

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební

Katedra hydrotechniky



DIPLOMOVÁ PRÁCE

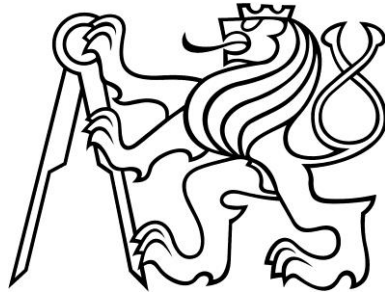
2019

Jakub NOVOTNÝ

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební

Katedra hydrotechniky



DIPLOMOVÁ PRÁCE

VD Hostivař – fyzikální model bočního bezpečnostního přelivu.

Water Work Hostivař – physical model of the side weir

Vedoucí bakalářské práce: doc. Dr. Ing. Pavel Fošumpaur

Konzultant: Ing. Martin Králík, Ph.D.

Leden 2019

Jakub NOVOTNÝ



# ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební

Thákurova 7, 166 29 Praha 6

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

### I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Jakub Jméno: Novotný Osobní číslo: 423720

Zadávací katedra: 142 - Katedra hydrotechniky

Studijní program: Stavební inženýrství

Studijní obor: Vodní hospodářství a vodní stavby

### II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce: VD Hostivař - fyzikální model bočního bezpečnostního přelivu

Název diplomové práce anglicky: Water Work Hostivař - physical model of the side weir

Pokyny pro vypracování:

Pro vodní dílo Hostivař je v současnosti připravována dokumentace pro stavební povolení za účelem zajištění bezpečnosti vodního díla při povodních dle požadavku vyhlášky 590/2002 Sb. Navržené opatření předpokládá realizaci nového bezpečnostního přelivu. V souvislosti s přípravou stavby je v současné době realizován výzkum na fyzikálním modelu v měřítku geometrické podobnosti 1:20 ve Vodohospodářském experimentálním centru ČVUT v Praze. Cílem diplomové práce je popis navrženého technického opatření pro zajištění bezpečnosti VD Hostivař a ověření funkce nového bezpečnostního přelivu včetně kvantifikace jeho měrné křivky, funkce spadiště a tlumení kinetické energie v kaskádovém skluzu a ve vývaru.

Seznam doporučené literatury:

Broža, V., Kratochvíl, P., Peter, P., Votruba, L.: Přehradý. SNTL/ALFA, Praha 1987.

Čábelka, J., Gabriel, P.: Matematické a fyzikální modelování v hydrotechnice. Academia Praha 1987.

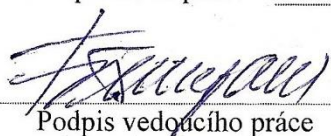
U.S. Department of the Interior: Guidelines for Hydraulic Design of Stepped Spillways. 2015.

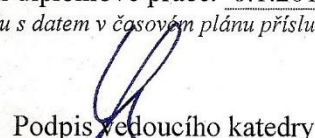
Jméno vedoucího diplomové práce: doc. Dr. Ing. Pavel Fošumpaur

Datum zadání diplomové práce: 3.10.2018

Termín odevzdání diplomové práce: 6.1.2019

Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku

  
Podpis vedoucího práce

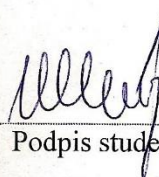
  
Podpis vedoucího katedry

### III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

*Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v diplomové práci a při citování postupovat v souladu s metodickou příručkou ČVUT „Jak psát vysokoškolské závěrečné práce“ a metodickým pokynem ČVUT „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.*

5.10.2018

Datum převzetí zadání

  
Podpis studenta(ky)



### **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o etické přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

V Praze dne

.....



## **Poděkování**

Chtěl bych poděkovat doc. Dr. Ing. Pavlu Fošumpaurovi za vedení mé diplomové práce. Děkuji také panu Ing. Martinu Králíkovi, Ph.D., Ing. Milanu Zukalovi, Ph.D. a Ing. Tomáši Kašparovi za spolupráci při stavbě fyzikálního modelu a cenné rady při výzkumu.

## ABSTRAKT

Hlavním tématem diplomové práce je popis navrženého technického řešení, které je v současnosti připravováno pro dokumentaci stavebního povolení, pro zajištění bezpečnosti VD Hostivař dle požadavku vyhlášky 590/2002 Sb. a ověření bezpečného převedení části návrhového průtoku  $Q_{10\,000}$ , včetně kvantifikace měrné křivky přelivu. Pozornost je také věnována posouzení kapacity skluzu z pohledu tlumení energie a ve vývaru. Výsledkem je celkové posouzení VD Hostivař pro bezpečné převedení kontrolní povodňové vlny KPV 10000 na základě provedených výpočtů a měření na fyzikálním modelu VD Hostivař ve Vodohospodářském experimentálním centru ČVUT v Praze.

**Klíčová slova:** bezpečnostní přeliv, boční přeliv, kaskádový skluz, povodňový průtok, konzumční křivka, fyzikální model,

## ABSTRACT

The main topic of this Diploma thesis is to describe technical solution of the Water work Hostivař, which is currently being prepared for construction permit. According to legislation, water structure of this significance needs to be designed safely and adequately to resist flood flow  $Q_{10\,000}$ . The research, made in The Experimental Centre at CTU in Prague, leads to verification of the design for construction permit.

Furthermore, the study takes into account the assessment of the capacity of the stepped spillway and the stilling pool.

The results verify stepped spillway capacity and include the measurement of rating curve on the physical model.

**Keywords:** emergency spillway, flood flow, stepped spillway, rating curve, physical model, flood flow

## OBSAH

1	ÚVOD .....	7
2	TECHNICKÝ POPIS VODNÍHO DÍLA .....	8
2.1	Úvod .....	8
2.2	Identifikační údaje .....	9
2.3	Technické parametry .....	9
2.3.1	Vzdouvací objekt – hráz .....	11
2.3.2	Bezpečnostní přeliv .....	12
2.3.3	Spodní výpusti .....	14
2.3.4	Obtoková odpadní štola .....	15
2.3.5	Vývar a odpadní koryto .....	15
2.3.6	Ostatní objekty .....	16
2.3.7	Zařízení pro pozorování a měření .....	16
3	HYDROLOGICKÉ ÚDAJE .....	17
3.1	Základní hydrologické údaje .....	18
3.2	Návrhové povodňové průtoky s malou četností .....	19
3.3	Ostatní hydrologické údaje .....	21
4	INŽENÝRSKOGEOLOGICKÝ A GEOFIZIKÁLNÍ PRŮZKUM PODLOŽÍ NOVÉHO BP .....	22
4.1	Geologické poměry .....	22
4.2	Hydrogeologické poměry .....	22
4.3	Geofyzikální měření .....	23
4.3.1	Těžitelnost a použitelnost zemin a hornin .....	23
4.3.2	Svahování dočasných výkopů .....	23
4.3.3	Založení objektu .....	23
4.4	Závěry a doporučení průzkumu .....	24
5	POPIS TECHNICKÉHO OPATŘENÍ PRO ZAJIŠTĚNÍ BEZPEČNOSTI VODNÍHO DÍLA HOSTIVAŘ .....	25
5.1	Nehrazený boční přeliv .....	25
5.2	Stupňovitý (Kaskádovitý) skluz .....	28



5.3	Vývar a odpadní koryto .....	29
6	VÝPOČET A OVĚŘENÍ KAPACITY BOČNÍHO BEZPEČNOSTNÍHO PŘELIVU VD HOSTIVAŘ .....	30
6.1	Hydraulický výpočet přelivu .....	30
6.2	Posouzení návrhu spadiště bočního přelivu .....	32
6.2.1	Posouzení pomocí grafu dle Komory .....	32
6.2.2	Výpočet průběhu hladiny ve spadišti bočního přelivu .....	35
6.3	Výpočet tlumení energie kaskádového skluzu .....	37
6.4	Výpočet kapacity vývaru .....	41
6.5	Závěr výpočetních postupů .....	43
7	STAVBA FYZIKÁLNÍHO MODELU .....	44
7.1	Modelové podmínky .....	44
7.2	Měřítko podobností fyzikálního modelu .....	45
7.3	Popis fyzikálního modelu .....	45
7.4	Měření veličin na fyzikálním modelu .....	46
7.5	Program měření .....	47
8	MĚŘENÍ NA FYZIKÁLNÍM MODELU .....	48
8.1	Konzumční křivka .....	48
8.2	Spadiště bočního přelivu .....	49
8.3	Stupňovitý skluz .....	52
8.3.1	Průběh čáry energie .....	54
9	VYHODNOCENÍ POZNATKŮ Z MĚŘENÍ A VÝPOČTŮ .....	55
9.1	Konzumční křivka .....	55
9.2	Spadiště .....	56
9.3	Skluz .....	58
9.4	Vyhodnocení kapacity vývaru .....	58
10	ZÁVĚR .....	61
	Použitá literatura a prameny .....	63
	Seznam obrázků .....	65
	Seznam Tabulek .....	66





Seznam příloh..... 67

# 1 ÚVOD

V dnešní době, kdy je kladen stále větší a větší důraz na ochranu lidského zdraví a majetku, se bezpečnostní kritéria a požadavky na vodní díla neustále zpřísňují. Vodní dílo Hostivař, ležící na vodním toce Botič, bylo v době výstavby vyprojektováno dle původních stavebních předpisů, které již pozbyly své platnosti a byly nahrazeny vyhláškou č. 590/2002 Sb. Tato vyhláška stanovuje pro stavbu II. kategorie zajistit bezpečnost vodního díla při převedení kontrolní povodňové vlny s dobou opakování 10 000 let. Legislativní změny a povodňová událost v roce 2013 vedly magistrát Hl. m. Prahy k vypracování posudku bezpečnosti VD při povodních a následně dokumentace ke stavebnímu povolení za účelem zajištění bezpečnosti vodního díla. Navržené opatření předpokládá realizaci nového bezpečnostního přelivu. V souvislosti s přípravou stavby je v období 07/2018 až 02/2019 realizován výzkum na fyzikálním modelu v měřítku podobnosti 1:20 ve Vodohospodářském experimentálním centru ČVUT v Praze.

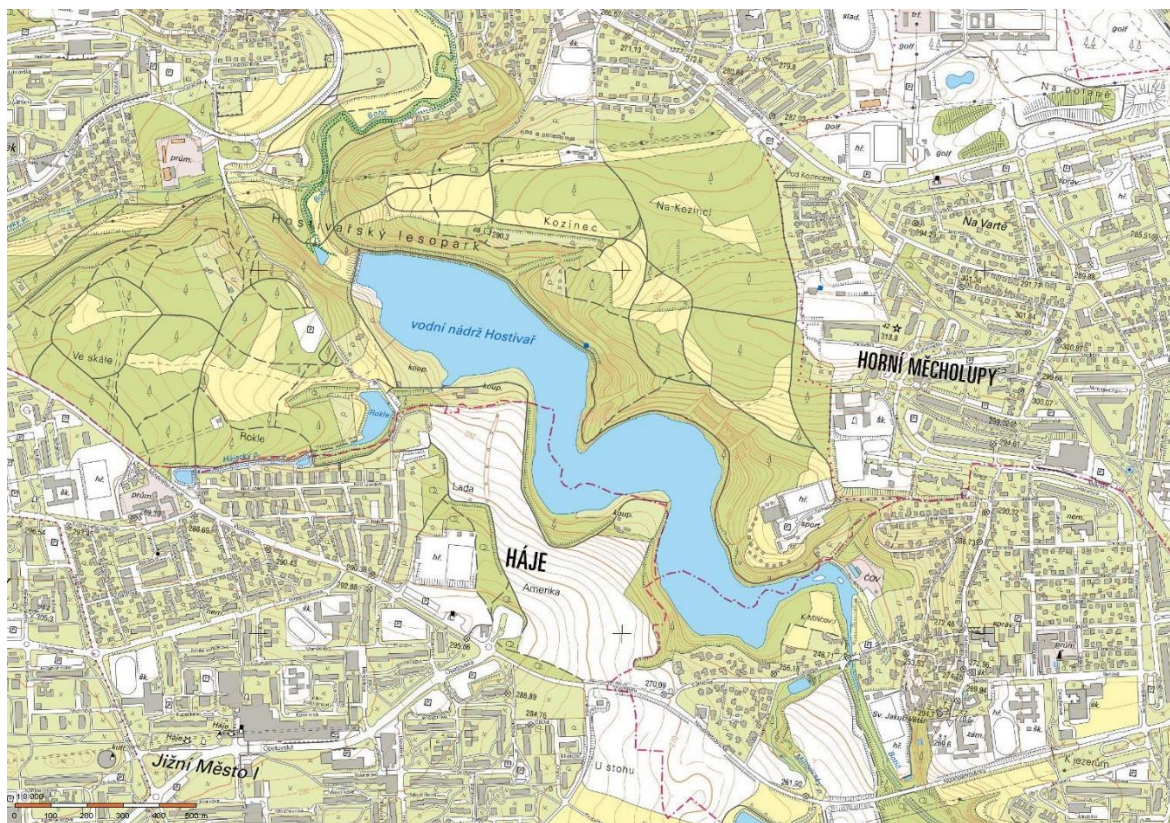
Hlavním cílem diplomové práce je popis navrženého technického opatření pro zajištění bezpečnosti VD Hostivař a ověření funkce nového bezpečnostního přelivu, včetně kvantifikace jeho měrné křivky. Součástí ověření je posouzení funkce spadiště a tlumení kinetické energie v kaskádovém skluzu a vývaru.

Celkové posouzení kapacity bezpečnostního přelivu VD Hostivař pro převedení kulminace kontrolní povodňové vlny  $Q_{10\,000} = 175 \text{ m}^3/\text{s}$  a případná optimalizace různých variant tlumení kinetické energie ve stávajícím vývaru, do kterého je zaústěna odpadní štola od stávajícího a nového bezpečnostního přelivu, nebylo součástí této práce, ale bylo obsahem modelového výzkumu Katedry hydrotechniky, Fakulta stavební, ČVUT v Praze.

## 2 TECHNICKÝ POPIS VODNÍHO DÍLA

### 2.1 Úvod

Vodní dílo Hostivař, známé jako Hostivařská přehrada, se nachází na vodním toku Botič v katastrálním území Praha 15 - Hostivař a je nejvýznamnější vodní plochou na území Prahy. První zmínky o výstavbě hráze pochází z roku 1906, kdy bylo uvažováno o zděné hrázi vysoké 13 metrů. O výstavbě nádrže v dnešní podobě bylo rozhodnuto až v roce 1958 v návaznosti na založení rozsáhlého Hostivařského lesoparku, za účelem rekreace obyvatel Prahy. Samotná stavba, kterou prováděl národní podnik Armabeton, byla zahájena v roce 1961 a dokončena o dva roky později.



*Obr. 2.1 Katastrální mapa zájmového území*

V současné době slouží vodní dílo Hostivař k účelům řazených dle důležitosti: rekreace, zmírnění průchodu velkých vod, vyrovnání rozkolísanosti odtoku v období změny hladiny a sportovní rybolov.[11]

Levý břeh nádrže je využíván jako sportovní areál a nachází se zde i největší pražské přírodní koupaliště, které je díky snadné dostupnosti v letních měsících velmi oblíbeno. Kapacita koupaliště je až 15 000 osob a ke koupání je možno využít jak normální, tak i naturistickou pláž.

Hostivařská přehrada je také oblíbeným rybářským revírem, o čemž svědčí řada trofejních úlovků. Pro sportovní rybolov je možné využít celý pravý břeh nádrže.

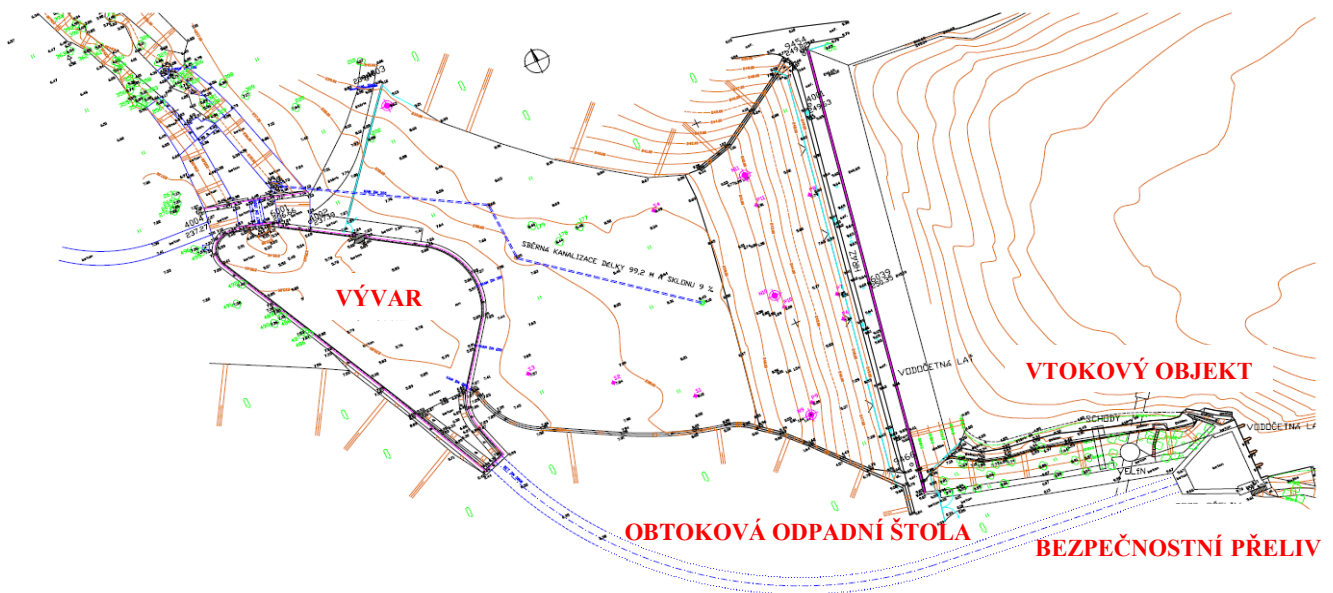
## 2.2 Identifikační údaje

Název stavby:	Vodní dílo Hostivař
Katastrální území:	Hostivař, Praha 15
Tok:	Botič
Číslo hydrologického pořadí:	1-12-01-020
Vlastník:	Hlavní město Praha
Správce:	Lesy hl. m. Prahy

## 2.3 Technické parametry

VD Hostivař tvoří zemní hráz s betonovou obtokovou štolou, do níž jsou zaústěny spodní výpusti, odběrné potrubí a odpad od přelivu [11]. Pod vyústěním obtokové štoly je umístěn vývar půdorysně „ledvinovitého“ tvaru. Dispozice hráze a funkčních zařízení je zobrazeno na Obr. 2.2. Vodní dílo je podle svého významu a stupně ohrožení území pod dílem zařazeno pro potřeby odborného technickobezpečnostního dohledu podle vyhlášky č. 471/2001 Sb. do II. kategorie [11].

Typ nádrže:	protékaná
Typ vzdouvací stavby:	zemní, sypaná z písčitých hlín, s návodním těsněním ze sprášových hlín
Spodní výpusti:	DN 5000 + DN 700 DN 500 s obtokovým potrubím DN 100
Bezpečnostní přeliv:	čelní v levém břehu, 4 pole hraditelná dřevěnými stavidly
Obtoková odpadní štola:	betonová, délka 169,30 m, sklon 2,5 ‰.



Obr. 2.2 Dispozice hráze a podhrází [11]

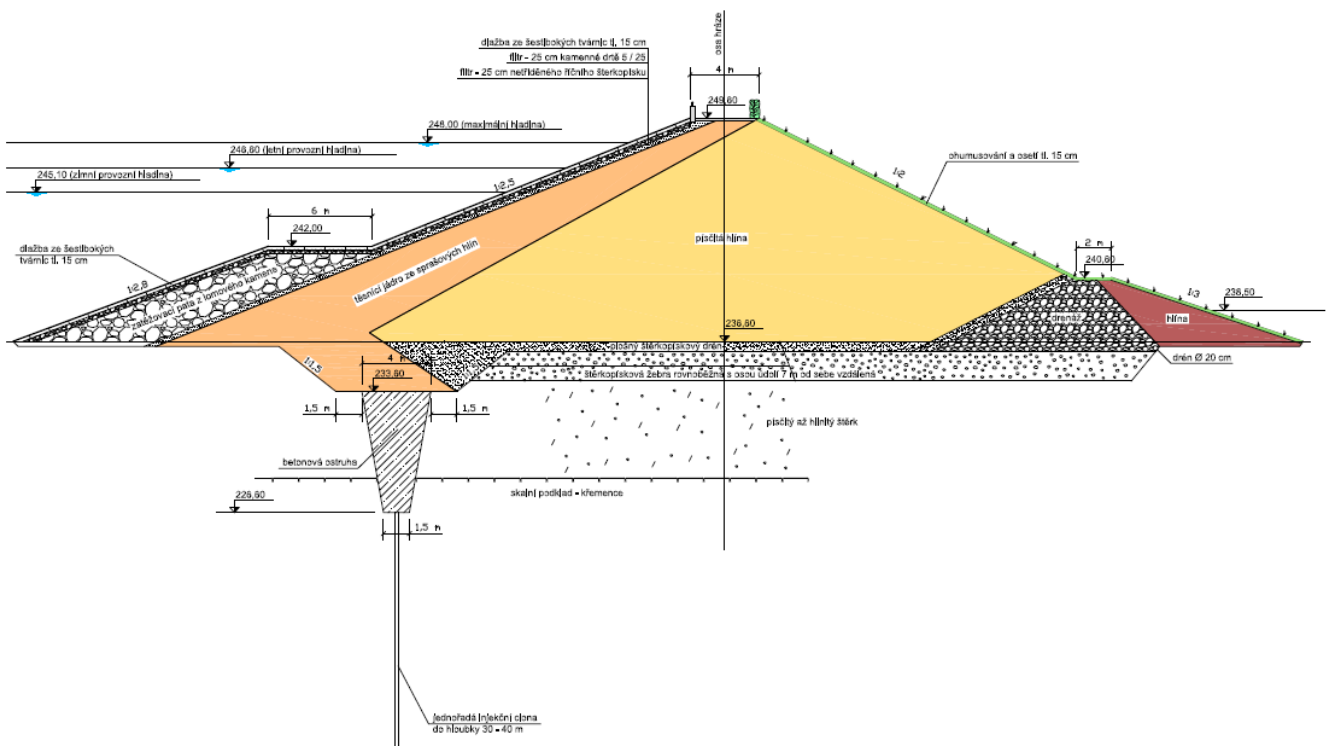
<b>Koruna hráze</b>	
Kóta koruny hráze	249,60 m n. m.
Šířka hráze v koruně	4,0 m
Délka hráze v koruně	101,4 m
Maximální výška hráze	13 m
<b>Objemy při hladině</b>	
H <sub>prov-zimní</sub> = 245,10 m n. m.	851 tis.m <sup>3</sup>
H <sub>prov-letní</sub> = 246,60 m n. m.	1 310 tis.m <sup>3</sup>
H <sub>max</sub> = 248,00 m n. m.	1 845 tis.m <sup>3</sup>
<b>Plochy při hladině</b>	
H <sub>prov-zimní</sub> = 245,10 m n. m.	259 tis.m <sup>2</sup>
H <sub>prov-letní</sub> = 246,60 m n. m.	349 tis.m <sup>2</sup>
H <sub>max</sub> = 248,00 m n. m.	420 tis.m <sup>2</sup>
<b>Návodní svah</b>	
Sklon	1:2,5 (242,00 - 249,60 m n. m.)
Sklon	1:2,8 (dno - 242,00 m n. m.)
Lavice	242,00 m n. m. (šířka 6 m)
Opevnění	Dlažba ze šestibokých tvárnic
<b>Vzdušní svah</b>	
Sklon	1:2,0 (240,60 - 249,60 m n. m.)
Sklon	1:3,0 (podhrází - 240,60 m n. m.)
Lavice	240,60 m n. m. (šířka 2,0 m)
Opevnění	Zatravněno

Tab. 2.1 Základní parametry hráze a nádrže VD Hostivař [11]

### 2.3.1 Vzduvací objekt – hráz

- přímá, zemní, sypaná z písčitých hlín s návodním těsněním ze sprašových hlín

V příčném řezu (Obr. 2.3) má hráz tvar pravidelného lichoběžníku s předsazenou návodní přítěžovací lavicí z lomového kamene. Po koruně hráze široké 4 m je vedena asfaltová komunikace místního významu určená pouze pro pěší a cyklisty. Na návodní hraně koruny je umístěn betonový vlnolam se zábradlím, který určuje délku koruny hráze 101,4 m. Návodní svah ve sklonu 1 : 2,5 je opevněn dlažbou z betonových šestibokých tvárnic s kruhovými otvory vyplněnými šterkem. Vzdušný svah ve sklonu cca 1 : 2 je zatravněn. Lavičku na vzdušném svahu tvoří kamenná drenážní patka, která je zakrytá zatravněním. Návodní těsnění je zapuštěno do podloží zavazovacím zářezem a nasazeno na betonovou ostruhu, která těsní vrstvu písčito-hlinitého šterku pod hrází. K dotěsnění skalního podkladu byla provedena jednořadá injekční clona do hloubky 30 až 40 m. [11]



Obr. 2.3 Vzorový příčný řez tělesem hráze VD Hostivař [11]



### 2.3.2 Bezpečnostní přeliv

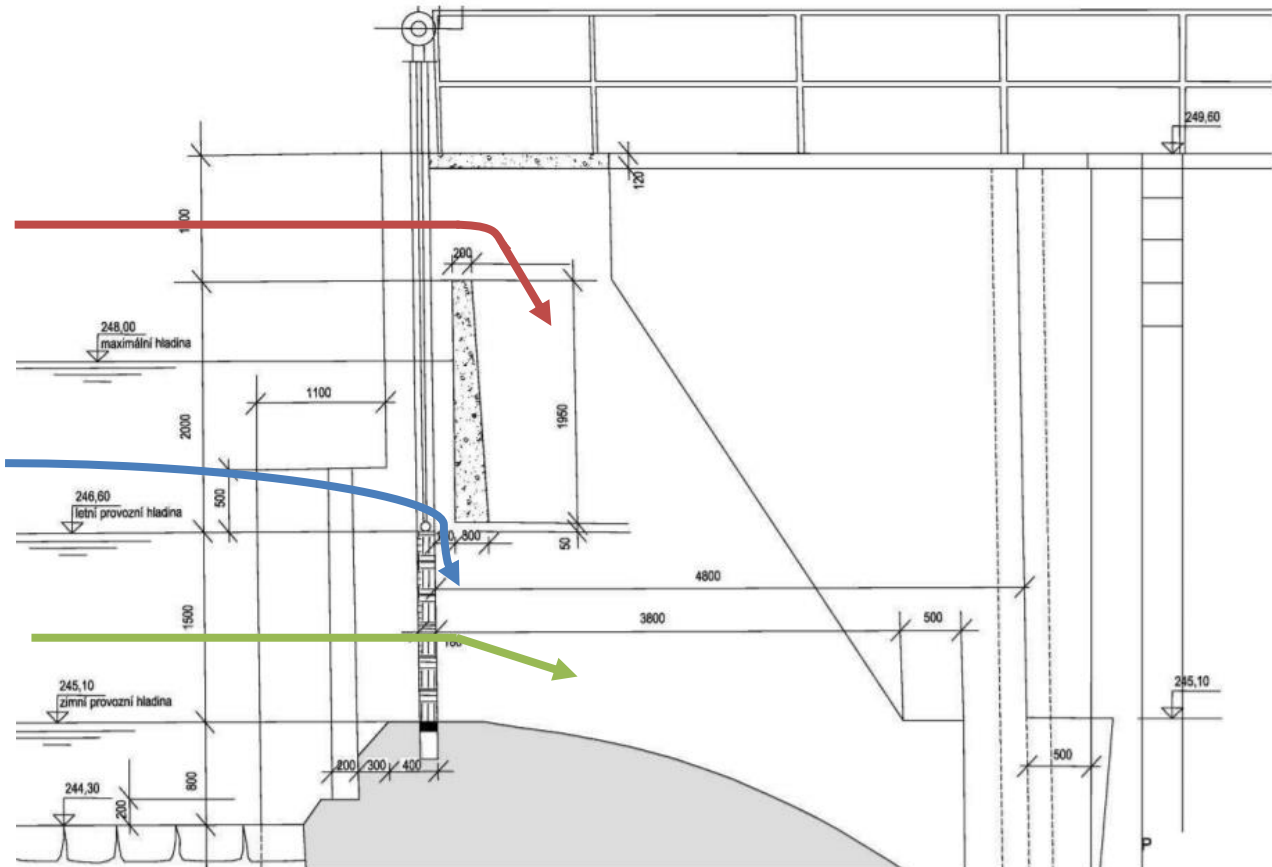
Bezpečnostní přeliv je situován na levém břehu a skládá se ze čtyř přelivných polí o celkové délce přelivné hrany 10,76 m. Jednotlivá pole jsou hrazena dřevěnými stavidly z trámů 100 x 165 mm. Pohyb je uskutečněn v drážkách z ocelových “U“ profilů. Piliře oddělující jednotlivá pole jsou široké 0,48-0,53 m a jsou zakončena půlkruhovým záhlavím. Průtočný otvor mezi vrchem uzavřených stavidel a železobetonovou stěnou má průměrnou velikost 185 mm. Stavidla hrazení bezpečnostního přelivu je možné ovládat jak dálkově z velína, tak přímo z místa u stavidel elektrickým ovládáním. [11]



*Obr. 2.4 Bezpečnostní přeliv z pohledu proti vodě*

Pohyblivými stavidly je přeliv hrazen do kóty 246,60 m n. m. Od kóty 246,70 m n. m. až na kótu 248,59 m n. m. pokračuje 1,95 m vysoká pevná železobetonová stěna. Světlá vzdálenost mezi horní hranou železobetonové stěny nad stavidly a spodní hranou desky železobetonové lávky je 0,88 m. Na levé zdi za stavidly je žebřík, který slouží pro vstup do skluзу přelivu.

Přeliv za stavidly tvoří bezpodtlaková plocha. Její délka od přelivné hrany je 5,3 m a plynule navazuje na skluz. Celková šířka na konci skluzu je 12,3 m a odtud se profil v délce 10,5 m trychtýřově zužuje na šířku 3,0 m a ve dně přechází plynule do půlkružnice. Na otevřený skluz navazuje tunel, jehož profil je kruhový a na délce 11,8 m se z průměru 3,0 m rozšiřuje na 3,8 m a tečně přechází v obtokovou štolu. [11]



Obr. 2.5 Detail bezpečnostního přelivu VD Hostivař [11]

Proudění vody bezpečnostním objektem může nastat třemi typy v závislosti na míře vyhrazení stavidel a poloze hladiny v nádrži.

- Přepad přes zahrazená stavidla (modrá šipka)
- Výtok pod vyhrazenými nebo částečně vyhrazenými stavidly (zelená šipka)
- Výtok a přepad přes vyhrazená stavidla a betonovou stěnu (červená šipka)



### 2.3.3 Spodní výpusti

Spodní výpusti se nacházejí v manipulační věži na levém břehu. Skládají se ze dvou potrubí o průměru 500 mm a 700 mm. Vtok do štolý spodních výpustí je asi 53 m od osy hráze směrem proti vodě. Na vtoku jsou osazeny hrubé česle z ocelových prutů. Potrubí spodních výpustí doplňuje odběrné potrubí DN 500. Každé z potrubí má po provedené rekonstrukci osazen jeden třmenový šoupátkový uzávěr (revizní) a jeden klapkový uzávěr (regulační). Spodní výpusti jsou vyústěny do obtokové štolý (Obr. 2. 6). [11]



*Obr. 2.6 Zaústění bezpečnostního přelivu a spodních výpustí do obtokové štolý*

Ovládání spodních výpustí a obtoku se provádí z manipulační věže. Odběrné potrubí DN 500 je na kótě 239,95 m n. m., tedy výše než spodní výpusti, je vybaveno šoupátkovým uzávěrem a je vyústěno do obtokové štolý. [11]

### 2.3.4 Obtoková odpadní štola

Obtoková štola průměru 3,8 m je umístěna v levém zavázání hráze. Je do ní zaústěn odpad od bezpečnostního přelivu a spodní výpusti (Obr. 2.6). Od vtokového portálu spodních výpustí je štola vedena ve složeném oblouku v celkové délce 169,3 m a v jednotném sklonu 2,5 ‰. Výtok z obtokové štoly tvoří betonový portál obložený rádkovým zdívem do výšky 1,15 m. Dno výtoku je vydlážděno lomovým kamenem do betonu. Obtoková štola přechází do vývaru korytem v délce 19 m. Na přechodu do vývaru je kóta dna štoly 236,27 m. [11]

### 2.3.5 Vývar a odpadní koryto

Vývar za obtokovým tunelem má půdorysně ledvinovitý tvar (Obr. 2.7) s kótou dna v místě zaústění obtoku 235,87 m n. m. a kótou půlkruhového přelivu v nejnižším místě 235,41 m n. m. Z vývaru je voda odváděna propustkem pod sníženou obslužnou komunikací. Kóta povrchu vozovky je 236,51 m n. m., dno propustku na vtoku 234,55 m n. m. a na výtoku 234,46 m n. m.



*Obr. 2.7 Pohled z odpadní štoly směrem do vývaru*

V případě vyšších průtoků je voda převáděna přes snížené místo obslužné komunikace. Koryto pod hrází je upraveno pouze v nejbližším úseku pod vývarem. Dále voda pokračuje

přirozeným korytem, které je zde chráněným krajinným prvkem „Meandry Botiče“. Neškodný průtok v toku pod nádrží je dle [11] stanoven na  $10 \text{ m}^3/\text{s}$ . Tato hodnota je podmíněna sklopením jezu Marcela na Botiči v Záběhlicích. Jez Marcela musí být sklopen při odtoku z nádrže  $5 \text{ m}^3/\text{s}$ . Rovněž musí být při odtoku z nádrže  $5 \text{ m}^3/\text{s}$  vyhrazena propust v Záběhlickém jezu. [11]

### 2.3.6 Ostatní objekty

#### 2.3.6.1 Dělicí hráz v horní části nádrže

Pro zachycování sedimentů je v horní části nádrže navržena dělicí přeronová kamenitá hráz. Pro vypouštění horní části nádrže nad dělicí hrázkou je navržen výpustný objekt hrazený na šířku 3,0 m dřevěnými trámy. Součástí realizace dělicí hráze je i přístup a provozní komunikace v zátopě. Dělicí hráz byla dokončena v roce 2003. Její základní parametry dle [11] jsou: kóta koruny dělicí hráze: 246,30 m n. m., délka koruny dělicí hráze: 32,0 m, maximální výška dělicí hráze: 1,5 m, sklony svahů návodní/vzdušní: 1:1,5 / 1:2.

#### 2.3.6.2 Obtok ze soustavy retenčních nádrží Hájecký R1, R2 a R3

Odpadní potrubí od přepouštěcího objektu retenční nádrže R3 Hájecký je vyústěno do levé stěny přelivného objektu VD Hostivař – za stavidly bezpečnostního přelivu (Obr. 2.5).

### 2.3.7 Zařízení pro pozorování a měření

#### 2.3.7.1 Měření a sledování TBD

Na VD Hostivař jsou umístěna zařízení pro pozorování a měření provozních veličin (výška hladiny vody v nádrži, teplota vzduchu, srážkový úhrn, apod.) a zařízení pro sledování veličin technickobezpečnostního dohledu (TBD). [11]

Z veličin TBD jsou sledovány deformace tělesa hráze a funkčních objektů a průsakové a tlakové poměry vodního díla. Podrobně jsou jednotlivá zařízení pro sledování a měření veličin TBD uvedena a zdokumentována v Programu technickobezpečnostního dohledu pro VD Hostivař. Základní rozmístění zařízení TBD je zakresleno na Obr. 2.2 dle [11].

### 2.3.7.2 Síť limnigrafických a srážkoměrných stanic

Síť limnigrafických stanic (LS) v povodí Botiče zahrnuje celkem 10 limnigrafických stanic na Botiči a jeho přítocích [13]: 5 stanic na Botiči (Kocanda, Průhonice, Petrovice, Hostivař, Nusle), 2 stanice na Pitkovickém potoce (Benice, Kuří), 1 stanice na Jesenickém potoce (Jesenice), 1 stanice na Chomutovickém potoce (Modletice), 1 stanice na Dobřejo-vickém potoce (Dobřejovice). Jednotlivé stanice jsou vybaveny vzájemně kompatibilní tech-nologií, kterou je tlaková měřicí sonda, software umožňující přenos dat pomocí GSM do dispečerských stanovišť správce VD Hostivař (Lesy hl. m. Prahy), záložní zdroj elektrické energie, některé stanice jsou doplněny srážkoměrem (Hostivař, Dobřejovice, Kocanda, Je-senice). [13]

## 3 HYDROLOGICKÉ ÚDAJE

Vodní tok Botič je, mimo řeky Berounky, největším pražským přítokem řeky Vltavy a také nejznámějším pražským potokem. Pramení jihovýchodně od Prahy, blízko obce Čeně-tice.

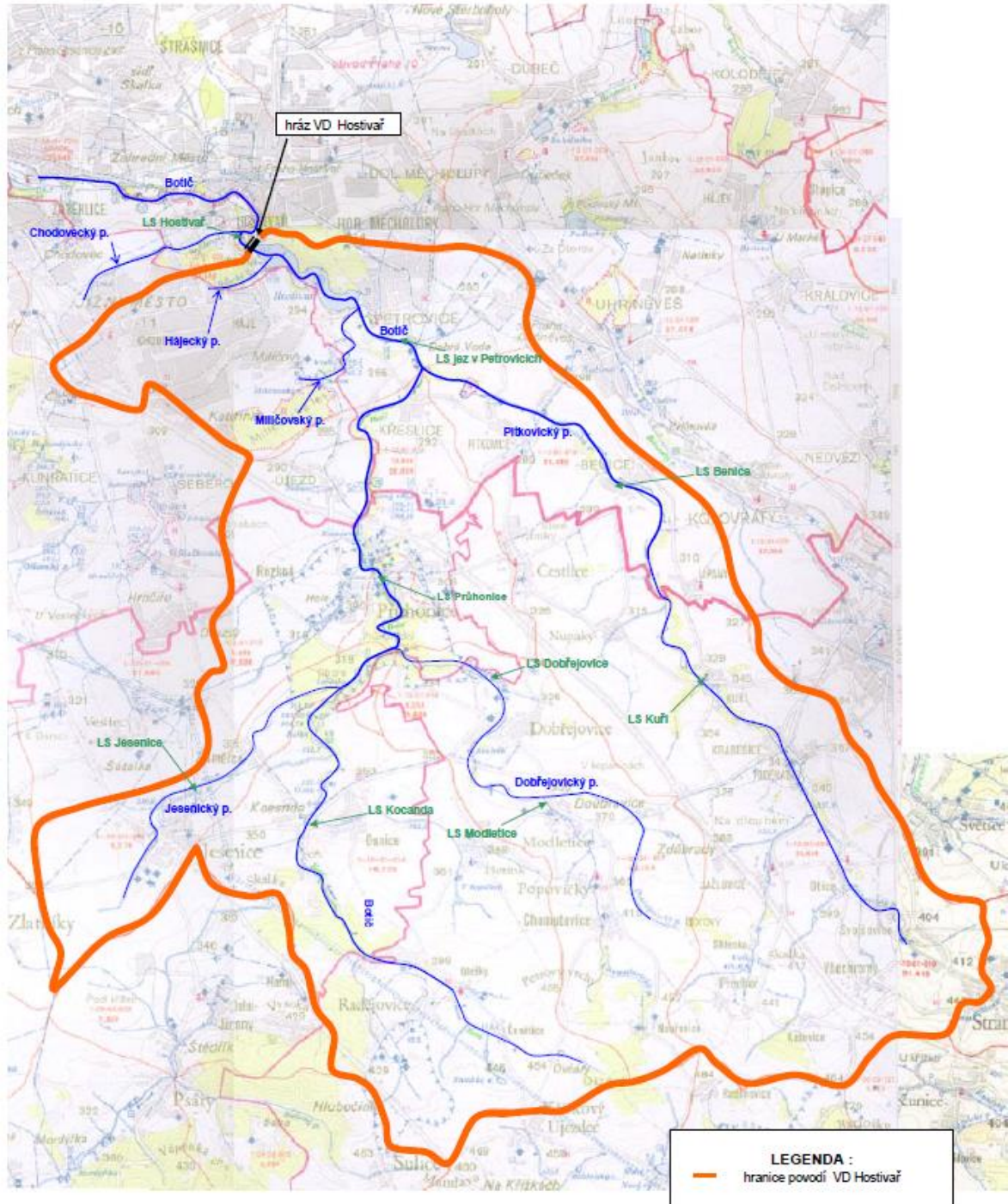
Do Botiče ústí řada drobných vodních toků jako Průhonický, Chodovecký, Měcholup-ský, Milíčovský, Pitkovický, Slatinský potok. Na toku je kromě několika menších rybníků místního významu vybudována v ř. km 13,55 také předmětná Hostivařská přehrada, která je využívána převážně pro rekreaci. Jde o protékanou nádrž zabírající ř. km 13,55 - 15,75 Bo-tiče.

Pro vodní tok Botič a profil v místě hráze VD Hostivař činí plocha povodí 94,806 km<sup>2</sup>, kde průměrný dlouhodobý roční průtok je 350 l/s a průměrný dlouhodobý roční úhrn srážek je 589 mm. Celková plocha povodí je 134,85 km<sup>2</sup>. Číselné charakteristiky N-letých a m-denních průtoků pro vybrané profily povodí toku Botiče dle [11] jsou uvedeny v Tab. 3.1.



### 3.1 Základní hydrologické údaje

Základní hydrologické údaje podle ČSN 75 1400 poskytl Český hydrometeorologický ústav, pobočka Praha 25. 6. 2014. Data byla převzata z MPŘ VD Hostivař [11].



Obr. 3.1 Schématická situace povodí VD Hostivař [11]

Vodní tok:	Botič
profil:	hráz VD Hostivař
číslo hydrologického pořadí:	1 – 12 – 01 – 0200
Plocha povodí (F)	95,35 km <sup>2</sup>
Průměrná dlouhodobá roční výška srážek (H sa )	589 mm
Průměrný dlouhodobý roční průtok	350 l/s

**M - denní průtoky (období 1981–2010)**

M-dní	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	355	364
Q - l.s <sup>-1</sup>	833	596	471	387	324	273	231	193	158	125	90	52	24

**N - leté průtoky a objemy k nim příslušných povodňových vln**

N - roků	1	2	5	10	20	50	100	1000*
Q - m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup>	4,8	9,5	18,0	26,0	35,0	48,9	60,3	96
W- mil.m <sup>3</sup>					2,698	3,41	3,96	5,676

\* Data převzata z dokumentu Parametry zvláštních povodní pro VD Hostivař, Vodní díla TBD a.s., 07/2002.

Tab. 3.1 M-denní a N-leté průtoky profilu VD Hostivař

### 3.2 Návrhové povodňové průtoky s malou četností

Pro návrh opatření k zabezpečení vodního díla za povodní byla převzata a dále odvozena následující data  $Q_{1000}$  a  $Q_{10\,000}$  z následujících zdrojů:

- Odtoková studie zpracovaná VÚV, data o průběhu teoretické povodňové vlny  $Q_{10\,000}$
- Hydrologická studie zpracována ČHMU, Praha 6/2014, Stanovení teoretické povodňové vlny s dobou opakování  $N = 10\,000$  let v profilu VD Hostivař

Z těchto dokumentů byly získány hodnoty povodňových vln s dobou opakování  $N = 10\,000$ , které se svými výsledky značně liší. [15]

Povodeň	$Q_N$ [m <sup>3</sup> /s]	V[mil.m <sup>3</sup> ]
VUV Zima	140	18 368
VUV Léto	175	9 810
ČHMU	151	13 780

Tab. 3.2 Porovnání hodnot odvozených povodňových vln

Návrhový parametr kulminačního průtoku pro zabezpečení  $Q$  10 000 je dle podkladů (Tab. 3.2) značně variabilní. Minimální a maximální hodnota se liší o 25 %. [15]

Vzhledem k uvedeným skutečnostem byla hodnota kulminace KPV 10000 uvažována hodnotou  $175 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Z prostorů nádrže je zřejmé, že ovladatelný retenční prostor a rezervní prostor je  $1,138 \text{ mil. m}^3$  (Tab. 3.3), což je vzhledem k objemům teoretických povodňových vln objem velmi malý.

Transformační účinek nádrže se vzhledem k velikosti retenčního prostoru nádrže předpokládá u teoretických povodní s dobou opakování kratší než 20 let (PV20). Při povodních s dobou opakování delší než 20 let se nedá očekávat téměř žádné snížení kulminace na odtoku z nádrže. Retenční účinek nádrže je limitován nepříznivým využitím území v okolí horní části nádrže. [15]

Úroveň	Označení prostoru nádrže	Kóta hladiny	Dílčí objem	Celkový objem	Zatopená plocha
		[m n. m.]	[mil. $\text{m}^3$ ]	[mil. $\text{m}^3$ ]	[tis. $\text{m}^2$ ]
dno nádrže	mrtvý prostor	236,70	0,000	0,000	0,00
dno výpustí		237,30	0,005	0,005	0,00
práh přelivu – zimní provozní hladina	stálé nadržení	245,10	0,846	0,851	259,0
horní hrana stavidel – letní provozní hladina	zásobní	246,60	0,459	1,310	349,0
maximální hladina	ovladatelný retenční	248,00	0,535	1,845	420,2
mezí bezpečná hladina	rezervní	249,30	0,603	2,448	496,3
koruna hráze		249,60	0,142	2,590	532,0
koruna vlnolamu		250,35			

Tab. 3.3 Rozdělení prostoru nádrže VD Hostivař

### 3.3 Ostatní hydrologické údaje

Minimální zůstatkový průtok pod hrází VD Hostivař je stanoven na  $Q_{\min} = 0,084 \text{ m}^3/\text{s}$  [11]. Neškodný průtok v toku pod hrází VD Hostivař je stanoven na  $10 \text{ m}^3/\text{s}$  [11]. Tato hodnota neškodného průtoku je podmíněna sklopením jezu Marcela na Botiči v Záběhlicích. Jez Marcela musí být vyhrazen již při odtoku z nádrže  $5 \text{ m}^3/\text{s}$ . Taktéž musí být při odtoku z nádrže  $5 \text{ m}^3/\text{s}$  vyhrazena propust v Záběhlickém jezu. Maximální odtok z nádrže je ovlivňován [11]: - velikostí přítoku do nádrže (tj. tvaru hydrogramu), - aktuální úrovni hladiny vody v nádrži (letní x zimní provozní hladina), - prováděním manipulací (předvypouštění, manipulace v průběhu povodně, apod.).

Rozhodnutí o vybudování VD Hostivař padlo po velké povodni 8. července 1958 [14]. Tato povodeň, kterou dokument [16] označuje jako „stoletou“, způsobila v Hostivaři mimořádné škody. Historicky zde byla největší povodeň zaznamenána roku 1862, kdy zde protékalo přibližně  $76 \text{ m}^3/\text{s}$ . Tato povodeň byla překonána v červnu roku 2013, kdy do Hostivařské přehrady přitékalo cca  $84 \text{ m}^3/\text{s}$ . Díky retenční schopnosti nádrže odtékalo dále do Botiče  $74 \text{ m}^3/\text{s}$ . Celkový objem povodně byl cca 7 mil.  $\text{m}^3$ . Toto množství vody by dle. (Tab. 3.1) zaplnilo tři prázdné Hostivařské přehrady po maximální hladinu.



## 4 INŽENÝRSKOGEOLOGICKÝ A GEOFIZIKÁLNÍ PRŮZKUM PODLOŽÍ NOVÉHO BP

### 4.1 Geologické poměry

Z regionálně geologického pohledu spadá zájmové území do pražské pánve. Skalní podklad je tvořen horninami libeňského souvrství, které je překryto sedimenty kvartérního stáří a vlastní těleso hráze je budováno recentním antropogenním materiálem. [17]

Svahy nad úrovní paty hráze, jsou překryty deluviálními sedimenty, které jsou převážně charakteru hlinitokamenitých křemencových sutí o mocnostech 3-5 m. V místě pod hrází je kvartérní pokryv tvořen deluviofluviálními sedimenty. Vlastní těleso hráze je budováno hlínami písčitými, těsnící jádro je tvořeno hlínami s nízkou plasticitou až hlínami písčitými. [17]

### 4.2 Hydrogeologické poměry

Z regionálního hydrogeologického hlediska se zájmové území nachází v rajonu 625 – proterozoikum a paleozoikum v povodí přítoků Vltavy. Dle hydrogeologické mapy list Praha 4-4 a dle provedených sond se hladina podzemní vody v úrovni koruny hráze pohybuje 2,5-3,5 m pod terénem přibližně při kótách okolo 247-246 m n. m. Při patě svahu v údolnici je hloubka podzemní vody okolo 1,5-2,0 m pod terénem při kótě 236-235,5 m n. m. Proudění podzemní vody je výrazně ovlivněno sypanou hrází, kdy se úroveň hladiny podzemní vody v přímém okolí hráze pohybuje okolo 7 m pod současným terénem. [17]

Chemismus podzemních vod v prostředí ordovických hornin a jejich deluvii je obecně sírano-vápenatý až sírano-hořečnatý. Na základě analýzy vod na odebraných vzorcích je dle ČSN EN 206 agresivita vody pro stavební účely pod úrovní odpovídající slabé agresivitě stupně XA1. [17]

### 4.3 Geofyzikální měření

Jako součást inženýrskogeologického průzkumu lokality prováděného objednatelem v prostoru pravobřežního zavázání hráze VD Hostivař v Praze 4 byl zařazen geofyzikální průzkum. Geofyzikální průzkum měl poskytnout doplňující informace ke geotechnickému zhodnocení navrženého objektu bezpečnostního přepadu a s jeho stavbou souvisejících úprav. [17]

Z hlediska účelu průzkumu je zásadní svrchní část geologického řezu, především mocnost a charakter pokryvu a tvar a hloubka povrchu skalního podloží, jeho porušení, rozpukání a stupeň zvětrání. [17]

#### 4.3.1 Těžitelnost a použitelnost zemin a hornin

V průběhu zemních prací budou těženy heterogenní navážky (jejich výskyt je především vázán na okraj tělesa hráze - zavázání hráze) dále pak málo mocné vrstvy navážek pod konstrukcí vozovky, popřípadě navážky v místě pod hrází. Navážky jsou výrazně heterogenního charakteru. Heterogenní navážky řadíme dle ČSN 73 6133 tabulky 1 podle použití do násypů a zásypů k materiálům podmíněčně vhodných, případě nevhodným k přímému použití bez úpravy. Toto ovšem musí být posouzeno v průběhu zemních prací odborným geologem. [17]

#### 4.3.2 Svahování dočasných výkopů

Vzhledem k umístění stavby v intravilánu, vzhledem k co nejmenšímu záboru během zemních pracích, vzhledem k mělké hladině podzemní vody HPV a vliv vody v přehradě během zemních pracích, dále pak vzhledem k možným svahovým nestabilitám se předpokládá, že hloubení výkopu bude probíhat po celé délce pod ochranou pažení stěn tohoto výkopu. [17]

#### 4.3.3 Založení objektu

Založení objektu je plánováno plošně, hloubeným výkopem. Mocnost betonového dna přelivu, resp. skluzu je plánována 1.0 m, resp. 1.5 m. Během výstavby stavební konstrukce je nutné dodržet několik opatření obsažených v dokumentu Inženýrskogeologického a geofyzikálního průzkumu str.33. [17]

#### 4.4 Závěry a doporučení průzkumu

Celkově lze výsledky inženýrskogeologického a geofyzikálního průzkumu shrnout takto:

- Při zhodnocení celkové agresivity prostředí vůči betonovým konstrukcím dle ČSN EN 206 je nutné vzít do úvahy zjištěné slabé agresivní CO<sub>2</sub> kapalně prostředí stupně XA1, odebrané vzorky vody vykazují vzhledem k hodnotě vodivosti velmi **vysokou agresivitu na ocel** (stupeň IV) dle ČSN 03 8375.
- **Vhodné je provádět stavební práce při snížené hladině vody v nádrži.**
- **Štěrkovité sedimenty**, které na lokalitě zrnitostně převažují, jsou **vhodné k přímému použití bez úpravy** pro použití do zemního tělesa. Ostatní typy zemin a zcela zvětralých břidlic jsou převážně podmíněčně vhodné k přímému použití bez úprav
- Při hloubení výkopu pro přeliv, resp. skluz, lze předpokládat **zvýšený stupeň nestability svahu**. Během provádění zemních prací může v hlinitokamenitých sutích docházet k sesuvům menšího rozsahu, zejména v době vyšších srážkových úhrnů a zejména po pevnějším skalním podloží.
- Zájmové staveniště dle Eurokódu 7, ČSN EN 1997-1 kap. 2.1, odstavce (21) spadá do **3. geotechnické kategorie**
- Během hloubení výkopu je **doporučena přítomnost stavebního geologa**. Geolog by měl být přítomen i při přebírce základové spáry.
- V předstihu před zahájením stavebních prací zajistit geotechnický monitoring okolí stavby z hlediska možných deformací stavebních výkopů i širšího okolí stavby

Doporučení byla čerpána z dokumentu Inženýrskogeologického a geofyzikálního průzkumu [17].

## 5 POPIS TECHNICKÉHO OPATŘENÍ PRO ZAJIŠTĚNÍ BEZPEČNOSTI VODNÍHO DÍLA HOSTIVAŘ

Bezpečnostní přeliv je funkční objekt vodního díla, který zabezpečuje přehradní těleso proti přelití a zajišťuje bezpečné převedení povodňových průtoků přes těleso hráze. Podle umístění a konstrukčního uspořádání můžeme rozlišit několik typů přelivů. V tomto případě byl zvolen boční betonový nehrazený přeliv, který bude umístěn mimo přehradní těleso na pravém svahu nádrže. Voda v tomto případě přepadá příčně na směr toku do spadiště. Následně voda odtéká pomocí skluzu skrz hráz do vývaru. Nově vybudovaný vývar bude zaústěn pomocí odpadního koryta do stávajícího vývaru odpadní štolky.

Návrhu a posouzení bezpečnostního přelivu hráze je zapotřebí věnovat odpovídající pozornost, jelikož kapacita a typ přelivu má zásadní vliv na bezpečnost přehrady jako celku.

### 5.1 Nehrazený boční přeliv

Dimenzování přelivů předepisuje státní norma ČSN 75 2340 a ČSN 75 2935, podle které se stanoví kontrolní povodeň a následně dojde k ověření převedení s dodržением předepsaného převýšení koruny hráze. Kóta koruny hráze je dána kótou mezní bezpečné hladiny (MBH), převýšením nad ní a výsledkem posouzení hráze podle ČSN 75 2935. Kóta kontrolní maximální hladiny (KMH) a mezní bezpečné hladiny (MBH) se stanoví z posouzení bezpečnosti vodního díla při povodních s ohledem na zařazení VD do kategorie dle TBD. Kontrolní návrhový průtok vychází dle ČSN 75 2935 pro II. kategorii z kontrolní návrhové povodně s dobou opakování 10 000 let. Návrhový průtok pro stanovení návrhové hladiny  $M_{\max}$  se stanoví dle normy ČSN 75 2340 pro vodní dílo II. kategorie z návrhové povodně s dobou opakování 1 000 let.

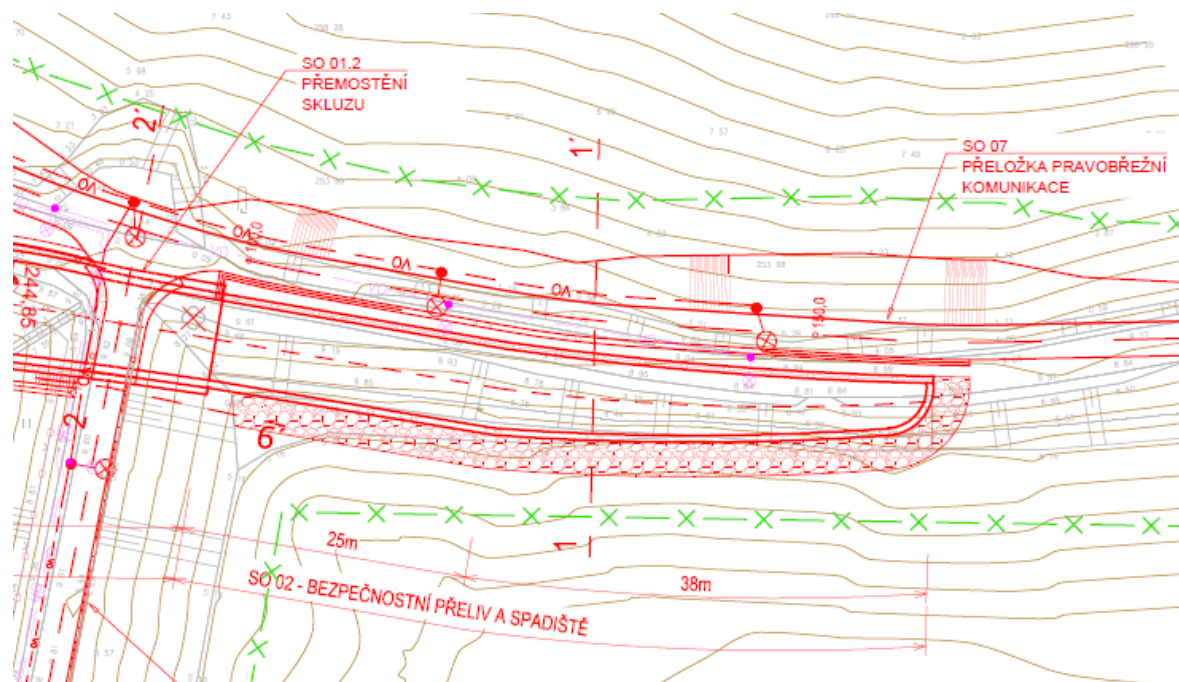
Bezpečnostní přelivy dělíme podle umístění a konstrukčního uspořádání na přelivy korunové, postranní, boční, šachtové aj. Dále lze přelivy dělit na hrazené a nehrazené. U hrazených přelivů je průtočnost řízena uzávěrem.

Pro námi řešenou lokalitu byl zvolen boční nehrazený přeliv, umístěn uvnitř nádrže na pravém břehu. Jedním z hlavních důvodů výběru nehrazeného přelivu byla výhoda bezobslužné manipulace starým bezpečnostním přelivem pro převádění průtoků do hodnoty  $Q = 35 \text{ m}^3/\text{s}$ . Nový bezpečnostní přeliv je schopen tento průtok převést při hladině v nádrži  $H_{\max} = 248.90 \text{ m n. m.}$  Další výhodou nehrazeného přelivu je minimalizace nesprávné manipulace

vlivem lidského faktoru. Pravý břeh nádrže byl vybrán z důvodu umístění stávajícího bezpečnostní přelivu s odpadní obtokovou šachtou na levém břehu hráze. Výběr bočního nehrazeného přelivu byl z možných variant řešení v dané lokalitě ekonomicky a technicky nejvhodnější. Otázkou bylo, zda zvolit variantu bočního přelivu s jednotnou výškou přelivné hrany, nebo s dělenou výškou přelivné hrany. Na základě provedených výpočtů transformací povodňových vln ze studie viz. [15] lze konstatovat, že z hlediska transformačního účinku povodňových vln jsou varianty srovnatelné. Přeliv s jednotnou výškou přelivné hrany má příznivější účinky pouze u průtoků s kratší dobou opakování, a to do cca  $Q_{10-15}$ , jelikož je využita větší část objemu nádrže. Ovšem v případě vyšších průtoků pak vykazuje větší transformační účinek varianta s dělenou přelivnou hranou. Rozdíl u jednotlivých hodnot kulmináčích průtoků je do 5 %. Z hlediska teoreticky zachyceného objemu vychází také výrazně lépe varianta s dělenou přelivnou hranou. [15]

Přelivná plocha přelivu se konstruuje na návrhový průtok  $Q_N$ , při němž jsou zajištěny dané průtokové poměry. U navržené přelivné proudnicové plochy se setkáváme s podtlakovým, tlakovým nebo beztlakovým režimem. [2]

Zpočátku s režimem tlakovým  $p > p_a$ ;  $h < h_a$ ;  $Q < Q_a$ , který se postupně s rostoucím průtokem mění na režim beztlakový, kde platí  $p = p_a$ ;  $h = h_a$ ;  $Q = Q_a$ . Podtlakový režim nastává za podmínek, kdy  $p < p_a$ ;  $h > h_a$ ;  $Q > Q_a$ . Podtlaky na přelivné ploše jsou zpočátku příznivým jevem, jelikož zvyšují kapacitu přelivu. Negativní vlivy spojené s růstem přepadové výšky přepadového paprsku jsou chvění konstrukce a nebezpečí kavitace, které ohrožují bezpečnost celé konstrukce. [2]



Obr. 5.1 Půdorys navrženého bezpečnostního přelivu VD Hostivař

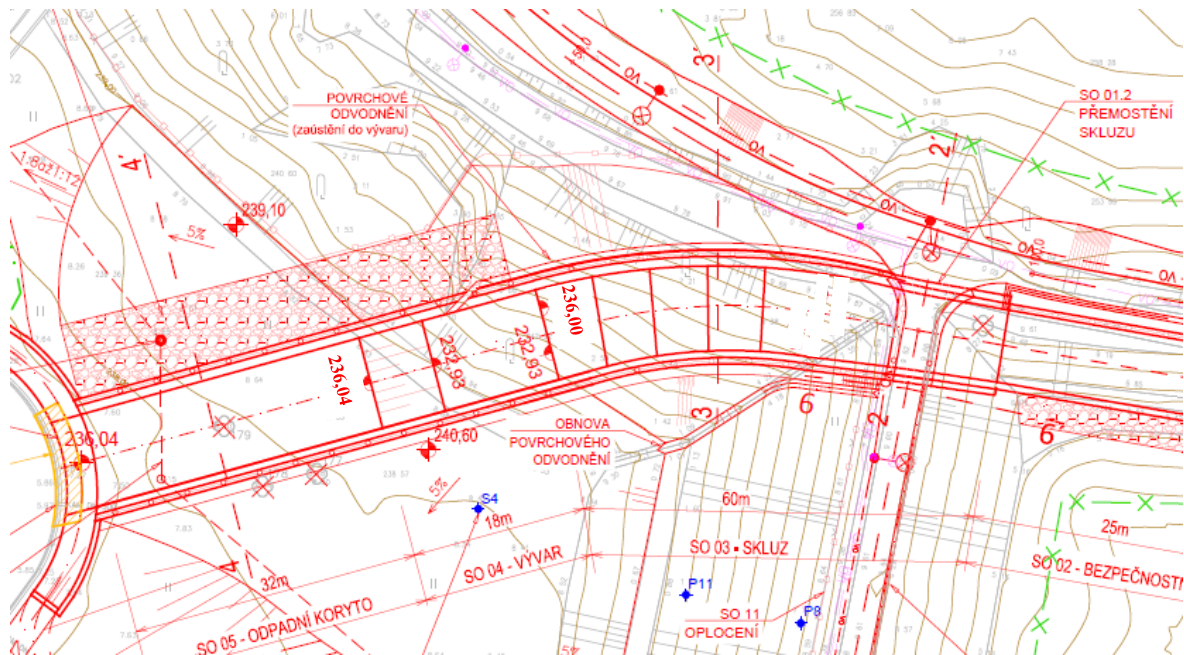
Výsledným návrhem byl zvolen boční nehrazený přeliv s dělenou přelivnou hranou rozdělenou na dva nestejně dlouhé úseky. První úsek přelivné hrany je dlouhý 25 m s kótou přelivné hrany v nadmořské výšce 248,20 m n. m. Druhá část přelivné hrany je dlouhá 38 m s kótou přelivné hrany v nadmořské výšce 248,70 m n. m. Přeliv bude mít hydraulicky zaoblenou přelivnou hranu. Dno spadiště začínající na kótě 249,70 m n. m. se lineárně prohlubuje v celé své délce až na kótu 243,92 m n. m., kde navazuje na skluz. Podélný sklon spadiště byl navržen jednotný 4,5 %.

Konstrukce bude řešena jako železobetonový polorám s šířkou ve dně 7,0 m v koncovém úseku. Na pravou zeď skluzu bude přímo navazovat přeložka komunikace. Z tohoto důvodu je nezbytné na koruně zdi instalovat zábradlí výšky 1,3 m bránící pádu do spadiště, jelikož cesta je využívána jako cyklostezka. Odvodnění prostoru za rubem zdi spadiště bude provedeno ve dvou úrovních. Povrchové odvodnění bude svedeno do prostoru nádrže a odvodnění za rubem zdi bude svedeno do pravého břehu. Předpolí přelivu bude upraveno kamennou dlažbou do betonového lože, aby nedocházelo k zarůstání předpolí a snížily se tak nároky na údržbu. V celém rozsahu přelivu bude provedena injektáž podloží. Těsnící clona bude provedena v patě přelivné zdi objektu do pravého zavázání. [15]

## 5.2 Stupňovitý (Kaskádovitý) skluz

Na spadiště bezpečnostního přelivu navazuje skluz s pěti stupni. Úkolem skluzu je nejen odvedení vody skrz hráz, ale i částečné tlumení energie přepadající vody přes jednotlivé stupně skluzu.

Dle fyzikálního výzkumu VUV, 1964 je stávající bezpečnostní přeliv schopen převést průtok o hodnotě  $Q = 78 \text{ m}^3/\text{s}$  při kótě hladiny 249,30 m n. m. Hodnota kúlminace kontrolního povodňového průtoku pro VD Hostivař je rovna  $Q_{10\,000} = 175 \text{ m}^3/\text{s}$ . Kaskádovitý skluz byl navržen tak, aby převedl pouze část průtoku o hodnotě  $Q = 97 \text{ m}^3/\text{s}$ . Tento průtok bude převáděn bočním přelivem a navazujícím skluzem nového bezpečnostního přelivu při hodnotách kontrolního povodňového průtoku  $Q_{10\,000}$ . Součtem průtoků obou bezpečnostních přelivů získáme požadovanou hodnotu průtoku  $Q = 78 \text{ m}^3/\text{s} + 97 \text{ m}^3/\text{s} = 175 \text{ m}^3/\text{s}$ .



Obr. 5.2 Půdorys navrženého stupňovitého skluzu a vývaru VD Hostivař

Skluz je dlouhý celkem 46 m a navazuje na spadiště s šířkou ve dně 7,0 m a následně je postupně rozšířen až na 9,0 m. Půdorysně je skluz veden přímo v délce 22 m, poté je veden v oblouku o poloměru 57 m v délce 25 m, kde ústí do vývaru. Pro efektivnější tlumení energie je skluz navržen jako stupňovitý. První čtyři stupně mají stejnou výšku 1,59 m a délku 5,4 m. Poslední stupeň, který je ukončen vývarem má výšku 3,1 m a délku 5,4 m. Vedení skluzu v oblouku vyžaduje převýšení pravé zdi z důvodů vyšší hladiny proudící vody v pravé části skluzu vlivem levostranného zakřivení části skluzu.

Konstrukce skluzu je řešena, jako železobetonová polorámová konstrukce. Z důvodů realizace velké části objektu ve svahu pravého boku údolí bude nutné svah zajistit pomocí dočasných a trvalých konstrukcí hřebíkových svahů s kotevními prvky, kamenných zdí a kamenné rovnaniny. Více o stabilitě a zajištění a svahu v kapitole 4. [15]

Zajištění bezpečnosti osob v blízkosti komunikace je řešeno úplným oddělením, pomocí plotu. Na koruně zdí skluzu je bezpečnost osob proti pádu do skluzu řešena pomocí zábradlí s podélnou výplní o celkové výšce 1,0 m.

Podél skluzu je realizováno povrchové odvodnění, které je následně zaústěno do vývaru.

### 5.3 Vývar a odpadní koryto

Na skluz navazuje vývar. Hlavním účelem vývaru je tlumení kinetické energie vodního proudu, aby dno a břehy koryta pod vodním dílem byla schopna odolávat nepříznivým účinkům vody. Kinetickou energii vody tlumíme ve vývaru pomocí vodního skoku, kde dochází k přechodu z bystrinného proudění na říční proudění. Nejvýhodnějším způsobem je vytvoření přilehlého vodního skoku ve vývaru nebo kombinací rozrážečů a vývaru. Zvolením stupňovitého skluzu před vývarem, snižujeme nároky na rozměry vývaru, což vede k úspoře finančních prostředků.

Vývar je navržen opět jako polorámová konstrukce. Vývar je veden v přímé trase. Jedná se o nejnižší zakládaný objekt s kótou základové spáry 231,44 m n. m. Více o založení vývaru v kapitole 4. Délka nově vybudovaného vývaru je 18 m. Šířka dna činí 9 m s kótou dna 232,93 m n. m. Břehové hrany jsou na rozdílných úrovních. Pravá břehová hrana je na úrovni 239,40 m n. m a levá břehová hrana je na úrovni 240,90 m n. m. Levá zeď je navržena tak, aby při návrhovém průtoku nedocházelo k přelití a možné erozi v podhrází. Do prostoru vývaru budou zaústěna drenážní potrubí a povrchové odvodnění vedené za rubem zdi skluzu. Zajištění proti pádu osob je řešeno obdobně jako u konstrukce skluzu, tedy jednoduchým zábradlím s podélnou výplní. [15]

Odpadní koryto navazuje na vývar a pokračuje v přímé trase k prostoru stávajícího vývaru. Je vedeno jako obdélníkové koryto s konstantní šířkou ve dně 9,0 m. Podélný sklon je navržen 0,5 % z důvodu odvodu dešťových vod. Koryto je vedeno v obdélníkovém příčném profilu řešeném jako železobetonový polorám. Pravá zeď je navržena s převýšením 0,3 m nad upraveným terénem, kdy dovoluje při návrhovém průtoku přelití. S tím



souvisí i opevnění podél rubu pravé zdi v podobě těžkého kamenného záhozu překrytým vrstvou humusu a osetí, které eliminuje případné větší škody. [15]

## 6 VÝPOČET A OVĚŘENÍ KAPACITY BOČNÍHO BEZPEČNOSTNÍHO PŘELIVU VD HOSTIVAŘ

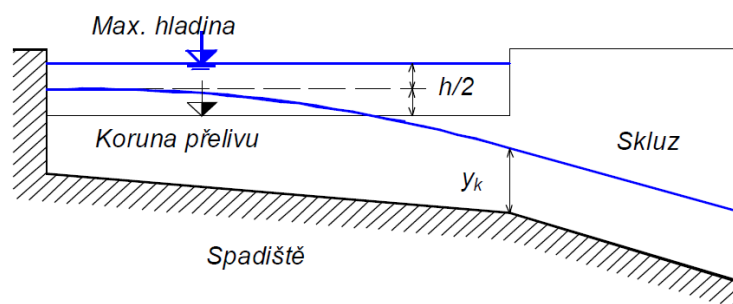
Na základě navrženého technického opatření pro zajištění bezpečnosti VD Hostivař, byly provedeny následující výpočty.

### 6.1 Hydraulický výpočet přelivu

U bočního přelivu přepadá voda kolmo na směr toku do spadiště, odkud odtéká rovnoběžně s přelivnou hranou skluzem. Výpočet všech souvisejících jevů je velmi náročný vzhledem k prostorovému proudění, ke kterému dochází při nátoku a přepadu do spadiště. Proto hydraulický výpočet přepadu přes boční přeliv uvažujeme jako u výpočtu korunového přelivu. Samotné spadiště navrhujeme tak, aby i při nejvyšším průtoku nedocházelo k zatopenému přepadu. Dokonalý přeliv zajistíme dodržением podmínky, kdy nejvyšší hladina ve spadišti není výše, než v polovině přepadového paprsku (Obr. 6.1). [4]

Výpočet konzumční křivky byl proveden na základě zvolené kóty hladiny v nádrži, výkresové dokumentace a volených součinitelů ze skript. Pomocí těchto podkladů byl ze známé hladiny dopočítán průtok.

Hydraulický výpočet spadiště bočního přelivu se provádí dle Komorova grafu viz (kapitola 6.2.)



Obr. 6.1 Schéma spadiště bočního přelivu

Pro výpočet platí:

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

kde  $\sigma$  – součinitel zatopení,  $m$  – součinitel přepadu [-];  $b_0$  – účinná šířka koruny [m],  $h_0$  – přepadová výška vody (včetně rychlostní výšky) [m]. Pro účinnou šířku přelivu platí  $b_0 = b - 0,1 \cdot \xi \cdot n \cdot h_0$ ; kde  $b$  – součet světlostí jednotlivých polí přelivu [m];  $\xi$  – součinitel tvaru pilířů;  $n$  – počet míst kontrakce (2 pro každé pole);  $h_0$  – energetická výška přepadu  $h_0 = h + \frac{\alpha v_0^2}{2g}$ . [1]

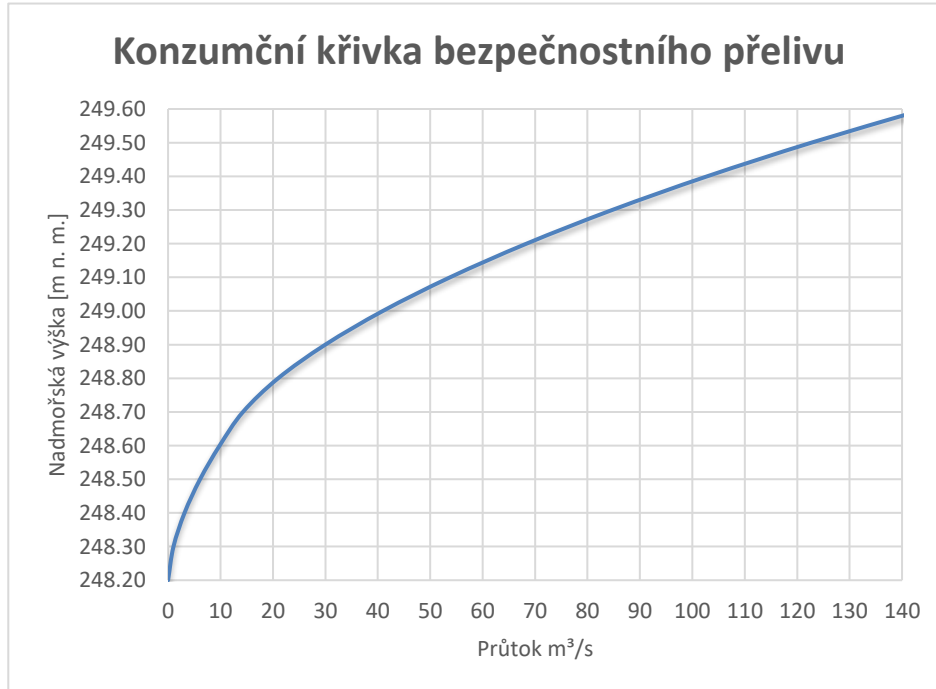
Součinitel přepadu byl vypočten ze vztahu dle Kramera: [1]

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

kde  $h$  – přepadová výška,  $r$  – poloměr zakřivení přelivné hrany,  $s$  – rozdíl výšek dna a přelivné hrany.

Tyto hodnoty byly následně dle doporučení Franke (1974) zmenšeny o 25 %.

Při výpočtu vycházíme z předpokladu dokonalého přepadu.



Obr. 6.2 Vypočtená konzumční křivka pro boční bezpečnostní přeliv VD Hostivař

Podrobný výpočet konzumční křivky bočního přelivu byl přiložen v přílohách na konci práce.

## 6.2 Posouzení návrhu spadiště bočního přelivu

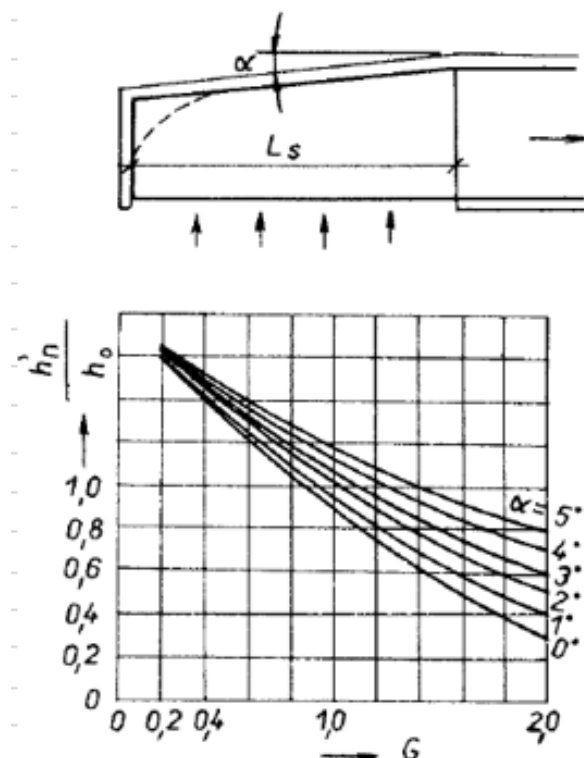
Spadiště bočního přelivu je správně navrženo, pokud přepad přes přelivné těleso je i pro nejvyšší průtoky dokonalý a nedochází k zahlcení. Tato podmínka je dodržena, pokud poloha dna spadiště je v úrovni, při níž nejvyšší hladina ve spadišti dosahuje nejvýše do poloviny přepadajícího paprsku vody. [4]

### 6.2.1 Posouzení pomocí grafu dle Komory

Návrhová hloubka spadiště vychází z uvedené přílohy (Obr. 6.3), který vyjadřuje závislost mezi parametrem  $G$  a poměrem  $h'_n / h_0$ .

$$G = \frac{i_s L_s}{h_0}; \quad (6.2)$$

kde  $i_s$  – sklon dna,  $L_s$  – délka spadiště,  $h_0$  – hloubka na konci spadiště,  $h'_n$  – rozdíl kót nejvyšší hladiny ve spadišti a jeho dna na počátku.



Obr. 6.3 Komorův graf k odečtení nejvyšší hloubky ve spadišti [4]

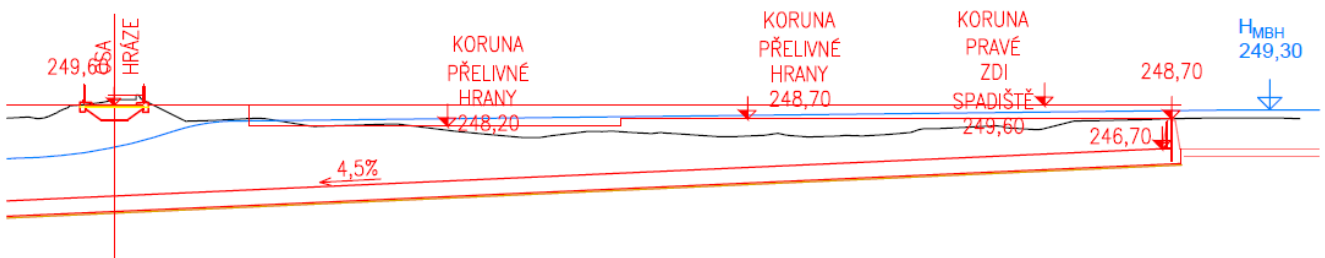
V grafu (Obr. 6.3) jsou znázorněny vztahy  $\frac{h'_n}{h_0} = f(G)$  vyneseny pro různé úhly  $\alpha$ , které vyjadřují zužování spadiště ve dně. Hloubka  $h_0$  je rovna kritické hloubce za dodržení předpokladu, že sklon skluzu je nadkritický a zároveň  $G < 2$ . Po zjištění  $h'_n$  z poměru  $h'_n / h_0$  získáme maximální hladinu ve spadišti, která zajistí dokonalý přeliv. [4]

Posouzení vychází z rovnice: [4]

$$M_{s0} \leq M_{max} - \frac{h}{2} - h'_n$$

kde  $M_{s0}$  – kóta dna na počátku spadiště,  $M_{max}$  – kóta hladiny v nádrži,  $h$  – přepadová výška

V našem případě je spadiště poněkud sofistikovanější, než výše popsané posouzení předpokládá, tudíž bylo na posouzení spadiště nahlíženo dvěma způsoby. Posuzované spadiště má na rozdíl od vzorového spadiště dvě úrovně přelivné hrany a sklon dna spadiště spojitý s navazujícím skluzem. Půdorysný tvar přelivné hrany je zakřivený, kdežto posouzení vychází z přímé přelivné hrany (Obr. 6.3).



Obr. 6.4 Podélný řez posuzovaného spadiště bočního přelivu

Prvním způsobem posouzení byla úvaha jednotné přelivné hrany na kótě 248,7 m n. m. a délkou spadiště 62 m, tj. součet délek obou částí spadiště. Po dosazení do rovnice (6.2) a odečtení z grafu dle Komory (Obr. 6.3) dostáváme následující výsledky (Tab. 6.1).

Q <sub>N</sub>	Q	M <sub>s0</sub>	M <sub>max</sub>	h	h <sub>n</sub> '	X
	[m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> ]	[m n. m.]	[m n. m.]	[m]	[m]	[m]
Q50	48.9	246.7	249.06	0.36	1.54	0.6
Q100	60.3	246.7	249.14	0.44	1.96	0.3
Q	65.0	246.7	249.11	0.41	2.17	0.0
Q1000	97.0	246.7	249.36	0.66	3.10	-0.8

Tab. 6.1 Výsledky posouzení hloubky spadiště bočního přelivu

$$X = \left( M_{max} - \frac{h}{2} - h_n' \right) - M_{s0}$$

Z výpočtu vyplývá, že navržená hloubka spadiště je při průtoku 97 m<sup>3</sup>/s nedostatečná. Mělo by se tudíž jednat o nedokonalý přeliv, což je z požadavků funkce spadiště nevyhovující.

Princip druhého způsobu posouzení spočíval v rozdělení konstrukce na dvě části s ohledem na kóty přelivných hran. Výpočet byl proveden pro část spadiště s vyšší kótou přelivné hrany tj. 246,7 m n. m. Po dosazení do rovnice (6.2) a odečtení z grafu Komory (Obr. 6.3) dostáváme následující výsledky (Tab. 6.2).

Q <sub>N</sub>	Q	M <sub>s0</sub>	M <sub>max</sub>	h	h <sub>n</sub> '	X
	[m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> ]	[m n. m.]	[m n. m.]	[m]	[m]	[m]
Q100	18.1	246.7	249.13	0.43	0.75	1.5
Q	65.0	246.7	249.11	0.41	0.83	1.4
Q1000	97.0	246.7	249.35	0.65	1.53	0.8

Tab. 6.2 Výsledky posouzení hloubky spadiště bočního přelivu pro část spadiště

Na první pohled lze usoudit, že hloubka spadiště dle druhého způsobu přístupu je dostatečující, ale takto výrazný rozdíl hodnot prvního a druhého způsobu přístupu byl označen jako málo věrohodný, podotkneme-li, že uvažovaná hloubka na konci posuzované části spadiště se nebude rovnat kritické hloubce, ale bude vyšší, jelikož bude ovlivněna hloubkou ve druhé části spadiště.

Nedostatky posouzení dle Komorova grafu mohou vycházet z několika důvodů. Byly jimi stanoveny, jak již dříve bylo na začátku kapitoly popsáno, dvě úrovně přelivné hrany, jednotný sklon spadiště a skluzu a půdorysný tvar. Zásadní vliv na výsledek má určení

hloubky na konci spadiště, která je při výpočtu neznáma a nahrazujeme jí kritickou hloubkou, za předpokladu splnění určitých kritérií vysvětlených na začátku kapitoly. Tato hloubka se ovšem nemusí vyskytovat přímo ve zvoleném průřezu, ale v závislosti na režimu proudění před nebo za zvoleným profilem.

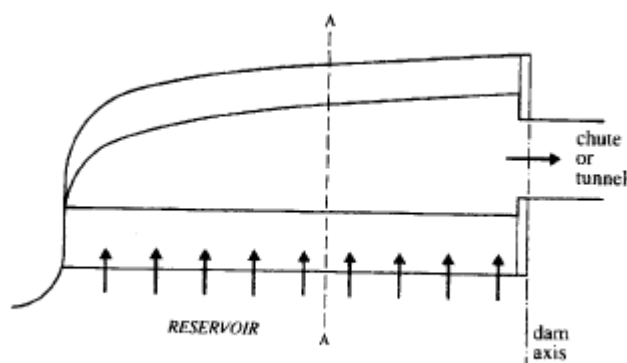
Pro ověření správné funkce spadiště, bude zapotřebí provést měření na fyzikálním modelu.

Podrobný postup obou výpočtů byl přiložen v přílohách na konci práce.

### 6.2.2 Výpočet průběhu hladiny ve spadišti bočního přelivu

V případě proudění vody přes boční přeliv do spadiště se jedná o prostorové nerovnoměrné proudění, které bylo řešeno pomocí principů momentové podmínky.

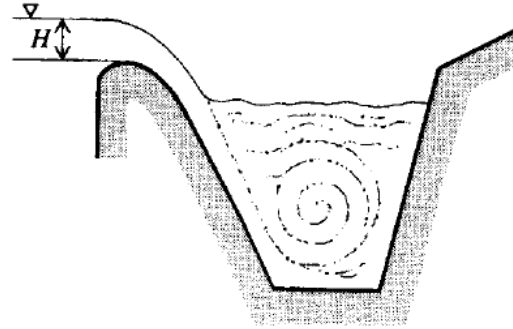
Předpokladem bylo, že ve směru přítoku do spadiště nemá přepadající voda žádný moment ve směru toku, ale byla brána v úvahu pouze disipace energie vyjádřena pomocí třecího sklonu. [8]



Obr. 6.5 Schéma výpočtu bočního přelivu [8]

$$\frac{dM}{dx} = \frac{d}{dx} \left( \frac{Q^2}{gA} + Ay^+ \right) = A(S_0 - S_f) \quad (6.3)$$

kde  $S_0$  – sklon dna  
 $S_f$  – sklon tření (sklon čáry energie)  
 $A$  – plocha příčného průřezu  
 $P$  – omočený obvod  
 $y^+$  - těžiště plochy příčného průřezu



Obr. 6.6 Příčný řez spadištěm bočního přelivu [8]

Rovnice (6.3) byla pomocí matematických úprav vyjádřena do tvaru diferenciální rovnice průtoku takto: [8]

$$\frac{dy}{dx} = \left( S_0 - S_f - \frac{2Q}{gA^2} \frac{dQ}{dx} \right) / (1 - F_r^2) \quad (6.4)$$

Dále byla rovnice (6.4) integrována za předpokladu obdélníkového koryta a podmínky  $S_0 \approx S_f = 0$  na tvar: [8]

$$\frac{x}{L} = \frac{y}{y_L} \left( 1 + \frac{1}{2F_{rL}^2} \right) - \left( \frac{y}{y_L} \right)^3 \frac{1}{2F_{rL}^2} \quad (6.5)$$

zavedením vztahu mezi  $x$  a hloubkou proudící vody v korytě  $y$ ; index  $L$  odkazuje na konec koryta ( $x = L$ ). Pro kritickou hloubku  $y_c$  v místě  $x = L$ : [8]

$$\frac{x}{L} = \frac{y}{y_c} \left[ 1.5 - 0.5 \left( \frac{y}{y_c} \right)^2 \right] \quad (6.6)$$

Po nahrazení rovnice (6.3) a využití odvozených vztahů pro numerickou integraci, byla výsledná rovnice vyjádřena dle (Chow, 1983) takto:

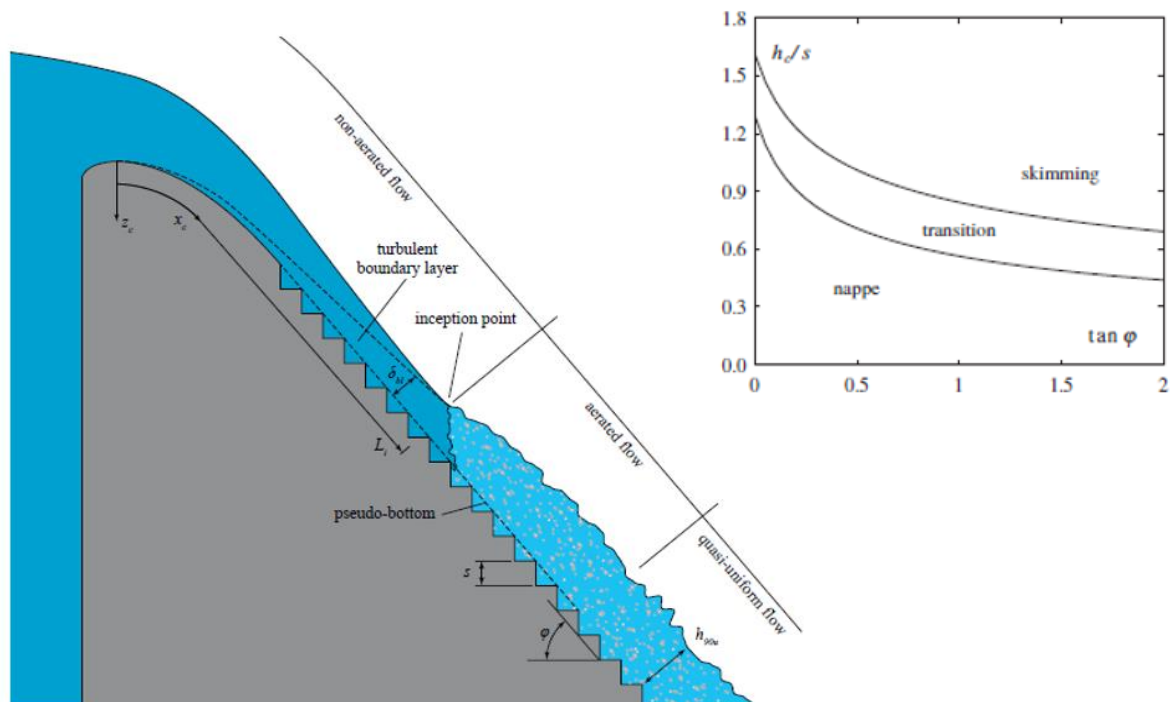
$$\frac{dM}{dx} = A \frac{dy}{dx} + \frac{d}{dx} \left( \frac{VQ}{g} \right)$$
$$\Delta y = - \frac{\alpha Q_1 (V_1 + V_2)}{g(Q_1 + Q_2)} \left( \Delta V + \frac{V_2 \Delta Q}{Q_1} \right) + (S_0 - S_f) \Delta x \quad (6.7)$$

Rovnice (6.7) byla řešena způsobem pokus omyl. Volena byla druhá vzájemná hloubka  $y_2$ , která byla postupně opravována, dokud nebyla splněna podmínka  $\Delta y = y_2 - y_1$ . Výpočet probíhal proti směru toku pro průtok  $Q = 65 \text{ m}^3/\text{s}$  a  $Q = 97 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Podrobný postup výpočtu průběhu hladiny spadiště byl přiložen v přílohách na konci práce.

### 6.3 Výpočet tlumení energie kaskádového skluzu

Při proudění na kaskádovém skluzu se můžeme setkat s prouděním trojího typu. Prvním typem proudění, v anglickém jazyce označovaným jako **Nappe flow**, je proudění s volným přepadajícím paprskem vody přes hranu stupně. Tento typ proudění nastává při malých průtocích s ohledem na výšku jednotlivých stupňů skluzu. Druhým typem, označovaným jako **Skimming flow**, je proudění nastávající při vyšších průtocích a je charakteristické „klouzáním“ přes hrany jednotlivých stupňů. Proud vody si vytváří „fiktivní dno“ mezi hranami stupňů. Třetí typ proudění, označován jako proudění přechodné, nastává při přechodu mezi prvním a druhým typem proudění. V anglické literatuře se tento typ proudění označuje jako **Transient flow**. [7]



Obr. 6.7 Schéma kaskádového skluzu a parametry jednotlivých režimů proudění [7]



Návrh kaskádovitého skluzu zpravidla vychází z předpokladu druhého typu proudění, kde proud vody klouže přes hrany stupňů. Chanson (2002) uvádí, že k tomuto typu proudění

dojde, když:  $\frac{h}{d_c} < \frac{7}{6} (\tan\theta)^{\frac{1}{6}}$  platí pro  $5,7^\circ \leq \theta \leq 55^\circ$

kde  $h$  – výška stupně,  $d_c$  – kritická hloubka,  $\theta$  – sklon kaskádového skluzu

Klíčovým návrhovým kritériem je určení polohy počátečního bodu provzdušnění. Od tohoto bodu dochází dále po směru proudu k silnému provzdušnění, což má za následek zvýšení hladiny ve skluzu. Hunt a Kadavy (2013) odvodili vztah, který určuje polohu počátečního bodu provzdušnění, jako

$\frac{L_i}{k_s} = 5,19 \cdot F_*^{0,89}$  platí pro  $0,1 < F_* \leq 28$  [5]

kde  $L_i$  – vzdálenost počátečního bodu provzdušnění od horní hrany skluzu

$k_s = s \cdot \cos(\theta)$  – drsnost

$F_* = q / \sqrt{g \cdot \sin(\theta) \cdot k_s^3}$  – Froudovo číslo

$q$  – jednotkový průtok

$g$  – gravitační zrychlení

Dalším krokem pro výpočet hloubky provzdušněného proudu je nutné určit střední míru provzdušnění  $C_{mean}$

$$C_{mean} = 0,11 - \frac{0,22}{\left(\frac{L}{L_i}\right)} + 0,216 \left(\frac{h}{d_c}\right) + 0,453(\sin\theta)$$

platí pro  $1,0 < \frac{L}{L_i} \leq 2,0$ ;  $0,035 \leq \frac{h}{d_c} \leq 1,1$ ;  $10^\circ \leq \theta \leq 30^\circ$

kde  $L$  – vzdálenost od horní hrany skluzu k zájmovému bodu [15]

Pro výpočet střední míry provzdušnění byl také pro srovnání použit výraz pro  $C_{au}$  dle Matos (2005), který byl odvozen pro stupňovité skluzy s větším sklonem, než v našem případě z rovnic dle Boes and Hager (2003a). [6]

$$C_{au} = 1 - \frac{h_{wu}}{h_{90u}} = 1 - 0,46 \cdot F_s^{0,15 - 0,1 \tan\varphi}$$

kde  $h_{wu}$  – neprovzdušněná hloubka  
 $h_{90u}$  - celková hloubka provzdušněného proudu  
 $F_s = q / \sqrt{g \cdot \operatorname{tg}(\varphi) \cdot s^3}$  – Froudovo číslo  
 $q$  – jednotkový průtok

Hloubka proudění za počátečním bodem provzdušnění se skládá z hloubky  $y_{cw}$  – hloubka neprovzdušněného proudu vody a hloubky  $y_{90}$  - charakteristická hloubka při koncentraci vzduchu 90 %. Hloubka proudění před počátečním bodem provzdušnění  $L_i$  odpovídá hloubce  $y_{cw}$ .

Vztahy pro  $y_{90}$  a  $y_{cw}$ : [5]

$$y_{90} = y_{cw} \cdot (1 - C_{mean})$$

$$\frac{y_{cw}}{d_c} = 0,34 \cdot \left(\frac{h}{d_c}\right)^{0,063} \cdot (\cos \theta)^{0,063} \cdot (\sin \theta)^{-0,18}$$

platí pro  $\frac{L}{L_i} \geq 1,0$ ;  $0,027 \leq \frac{h}{d_c} \leq 1,1$ ;  $10^\circ \leq \theta \leq 30^\circ$

Po získání hloubky proudění je možné vypočítat energetickou výšku na konci skluzu, která je směrodatná pro návrh vývaru. Vztah pro tuto energetickou výšku lze zapsat jako:

$$H = y_{cw} \cdot \cos \theta + \alpha \cdot \left(\frac{v^2}{2g}\right), [7]$$

kde  $v = q/y_{cw}$  - průřezová rychlost  
 $\alpha = 1,025 \cdot \left(\frac{h}{d_c}\right)^{-0,128 \cdot \sin \theta}$  – Coriolisovo číslo (součinitel kinetické energie)

Pro definování relativní ztráty energie lze použít vztah: [9]

$$\frac{\Delta E}{E_0} = 1 - \frac{y_{cw} \cos \theta + \frac{v_{avg}^2}{2g}}{H + \frac{3}{2} d_c}$$

kde  $H$  – výška skluzu

Pro určení výšky bočních zdí skluzu v přímém úseku platí: [15]

$$H_w = y_{cw} + 1,5 \cdot y_{90}$$

Vztah pro vzdutí hladiny v oblouku je:

$$\Delta y = \frac{v^2 \cdot B}{g \cdot R}$$

kde  $v$  – rychlost proudění  
 $B$  – šířka dna skluzu  
 $g$  – gravitační zrychlení  
 $R$  – poloměr oblouku

B[m]	h[m]	úhel[rad]	úhel[st]	n[-]
9	1.6	0.31	17.5	4

Průtok	kritická hloubka	režim proudění	neprovzdušená hloubka	provzdušnění	celková hloubka	Energie na konci skluzu	relativní ztráta	Energie na začátku skluzu	převýšení hladiny v oblouku	výška zdi v oblouku
Q	dc	skimming flow	ycw	y90	y	E	$\Delta E/E0$	E0	$\Delta y$	Hwt
[m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> ]	[m]	[ANO/NE]	[m]	[m]	[m]	[m]	[-]	[m]	[m]	[m]
35	1.16	NE	0.50	0.23	0.73	<b>3.64</b>	0.55	<b>5.65</b>	0.99	1.83
48.9	1.44	NE	0.61	0.30	0.91	<b>4.69</b>	0.45	<b>6.81</b>	1.27	2.33
60	1.66	NE	0.70	0.35	1.04	<b>5.50</b>	0.38	<b>7.60</b>	1.49	2.70
80	2.00	ANO	0.83	0.43	1.26	<b>6.81</b>	0.28	<b>8.69</b>	1.84	3.31
97	2.28	ANO	0.94	0.49	1.43	<b>7.89</b>	0.20	<b>9.44</b>	2.12	3.80

Tab. 6.3 Výpočet tlumení energie kaskádovitěho skluzu

Kaskádovitý skluz byl navržen tak, aby převedl průtok 97 m<sup>3</sup>/s. Tento průtok bude převáděn bočním přelivem při Q<sub>10000</sub>. Výsledné hodnoty hloubky a energie na konci skluzu byly dále použity pro výpočet rozměrů vývaru.

## 6.4 Výpočet kapacity vývaru

Prvním úkolem pro správný návrh a posouzení vývaru bylo určení návrhového průtoku tak, aby hloubka vývaru byla dostatečná pro všechny možné varianty průtoku.

Vstupní hodnoty horní hladiny byly převzaty z výpočtu v kap. 6.3. Hodnoty úrovně dolní hladiny byly dopočteny pomocí matematického modelu Hec-Ras.

Pro návrh hloubky vývaru bylo zapotřebí stanovit vzájemné hloubky  $y_1$  bystřinného proudění a  $y_2$  říčního proudění.

Vztah vychází z Bernoulliho rovnice: [3]

$$E_0 = y_1 + \frac{v^2}{2g\varphi^2} = y_1 + \frac{q^2}{2gy_1^2\varphi^2}$$

kde  $q$  je specifický průtok na 1 m šířky

$\varphi$  rychlostní součinitel vyjadřující poměr skutečné a teoretické rychlosti

Z věty o hybnosti je možný výpočet druhé vzájemné hloubky pro obdélníkové koryto například Newtonovou metodou. [3]

$$Z_T = \frac{y}{2}$$

$$\pi_y = \frac{\beta \cdot Q^2}{g \cdot S} + S \cdot Z_T$$

kde  $\beta$  Boussinesquovo číslo, které charakterizuje nerovnoměrné rozdělení hybnosti v průřezu

$S$  plocha průtočného průřezu

$Z_T$  hloubka těžiště průřezu pod hladinou

Pro výpočet vzájemných hloubek platí:  $\pi_{y_1} = \pi_{y_2}$

Výpočet délky vývaru byl vypočten dle Nováka pro který platí vztah:

$$l_s = K \cdot (y_2 - y_1)$$

kde pro  $3 < \frac{y_2}{y_1} < 4$  je  $K = 5,5$        $6 < \frac{y_2}{y_1} < 20$  je  $K = 4,5$

$4 < \frac{y_2}{y_1} < 6$  je  $K = 5$        $\frac{y_2}{y_1} > 20$  je  $K = 4$

K celkové délce vývaru je ovšem třeba uvažovat i doskok paprsku  $l_p$

$$l_p = 1,64 \sqrt{0,24h_0^2}$$

Výsledná délka vývaru je:  $l_v = l_p + l_s$

Výpočet dimenze vývaru bezpečnostního přelivu VD Hostivař byl stanoven pro průtoky  $Q_{20}$ ,  $Q_{50}$ ,  $Q_{100}$ ,  $Q_{1000}$ .

N [rok]	20	50	100	10000*
$Q_N$ [ $m^3 \cdot s^{-1}$ ]	35	48.9	60.3	97.0
yd [m]	1.6	1.9	2.0	2.9
h [m]	0.5	0.6	0.7	0.9
d [m]	<b>0.9</b>	<b>1.4</b>	<b>1.8</b>	<b>2.5</b>
E [m]	4.5	6.1	7.2	10.3
yc [m]	0.5	0.6	0.7	0.9
y2 [m]	2.4	3.1	3.6	5.1
$\sigma = \langle 1,05; 1,1 \rangle$	1.07	1.06	1.06	1.06
y2/yc	4.9	5.3	5.5	5.8
K (-)	5.0	5.0	5.0	5.0
lp [m]	2.5	3.2	3.8	5.5
ls [m]	9.4	12.5	14.8	21.1
lv [m]	<b>11.9</b>	<b>15.8</b>	<b>18.5</b>	<b>26.6</b>
nejhlubší d [m]		<b>2.5</b>		
nejdelší lv [m]		<b>26.6</b>		

Tab. 6.4 Výpočet rozměrů vývaru pro návrhové průtoky

Vypočtené hodnoty (Tab. 6.4) se při porovnání s dostupnými dokumenty projektové dokumentace liší především v délce vývaru. Rozdílné výsledky návrhu mohou být příčinou rozdílných vstupních hodnot, případně volbou jiných výpočetních postupů. Hodnoty získané z výpočtu kaskádovitěho skluzu se mohou lišit dle zvoleného postupu výpočtu.

Vyhodnocení dimenze vývaru bylo dále předmětem výzkumu na fyzikálním modelu (Kap 9.4).

## 6.5 Závěr výpočetních postupů

Závěrem je nutno podotknout, že výsledky výpočtů pomocí vzorců a součinitelů jsou stále v dnešní době často odlišné od hodnot naměřených na fyzikálních nebo matematických modelech. Konstrukce vodních děl bývají často velmi specifické svým tvarem a podmínkami. Je velmi obtížné spolehlivě a zároveň obecně popsat probíhající jev tak, aby byly výsledky dostatečně přesné. Zejména v případě, kdy se jedná o konstrukci, kde ve spadišti bočního přelivu převládá složité trojrozměrné proudění a následně voda pokračuje přes zakřivený rozšiřující se kaskádovitý skluz, kde dochází v závislosti na sklonu a průtoku k výraznému provzdušňování.

Pro přesné stanovení konzumční křivky, posouzení spadiště, skluzu a vývaru, bylo nutné sestavit fyzikální model v odpovídajícím měřítku a hodnoty naměřit a vyhodnotit (Kap. 8).

## 7 STAVBA FYZIKÁLNÍHO MODELU

### 7.1 Modelové podmínky

Fyzikální model VD Hostivař se skládá z nádrže, hráze, bočního přelivu, skluzu, dvou vývarů, odpadního koryta a odpadní obtokové štoly. Všechny tyto části byly navrženy a vybudovány v měřítku  $M = 1:20$ . Toto měřítko bylo zvoleno na základě rozboru geometrických, průtokových, časových, tíhových a kvalitativních podmínek.

Podle Froudova zákona podobnosti můžeme určitý hydrodynamický jev zkoumat tehdy, jestliže účinky těchto sil jsou zanedbatelné v porovnání s gravitačními silami. Mezní podmínky vymezují oblasti a měřítka, v nichž lze hydrodynamický jev modelovat. Kinematicky podobné jevy, které ovlivňuje výhradně gravitační síla, jsou dynamicky podobné, jestliže ve vzájemně příslušných průřezech budou stejná Froudova čísla.  $Fr = \sqrt{\frac{\alpha v^2}{gy}}$ , [18]

příslušné poměry jsou:  $\frac{v_s^2}{gy_s} = \frac{v_m^2}{gy_m}$ ;

kde  $v_s$  ... rychlost ve skutečnosti

$y_s$  ... průměrná hloubka ve skutečnosti

$v_m$  ... rychlost na modelu

$y_m$  ... průměrná hloubka na modelu

Při modelování proudění dle Froudova zákona může mít vliv povrchové napětí vody, tudíž musí být dodrženo několik následujících pravidel. Přepadová výška na modelu  $h \geq 20$  mm, povrchová rychlost proudu má být  $u \geq 230$  mm.s<sup>-1</sup>, aby vlivem kapilárních sil nedocházelo k bránění vzniku povrchových vln vlivem gravitačních sil, světlá šířka přelivového pole na modelu  $b_0 \geq 60$  mm, výtokový otvor  $a \geq 60$  mm, aby výtokový jev a tvar paprsku nebyl ovlivněn drsností dna a stěn koryta vlivem povrchového napětí, hloubka vodního proudu na modelu  $h \geq 15$  mm – důležité u říčních modelů. Nezbytně nutné je zachování stejného režimu proudění na modelu a skutečném díle. [18]

## 7.2 Měřítka podobností fyzikálního modelu

Měřítka modelu je dáno na základě mezních podmínek modelové podobnosti, možnosti laboratoře, konstrukčních podmínek a podmínek reprezentativního výzkumu. Na základě těchto podmínek bylo zvoleno měřítko  $M_l = 1:20$ .

Pro měřítko rychlostí platí  $M_v = M_l^{\frac{1}{2}}$ , pro měřítko průtoků platí  $M_Q = M_l^{\frac{5}{2}}$  a pro měřítko času platí  $M_t = M_l^{\frac{1}{2}}$

Celková délka modelu  $L = 12$  m, výška  $H = 1,2$  m a šířka  $B = 4 - 7,7$  m. Voda byla čerpána pomocí čerpadla a přiváděna pomocí rozváděcího potrubí do nádrže modelu VD Hostivař, která slouží k uklidnění vody. Průtok byl měřen pomocí indukčního průtokoměru. Odvádění vody bylo řešeno pomocí sběrné šachty, která se nachází v podzemních prostorech vodohospodářské laboratoře a je zaústěna do centrální sběrné nádrže.

## 7.3 Popis fyzikálního modelu

Hydraulický fyzikální model VD Hostivař byl vyroben dle podkladů projektové dokumentace pro stavební povolení. Jedná se o hráz, nádrž s bočním přelivem, spadiště a stupňovitý skluz zakončený vlastním vývarem. Navržena nádrž o rozměrech: 4 m x 3 m x 1 m, byla navržena tak, aby nedocházelo k ovlivnění nátokových podmínek na model.

Horní okrajová podmínka modelu byla stanovena průtokem. Dolní okrajovou podmínku stanovuje kóta hladiny vody v korytě vodního toku Botič.

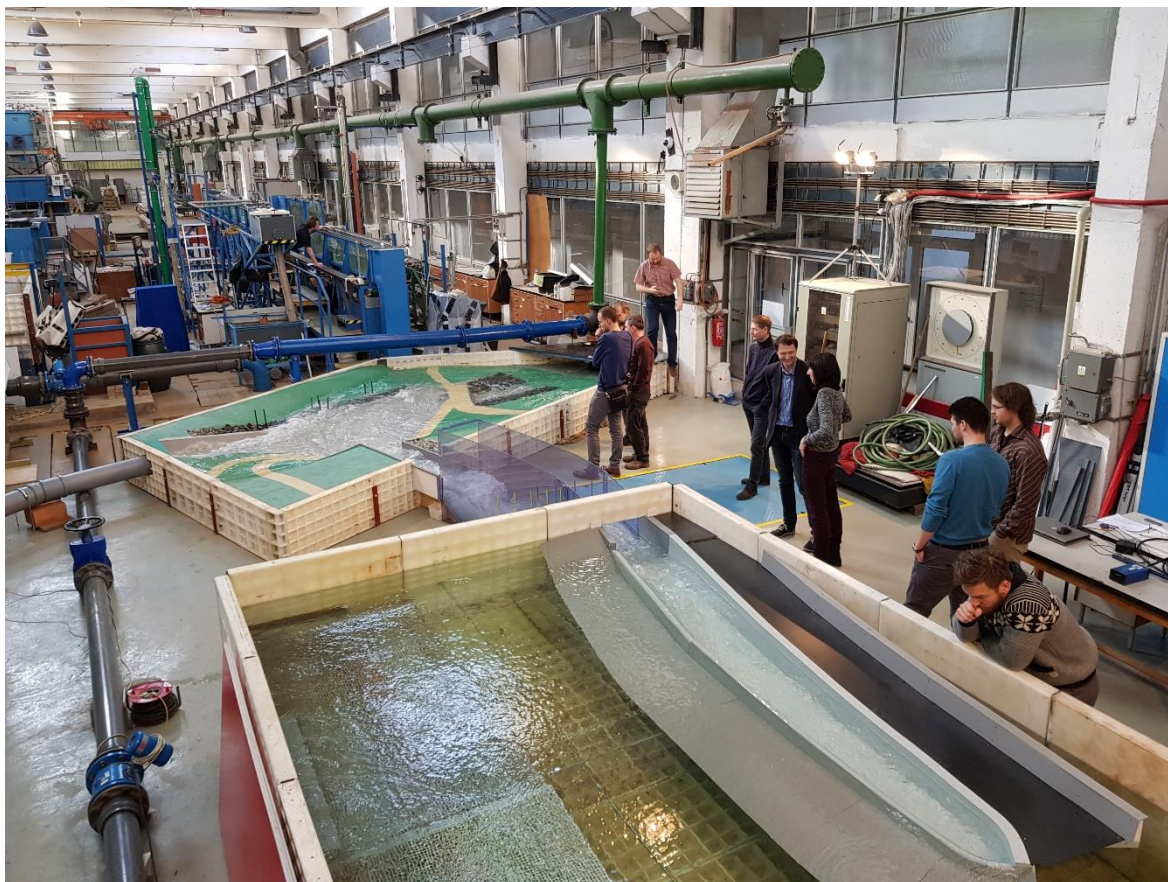
Hydraulický fyzikální model byl vyroben převážně z PVC materiálů (tvrzené, pěněné, průhledné), z pozinkovaného plechu, z překližek, ocelových nosníků a betonu.

Jednotlivé části modelu byly barevně odlišeny z důvodů snadné orientace. Rozdělení bylo zvoleno následující:

- šedá – boční přeliv, spadiště, vývar odpadní štoly, předpolí bezpečnostního přelivu,
- tmavě šedá – skluz, vývar, odpadní koryto, návodní dno svahu pravého břehu
- průhledná – boční stěny skluzu
- černá – obslužná plocha spadiště
- béžová – zpevněné a nezpevněné cesty určené pro obsluhu vodního díla
- bílá – stěny uklidňovací nádrže, nosné konstrukce částí modelu
- zelená – travnatý terén



Výrobní tolerance fyzikálního modelu VD Hostivař byla  $\pm 1$  mm – tj. ve skutečnosti  $\pm 20$  mm.



*Obr. 7.1 Fyzikální model VD Hostivař*

## 7.4 Měření veličin na fyzikálním modelu

Průtok byl měřen pomocí indukčního průtokoměru s přesností  $\pm 1$  % v rozsahu měřených průtoků od  $10,0 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$  do  $66,0 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$ . Na přesnou hodnotu průtoku bylo zapotřebí vyčkat na ustálení průtoku.

Poloha hladiny v nádrži byla odečítána hrotovým měřítkem. Pro správné stanovení hladiny vody v nádrži bylo potřeba hodnotu odečítat několikrát, dokud nedošlo k ustálení hladiny vody v nádrži.

Poloha hladiny ve skluzu byla měřena pomocí grafické stupnice připevněné k boční stěně skluzu.

## 7.5 Program měření

Po dokončení fyzikálního modelu bylo zapotřebí model zkalibrovat a ověřit průtokové vlastnosti pomocí dolní okrajové podmínky. Dalším krokem bylo nastavení hrotového měřítka pro určení kóty hladiny v nádrži.

Následně proběhlo měření měrné křivky pro různé průtoky od  $Q_{\text{model}} = 2,8$  l/s do  $Q_{\text{model}} = 54,28$  l/s. Dále bylo provedeno měření maximálního průtoku při kótě hladiny shodné s kótou korunou hráze  $Q_{\text{max}} = 65,68$  l/s.

Během měření měrné křivky byla pro určité průtoky o hodnotách ( $Q_5, Q_{20}, Q_{100}, Q_{1000}$ ) zaznamenávána také hloubka proudící vody ve skluzu a na konci vývaru. Záznam hloubek byl sledován celkem v sedmi profilech. První profil by umístěn za mostním objektem, další následující profily byly umístěny na hranu každého stupně. Poslední profil byl umístěn na konec prahu vývaru. Všechny tyto sledované stavy byly dokumentovány (foto spadiště, foto přeliv, foto skluzu, foto vývaru).

Ověření situace KPV10000 bylo provedeno na základě stanovené manipulace, kdy novým bezpečnostním přelivem protékal průtok 54,22 l/s, odpovídající ve skutečnosti průtoku 97 m<sup>3</sup>/s, a starým bezpečnostním přelivem proudilo modelových 43,6 l/s odpovídající 78 m<sup>3</sup>/s ve skutečnosti.

Měření byly také hloubky proudící vody ve spadišti pro průtoky odpovídající ve skutečnosti 97 m<sup>3</sup>/s a 65 m<sup>3</sup>/s. Měřeno bylo celkem ve spadišti 26 bodů pro každý průtokový stav.

## 8 MĚŘENÍ NA FYZIKÁLNÍM MODELU

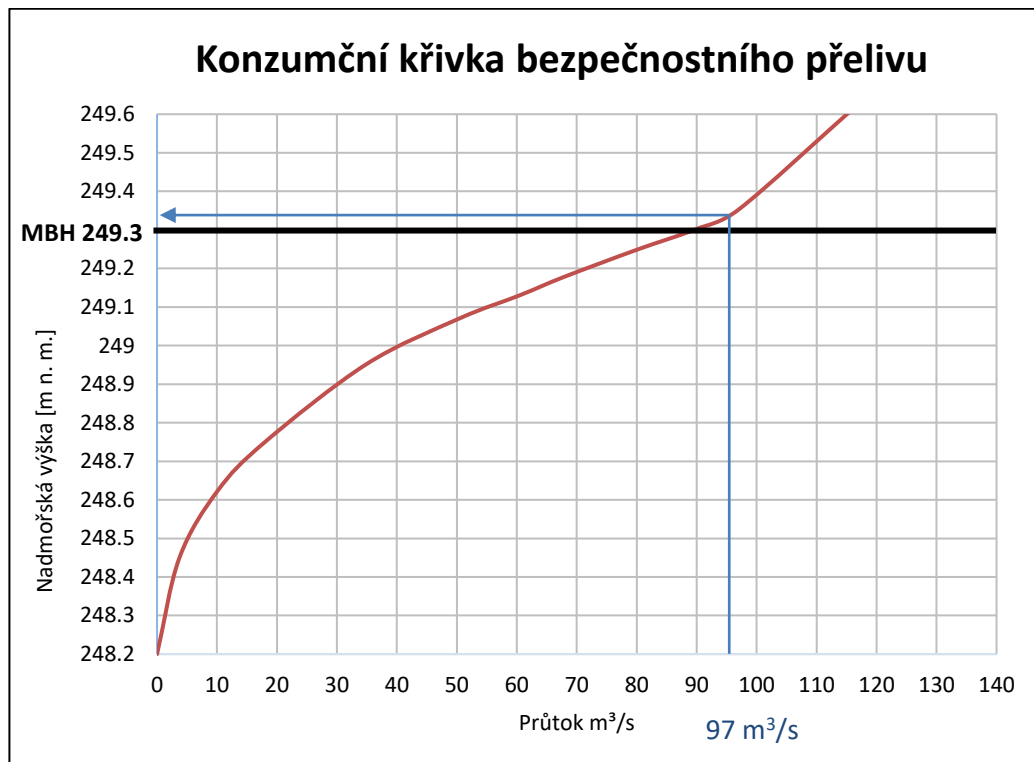
Měření na fyzikálním modelu VD Hostivař probíhalo ve vodohospodářské laboratoři Fakulty stavební, ČVUT v Praze.

Předmětem měření bylo stanovení konzumční křivky bočního přelivu, ověření funkce spadiště a posouzení tlumení energie stupňovitého skluzu a vývaru.

### 8.1 Konzumční křivka

Konzumční křivka je závislost objemového průtoku na výšce přepadového paprsku vody. Může být pro jednotlivé hradící konstrukce vyjádřena analyticky (Kap 6.1) nebo empiricky z měření.

Měření konzumční křivky bylo provedeno pro jedenáct hodnot průtoku. Nejdříve byla zjištěna maximální hodnota průtoku na úrovni kóty koruny hráze a poté byly určeny mezi-  
lehlé hodnoty průtoku. Průtok byl nastaven pomocí uzávěru na trubním rozvodu v laboratoři a průtokoměru. Po ustálení hladiny v nádrži bylo provedeno čtení pomocí hrotového měřítka.



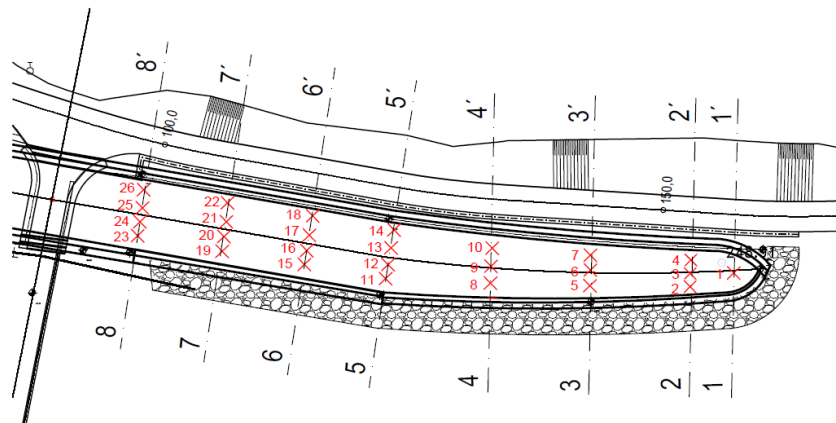
Obr. 8.1 Konzumční křivka fyzikálního modelu

Výsledky měření ukázaly, že pro převedení části návrhového povodňového průtoku  $Q_{10\,000}$  kóta hladiny v nádrži dosáhla úrovně 249,35 m n. m, což je o 5 cm nad stávající mezní bezpečnou hladinou (MBH). Dále bylo dle grafického zpracování konzumční křivky zpozorováno, že pro vyšší průtoky než  $Q = 97 \text{ m}^3/\text{s}$  dochází ke změně sklonu křivky.

## 8.2 Spadiště bočního přelivu

Správný návrh spočívá v odvedení přepadající vody z prostoru spadiště tak, aby nebyl přepad vody přes přeliv ovlivněn a nedocházelo k zahlcení. Při návrhu toho objektu volíme hloubku, šířku a podélný sklon spadiště. Jelikož se jedná o složité spirálovité 3D proudění, doporučuje se návrh ověřit na fyzikálním modelu.

V návaznosti na (kap.6.2.1), kde bylo na základě výpočtu spadiště vyhodnoceno jako nevyhovující, bylo provedeno měření na fyzikálním modelu. Spadiště bylo rozděleno do osmi profilů a každý z profilů byl rozdělen podle šířky dna na několik bodů (Obr. 8.2).



Obr. 8.2 Schéma měřených bodů ve spadišti

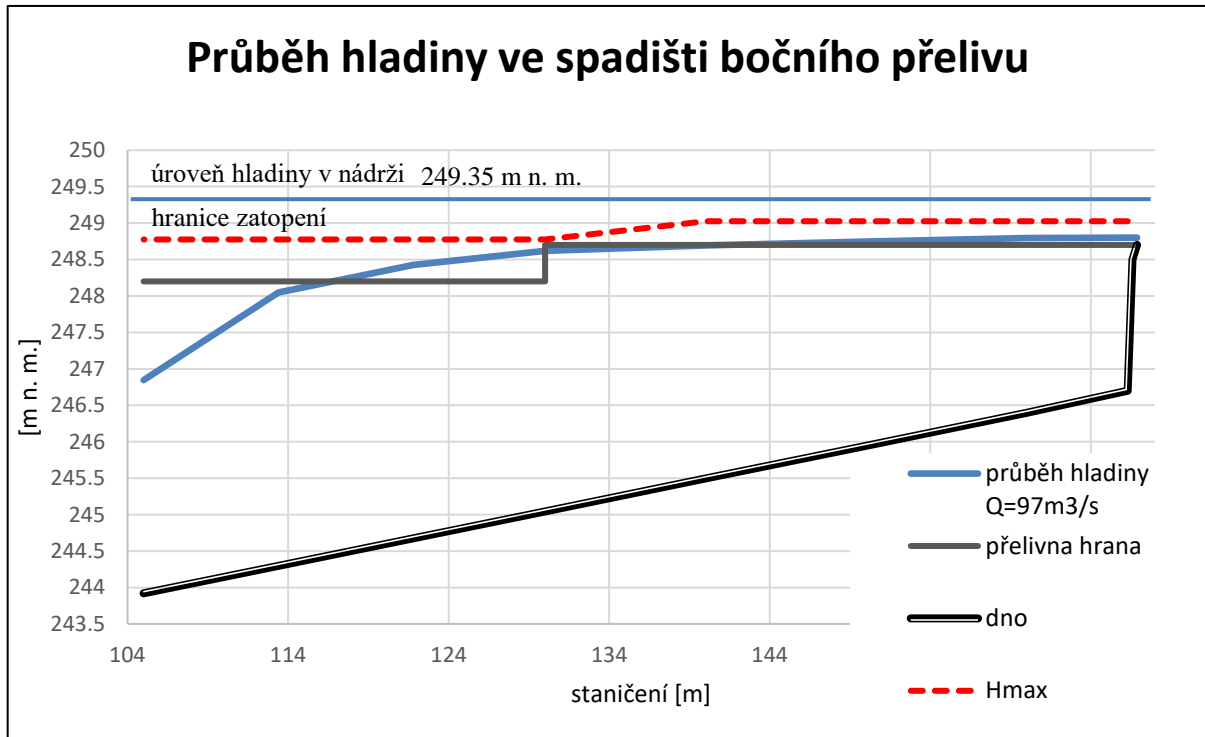
$Q = 97 \text{ m}^3/\text{s}$       hladina      249.35 m n. m.

profil	B	y1	y2	y3	y4	y	H	Hmax	Hmax-H
č	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m n. m.]	[m n. m.]	[m]
1	3.6	2.1				2.1	248.80	249.03	0.22
2	4.2	2.4	2.4	2.4		2.4	248.80	249.03	0.23
3	5.4	2.8	2.8	2.8		2.8	248.75	249.03	0.28
4	5.8	3.2	3.2	3.2		3.2	248.70	249.03	0.33
5	7	3.7	3.6	3.5	3.5	3.6	248.62	248.78	0.16
6	7	3.7	3.8	3.7	3.8	3.8	248.43	248.78	0.35
7	7	3.6	3.7	3.7	4	3.8	248.05	248.78	0.73
8	7	2.6	2.8	2.9	3.4	2.9	246.85	248.78	1.93

Tab. 8.1 Naměřené hodnoty hloubek ve spadišti fyzikálního modelu

Naměřené hodnoty byly zaznamenány do Tab. 8.1 Naměřené hodnoty hloubek ve spadišti fyzikálního modelu a vyhodnoceny na Obr. 8.3.

Hodnoty  $y_1$ ,  $y_2$ ,  $y_3$ ,  $y_4$  jsou po sobě jdoucí naměřené hodnoty hloubek v jednotlivých profilech viz. Obr. 8.2.



Obr. 8.3 Grafické znázornění průběhu hladiny ve spadišti bezpečnostního přelivu VD Hostivař

Z měření bylo zjištěno, že podmínka dokonalého přepadu byla dle. (Obr. 8.3) splněna. Tato podmínka je dodržena, pokud poloha dna spadiště je v úrovni, při níž nejvyšší hladina ve spadišti dosahuje nejvýše do poloviny přepadajícího paprsku vody. Velmi těsně bylo této podmínky dosaženo na úrovni dělení výšek přelivné hrany (Obr. 8.3, Obr. 8.4).



Obr. 8.4 Detail oblasti výškového dělení přelivné hrany



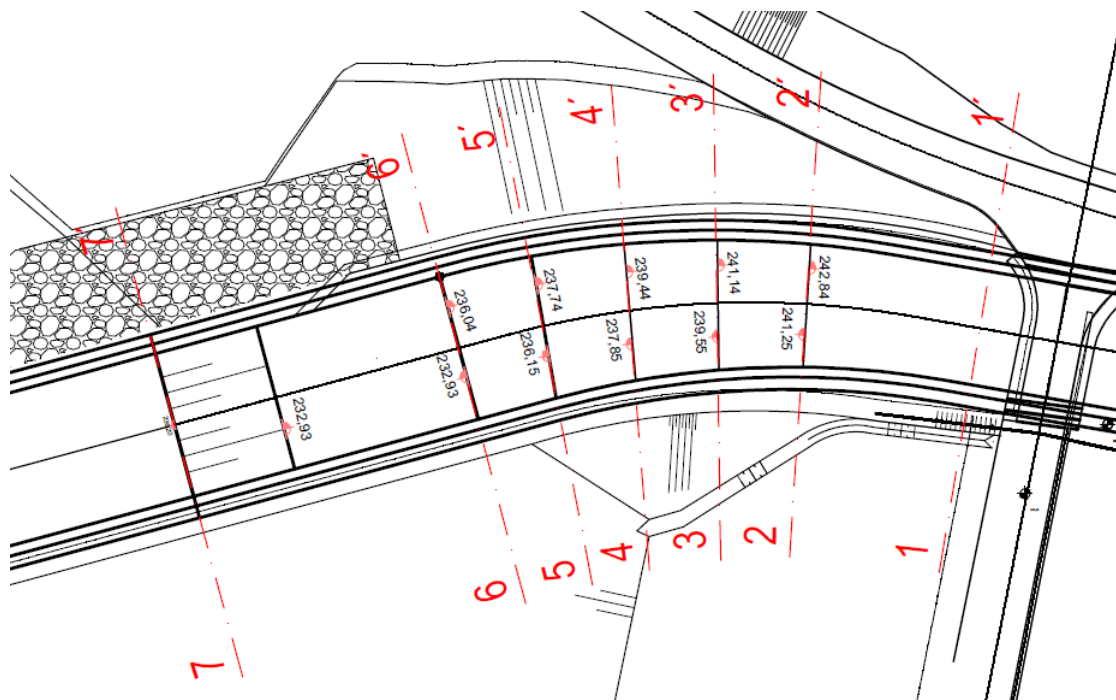


*Obr. 8.5 Fotografie spadiště bezpečnostního přelivu při průtoku  $Q1000$*

### 8.3 Stupňovitý skluz

Pro srovnání vypočtených a naměřených hloubek na jednotlivých stupních kaskádového skluzu, byly zaznamenány informace o hloubkách proudící vody. Dalším důvodem měření bylo posouzení výšky levé a pravé boční zdi skluzu.

Měření spočívalo v zaznamenávání hloubek na levé i pravé straně skluzu pomocí grafických stupnic připevněných na bočních zdech modelu. Sledováno bylo celkem sedm profilů (Obr. 8.6) při pěti různých hodnotách průtoku.

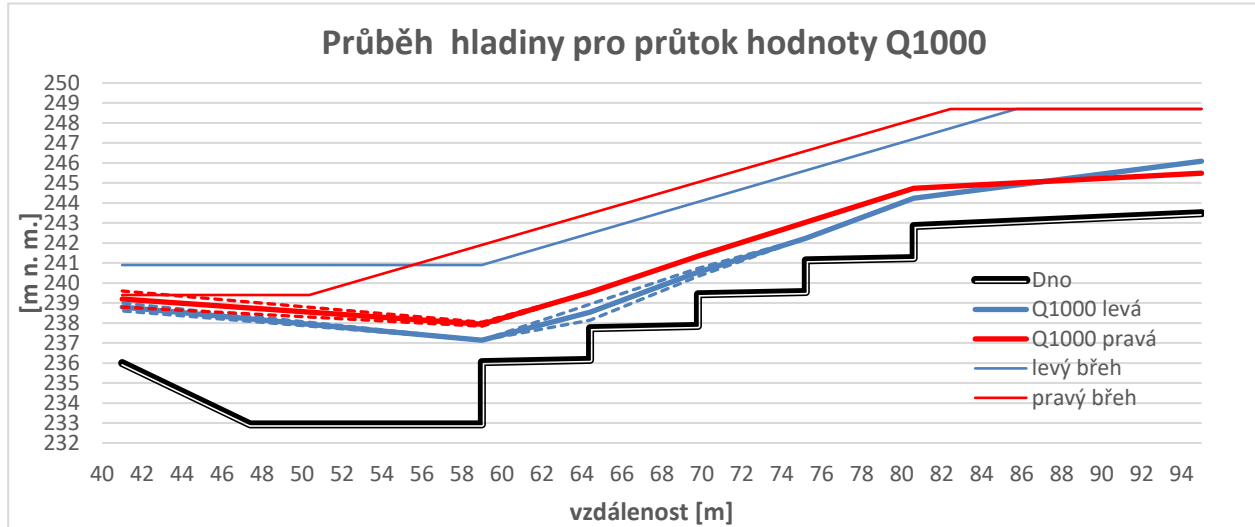


Obr. 8.6 Schéma měřených profilů skluzu

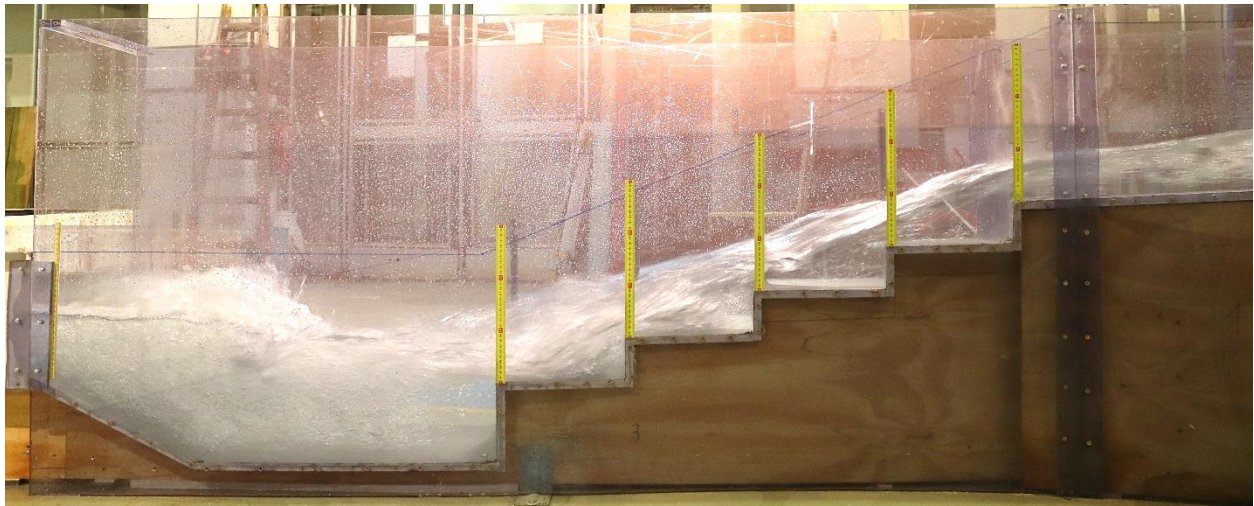
Z měření bylo posouzeno, že navržená výška pravé zdi je i přes občasné pulzace přes zed' navržena dostatečně vysoká. Další zvyšování boční zdi není žádoucí vzhledem k narušení krajinného rázu. Grafické zobrazení průběhu hladin je znázorněno na Obr. 8..

Kompletní vyhodnocení průběhu hladin a čar energie bylo přiloženo s fotografiemi v přílohách na konci práce.

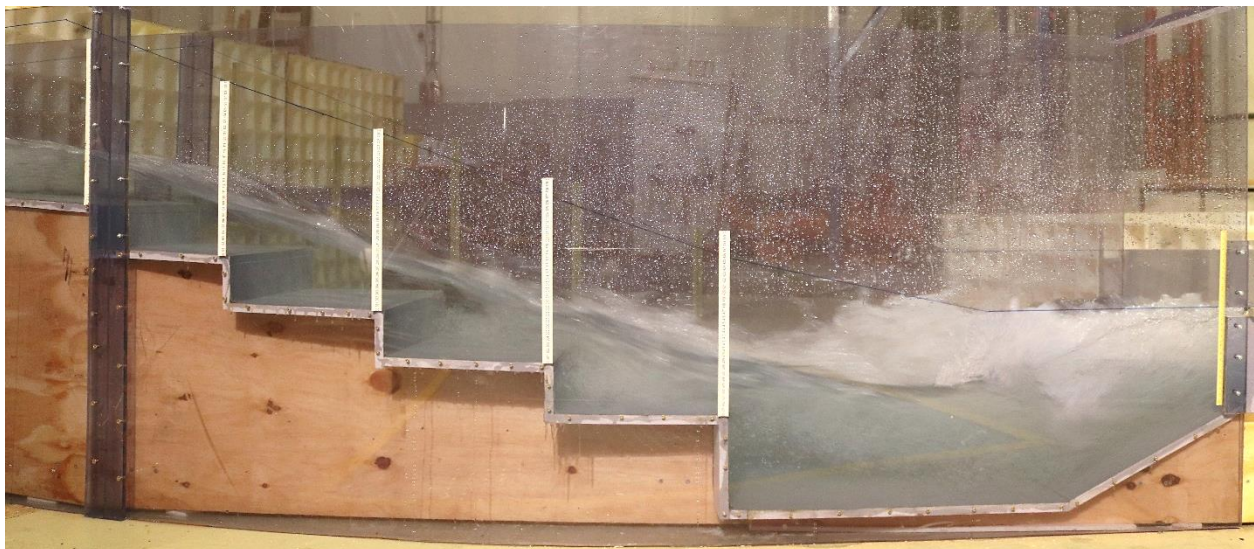




Obr. 8.7 Průběh hladiny ve skluzu a vývaru bezpečnostního přelivu při maximálním navrženém průtoku  $Q1000$



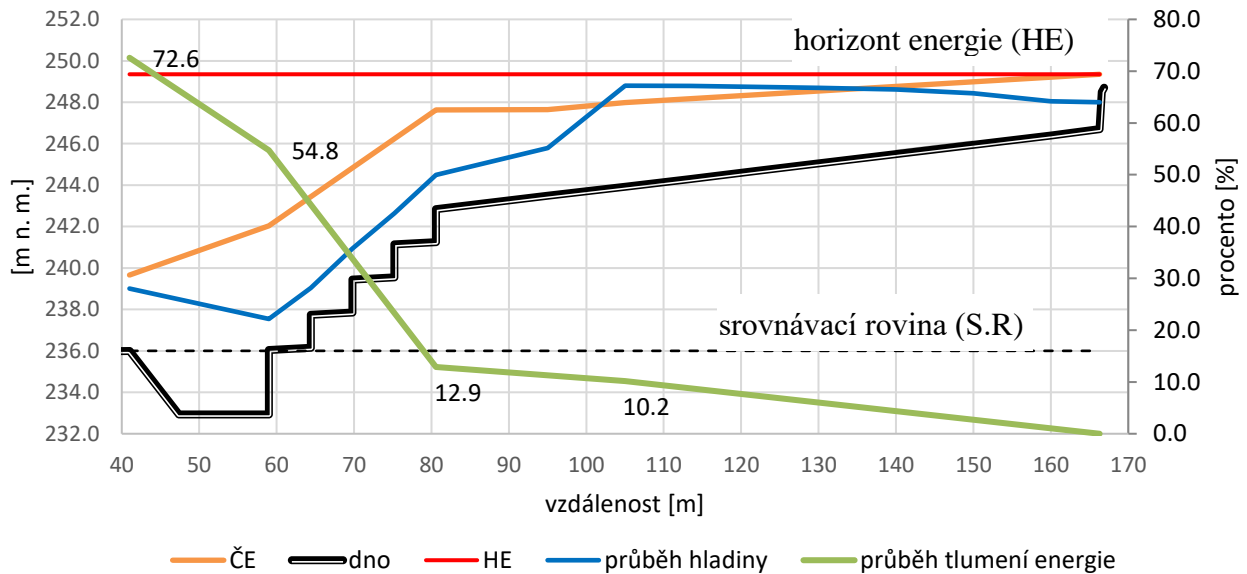
Obr. 8.8 Fotografie průběhu hladiny ve skluzu a vývaru při maximálním navrženém průtoku  $Q10000$



Obr. 8.9 Fotografie průběhu hladiny ve skluzu a vývaru při maximálním navrženém průtoku  $Q10000$

### 8.3.1 Průběh čáry energie

#### Průběh čáry energie pro maximální návrhový průtok $Q = 97 \text{ m}^3/\text{s}$



Obr. 8.7 Grafické znázornění průběhu čáry energie bezpečnostním přelivem VD Hostivař

Na základě měření na fyzikálním modelu VD Hostivař, byl graficky zpracován průběh čáry energie (Obr. 8.7). Červená čára reprezentuje horizont energie na kótě 248.82 m n. m., hnědá čára vyjadřuje průběh čáry energie a modrá čára udává informaci o procentu utlumené energie. Pokud se zaměříme na část skluzu a vývaru samostatně, zjistíme, že kaskádovým skluzem bylo utlumeny přibližně 42 % energie a vývarem 15 % energie.

## 9 VYHODNOCENÍ POZNATKŮ Z MĚŘENÍ A VÝPOČTŮ

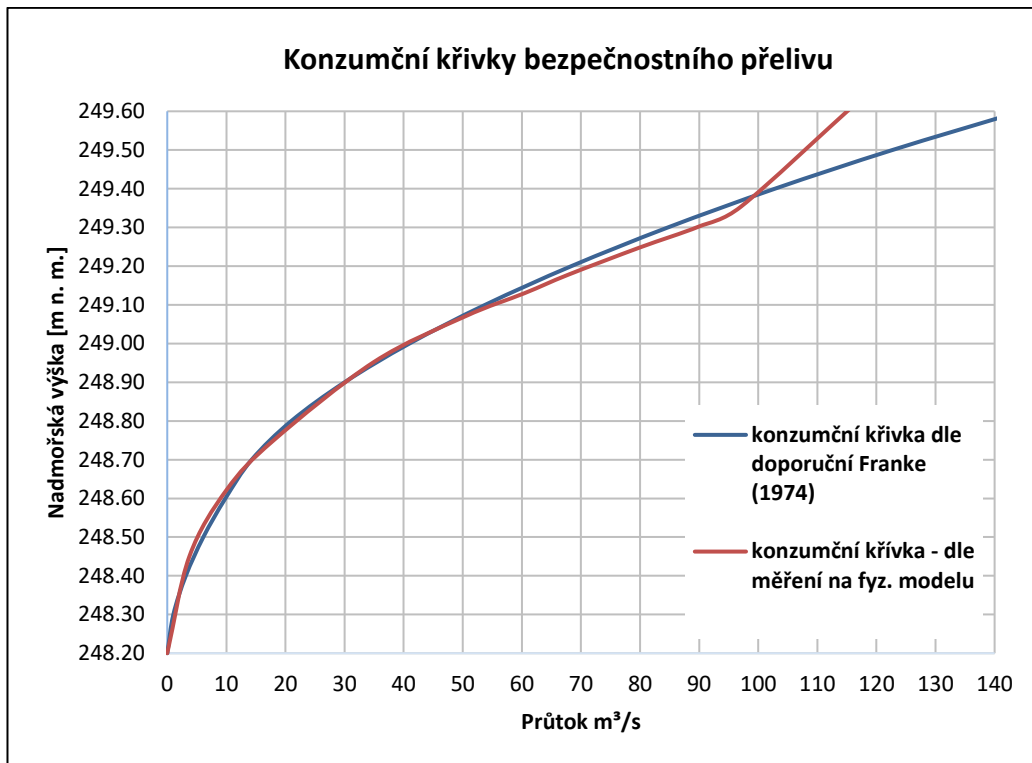
Každé vodní dílo je svým způsobem unikátní, tudíž je u takto významných vodních děl nezbytné provést ověření hydrotechnického výpočtu na fyzikálním modelu. Při návrhu se řídíme výpočetními postupy, které byly odvozeny na základě výzkumu, které se nemusí plně shodovat s podmínkami řešeného problému. Porovnáním naměřených a vypočtených hodnot byla sledována věrohodnost a použitelnost výpočtů pro navrhování a dimenzi námi řešeného vodního díla.

V této kapitole byly porovnány výsledky výpočtu a měření konzumční křivky, průběhu hladiny ve spadišti, tlumení energie a průběh hladin ve stupňovitém skluzu a posouzení funkce a rozměrů vývaru.

### 9.1 Konzumční křivka

Na (Obr. 9.1) níže, byly graficky znázorněny konzumční křivky bočního přelivu. Vidět jsou nepatrné rozdíly mezi vypočtenými a naměřenými hodnotami, a to zejména v rozmezí průtoků 60-100 m<sup>3</sup>/s. Tyto rozdíly průtoků se pohybují mezi 2-5 %. Charakteristické pro tuto část křivky je, že výpočet podhodnocuje velikost průtoků při dané výšce přepadového pa-prsku. Dále od průtoků nad 100 m<sup>3</sup>/s se naměřené hodnoty značně liší. To je vysvětleno hranicí mezi dokonalým a nedokonalým přepadem, kdy spadiště bočního přelivu se začíná zahlcovat a přestává splňovat podmínky dokonalého přepadu.

Nutno podotknout, že návrhový průtok pro bezpečnostní přeliv je 97 m<sup>3</sup>/s, což je hodnota, při které je podmínka dokonalého přepadu splněna. Splněna nebyla MBH, která je dle MŘ stanovena na úrovni 249,30 m n. m. [11]. Na základě naměřených hodnot hladina vody v nádrži při průtoku 97 m<sup>3</sup>/s dosáhla hodnoty 249,35 m n. m., což je o 5 cm více.



Obr. 9.1 Porovnání vypočítaných a naměřených hodnot konzumční křivky bezpečnostního přelivu

## 9.2 Spadiště

Jak již bylo dříve v kapitolách (6.2 a 8.2) podrobně řešeno, byly zde uvedeny pouze poznatky plynoucí z výpočtu, naměřených hodnot a celkového chování navržené konstrukce.

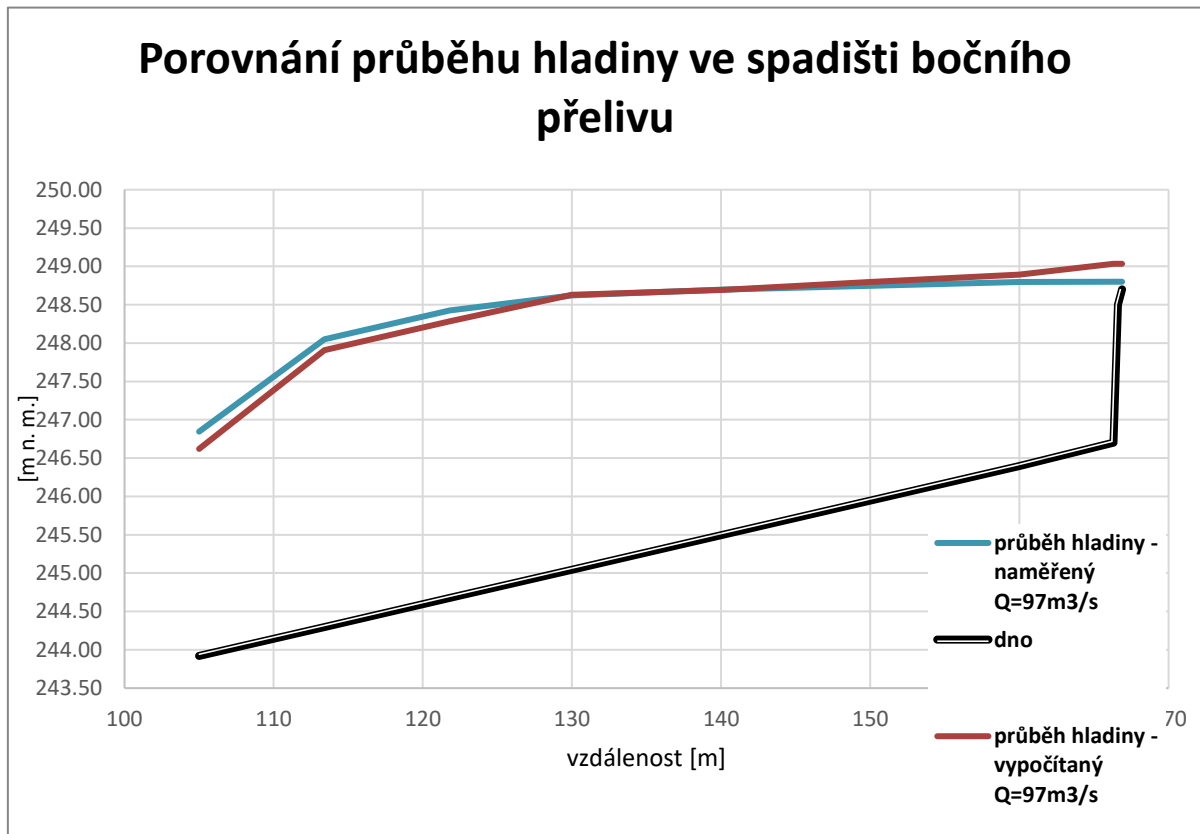
Posouzení podle grafu dle Komory (Kap.6.2.1) bylo dle prvního postupu vyhodnoceno jako málo kapacitní. V druhém případě vycházelo posouzení spadiště mnohem kapacitněji, než bylo třeba. Důvody pro zvolení dvou způsobů přístupu byly již podrobněji vysvětleny dříve.

Na základě měření hloubky vody ve spadišti (Kap.8.2) bylo vyhodnoceno, že hloubka vody ve spadišti byla na úrovni, kdy neovlivňovala přepad vody přes boční přeliv. Tím pádem byla funkce spadiště splněná bez viditelných problémů. Toto tvrzení bylo potvrzeno také grafickým zpracováním konzumční křivky (Kap.8.1), kdy zlomový bod nastal až po překročení hodnoty průtoku  $97 m^3/s$ .

Závěrem nutno podotknout, že použitá metoda posouzení spadiště dle Komory nelze v tomto případě aplikovat. Výsledky byly velmi rozdílné a nedůvěryhodné. Možné důvody

rozdílných výsledků byly stanoveny takto: dělená přelivná hrana, zakřivení přelivné plochy nebo také jednotný sklon spadiště a navazujícího skluzu.

Dalším použitým způsobem ověření funkce spadiště byl výpočet průběhu hladiny (Kap. 6.2.2). Výpočet vycházel z kritické hloubky na konci spadiště a postupným přibližováním principem pokus omyl byla hledána druhá vzájemná hloubka.



Obr. 9.2 Porovnání průběhu hladiny ve spadišti výpočet / měření

### 9.3 Skluz

Cílem porovnání vypočtených hodnot z Kap 6.3 a hodnot naměřených z Kap. 8.3 bylo ověření použitelnosti výpočtu pro návrh dimenze vývaru.

S ohledem na měřené hodnoty a výstupy výpočtu bylo možné použít pouze několik veličin pro porovnání. Jedná se o celkovou hloubku provzdušněné i neprovzdušněné části na posledním stupni, energie na začátku skluzu a relativní ztrátu energie (Tab. 9.1, Tab. 9.2, Tab. 9.3).

Z porovnávaných hodnot bylo usouzeno, že výsledné hloubky na posledním stupni skluzu vycházejí ve velmi dobré shodě (Tab. 9.1) vzhledem k měřítku modelu a fluktuacím hladiny při měření. Pokud hovoříme o porovnání energií na hraně prvního stupně, hodnoty se liší (Tab. 9.2). Výpočet vychází z určení relativní ztráty energie (Kap.6.3) vzhledem k energii na konci skluzu a zpětně stanoví energii na začátku. Poměry relativní ztráty tím pádem vychází dle výpočtu a vyhodnocení naměřených hodnot odlišně (Tab. 9.3).

Q [m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> ]	y_vyp. [m]	y_změř. [m]
35	0.7	0.8-1.8
60	1.0	1.0
80	1.3	1.2
97	1.4	1.5

Tab. 9.1 Porovnání hloubek na posledním stupni

Q [m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> ]	E_vyp. [m]	E_změř. [m]
35	5.7	8.7
60	7.6	9.4
80	8.7	10.0
97	9.4	10.6

Tab. 9.2 Porovnání energie na začátku skluzu

Q [m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> ]	výpočet $\Delta E/E0$	měření $\Delta E/E0$
35	0.55	0.77
60	0.38	0.54
80	0.28	0.29
97	0.20	0.43

Tab. 9.3 Porovnání relativní ztráty energie

Závěrem můžeme konstatovat, že výpočet není vhodné v tomto případě použít pro stanovení relativní ztráty energie stupňovitěho skluzu, ale lze využít pro určení vstupních návrhových parametrů vývaru.

### 9.4 Vyhodnocení kapacity vývaru

Úkolem této kapitoly bylo stanovení optimálních rozměrů vývaru na základě porovnání hydrotechnického výpočtu s provedenou fotodokumentací na fyzikálním modelu.

Pro optimální návrh vývaru, který zajistí dostatečné tlumení kinetické energie při návrhovém průtoku je velmi důležité vycházet ze správně stanovených návrhových parametrů. Pro stanovení těchto parametrů bylo využito výpočtů dle kapitoly 6.3 a matematického modelu HEC-RAS. Výsledný návrh dle získaných parametrů byl proveden v kapitole 6.4.



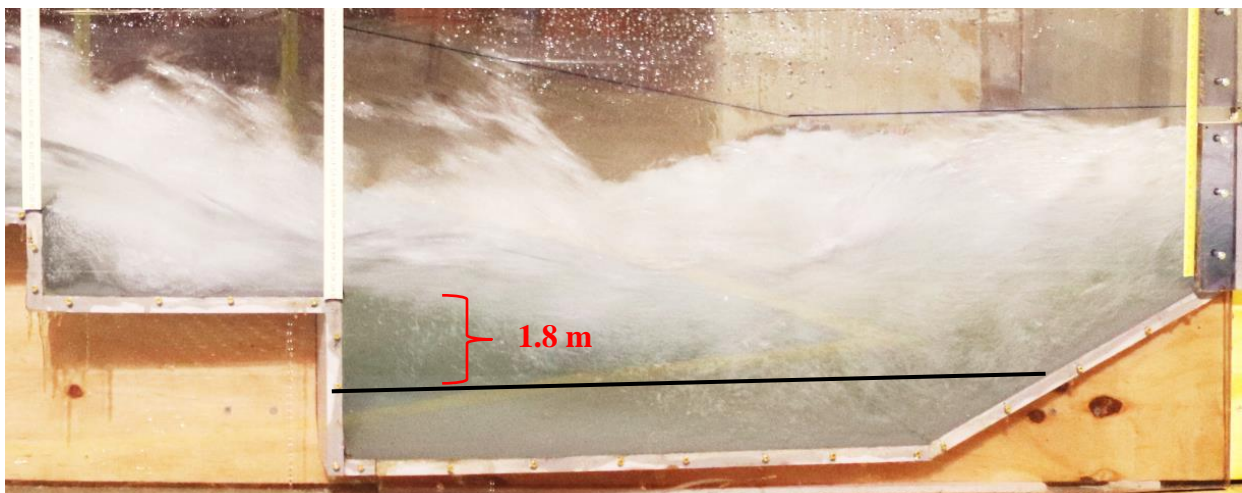
Porovnáním výsledků hydrotechnického výpočtu (Kap. 6.4) a rozměrů modelu vývaru bylo dosaženo rozdílných hodnot v návrhu délky a hloubky (Tab. 9.4).

Označení průtoku	Průtok	Výpočet				Model	
		hloubka vývaru	doskok	délka vývaru	celkem	hloubka vývaru	délka vývaru
$Q_N$	$Q$	$d$	$L_p$	$L_s$	$L_v$	$d$	$L_v$
[-]	$[m^3 \cdot s^{-1}]$	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]
$Q_{50}$	<b>48.9</b>	1.4	3.2	12.5	15.8	<b>3.15</b>	<b>17.5</b>
$Q_{100}$	<b>60.3</b>	<b>1.8</b>	3.8	14.8	18.5	3.47	20.1
$Q_{1000}$	<b>97</b>	<b>2.5</b>	5.5	21.1	26.6	4.58	27.9

Tab. 9.4 Porovnání navržených rozměrů vývaru

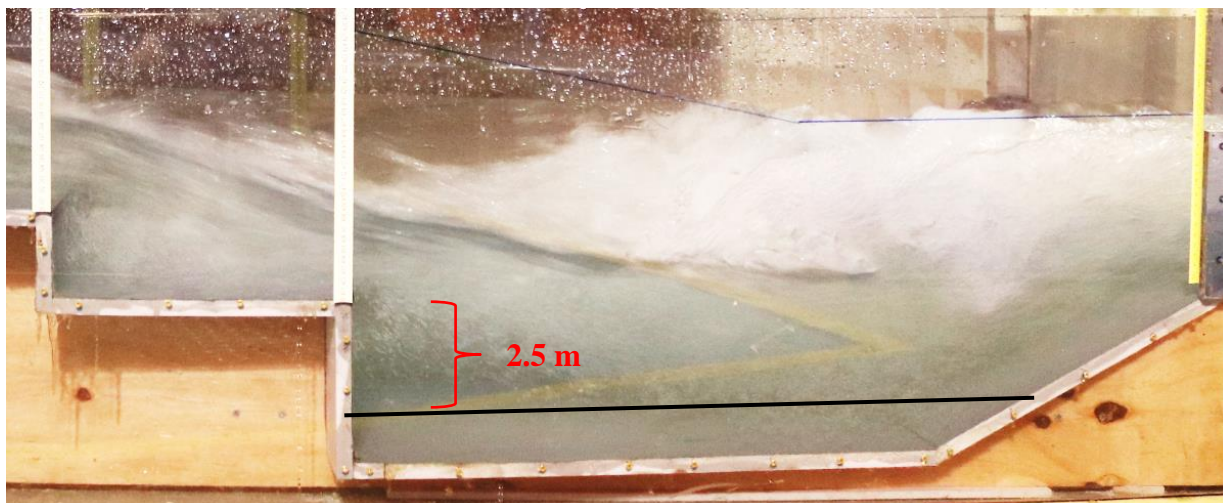
Vývar byl navržen 18 m dlouhý a 3.1 m hluboký na návrhový průtok  $Q = 48.9 \text{ m}^3/\text{s}$  (Tab. 9.4).

Na přiložených fotografiích (Obr. 9.3 a Obr. 9.4) pořízených při fyzikálním výzkumu byly graficky znázorněny požadované hloubky vývaru dle výpočtu. Výsledkem zkoumání chování proudící vody ve vývaru bylo usouzeno, že hloubka vývaru byla navržena na straně bezpečnosti i pro převedení průtoku  $Q = 97 \text{ m}^3/\text{s}$ .



Obr. 9.3 Fotografie vývaru fyzikálního modelu pro průtok  $Q=60.3 \text{ m}^3/\text{s}$





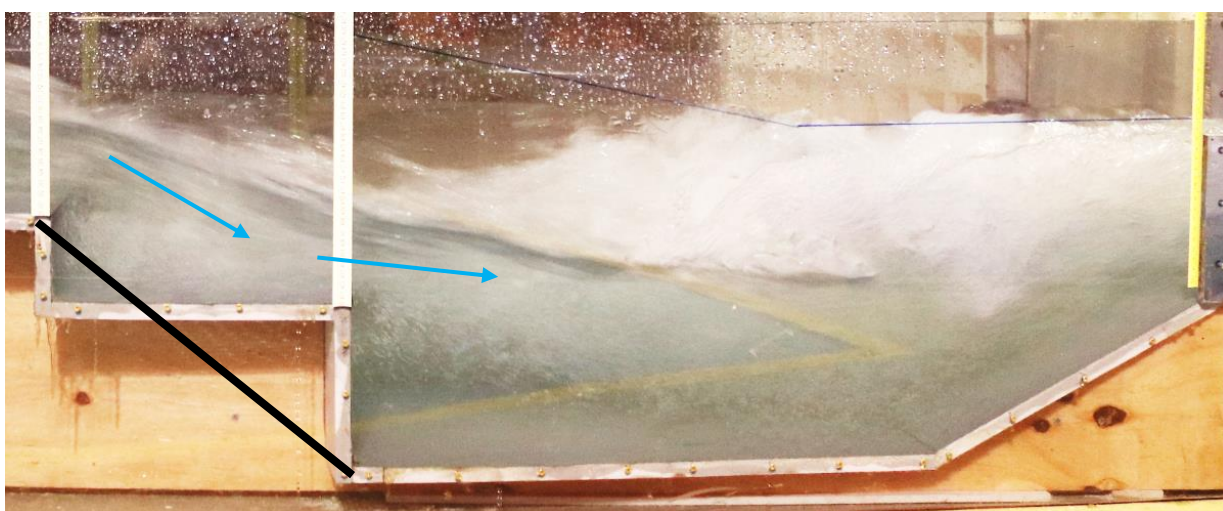
*Obr. 9.4 Fotografie vývaru fyzikálního modelu pro průtok  $Q=97 \text{ m}^3/\text{s}$*

Navržená délka vývaru je pro splnění podmínek převedení průtoku  $Q = 48.9 \text{ m}^3/\text{s}$  dle projektové dokumentace dostatečná.

Nabízejí se zde jistá optimalizační opatření, která by vedla k bezpečnému tlumení energie i při vyšších hodnotách průtoku, než původní návrh projektové dokumentace počítá.

Jedním z řešení by bylo vývar prodloužit po směru toku. To by ovšem znamenalo větší objem výkopových prací, větší množství spotřebovaného betonu a zvýšení celkových nákladů na stavbu. Tato varianta by nemusela být z pohledu investora a dalších dotčených orgánů žádoucí, a proto zde byla navržena varianta znázorněna na Obr. 9.5.

Navržená varianta by měla eliminovat odraz proudící vody od poslední stupně kaskády a tím efektivněji využít prostor vývaru k disipaci energie.



*Obr. 9.5 Navržená úprava poslední stupně skluzu*

## 10 ZÁVĚR

Výsledkem diplomové práce je popis navrženého technického opatření pro převedení části návrhového povodňového průtoku, včetně ověření funkce spadiště, skluzu a vývaru. Dalším z cílů této práce je kvantifikace měrné křivky bočního přelivu a optimalizace tlumení kinetické energie pomocí kaskády tlumících stupňů v oblouku skluzu a novém vývaru.

Pomocí numerických výpočetních postupů bylo provedeno předběžné posouzení, které bylo následně vyhodnoceno porovnáním naměřených hodnot na fyzikálním modelu. Fyzikální model byl sestaven na základě Froudova zákona podobnosti v délkovém měřítku 1:20 ve vodohospodářském experimentálním centru ČVUT v Praze.

Porovnáním vypočtených a naměřených hodnot konzumní křivky bočního přelivu byly zjištěny odchylky od 2 % do 5 % při průtoku do 97 m<sup>3</sup>/s. Při překročení této hodnoty průtoku dochází ke změně sklonu měrné křivky, což je důsledkem zahlcení spadiště při nedokonalém přepadu.

Kapacita spadiště bočního přelivu byla posouzena dle grafu Komory a také byl ve spadišti proveden výpočet průběhu hladiny dle Chowa. Následné vyhodnocení měření průběhu hladiny na fyzikálním modelu prokázalo dobrou shodu s výpočtem průběhu hladiny ustáleného nerovnoměrného proudění ve spadišti. Bohužel výsledky posouzení dle grafu Komory se neshodovaly se skutečnostmi pozorovanými na fyzikálním modelu.

Výpočet tlumení kinetické energie pomocí kaskádovitěho skluzu byl porovnán s naměřenými hodnotami na fyzikálním modelu a závěrem nutno podotknout, že numerický výpočet lze použít pro výpočet vstupních parametrů pro návrh dimenze vývaru, ale není jej vhodné použít pro určení relativní ztráty energie ve skluzu. Hodnoty naměřené na prvním stupni skluzu byly totiž rozdílné oproti výsledkům výpočtu, který vychází z výpočtu relativní ztráty energie mezi posledním a prvním stupněm kaskády.

Dimenze vývařiště byla ověřena výpočtem. Hloubka vývaru pro část návrhového povodňového průtoku ( $Q_{10000^*} = 97 \text{ m}^3/\text{s}$ ) byla stanovena na 2.5 m s délkou vývaru 26 m. Současné technické opatření počítá s hloubkou vývaru 3.1 m a délkou 18 m s dodatečným tlumením kinetické energie ve stávajícím vývaru. Po verifikaci výpočtu na fyzikálním modelu byla navržena úprava posledního stupně kaskády. Navržená úprava zajistí lepší využití prostoru vývaru a efektivnější tlumení kinetické energie.

Posouzení kapacity nového bezpečnostního přelivu VD Hostivař bylo posouzeno pro část návrhového kulminačního průtoku  $Q_{10000^*} = 97 \text{ m}^3/\text{s}$ . Dle metodiky ČSN 75 2935 se



vodní dílo považuje za bezpečné při platnosti relace  $KMH \leq MBH$ . Pro VD Hostivař byla určena  $MBH = 249,30$  m n. m. Naměřená úroveň hladiny v nádrži při kulminačním průtoku  $Q_{10\,000^*} = 97$  m<sup>3</sup>/s byla 249,35 m n. m, což je o 5 cm výše než mezní bezpečná hladina. VD nevyhovuje kritériím ČSN 75 2935 při zachování současné hodnoty MBH na úrovni 249,30 m n. m.

## Použitá literatura a prameny

- [1] HAVLÍK, Vladimír a Ivana MAREŠOVÁ. *Hydraulika: příklady*. Vyd. 2. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1997. ISBN 80-01-01586-6.
- [2] KOLÁŘ, Václav. *Hydraulika*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1983. Technický průvodce.
- [3] MEDŘICKÝ, Vladimír a Petr VALENTA. *Hydrotechnické stavby 1: navrhování jezů*. Vyd. 2., přeprac. V Praze: České vysoké učení technické, 2009. ISBN 978-80-01-04309-7.
- [4] VOTRUBA, Ladislav, Vojtěch BROŽA, Ivo KAZDA a Ladislav VOTRUBA. *Přehrady*. Praha: SNTL, 1987.
- [5] HUNT, S.L. a K.C. KADAVY. *Flow Depth and Energy Coefficient Relationships for Stepped Spillways*. United States, 2014. Vědecká práce. The United States Department of Agriculture (USDA).
- [6] TERRIER, Stéphane Christian Olivier. *Hydraulic performance of stepped spillway aerators and related downstream flow features*. LAUSANNE, 2016. Vědecká práce. ÉCOLE POLYTECHNIQUE FÉDÉRALE DE LAUSANNE.
- [7] FRIZELL, K. Warren a Kathleen H. FRIZELL. *Guidelines for Hydraulic Design of Stepped Spillways*. Denver, 2015. Vědecká práce. U.S. Dept. of the Interior, Bureau of Reclamation Technical Service Center, 86-68460.
- [8] NOVAK, P., A.I.B MOFFAT, C. NALLURI a R. NARAYANAN. *Hydraulic Structures*. Fourth Edition. 2 Park Square, Milton Park, Abingdon, Oxon: Taylor & Francis, 2007. ISBN 0-203-96463-2.
- [9] RUFF, James F. a Jason P. WARD. *HYDRAULIC DESIGN OF STEPPED SPILLWAYS*. Colorado, USA, 2002. Vědecká práce. Colorado State University Fort Collins, Colorado.
- [10] *Hydrologické poměry ČSR. III. díl. ČHMÚ*, 1973.
- [11] *Manipulační a provozní řád pro VD Hostivař*. VD TBD a.s. Praha. 10/2009.
- [12] ŘÍHA, Jaromír. *VD Hostivař Vyhodnocení povodňové situace v roce 2013*. Brno, 2013.
- [13] *Provozní manuál sítě limnigrafických stanic v povodí Botiče, CIŽP, Ateliér životního prostředí* (Ing. Cyril Mikyška), Praha, 12/2008.
- [14] *Vodní nádrž Hostivař*. Wikipedie (Otevřená encyklopedie). Dostupné na [http://cs.wikipedia.org/wiki/Vodn%C3%AD\\_n%C3%A1dr%C5%BE\\_Hostiva%C5%99](http://cs.wikipedia.org/wiki/Vodn%C3%AD_n%C3%A1dr%C5%BE_Hostiva%C5%99) (14. 11. 2018).

- [15] VESELÝ, Radek. POSÍLENÍ KAPACITY BEZPEČNOSTNÍHO PŘELIVU VD HOSTIVAŘ PRO PŘEVEDENÍ Q10000: HYDROTECHNICKÉ POSOUZENÍ. Praha, 2015.
- [16] Hostivařská přehrada. Dostupné na <http://www.hostivarskaprehrada.cz/o-prehrade> (24. 7. 2013)
- [17] PAVLOVÁ, Martina a Blanka LEVÁ. Stavba č. 43915 VD Hostivař, zkapacitnění bezpečnostního přelivu: Inženýrskogeologický a geofyzikální průzkum. Praha, 2018.
- [18] SATRAPA, Ladislav a Martin KÁLÍK a Jitka KUČEROVÁ a Miroslav BROUČEK a Martin HORSKÝ. VD NECHRANICE rekonstrukce krajních polí bezpečnostního přelivu. České vysoké učení technické v Praze, 2016.
- [19] ČSN 75 2935 Posuzování bezpečnosti vodního díla při povodních.
- [20] Vyhláška č. 471/2001 Sb. o technickobezpečnostním dohledu nad vodními díly.
- [21] Vyhláška č. 367/2005 Sb., o technických požadavcích pro vodní díla (pův. 590/2002 Sb.).

## Seznam obrázků

Obr. 2.1 Katastrální mapa zájmového území .....	8
Obr. 2.2 Dispozice hráze a podhrází [11].....	10
Obr. 2.3 Vzorový příčný řez tělesem hráze VD Hostivař [11].....	11
Obr. 2.4 Bezpečnostní přeliv z pohledu proti vodě .....	12
Obr. 2.5 Detail bezpečnostního přelivu VD Hostivař [11].....	13
Obr. 2.6 Zaústění bezpečnostního přelivu a spodních výpustí do obtokové štoly .....	13
Obr. 2.7 Pohled z odpadní štoly směrem do vývaru.....	13
Obr. 3.1 Schématická situace povodí VD Hostivař [11] .....	18
Obr. 5.1 Půdorys navrženého bezpečnostního přelivu VD Hostivař.....	27
Obr. 5.2 Půdorys navrženého stupňovitého skluzu a vývaru VD Hostivař.....	28
Obr. 6.1 Schéma spadiště bočního přelivu .....	30
Obr. 6.2 Vypočtená konzumční křivka pro boční bezpečnostní přeliv VD Hostivař.....	31
Obr. 6.3 Komorův graf k odečtení nejvyšší hloubky ve spadišti [4].....	32
Obr. 6.4 Podélný řez posuzovaného spadiště bočního přelivu .....	33
Obr. 6.5 Schéma výpočtu bočního přelivu [8].....	35
Obr. 6.6 Příčný řez spadištěm bočního přelivu [8].....	36
Obr. 6.7 Schéma kaskádového skluzu a parametry jednotlivých režimů proudění [7] .....	37
Obr. 7.1 Fyzikální model VD Hostivař .....	46
Obr. 8.1 Konzumční křivka fyzikálního modelu .....	48
Obr. 8.2 Schéma měřených bodů ve spadišti.....	49
Obr. 8.3 Grafické znázornění průběhu hladiny ve spadišti bezpečnostního přelivu .....	50
Obr. 8.4 Detail oblasti výškového dělení přelivné hrany .....	50
Obr. 8.5 Fotografie spadiště bezpečnostního přelivu při průtoku Q1000 .....	51
Obr. 8.6 Schéma měřených profilů skluzu .....	52
Obr. 8.7 Průběh hladiny ve skluzu a vývaru bezpečnostního přelivu při maximálním navrženém průtoku Q1000 .....	52
Obr. 8.8 Fotografie průběhu hladiny ve skluzu a vývaru při maximálním navrženém průtoku Q1000 .....	52
Obr. 8.9 Fotografie průběhu hladiny ve skluzu a vývaru při maximálním navrženém průtoku Q1000 .....	52

Obr. 8.10 Grafické znázornění průběhu čáry energie bezpečnostním přelivem VD Hostivař .....	54
Obr. 9.1 Porovnání vypočítaných a naměřených hodnot konzumční křivky bezpečnostního přelivu.....	56
Obr. 9.2 Porovnání průběhu hladiny ve spadišti výpočet / měření.....	57
Obr. 9.3 Fotografie vývaru fyzikálního modelu pro průtok $Q = 60.3 \text{ m}^3/\text{s}$ .....	59
Obr. 9.4 Fotografie vývaru fyzikálního modelu pro průtok $Q = 97 \text{ m}^3/\text{s}$ .....	60
Obr. 9.5 Navržená úprava posledního stupně skluzu .....	60

## Seznam Tabulek

Tab. 2.1 Základní parametry hráze a nádrže VD Hostivař [11] .....	10
Tab. 3.1 M-denní a N-leté průtoky profilu VD Hostivař.....	19
Tab. 3.2 Porovnání hodnot odvozených povodňových vln .....	19
Tab. 3.3 Rozdělení prostoru nádrže VD Hostivař .....	20
Tab. 6.1 Výsledky posouzení hloubky spadiště bočního přelivu .....	34
Tab. 6.2 Výsledky posouzení hloubky spadiště bočního přelivu pro část spadiště.....	34
Tab. 6.3 Výpočet tlumení energie kaskádovitěho skluzu.....	40
Tab. 6.4 Výpočet rozměrů vývaru pro návrhové průtoky .....	42
Tab. 8.1 Naměřené hodnoty hloubek ve spadišti fyzikálního modelu .....	49
Tab. 9.1 Porovnání hloubek na posledním stupni .....	58
Tab. 9.2 Porovnání energie na začátku skluzu .....	58
Tab. 9.3 Porovnání relativní ztráty energie .....	58
Tab. 9.4 Porovnání navržených rozměrů vývaru.....	59



## Seznam příloh

Příloha č.1 Výpočet konzumční křivky BP

Příloha č.2 Posouzení spadiště dle Komory

Příloha č.3 Výpočet průběhu hladiny ve spadišti BP

Příloha č.4 Vyhodnocení měření průběhu hladiny ve spadišti BP

Příloha č.5 Vyhodnocení měření průběhu hladiny ve spadišti BP

Příloha č.6 Vyhodnocení měření průběhu hladiny ve skluzu

Příloha č.7 Výpočet energetické výšky jednotlivých profilů

Příloha č.8 Průběh hladin a čáry energie ve skluzu BP