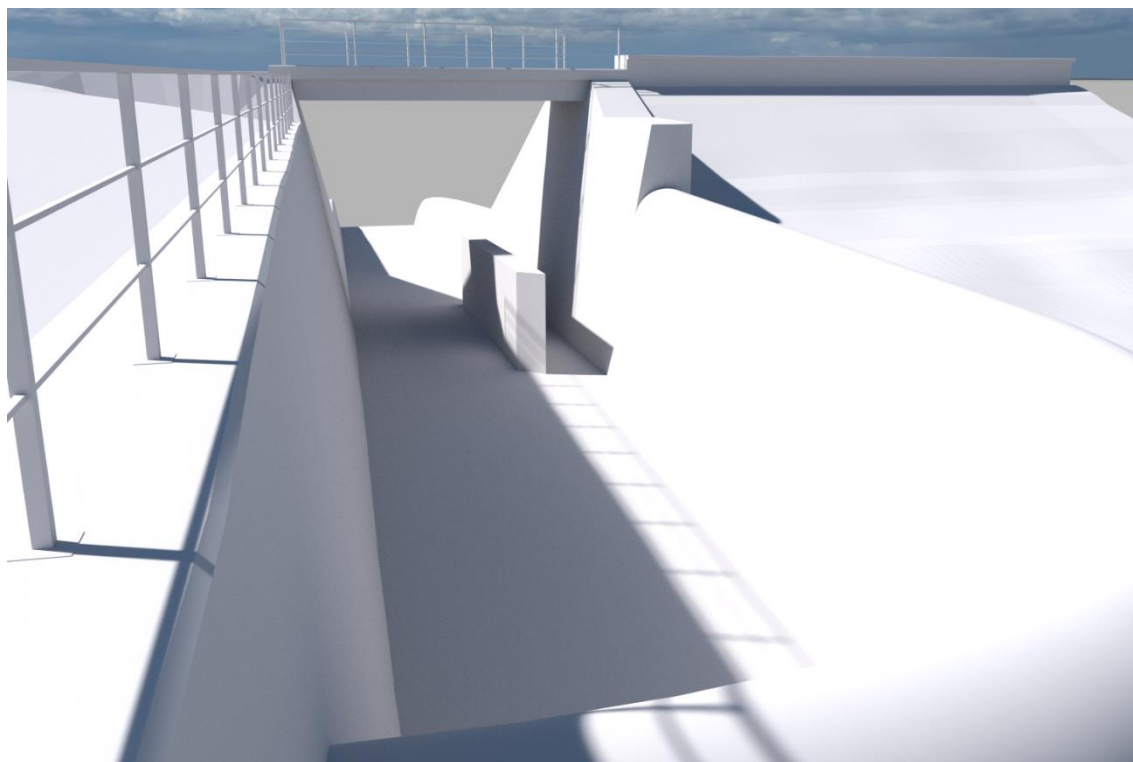
Pozn.: Staničení 0 m odpovídá konci spadiště.

Rovnoměrné rozložení proudu na výstupu ze spadiště

Jednou z možností, jak směrově ovlivnit proud vycházející z prostoru spadiště, je použití usměrňovacího žebra ve spadišti. Detailní návrh umístění, rozměrů a natočení žebra by však vyžadovalo daleko rozsáhlejší výzkum, takový rozsah však není možné tímto posudkem postihnout.

Předpoklad návrhu vychází z podobného žebra, jenž bylo realizováno na VD Těrlicko. Návrhový průtok, pro který je funkčnost žebra posuzována, je $Q_{1\,000}^T$ ($113\text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$). Žebro je umístěno v pravé části skluzu, ve vzdálenosti cca 2,0 m od levobřežní zdi. Začíná ve staničení 0,0 m a jeho délka je cca 12,8 m. Výška činí 2,5 m ode dna skluzu a tloušťka 0,6 m. Nátokové čelo žebra je zkoseno přibližně pod úhlem 51° ve snaze umožnit vhodný náběh proudu a zabránit zbytečnému vzdouvání vody. Více viz obrázek.

Schéma usměrňovacího žebra se nachází v příloze 3.4.1.



Obrázek 15 - Vizualizace usměrňovacího žebra

Z výsledků v příloze 3.4.2 vyplývá, že **usměrňovací žebro, tak jak je navrženo, výrazně zamezuje vzniku příčných vln ve skluzu**. Tyto se při průtoku $Q_{1\,000}^T$ ve skluzu nevyskytují. Je však nutné zmínit, že rozměrové parametry žebra by bylo vhodné dále optimalizovat resp. zmenšit s cílem zachování funkčnosti pro návrhový průtok. Návrh žebra by však bylo vhodné prověřit také pro více variant průtoků přelivem.

7 ZÁVĚR

V rámci posudku bylo provedeno geodetické doměření stávajícího bezpečnostního objektu. Na základě doměření byl vytvořen 3D matematický model přelivu a skluzu. Výpočty na 3D modelu byla ověřena měrná křivka bezpečnostního přelivu a profilu spadiště. Kapacita přelivu je mírně vyšší, než udává Posudek [5] a to díky delší přelivné hraně a dokonalému režimu proudění na přelivu do průtoku $125 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ při dosažení většího součinitele přepadu. Kapacita profilu na konci spadiště je rovněž větší než udává Posudek [5].

Zpřesněná souhrnná měrná křivka byla použita pro výpočet transformací PV Q₂₀ až PV Q_{10 000} nádrží. Důležitým poznatkem je, že při průchodu PV Q_{10 000} bude maximální kulminační hladina dosahovat úrovně 318,88 m n.m., což je sice 0,12 m pod korunou hráze ale je zároveň překročena MBH o 0,98 m. Bude rovněž docházet k vylévání vody ze skluzu do prostoru levobřežní části hráze a k případnému ovlivnění její bezpečnosti. Ve skluzu vznikají také méně výrazné příčné vlny, které mohou mít v některých případech vliv na statiku betonové konstrukce.

S přihlédnutím k výše popsanému doporučujeme provedení nápravného opatření z Posudku [5], konkrétně Variantu 1 (přetěsnění koruny hráze s jejím mírným navýšením bez úpravy bezp. přelivu) v kombinaci s navýšením zdi skluzu. Tato opatření by umožnila posunout MBH do úrovně 319,30 m n.m., přičemž se z výsledků 3D matematického modelu jeví, že by s menší rezervou dostačoval posun do úrovně 319,00 m n.m.

Ve smyslu zamezení vzniku příčných vln se na základě 3D modelu jeví jako vhodné vybudovat v prostoru skluzu usměrňovací žebro. Jeho detailní návrh je však nutné podrobit dalšímu zpřesňujícímu výpočtu matematickým nebo fyzikálním modelem.

V Brně, květen 2017

Vypracoval: Ing. Jan Höll

Spolupracoval: Ing. Tomáš Kantor

Schválil: Ing. Jiří Hodák PhD.
vedoucí útvaru 403
vodní díla na Moravě a Slezsku

8 SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1 – Geodetické zaměření přelivu a skluzu

Přílohy 2 – Transformace povodňových vln

Př. 2.1 – Měrná křivka bezp. přelivu a spadiště zpřesněná 3D modelem - tabelárně

Př. 2.2 – Měrná křivka bezp. přelivu a spadiště zpřesněná 3D modelem – graficky

Př. 2.3 – Výsledky transformací

Př. 2.3.1 – Transformace PV 20

Př. 2.3.2 – Transformace PV 50

Př. 2.3.3 – Transformace PV 100 určená statistickým modelem

Př. 2.3.4 – Transformace PV 100 určená deterministickým modelem

Př. 2.3.5 – Transformace PV 200

Př. 2.3.6 – Transformace PV 500

Př. 2.3.7 – Transformace PV 500 s předpouštěním SV

Př. 2.3.8 – Transformace PV 1000

Př. 2.3.9 – Transformace PV 10 000 určená statistickým modelem

Př. 2.3.10 – Transformace PV 10 000 určená deterministickým modelem

Př. 2.4 – Porovnání součinitele přepadu pro fyzikální a matematický 3D model

Přílohy 3 – Výsledky z matematického 3D modelu přelivu a skluzu

Př. 3.1 – Měrná křivka přelivu ve srovnání s výsledky fyzikálního modelu

Př. 3.2 – Srovnání hladin matematického 3D modelu a fyzikálního modelu v
příčných řezech spadištěm

Př. 3.2.1 – Příčný řez spadištěm ve staničení 0,0 m

Př. 3.2.2 – Příčný řez spadištěm ve staničení -5,0 m

Př. 3.2.3 – Příčný řez spadištěm ve staničení -10,0 m

Př. 3.2.4 – Příčný řez spadištěm ve staničení -14,6 m

Př. 3.3 – Režim proudění bezpečnostním přelivem a skluzem pro transf. průtoky

Př. 3.3.1 – Režim proudění pro PV 20T

Př. 3.3.2 – Režim proudění pro PV 50T

Př. 3.3.3 – Režim proudění pro PV 100T určenou statistickým modelem

Př. 3.3.4 – Režim proudění pro PV 100T určenou deterministickým modelem

Př. 3.3.5 – Režim proudění pro PV 200T

Př. 3.3.6 – Režim proudění pro PV 500T

Př. 3.3.7 – Režim proudění pro PV 1000T

Př. 3.3.8 – Režim proudění pro PV 10 000T určenou statistickým modelem

Př. 3.3.9 – Režim proudění pro PV 10 000T určenou determ. modelem

Př. 3.3.10 – Zobrazení proudnic pro vybrané PV (100, 1000, 10 000)

Př. 3.3.11 – Poloha hladiny ve skluzu pro PV 1000T a PV 10 000T

Př. 3.3.12 – Poloha hladiny ve skluzu tabelárně

Př. 3.4 – Usměrnovací žebro

Př. 3.4.1-3.4.3 – Výkresová dokumentace usměrnovacího žebra

Př. 3.4.4 – Režim proudění pro PV 1000^T

Přílohy 4 – Záznamy z výrobních výborů