ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební

Katedra hydrotechniky

Zajištění bezpečnosti MVN Finklův rybník

Finklův pond – Flood Safety Enhancement

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Marie Kozáková

Studijní program: Stavební inženýrství

Studijní obor: Vodní hospodářství a vodní stavby

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Miroslav Brouček, Ph.D.

Praha, 2022

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
Fakulta stavební
Thákurova 7, 166 29 Praha 6

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Kozáková Jméno: Marie Osobní číslo: 484538

Zadávající katedra: k142 - Katedra hydrotechniky

Studijní program: Stavební inženýrství

Studijní obor: Vodní hospodářství a vodní stavby

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce: Zajištění bezpečnosti MVN Finklův rybník

Název bakalářské práce anglicky: Finklův Pond - Flood Safety Enhancement

Pokyny pro vypracování:
Na základě stavu VD z hlediska bezpečnosti za povodní zpracujte technické varianty úpravy vodního díla tak, aby vyhovělo požadavkům platné legislativy, zejména vyhl. č. 590/2002 Sb. promítnuté do ČSN 752935. Vodní dílo zabezpečte na převádění Q100.

Varianty řešení rozpracujte v podrobnosti odpovídající studii proveditelnosti - výkresová část (situace, řezy), výpočty, technická zpráva. Pro jednotlivé varianty uveďte rozsah hlavních činností a zhodnoťte je.

Seznam doporučené literatury:
Přehrady, Broža, V., Kratochvíl, J., Peter, P., Votruba, L., 04-728-87, SNTL 1987
Skriptum Hydrotechnické stavby 10, Broža, V., Satrapa, L.; 2000
další odborná literatura z oblasti hydrotechniky se vztahem k tématu bakalářské práce;
relevantní technické normy, zejména ČSN 75 2935 Posuzování bezpečnosti vodních děl při povodních;ČSN 75 2410 Malé vodní nádrže, ČSN 73 1208 Navrhování betonových konstrukcí vodohospodářských objektů; ČSN 75 2310 Sypané hráze, EC 7 a legislativní přepisy, vyhláška 590/2002 Sb. a 255/2010 Sb. (úprava 471/2001 Sb.)

Jméno vedoucího bakalářské práce: Ing. Miroslav Brouček, Ph.D.

Datum zadání bakalářské práce: 18.2.2022 Termín odevzdání bakalářské práce: 15.5.2022
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 bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v bakalářské 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".

18. 2. 2022
Datum převzetí zadání Podpis studenta(ky)

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem předkládanou bakalářskou práci vypracovala samostatně pouze s použitím zdrojů a literatury v ní uvedených v souladu s metodických pokynem ČVUT 1/2009 „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.

V Praze, dne 15. 5. 2022 ……..

Marie Kozáková

PODĚKOVÁNÍ

Tímto děkuji vedoucímu své bakalářské práce Ing. Miroslavu Broučkovi Ph.D. za jeho ochotu a čas, který mi věnoval při konzultacích, a cenné rady z praxe, které mi pomohly při tvorbě této práce. Dále bych ráda poděkovala své rodině za poskytnutí zázemí během celé doby studia. Děkuji také všem svým spolužákům, s jejichž pomocí a společně stráveným časem bylo studium o něco jednodušší.

ABSTRAKT

Cílem této bakalářské práce je navrhnout formou studie proveditelnosti variantní řešení bezpečnostního přelivu Finklova rybníku v okrese Louny, v majetku Povodí Ohře, státní podnik. V práci je popsán současný stav funkčních objektů nádrže a dle terénního průzkumu jsou vybrána vhodná řešení. Za tímto účelem jsou v teoretické části práce uvedeny možné technické varianty bezpečnostních přelivů malých vodních nádrží a je popsána problematika jejich bezpečnosti při povodních s odkazem na příslušnou legislativu. Výsledkem práce je výkresová dokumentace navržených variant, jejich technický popis, výpočet rozsahu hlavních prací a zhodnocení majetkoprávních vztahů. Zpracované varianty jsou vzájemně porovnány a je doporučeno vhodné řešení. Práce má v budoucnu sloužit jako podklad pro další stupeň projektové dokumentace při realizaci navržené úpravy.

KLÍČOVÁ SLOVA

Finklův rybník, zajištění bezpečnosti při povodních, bezpečnostní přeliv, boční přeliv, labyrintový přeliv

ABSTRACT

The aim of this bachelor thesis is to propose in the form of a feasibility study a variant solution of the safety spillway Finklův pond in the district of Louny, which is owned by the Povodí Ohře, a state enterprise. The work describes the current state of the functional objects of the water reservoir and according to the field survey, suitable solutions are selected. For this purpose, the theoretical part of the work presents possible technical variants of safety spillways of small water reservoirs and describes the issue of their safety during floods with reference to the relevant legislation. The result of the work is the project documentation of the proposed variants, their technical description, calculation of the scope of the main works and evaluation of property relations. The processed variants are compared with each other and a more suitable solution is recommended. In the future, the work should serve as a basis for the next stage of project documentation in the implementation of the proposed modification.

KLÍČOVÁ SLOVA

Finklův rybník, ensuring safety during floods, spillway, side spillway, labyrinth weir

OBSAH

1 Úvod a cíl práce 1

1.1 Úvod 1

1.2 Cíl práce 1

2 Malé vodní nádrže 2

2.1 Základní pojmy 2

2.1.1 Vodní dílo 2

2.1.2 Malá vodní nádrž 2

2.1.3 Rekonstrukce malých vodních nádrží 2

2.1.4 Ochrana před povodněmi 2

2.1.5 Kontrolní povodňová vlna 2

2.1.6 Bezpečnost vzdouvací stavby za povodně 2

2.1.7 Mezní bezpečná hladina 3

2.1.8 Kontrolní maximální hladina 3

2.2 Základní funkce malých vodních nádrží 4

2.3 Prostory v nádrži 4

2.4 Hlavní technické objekty malých vodních nádrží 5

2.4.1 Hráz 5

2.4.2 Výpustné zařízení 6

2.4.3 Bezpečnostní přeliv 6

3 Použité podklady 8

3.1 Literatura a normy 8

3.2 Mapové a geodetické podklady 8

4 Základní údaje vodního díla Finklův rybník 9

4.1 Lokalita Finklova rybníku 9

4.2 Účel a užívání stavby 9

4.3 Kapacita vodního díla 9

4.4 Hlavní technické parametry 10

4.5 Údaje o vodním toku 10

4.6 Hydrologické údaje 10

4.7 Geomorfologické a geologické poměry 12

4.8 Klimatické poměry 12

5 Současný technický stav vodního díla 13
5.1 Hráz ... 13
5.2 Stav vegetace ... 13
5.3 Spodní výpust ... 14
5.4 Bezpečnostní přeliv ... 14
5.5 Stavidlová výpust ... 15
5.6 Objekt pro odběr vody ... 16
5.7 Nádrž ... 16
6 Posouzení bezpečnosti hráze při povodních 17
6.1 Výška výběhu větrových vln ... 17
6.2 Mezní bezpečná hladina ... 21
6.3 Kontrolní maximální hladina ... 21
6.3.1 V průběhu povodně nedojde k manipulaci se stavidlovou výpustí ... 21
6.3.2 V průběhu povodně se manipuluje dle manipulačního řádu ... 22
6.4 Návrh opatření ... 22
7 Varianta A – Kašnový bezpečnostní přeliv 23
7.1 Kašnový přeliv ... 23
7.2 Popis konstrukčního řešení ... 23
7.2.1 Bezpečnostní přeliv ... 23
7.3 Hydrotechnické výpočty ... 23
7.3.1 Kašnový bezpečnostní přeliv ... 23
7.3.2 Spadiště kašnového bezpečnostního přelivu ... 25
7.4 Výpočet objemu hlavních prací ... 29
7.4.1 Demolice stávajících objektů ... 29
7.4.2 Kubatury zásypové zeminy ... 29
7.4.3 Kubatury betonu ... 29
7.5 Majetkoprávní vztahy ... 30
8 Varianta B – Labyrintový přeliv pianového typu 31
8.1 Labyrintový přeliv ... 31
8.2 Popis konstrukčního řešení ... 32
8.2.1 Bezpečnostní přeliv ... 32
8.3 Hydrotechnické výpočty ... 32

8.3.1 Labyrintový bezpečnostní přeliv 32
8.3.2 Zkapacitnění pevného BP na levém konci 36
8.4 Výpočet objemu hlavních prací 37
8.4.1 Demolice stávajících objektů 37
8.4.2 Kubatury betonu 37
8.5 Majetkoprávní vztahy 38
9 Zhodnocení variant 39
9.1 Výběr varianty bezpečnostního přelivu 39
10 Závěr 40
11 Seznam použitých zdrojů 41
12 Seznam použitých zkratek 43
13 Seznam obrázků 44
14 Seznam tabulek 45
15 Seznam rovnic 46
16 Seznam výkresových příloh 47

1 Úvod a cíl práce

1.1 Úvod

Rybníky a účelové nádrže jsou nedílnou součástí naší krajiny a datují se řadu let do české historie. Tyto nádrže plní mnoho významných funkcí – zásobní, ochrannou, rekreační, zlepšují a mění fyzikální, chemické a biologické vlastnosti vody, vytvářejí vhodné prostředí pro chov ryb apod. Většina těchto nádrží je víceúčelová. Při správném návrhu a odpovědném provozování přispívají tyto nádrže k ochraně a tvorbě životního prostředí.

Na území České republiky byly umělé vodní nádrže budovány pravděpodobně již v 8. a 9. století našeho letopočtu. Hlavní rozmach nastal až v 15. a 16. století, kdy vznikaly rozsáhlé rybniční soustavy na Třeboňsku, Blatensku a dalších lokalitách. Vrcholná etapa českého rybníkářství je spojena se jménem Jakuba Krčína z Jelčan a Sedlčan (1535-1604), který navrhl náš největší rybník Rožmberk. V době vzniku se jednalo o jednu z nejodvážnějších a technicky nejvyspělejších vodních staveb ve střední Evropě. [1]

S potřebou využití půdy pro rozvíjející se zemědělství a průmysl se začal počet vodních ploch v 18. a 19. století snižovat. Vodní plochy byly vysušovány a přeměňovány na ornou půdu, případně stavební pozemky. Postupně tak klesla rozloha rybníků u nás z 77 000 ha na dnešních cca 50 000 ha. [2]

V posledních letech je výstavba a rekonstrukce malých vodních nádrží (dále také MVN), s probíhající klimatickou změnou, stále aktuálnější. Mění se rozložení atmosférických srážek v průběhu roku a čím dál častěji dochází k výskytu extrémně suchých období a náhlých přívalových srážek na relativně malé ploše povodí, které způsobují povodňové situace. V současnosti jsou z těchto důvodů budovány nové, přírodě blízké nádrže, jejichž hlavním úkolem je zadržet vodu v krajině, zvýšit retenční schopnost a snížit dopady sucha.

1.2 Cíl práce

Cílem bakalářské práce je navrhnout možná řešení bezpečnostního přelivu VD Finklův rybník, porovnat je a zhodnotit, která varianta je nejvhodnější.

Bakalářská práce je členěna na dvě hlavní části – teoretickou a praktickou. Teoretická část je úvodem do problematiky malých vodních nádrží, včetně popisu posuzování a zajištění jejich bezpečnosti při povodních. Dále jsou uvedeny základní informace o Finklově rybníku i s popisem současného stavu vodního díla.

V praktické části jsou na základě nevyhovujícího posudku bezpečnosti VD Finklův rybník za povodní dle ČSN 75 2935 navrženy formou studie proveditelnosti dvě varianty řešení. Pro jednotlivé varianty zkapacitnění bezpečnostního přelivu je zpracován rozsah hlavních činností a výkresová dokumentace. Za účelem průzkumu lokality jsem dané vodní dílo osobně navštívila a pořídila fotodokumentaci současného stavu objektů.

2 Malé vodní nádrže

2.1 Základní pojmy

2.1.1 Vodní dílo

Dle § 55, odst. 1 zákona č. 254/2001 Sb., o vodách (vodní zákon), jsou vodní díla definována jako *„stavby, které slouží ke vzdouvání a zadržování vod, umělému usměrňování odtokového režimu povrchových vod, k ochraně a užívání vod, k nakládání s vodami, ochraně před škodlivými účinky vod, k úpravě vodních poměrů nebo k jiným účelům sledovaným tímto zákonem, a to zejména a) přehrady, hráze, vodní nádrže, jezy a zdrže,…..“.* [3]

2.1.2 Malá vodní nádrž

Dle ČSN 75 2410 Malé vodní nádrže lze jako malou vodní nádrž označit vodní dílo se sypanou hrází, které dle kapitoly 2.1.1 slouží ke vzdouvání a zadržení vody. Takové vodní dílo musí současně splňovat dva parametry: objem nádrže po hladinu ovladatelného prostoru (normální hladinu) není větší než 2 mil. m^3 a největší hloubka nádrže (svislá vzdálenost nejníže položeného místa dna nádrže od maximální hladiny, přičemž se neuvažují větší hloubky v místě původního koryta či rybniční stoky apod.) nepřesahuje 9 m. [4] Oba parametry VD Finklův rybník splňuje.

2.1.3 Rekonstrukce malých vodních nádrží

Pojmem rekonstrukce malých vodních nádrží se dle ČSN 75 2410 rozumí *„úprava, přestavba a budování nových zařízení a částí malých vodních nádrží (hrází, objektů, prostorů nádrže a okolí) provozovaných, zrušených nebo havarovaných, které nevyhovují požadavkům na jejich funkci a bezpečnost.“* [4]

2.1.4 Ochrana před povodněmi

Dle § 63, odst. 1 zákona č. 254/2001 Sb., o vodách se ochranou před povodněmi rozumí *„činnosti a opatření k předcházení a zvládnutí povodňového rizika v ohroženém území. Zajišťuje se systematickou prevencí a operativními opatřeními.“* [3]

2.1.5 Kontrolní povodňová vlna

Pojmem kontrolní povodňová vlna (dále také KPV) se dle ČSN 75 2935 Posuzování bezpečností vodních děl při povodních rozumí *„průtoková vlna určená kulminačním průtokem se zvolenou pravděpodobností překročení, objemem a časovým průběhem.“* [5]

2.1.6 Bezpečnost vzdouvací stavby za povodně

Dle § 5 vyhlášky č. 590/2002 Sb. o technických požadavcích pro vodní díla se bezpečnost vzdouvací stavby za povodně posuzuje *„odstupňovaně podle jejího významu z hlediska možných škod při jejím poškození, který se odvozuje podle zařazení hráze do kategorie podle vyhlášky č. 471/2001 Sb. Požadovaná míra bezpečnosti vyjádřená pravděpodobností překročení kulminačního průtoku kontrolní povodňové vlny, kterou je*

třeba přes VD bezpečně převést, je upravena v příloze k této vyhlášce. Podmínky převedení kontrolní povodňové vlny přes VD jsou upraveny normovými hodnotami (ČSN 75 2935).“

Finklův rybník je vodní dílo IV. kategorie, které se v souladu s ČSN 75 2935 posuzuje na míru bezpečnosti vodního díla vyjádřenou pravděpodobností překročení kulminačního průtoku kontrolní povodňové vlny p = 0,01, tj. N = 100.

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

Obrázek 1: Požadovaná míra ochrany vodních děl při povodni dle vyhlášky č. 367/2005 Sb. [16]

2.1.7 Mezní bezpečná hladina

Pojmem mezní bezpečná hladina (dále také MBH) se dle ČSN 75 2935 rozumí *„úroveň hladiny v nádrži, při jejímž překročení nastává aktuální nebezpečí poruchy a havárie vodního díla.“* [5]

2.1.8 Kontrolní maximální hladina

Pojmem kontrolní maximální hladina (dále také KMH) se dle ČSN 75 2935 rozumí *„maximální hladina v nádrži při zvolených předpokladech a podmínkách převedení KPV přes vodní dílo“.* [5]

Jedná se tedy o nejvyšší úroveň hladiny v nádrži, která nestane při průchodu KPV daným vodním dílem. Vodní dílo se považuje za bezpečné, pokud při převedení KPV platí podmínka KMH ≤ MBH.

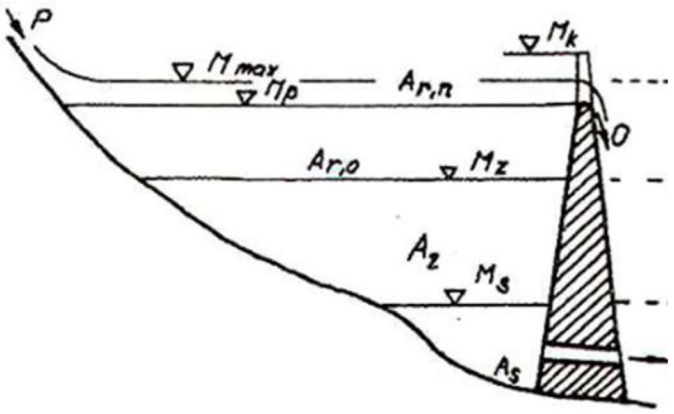
2.2 Základní funkce malých vodních nádrží

Základní funkce MVN lze rozdělit do následujících kategorií [6]:

- Zásobní (vodárenské, průmyslové, závlahové, energetické, apod.)
- Ochranné (retenční) (poldry, protierozní, dešťové, vsakovací, apod.)
- Nádrže upravující vlastnosti vody (chladicí, předehřívací, usazovací, apod.)
- Rybochovné (chov ryb a vodního ptactva)
- Hospodářské (protipožární, pro chov drůbeže, pěstování vodních rostlin, napájecí a plavicí, výtopové zdrže)
- Speciální účelové (recirkulační, vyrovnávací, přečerpávací, apod.)
- Asanační (záchytné, skladovací, otevřené vyhnívací, rekultivační, laguny)
- Nádrže krajinotvorné a v obytné zástavbě (hydromeliorační, okrasné návesní rybníčky, umělé mokřady)
- Nádrže na ochranu bioty (na ochranu flory, fauny)

2.3 Prostory v nádrži

Celkový objem nádrže je rozdělen vertikálně do několika dílčích prostorů:



Obrázek 2: Rozdělení prostorů v nádrži (Katedra hydrauliky a hydrologie, Fsv ČVUT) [17]

Mrtvý prostor

Objem mrtvého prostoru je součástí stálého nadržení. Jde o prostor nacházející se mezi nejnižším místem nádrže (dnem) a vtokem do spodní výpusti. U malých vodních nádrží se obvykle nenavrhuje, protože nádrž musí být možné vypustit pro potřeby výlovu.

Prostor stálého nadržení (As)

Prostor stálého nadržení je v každé vodní nádrži (krom suchých nádrží). Tento prostor zajišťuje minimální potřebnou hloubku v nádrži. Ta je důležitá pro snížení

prohřívání vody, které by mělo dopad na její kvalitu (vodárenské nádrže). Dále ochraňuje odběrná zařízení před vnikem pláví a k zamezení nasávání vzduchu do přívodového potrubí vodní elektrárny. Prostor stálého nadržení slouží k zajištění minimálních plavebních hloubek, pokud je nádrž využívána pro plavbu.

Zásobní prostor (Az)

Zásobní prostor se nachází mezi prostorem stálého nadržení a ochranným prostorem. Slouží k akumulaci potřebného množství vody pro zajištění odběrů (průmysl, závlahy, vodárenství, apod.) Objem je stanoven na základě vodohospodářské studie. V zásobním prostoru dochází k hospodaření s vodou v závislosti na odběrech a aktuální bilanci vodní nádrže.

Ochranný prostor

Ochranný (retenční) prostor se dělí na ovladatelný (Ar,o) a ochranný neovladatelný (Ar,n). Ochranný prostor je využíván při povodňových průtocích, při kterých slouží k transformaci povodňové vlny. Ovladatelný ochranný prostor je mezi zásobním prostorem (Az) a přepadovou hranou bezpečnostního přelivu. U přehrad bývá často navrhován hrazený bezpečnostní přeliv, který zvětšuje ovladatelný prostor a umožňuje lepší manipulaci při průchodu povodňové vlny. Neovladatelný ochranný prostor je uplatňován při dosažení hladiny vody v nádrži nad hranu bezpečnostního přelivu. Dochází k přepadu vody přes bezpečnostní přeliv a vodní dílo se stává neovladatelným. Neovladatelný ochranný prostor dosahuje do úrovně maximální hladiny v nádrži.

Velikost výše uvedených prostorů závisí na primárním účelu nádrže. Například retenční nádrže sloužící primárně k ochraně za povodní a k transformaci povodňové vlny mají zásobní prostor maximálně zmenšen ve prospěch prostoru ochranného. Naopak u nádrží se zásobní funkcí (vodárenské nádrže) mají objem zásobního prostoru co největší na úkor ochranného prostoru, který je značně omezen. V případě suchých nádržích je objem tvořen pouze ochranným prostorem.

Úroveň hladiny zásobního prostoru se u malých vodních nádrží navrhuje většinou na úrovni přelivné hrany bezpečnostního přelivu. Nádrž má tím pádem pouze neovladatelný ochranný prostor.

2.4 Hlavní technické objekty malých vodních nádrží

2.4.1 Hráz

Hráz je nejdůležitějším a stavebně nejnáročnějším prvkem každé vodní nádrže. Hrozí u ní největší nebezpečí selhání, které by mohlo vést k poškození nebo destrukci hráze. Malé vodní nádrže mají obvykle hráze zemní sypané, jen výjimečně je možné se setkat s betonovými či zděnými. Hráz je většinou homogenní a v ideálním případě je z místních materiálů. Těleso hráze má zpravidla příčný profil ve tvaru lichoběžníku. Sklony stran závisí na použitém materiálu. Vzdušní líc má sklon 1:2,0 až 1:2,2. U návodního líce je sklon menší: 1:3,0 až 1:3,7. Vhodným konstrukčním materiálem jsou hlinité a jílovité štěrky, případně štěrkovité a písčité jíly. [4] Návodní líc bývá opatřen pružným typem opevnění (např. kamenný pohoz) a měl by být bez vegetace. Vzdušní líc je většinou zatravněn, může být osázen dřevinami. Šířka a povrchová úprava koruny

záleží na způsobu jejího využití. Pokud je přes korunu vedena komunikace, musí mít šířku alespoň 3 m.

Při stavbě hráze se počítá i depresivní křivka průsaků hrází. Křivka nesmí vycházet ze vzdušního líce, aby nedošlo k poškození hráze. Proto je vzdušní strana hráze opatřena patním drénem. Heterogenní hráz s těsnícím jádrem, které slouží ke snížení průsaků, může být vybavena zavazovací ostruhou sloužící k zavázání těsnícího jádra pod úroveň základové spáry. [7]

2.4.2 Výpustné zařízení

Výpustné zařízení slouží k regulaci hladiny. Dle ČSN 75 2410 musí být každá MVN vybavena spodní výpustí. Nádrže s ovladatelným objemem nad 1 mil. m^3 musí mít minimálně dvě výpustná zařízení. Výpust je osazena tak, aby bylo možné nádrž zcela vypustit. Spodní výpust má dvě části: uzávěr, který slouží k regulaci hladiny v nádrži, a odpad převádějící vodu tělesem hráze.

Uzávěr se umisťuje na návodním líci hráze. Dříve se používalo mnoho typů uzávěrů (stavidlové, šoupátkové, lopatkové, atd.), které se kvůli obtížné manipulaci v současné době nahradily uzávěrem požerákového typu. Ten je tvořen většinou prefabrikovanou betonovou šachtou (u starších nádrží dřevěnou) opatřenou drážkami, do kterých se zasouvají dřevěné fošny – dluže. Díky nim je možné regulovat hladinu vody v nádrži. Dlužová stěna je často dvojitá, případně i trojitá. To umožňuje vypouštění vody i ze dna nádrže.

Odpad rozdělujeme na otevřený a uzavřený. Otevřený odpad se navrhuje nejčastěji při stavbě sdruženého objektu, který kombinuje spodní výpust a bezpečnostní přeliv. Výhodou otevřeného odpadu je velká kapacita, nevýhodou je zvýšené riziko průsaků v místě kontaktu stěn odpadu s tělesem hráze. Uzavřený odpad může být trubní nebo jako rámový propustek, na nějž je sypáno těleso hráze. Minimální průměr trubního odpadního potrubí je 300 mm. [4]

2.4.3 Bezpečnostní přeliv

U průtočných nádrží je bezpečnostní přeliv nutnou součástí. Slouží k převedení povodňových průtoků, a tím chrání hráz před porušením vzniklým jejím přelitím. U MVN by měl být bezpečnostní přeliv nehrazený a bez pohyblivých částí, aby pro svou funkci nepotřeboval obsluhu. Pro MVN se navrhují následující typy přelivů: přímý, boční, kašnový, propustkový, speciální a sdružené objekty.

Přímé přelivy se nejčastěji budují v podobě jezového tělesa, přelivná hrana je vedena rovnoběžně s osou hráze. Boční přeliv je navržen v místě zavázání hráze a jeho přelivná hrana se spadištěm zasahuje směrem do nádrže. Díky tomu je možné navrhnout větší délku přelivné hrany a převést větší návrhové průtoky. Labyrintové přelivy kombinují přímou přelivnou hranu a boční, tím je možné zvýšit délku přelivné hrany. Kašnové přelivy mají přelivnou hranu rozvinutou směrem do prostoru nádrže. Výhodou je optické zkrácení přelivné hrany, která může mít tvar například půlkružnice nebo lomené čáry.

Propustkové přelivy nemají přelivnou hranu. Jsou tvořeny trubními nebo rámovými propustky. Na vtoku do propustku se osazují česle, které zamezují možnost ucpání objektu. Mezi speciální přelivy patří hlavně nouzové přelivy, jež mají snížit zatížení hlavního přelivu během průchodu kulminačního průtoku. Sdružené objekty

kombinují více funkcí, většinou je to spodní výpust a bezpečnostní přeliv. V čele sdruženého objektu je obvykle umístěn prefabrikovaný požerák, za kterým je navržena přelivná hrana bezpečnostního přelivu.

3 Použité podklady

3.1 Literatura a normy

Podkladem pro bakalářkou práci byla literatura a internetové zdroje týkající se problematiky malých vodních nádrží. Vzhledem k výpočetnímu a projekčnímu charakteru praktické části práce byly stěžejním podkladem technické normy. Hlavním podkladem pro zhotovení variantních řešení bezpečnostního přelivu byl odborný posudek technického stavu Vodní nádrž Petrohrad zhotovený pro Povodí Ohře, s. p. (červenec 2011). Všechny použité zdroje jsou uvedeny na konci této práce. Při zpracování bakalářské práce byly použity programy Autodesk AutoCAD 2018, MS Office Word, MS Office Excel a HEC-RAS 4.0.

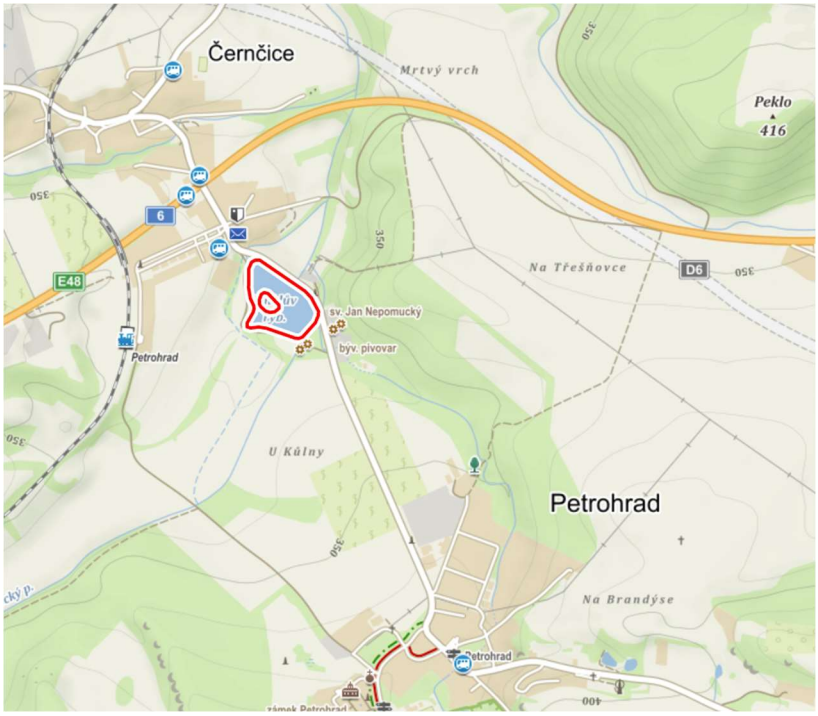
3.2 Mapové a geodetické podklady

Hlavním mapovým podkladem byl portál Mapy.cz a dále mapy včetně katastrální dostupné na webových stránkách ČÚZK. Pro projekční část práce bylo využito geodetické zaměření a vrstevnicový plán poskytnuté Povodím Ohře. Zaměření bylo vyhotoveno ve výškovém systému Balt po vyrovnání a v souřadnicovém systému S-JTSK.

4 Základní údaje vodního díla Finklův rybník

4.1 Lokalita Finklova rybníku

Finklův rybník leží v Ústeckém kraji v okresu Louny. Rybník je situován severozápadně od obce Petrohrad. V současné době je spravován státním podnikem Povodí Ohře, s. p. Po koruně hráze vede asfaltová komunikace III. třídy spojující Černčice a Petrohrad. V blízkosti rybníku stojí bývalý pivovar, který dříve odebíral vodu z nádrže.



Obrázek 3: Lokalita Finklova rybníku (Mapy.cz) [18]

4.2 Účel a užívání stavby

Finklův rybník, dříve nazýván „Finger-Petrohrad“, vznikl v 18. století. Vodní dílo fungovalo v minulosti jako zásobárna vody pro mlýn a později pro pivovar. V 70. letech 20. století sloužila nádrž pro závlahy. V současnosti jsou hlavními účely Finklova rybníku akumulace vody a extenzivní chov ryb pro sportovní rybolov, vedlejší účely vodního díla jsou například krajinotvorný nebo retenční efekt. [8]

4.3 Kapacita vodního díla

V případě napouštění je nutné pod vodním dílem zachovávat minimální zůstatkový průtok v hodnotě Q_{330d} = 30 l/s, není-li přítok nižší.

Neškodný odtok z vodního díla není stanoven. [9]

4.4 Hlavní technické parametry

Hlavní technické parametry uvedené v Manipulačním řádu (březen 2020) [9]:

Kategorie vodního díla:	IV.
Typ nádrže:	průtočná
Typ vzdouvací stavby:	zemní sypaná hráz
Délka hráze:	270 m
Max. výška hráze ze vzdušní strany:	4,8 m
Min. šířka koruny hráze:	5,9 m
Normální hladina:	H_{norm} = 329,58 m n.m.
Nejnižší místo koruny hráze:	$H_{kor.min}$ = 330,92 m n.m
Objem při normální hladině:	V_{norm} = 41 198 m^3
Objem vody po korunu hráze:	V_{kor} = 72 072 m^3
Retenční prostor nádrže:	V_{ret} = 5 596 m^3
Zatopená plocha při normální hladině:	A_{norm} = 26 000 m^2
Zatopená plocha při hladině po korunu:	A_{kor} = 28 600 m^2

4.5 Údaje o vodním toku

Název toku:	Podvinecký potok
Povodí:	Ohře
Délka toku:	17,9 km
Plocha povodí:	86,3 km^2
Správce:	Povodí Ohře, s. p.

Finklův rybník leží na říčním kilometru 4,98 Podvineckého potoka. Podvinecký potok protéká převážně okresem Louny a je dlouhý 17,9 km. Plocha jeho povodí k profilu hráze je 55,27 km^2. [10]

Podvinecký potok pramení v Plzeňském kraji západně od Pastuchovic v nadmořské výšce přibližně 480 m n. m. Je soutokem dvou zdrojnic, které se spojují před rybníkem u železniční trati Plzeň–Žatec. Z rybníka dále pokračuje na severovýchod, vtéká do Velečínského rybníka a z něj vychází dvěma rameny. Ta se vlévají do nádrže Blatno. Z ní protéká dál Stebenským rybníkem, u Černčic napájí Finklův rybník, odtud se stáčí na sever a v nadmořské výšce 300 m n. m. se vlévá zprava do Blšanky.

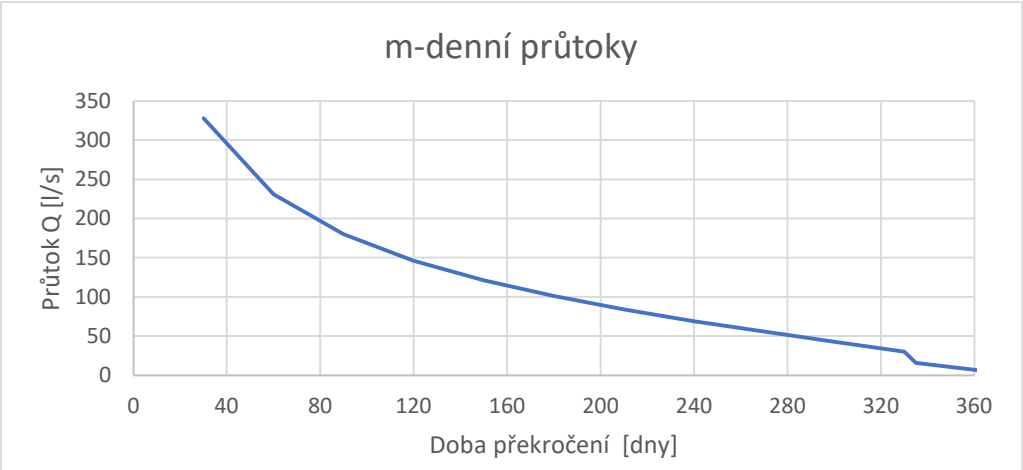
4.6 Hydrologické údaje

Pro zpracování bakalářské práce byly použity hydrologické údaje uvedené v Manipulačním řádu schváleného v březnu 2020. Jedná se o údaje, které poskytl ČHMÚ,

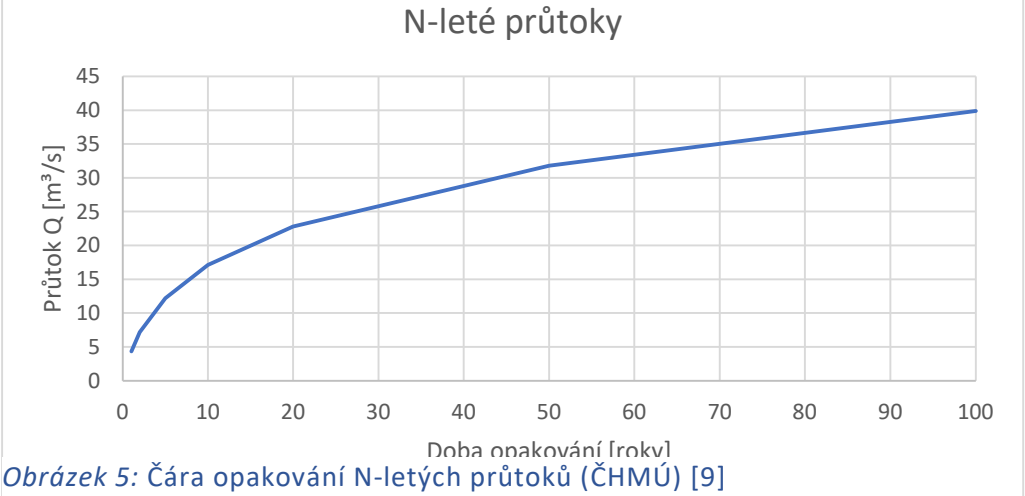
pobočka Ústí nad Labem, dne 23.3.2020, č.j. CHMI/541/271/2020. [9] Hydrologická data se pro profil hráze Finklova rybníku nacházejí ve IV. třídě přesnosti. Na základě hydrologických dat byly sestaveny čáry překročení m-denních průtoků a opakování N-letých průtoků.

Tabulka 1: Hydrologická data - Podvinecký potok (zdroj: ČHMÚ) [9]

Tok	**Profil**												
Podvinecký potok	hráz Finklova rybníka												
	Souřadnice v S-JTSK												
	X = -811 455							Y = -1 027 577					
Plocha povodí A [km²]	**Průměrná dlouhodobá roční hodnota:**												
	srážek Pa [mm]							průtoku Q [l/s]					
57,88	532							143					
M-denní průtoky [l/s]													
M	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	335	364
Qm	328	231	180	146	121	101	84	69	56	43	30	16	6,0
N-leté průtoky [m³/s]													
N	1	2	5	10	20	50	100						
Qn	4,35	7,18	12,2	17,1	22,8	31,8	39,9						



Obrázek 4: Čára překročení m-denních průtoků (ČHMÚ) [9]



Obrázek 5: Čára opakování N-letých průtoků (ČHMÚ) [9]

4.7 Geomorfologické a geologické poměry

Lokalita Finklova rybníku leží v geomorfologickému celku Rakovnická pahorkatina tvořící část Plzeňské pahorkatiny. Pro Rakovnickou pahorkatinu je charakteristický zemědělský ráz a nízký stupeň urbanizace. Většina území leží v povodí řeky Berounky. Severní část území odvodňuje říčka Blšanka do Ohře. V podloží v oblasti Finklova rybníku se nachází zejména prachové jílovce, pískovce a slepence. [11]

4.8 Klimatické poměry

Lokalita se nachází v mírném podnebném pásu v nadmořské výšce 365 m n. m. Průměrná roční teplota se pohybuje kolem 8,2 °C a průměrný srážkový úhrn je kolem 600 mm. [12] Lounsko má poměrně nízký úhrn ročních srážek způsobený tzv. dešťovým stínem Krušných hor. Dochází zde ke zvyšování teploty vzduchu a jeho proudění mezi Krušnými horami a hradbou lesů džbánské plošiny.

5 Současný technický stav vodního díla

V této kapitole vycházím z Odborného posudku technického stavu vodního díla z roku 2011 a z osobní prohlídky VD Finklův rybník v březnu 2022.

5.1 Hráz

Hráz VD je zemní sypaná z místních materiálů, homogenní z jílových až jílovito-hlinitých zemin. Po koruně hráze vede asfaltová silnice, kterou lemuje stromová alej. Hráz je dlouhá 270 m a vysoká až 5 m. Niveleta hráze je nevyrovnaná v rozmezí 330,92 – 331,52 m n. m. Nejnižší místo koruny je v levé části hráze mezi bezpečnostním přelivem a spodní výpustí. Průměrná šířka koruny hráze je 6,1 m. Nejužší místo je široké 5,9 m a nachází se v pravé části hráze.

Návodní svah hráze má sklon přibližně 1:3 a je opevněn kamennou rovnaninou zhruba do úrovně normální hladiny, výše je zatravněn a podél silnice je několik stromů. Na návodním svahu nebyly patrné výraznější nátrže nebo výmoly.

Vzdušní svah má sklon přibližně 1:2, je zatravněn a porostlý stromy. Během vegetačního období můžou vzrostlé stromy omezovat přehlednost a přístupnost svahu.

5.2 Stav vegetace

Návodní svah je poměrně udržovaný a pokrytý travinami. (Obr. 7)

Koruna hráze je zpevněna asfaltovou vozovkou a podél ní je na obou stranách několik vzrostlých stromů.

Vzdušní svah hráze je pokrytý travinami a vzrostlými listnatými stromy, které mohou v době vegetace omezit přehlednost a přístupnost svahu. V době osobní prohlídky VD mimo vegetační období vypadal svah udržovaně a přehledně. (Obr. 6)

Podhrází je zarostlé náletovými křovinami.

Obrázek 7: Návodní svah

Obrázek 6: Vzdušní svah

5.3 Spodní výpust

Finklův rybník je vybaven jednou spodní výpustí umístěnou ve střední části hráze. Spodní výpust je tvořena betonovým požerákem s drážkami pro dvě dlužové stěny a výpustným PVC potrubím DN 500, které je dlouhé 21,8 m. Betonový požerák má vnější půdorysný rozměr 1,6 x 2,0 m. Vnitřní šachta požeráku je zakryta ocelovým uzamykatelným poklopem. Požerák je přístupný z koruny hráze po přístupové železobetonové lávce široké 1 m, která je bez zábradlí. K požeráku je připevněna vodočetná lať. (Obr. 9)

Stavební stav spodní výpusti je velmi dobrý. Je patrná nedávná rekonstrukce (2014) výpustného potrubí. (Obr. 8)

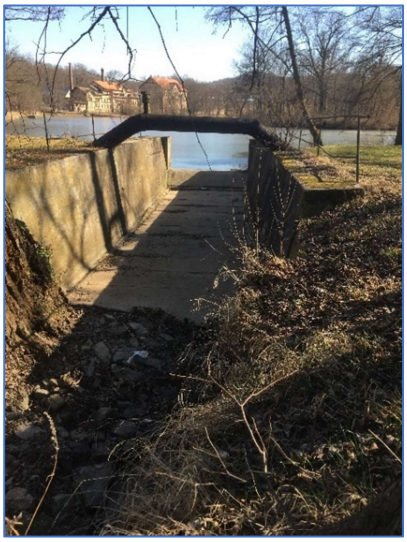
Obrázek 9: Požerák s vodočetnou latí

Obrázek 8: Pohled na spodní výpust

5.4 Bezpečnostní přeliv

Vodní nádrž je vybavena pevným bezpečnostním přelivem při levém břehu hráze. Má přelivnou hranu dlouhou 3,24 m a jeho koruna je na kótě 329,58 m n. m. Jedná se o přímý postranní bezpečnostní přeliv, na který navazuje betonový vývar dlouhý 12,6 m. Na betonový vývar navazuje lichoběžníkové odpadní koryto opevněné kamenným záhozem (Obr. 11). Odpadní koryto prochází mostním otvorem pod asfaltovou komunikací na koruně hráze. Koryto je dlouhé přibližně 300 m a ústí zleva do Podvineckého potoka. Kapacita pevného bezpečnostního přelivu při max. hladině v nádrži 330,36 m n. m. je dle manipulačního řádu 3,63 m^3/s. [9]

Obrázek 11: Bezpečnostní přeliv



Obrázek 10: Bezpečnostní přeliv

5.5 Stavidlová výpust

Finklův rybník je dále vybaven hrazeným přelivem – stavidlovou výpustí, která je umístěna v pravobřežním zavázání hráze.

Stavidlová výpust je tvořena čtyřmi ocelovými hradidly o šířce 1,74 m. Hradidla jsou ovládána pomocí ručního zvedacího mechanismu – cévových tyčí. K ovládacímu mechanismu vede lávka z ocelových nosníků, na kterých je připevněn pororošt. Pod stavidly je krátké spadiště z kamenné dlažby, které vede pod most. Za mostem pokračuje nezpevněné otevřené koryto.

Povrch betonových konstrukcí stavidlové výpusti je poškozen povětrnostními vlivy. Kamenná dlažba dna skluzu je značně poškozena a místy z ní rostou malé křoviny. Ocelová stavidla i přes ochranný nátěr korodují.

Obrázek 12: Stavidlová výpust

Obrázek 13: Stavidlová výpust

5.6 Objekt pro odběr vody

V pravé části hráze, mezi spodní výpustí a stavidlovou výpustí, je betonový objekt pro čerpání požární vody. Jiné odběry nejsou v současnosti z vodního díla realizovány.

Obrázek 14: Odběrný objekt

5.7 Nádrž

Vodní nádrž má přibližně obdélníkový půdorys o rozměrech 150 x 240 m. V levé části vodní nádrže je ostrov o rozměrech cca 70 x 50 m. Celkový objem nádrže je 61 575 m^3.

Ostrov je v současné době hustě zarostlý křovinami a vzrostlými listnatými stromy. Po obvodu nádrže jsou vzrostlé listnaté stromy, některé jsou popadané směrem do nádrže, a jsou zde i náletové křoviny. Během prohlídky, která byla mimo vegetační období, vzrostlé stromy ani křoviny podél nádrže nezpůsobovaly problémy s přístupem.

Břehy nádrže jsou zpevněny kořeny vzrostlých stromů. V blízkosti hráze nebyly patrné žádné výrazně nátrže nebo sesuvy břehů.

Obrázek 15: Pohled na ostrov

6 Posouzení bezpečnosti hráze při povodních

6.1 Výška výběhu větrových vln

Větrové vlny vznikají předáváním energie větru částicím vody na hladině. Parametry vln, tj. výška h, délka λ a perioda T jsou závislé na rychlosti větru w ve výšce 10 m nad hladinou a jeho rozběhu o délce L. Výpočet výšky výběhu větrové vlny byl proveden dle ČSN 75 0255 Výpočet účinků vln na stavby na vodních nádržích a zdržích [13].

Při stanovení efektivní délky L_{ef} (dále také D_{ef}) se bere v úvahu, že vítr přenáší energii na hladinu vody ve všech směrech v rozpětí úhlu 90° s osou shodnou s hlavním směrem větru. Sektor se rozdělí rovnoměrně po 6° na 15 radiál. Na efektivní délce rozběhu vlny je závislý koeficient větru K.

Rovnice 1: Efektivní délka rozběhu větru L_{ef} [13]

$$L_{ef} = \frac{\sum_{i=1}^{15} L_i \times cos^2\varphi_i}{\sum_{i=1}^{15} cos\varphi_i}$$

Při zvažování účinku vln je nutné předem spočítat zvýšení polohy hladiny vlivem nahnání vody větrem k objektu pomocí následujícího vzorce:

Rovnice 2: Zvýšení polohy hladiny [13]

$$\Delta H = K_w \times \frac{w_{10}^2 L_{ef}}{gH} \times cos\delta$$

ΔH zvýšení polohy hladiny [m]

K_w koeficient závislý na rychlosti větru [m]

w_{10} rychlost větru v 10 m nad hladinou [m/s]

L_{ef} efektivní délka rozběhu vln [m]

H relativní hloubka vody [m]

g tíhové zrychlení [m/s]

δ úhel mezi směrem větru a normálou objektu [°]

Tabulka 2: Vstupní hodnoty pro výpočet zvýšení polohy hladiny

$\Sigma L_i * cos^2\varphi_i$	1301,70	m	suma součinů délky L_i a cos^2 odpovídajícím úhlům
$\Sigma cos\varphi_i$	14,85	-	suma cos φ
K_w	$3*10^{-6}$	-	koeficient větru [13]
w_{10z}	22,00	m/s	rychlost větru v 10 m nad hladinou
g	9,81	m/s^2	tíhové zrychlení
H	4,73	m	hloubka vody
δ	0	°	úhel mezi směrem větru a normálou

Efektivní délka rozběhu vln:

$$L_{ef} = \frac{1301{,}70}{14{,}85} = \mathbf{87{,}66\ m}$$

Koeficient K závislý na efektivní délce rozběhu vln L_{ef} dle tabulek [13]: $\boldsymbol{K = 1{,}08}$

Rychlost větru upravená koeficientem K a navýšená o 20 %:

$$w_{10} = 1{,}08 \times 22 \times 1{,}2 = \mathbf{28{,}51\ m/s}$$

Zvýšení polohy hladiny ΔH:

$$\Delta H = 3 \times 10^{-6} \frac{28{,}51 \times 87{,}66}{9{,}81 \times 4{,}73} \times \cos(0) = \mathbf{0{,}005\ m}$$

K vyvolání ustáleného vlnění při dané rychlosti větru w_{10} a efektivní délce rozběhu větru L_{ef} je třeba minimálního trvání větru t_{min}, který závisí na periodě vlny T.

Rovnice 3: Délka trvání větru [13]

$$t_{min} = 0{,}027 \times \frac{L_{ef}}{T}$$

t_{min} délka trvání účinku větru [min]

L_{ef} efektivní délka rozběhu vln [m]

T perioda vln [s]

Perioda vlny T a charakteristická výška vlny h_c vychází z parametrů $\frac{gL_{ef}}{w_{10}^2}$ a $\frac{gH}{w_{10}^2}$, z grafů (Obr. 16 a 17) se odečtou hodnoty $\frac{gh_c}{w_{10}^2}$ a $\frac{gT}{2\pi w_{10}}$ a z nich se zpětně vypočítají velikosti T (s) a h_c (m).

Výška výběhu vlny se stanoví pomocí vztahu uvedeného v rovnici 4.

Rovnice 4: Výška výběhu vlny [13]

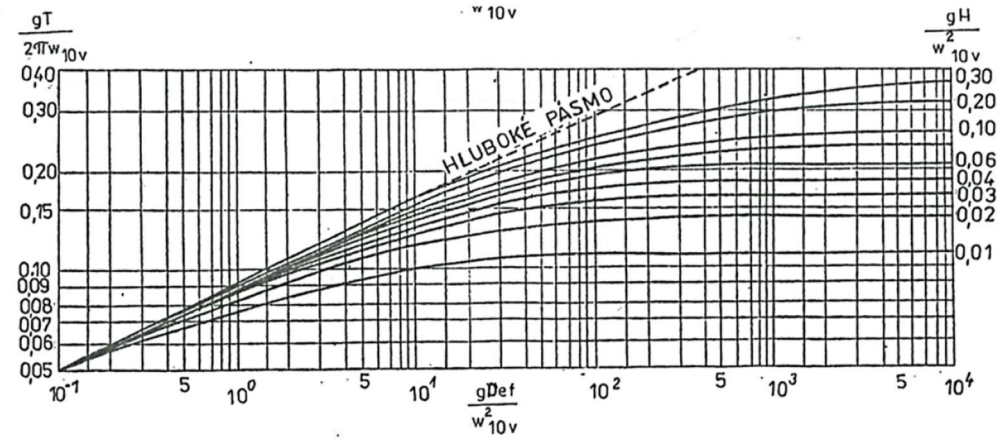
$$h_v = k_d \times k_p \times h_{1\%}$$

h_v výška výběhu vlny [m]

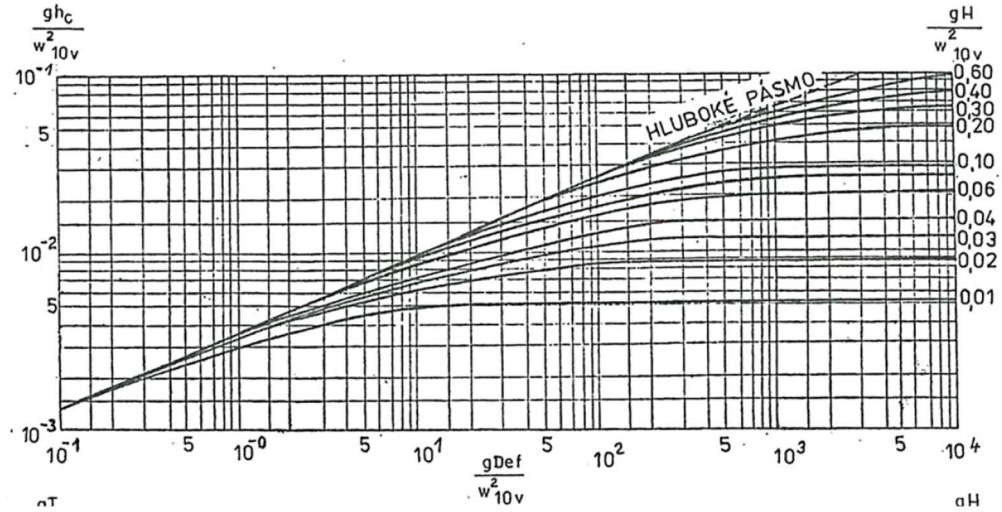
k_d koeficient drsnosti svahu [-]

k_p koeficient závislý na úhlu svahu a poměru $\lambda_o/h_{1\%}$ [-]

$h_{1\%}$ výška vlny o pravděpodobnosti překročení 1 % [m]



Obrázek 17: Graf pro určení periody vlny [13]



Obrázek 16: Graf pro určení charakteristické výšky vlny [13]

Parametry pro odečtení hodnot z grafů:

$$\frac{gL_{ef}}{w_{10}^2} = 1{,}06 \qquad \frac{gH}{w_{10}^2} = 0{,}06$$

Odečtené parametry:

$$\frac{gh_c}{w_{10}^2} = 0{,}0035 \qquad \frac{gT}{2\pi w_{10}} = 0{,}07$$

Z těchto poměrů se vypočítá charakteristická výška vlny H_c a perioda vlny T:

$$\boldsymbol{h_c = 0{,}29\ m} \qquad \boldsymbol{T = 1{,}28\ s}$$

Nyní lze dopočítat délku trvání účinku větru:

$$t_{min} = 0{,}027 \times \frac{87{,}66}{1{,}28} = \boldsymbol{1{,}85\ min}$$

Trvání účinku větru je do 10 minut a rychlost větru se proto doporučuje zvýšit o 20 %.

Pro výpočet výšky výběhu větrové vlny je nutné určit λ_o – délku vlny v hlubokém pásmu. Ta je určena následujícím vztahem:

Rovnice 5: Délka vlny v hlubokém pásmu [13]

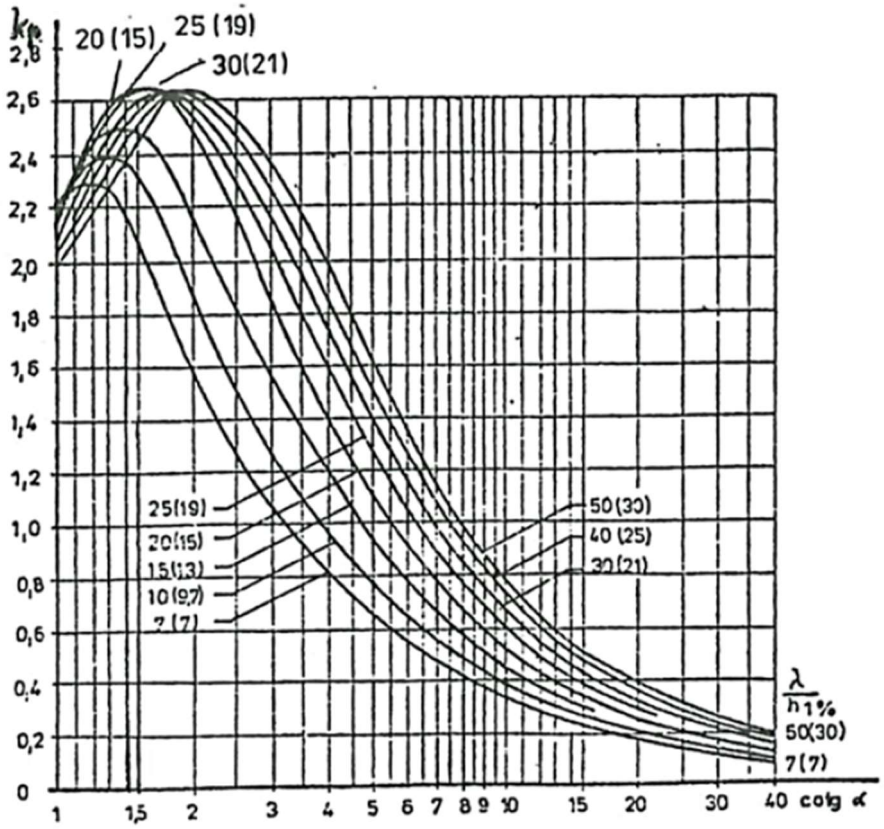
$$\lambda_o = \frac{g}{2\pi} \times T$$

$$\lambda_o = \frac{9{,}81}{2\pi} \times 1{,}28 = \mathbf{2{,}55\ m}$$

Pomocí λ_o a h_c získám poměr $\lambda_o/h_{1\%}$. Hodnota $h_{1\%}$ je o 40 % vyšší než vypočtená hodnota h_c.

Poměr $\lambda_o/h_{1\%}$ je tedy: $\frac{\lambda_o}{h_{1\%}} = \mathbf{6{,}28}$

Hodnota α v grafu níže (obr. 18) je úhel svahu a je rovna: $\boldsymbol{\alpha = 18{,}43°}$



Obrázek 18: Graf pro určení koeficientu k_p [13]

Hodnota koeficientu k_p z grafu (Obr. 18): $\boldsymbol{k_p = 1{,}1}$

Tabulka 3: Vstupní hodnoty pro výpočet výšky výběhové vlny

kd	0,8	-	koeficient určený z tabulky **[13]**
kp	1,1	-	koeficient odečtený z grafu (obr.18)
h1%	0,41	m	výška vlny

$$h_v = 0{,}8 \times 1{,}1 \times 0{,}41 = \mathbf{0{,}36\ m}$$

Výška výběhu větrových vln je rovna 0,36 m. Tento výsledek je shodný s výškou větrové vlny použitou v odborném posudku technického stavu Vodní nádrž Petrohrad [10].

6.2 Mezní bezpečná hladina

Mezní bezpečnou hladiny VD Finklův rybník lze uvažovat v nejnižším místě koruny hráze, sníženou o výšku výběhu větrových vln. Výška větrových vln byla vypočtena na h_v = 0,36 m. Případné přelévání špiček vln po krátkou dobu kulminace povodně neohrozí bezpečnost hráze.

$$\mathbf{MBH = H_{kor.min} - h_v = 330,92 - 0,36 = 330,56\ m\ n.m.}$$

6.3 Kontrolní maximální hladina

Finklův rybník je vodní dílo IV. kategorie a pro posouzení jeho bezpečnosti je uvažováno s průchodem kontrolního průtoku Q_{100} = 39,9 m^3/s. Vzhledem k malému poměru retenčnímu objemu k objemu povodňové vlny je zanedbaný transformační účinek nádrže při velkých povodních.

Pro převádění průtoků je na VD Finklův rybník vybudována stavidlová výpust, výpustný objekt s dlužemi a pevný bezpečnostní přeliv. Stavidlová výpust a výpustný objekt umožňují regulaci hladiny. Pro výpočet KMH jsou uvažovány dvě varianty. První je bez manipulace se stavidly, při dosažení hladiny 330,04 m n. m. dojde k volnému přelévání stavidlové výpusti. V druhé variantě je uvažována manipulace se stavidly dle manipulačního řádu, při kulminačním průtoku Q_{100} jsou vyhrazena všechna stavidla.

6.3.1 V průběhu povodně nedojde k manipulaci se stavidlovou výpustí

- Stavidlová výpust je zahrazena, dochází k přepadu při hladině 330,04 m n. m.
- Dlužové stěny v požeráku jsou hrazeny do úrovně 329,58 m n. m. (kóta koruny přelivu)

Kapacita bezpečnostního přelivu je $Q_{přel}$ = 7,3 m^3/s při hladině minimální kóty koruny hráze 330,92 m n. m.

Požerák má kapacitu $Q_{výp}$ = 0,8 m^3/s při dlužové stěně zahrazené do úrovně 329,58 m n.m. a při hladině v úrovni minimální kóty koruny 330,92 m n. m.

Kapacita stavidlové výpusti je Q_{stav} = 7,4 m^3/s při úplném zahrazení a při hladině v úrovni minimální kóty koruny hráze 330,92 m n. m.

Celkový odtok vody přes bezpečnostní přeliv, požerák a stavidlovou výpust je 15,5 m^3/s, což je méně než Q_{10} = 17,1 m^3/s.

Část povodňového průtoku Q_{100} = 39,9 m^3/s přeteče přes nejnižší úsek koruny hráze paprskem vysokým 0,23 m. [10]

Hladina vody ve VD Finklův rybník vystoupí při průchodu kontrolní povodňové vlny s kulminačním průtokem Q_{100} = 39,9 m^3/s do úrovně **KMH_1 = 331,15 m n.m.**

<u>Posouzení bezpečnosti vodního díla při povodních:</u>

MBH – KMH_1 = 330,56 m n.m. – 331,15 m n.m. = -0,56 m

KMH_1 = 331,15 m n.m. > MBH = 330,56 m n.m.

Podmínka zabezpečení na Q_{100} není splněna.

6.3.2 V průběhu povodně se manipuluje dle manipulačního řádu

- Při kulminaci povodňové vlny při Q_{100} je stavidlová výpust zcela vyhrazena
- Dlužové stěny v požeráku jsou hrazeny do úrovně 329,58 m n. m. (kóta koruny přelivu)

Kapacita bezpečnostního přelivu je $Q_{přel}$ = 7,3 m^3/s při hladině minimální kóty koruny hráze 330,92 m n.m.

Požerák má kapacitu $Q_{výp}$ = 0,8 m^3/s při dlužové stěně zahrazené do úrovně 329,58 m n.m. a při hladině v úrovni minimální kóty koruny 330,92 m n.m.

Kapacita stavidlové výpusti při úplném vyhrazení a při hladině v úrovni minimální kóty koruny hráze 330,92 m n.m. je Q_{stav} = 34,2 m^3/s.

Celkový odtok vody přes bezpečnostní přeliv, požerák a stavidlovou výpust je 42,2 m^3/s, což je více než Q_{100} = 39,9 m^3/s.

Hladina vody ve VD Fiklův rybník vystoupí při průchodu kontrolní povodňové vlny s kulminačním průtokem Q_{100} = 39,9 m^3/s do úrovně **KMH_2 = 330,55 m n.m.** [10]

Posouzení bezpečnosti vodního díla při povodních:

MBH – KMH_2 = 330,56 m n.m. – 330,55 m n.m. = 0,01 m

KMH_2 = 330,55 m n.m. < MBH = 330,56 m n.m.

Podmínka zabezpečení na Q_{100} je splněna.

Při současném stavu hráze, bezpečnostního přelivu, výpustného objektu a stavidlové výpusti **VD Finklův rybník vyhoví požadavkům na bezpečnost při povodních dle ČSN 75 2935, bude-li zajištěna manipulace se stavidlovou výpustí při povodňových situacích.**

6.4 Návrh opatření

MVN Finklův rybník vyhovuje požadavkům na bezpečnost při povodních pouze v případě manipulace se stavidlovou výpustí. Vzhledem k nízkému významu vodního díla není zajištěna jeho trvalá obsluha pro manipulaci při povodních, proto jsou navrženy dvě varianty rekonstrukce bezpečnostního přelivu. V obou variantách dojde k odstranění hrazení současné stavidlové výpusti. V první variantě je navržen kašnový bezpečnostní přeliv vybudovaný v předpolí stavidlové výpusti. Ve druhé variantě je navržen labyrintový přeliv.

7 Varianta A – Kašnový bezpečnostní přeliv

V první variantě je navržen místo stávající stavidlové výpusti kašnový bezpečnostní přeliv, který spolu s pevným bezpečnostním přelivem převede průtok Q_{100}. Pevný bezpečnostní přeliv na levém konci hráze zůstane beze změny se stávající kapacitou při MBH v nádrži 4,97 m^3/s.

7.1 Kašnový přeliv

Přelivná hrana kašnových přelivů je rozvinuta směrem do prostoru zátopy. Výhodou je tedy optické zkrácení přelivné hrany, její délka se dá pohodlně prodlužovat a tvar přelivné hrany může být půlkruhový, elipsový nebo může tvořit lomenou čáru apod. Nevýhodou kašnových přelivů jsou zvýšené náklady na spadiště, které je nutné opevnit.

7.2 Popis konstrukčního řešení

7.2.1 Bezpečnostní přeliv

Je navržen betonový kašnový bezpečnostní přeliv s délkou přelivné hrany 20,5 m. Konstrukční řešení je obsahem výkresu D.3A. Výška přelivné hrany je na kótě 329,58 m n. m. (na kótě normální hladiny). Přelivná hrana vede nejdříve 3,3 m kolmo na hráz směrem do nádrže, potom obepisuje půlkružnici s poloměrem 4,23 m a opět se vrací kolmo na hráz. Přelivná hrana je půl kruhová s poloměrem r = 250 mm a je na ní nasazený kamenořez. Spadiště je široké 8,46 m v místě navázání na skluz. Délka spadiště je 9,78 m a jeho podélný sklon jsou 2 %. Spadiště je tvořeno dlažbou z lomového kamene do betonové lože o tloušťce 500 mm.

7.3 Hydrotechnické výpočty

Obsahem této kapitoly jsou všechny potřebné výpočty pro návrh všech paramatrů kašnového bezpečnostního přelivu. Na začátku každého výpočtu jsou uvedeny informace k použitým výpočtovým metodám a použité vzorce.

7.3.1 Kašnový bezpečnostní přeliv

Délka přelivné hrany byla určena pomocí rovnice nezatopeného přepadu se zohledněním tvaru přelivné hrany, hloubky vody před přelivem, poloměru zaoblení a vlivu bočních kontrakcí.

Rovnice 6: Rovnice nezatopeného přepadu

$$Q = m \times b_0 \times \sqrt{2g} \times h_0^{3/2}$$

Q návrhový průtok [m^3/s]

m součinitel přepadu [-]

b_0 účinná šířka přelivu [m]

h_0 výška přepadového paprsku [m] => přítoková rychlost v = 0 m/s => h_0=h

g tíhové zrychlení [m/s^2]

Rovnice 7: Výpočet účinné šířky přelivu

$$b_0 = b - 0{,}1 \times \Sigma\xi \times h$$

b_0 účinná šířka přelivu se započtením vlivu bočních kontrakcí [m]

b konstrukční délka přelivné hrany [m]

h výška přepadového paprsku [m]

ξ součinitel tvaru pilíře [-]

Tabulka 4: Vstupní hodnoty pro výpočet bezpečnostního přelivu

Q_{100}	39,90	m^3/s	N-letý průtok Q_{100}
Q_{bp}	4,97	m^3/s	průtok pevným bezpečnostním přelivem
$Q_{pož}$	34,93	m^3/s	návrhový průtok
g	9,81	m/s^2	tíhové zrychlení
h	0,98	m	určena jako rozdíl MBH a H_{norm}
m	0,45	-	součinitel přepadu z tabulek
n	2	-	počet bočních kontrakcí
ξ	1	-	pravoúhlý pilíř

Délka přelivné hrany bez vlivu bočních kontrakcí (odvozeno z rovnice 6):

$$b = \frac{Q}{m \times \sqrt{2g} \times h^{3/2}} = \frac{34{,}96}{0{,}45 \times \sqrt{2 \times 9{,}81} \times 0{,}98^{3/2}} = 18{,}06\ m$$

Pomocí hledání řešení v programu MS Excel byla určena konstrukční délka přelivné hrany **b = 18,3 m**.

Dále se určila účinná šířka přelivu a návrhový průtok:

$$b_0 = 18{,}3 - 0{,}1 \times (2 \times 1) \times 0{,}98 = \mathbf{18{,}10\ m}$$

$$Q = 0{,}45 \times 18{,}10 \times \sqrt{2 \times 9{,}81} \times 0{,}98^{3/2} = \mathbf{35{,}01\ m^3/s}$$

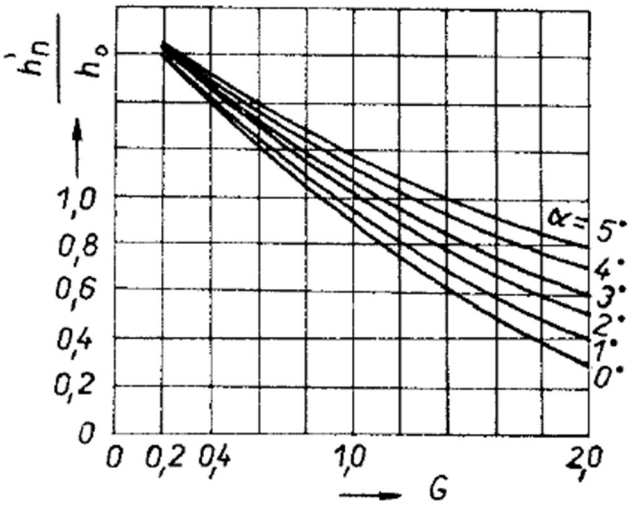
$$Q \geq Q_{pož} \qquad 35{,}01 > 34{,}93 \qquad \textbf{Návrh vyhovuje}$$

Navržena je hrana o délce 18,3 m.

7.3.2 Spadiště kašnového bezpečnostního přelivu

Spadiště bočního přelivu se navrhuje tak, aby byl přepad přes přelivné těleso i pro největší průtoky dokonalý. Pro výpočet spadiště byl použit graf pro předběžné dimenzování hloubky spadiště dle Komora.

Největší hloubka ve spadišti $h_n´$ lze odečíst z Komorova grafu (obr. 19), ve kterém jsou k hodnotám parametru G vyneseny na svislou osu poměry $h_n´/h_0$.



Obrázek 19: Komorův graf

Rovnice 8: Výpočet parametru G

$$G = \frac{i_s L_s}{h_0}$$

G parametr pro odečtení z Komorova grafu [-]

i_s sklon spadiště [-]

L_s délka spadiště [m]

h_0 hloubka na konci spadiště [m]

Tabulka 5: Vstupní hodnoty pro výpočet spadiště

i_s	0,02	-	sklon spadiště
L_s	10,28	m	délka spadiště
h_0	1,19	m	hloubka na konci spadiště

Parametr G:

$$G = \frac{0{,}02 \times 10{,}28}{1{,}19} = 0{,}17$$

Z grafu odečtený poměr $h_n´/h_0$:

$$\frac{h_n^{´}}{h_0} = 1{,}6$$

$$h_n^{´} = \mathbf{1{,}90}\ m$$

Po zjištění $h_n´$ umístíme spadiště výškově tak, aby byl přepad vody přes přeliv vždy dokonalý a pro kótu na počátku spadiště M_{s0} platil následující vztah:

Rovnice 9: Podmínka kóty spadiště na počátku

$$M_{s0} \leq M_{max} - \frac{h}{2} - h_n^{´}$$

M_{s0} navržená kóta na počátku spadiště [m n. m.]

M_{max} kóta maximální hladiny [m n. m.]

h výška přepadového paprsku [m]

hn´ maximální hloubka ve spadišti

Tabulka 6: Vstupní hodnoty pro kontrolu podmínky spadiště

M_{s0}	328,15	m n.m.	navržená kóta na začátku spadiště
M_{max}	330,56	m n.m.	maximální možná hladina
h	0,98	m	výška přepadového paprsku
$h_n´$	1,90	m	maximální hloubka ve spadišti

Kontrola podmínky (rovnice 9):

$$328{,}15 \leq 330{,}56 - \frac{0{,}98}{2} - 1{,}90$$

$$\mathbf{328{,}15 \leq 328{,}17\ m\ n.\ m.} \qquad \textbf{\textit{Návrh vyhovuje.}}$$

Navržené je spadiště se sklonem i_s = 0,02 a s délkou spadiště L_s = 10,28 m. Hladina ve spadišti vystoupá nad přelivnou hranu a dojde k zatopenému přepadu. Je tedy nutné přepočítat délku přelivné hrany.

Rovnice 10: Rovnice zatopeného přepadu

$$Q = \sigma_z \times m \times b_0 \times \sqrt{2g} \times h_0^{3/2}$$

Q návrhový průtok [m^3/s]

σ_z součinitel zatopení [-]

m součinitel přepadu [-]

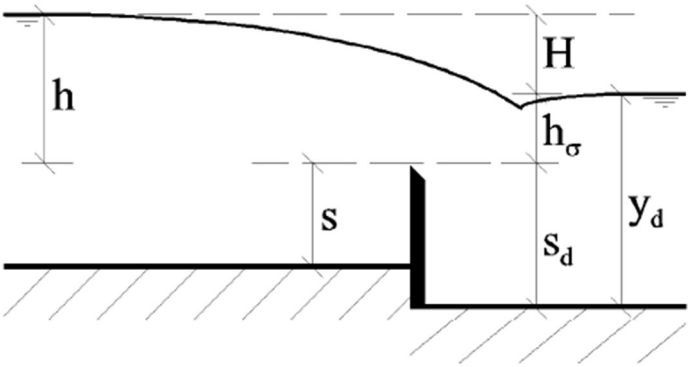
b_0 účinná šířka přelivu [m]

h_0 výška přepadového paprsku [m] => přítoková rychlost v = 0 m/s => h_0=h

g tíhové zrychlení [m/s^2]

Rovnice 11: Součinitel zatopení σ_z

$$\sigma_z = 1{,}05\left(1 + 0{,}2 \times \frac{h_\sigma}{s_d}\right) \times \left(\frac{H}{h}\right)^{1/3}$$



Obrázek 20: Schéma zatopeného přepadu [19]

σ_z součinitel zatopení [-]

h_σ výška vody nad přelivnou hranou [m]

s_d hloubka na začátku spadiště [m]

h výška přepadového paprsku [m]

H rozdíl výšky přepadového paprsku a vody nad přelivnou hranou [m]

Tabulka 7: Vstupní hodnoty pro výpočet součinitele zatopení

h_σ	0,46	m	výška vody nad přelivnou hranou
s_d	1,42	m	hloubka na začátku spadiště
H	0,79	m	rozdíl h a h_σ
h	0,98	m	výška přelivného paprsku

$$\sigma_z = 1{,}05\left(1 + 0{,}2 \times \frac{0{,}46}{1{,}42}\right) \times \left(\frac{0{,}79}{0{,}98}\right)^{1/3} = \mathbf{0{,}91}$$

Přepočítání průtoku pomocí rovnice 10:

$$Q = 0{,}91 \times 0{,}45 \times 18{,}10 \times \sqrt{2 \times 9{,}81} \times 0{,}98^{3/2} = \mathbf{31{,}85\ m^3/s}$$

$$Q \geq Q_{pož} \qquad 34{,}85 < 34{,}93 \qquad \textbf{Návrh nevyhovuje}$$

Výsledný průtok vychází menší než požadovaný 34,93 m³/s. Pomocí hledání řešitele v MS Excel dojde k přepočítání délky přelivné hrany. Nový návrh délky přelivné hrany je **b = 20,5 m**.

$$b_0 = 20{,}5 - 0{,}1 \times (2 \times 1) \times 0{,}98 = \mathbf{20{,}30\ m}$$

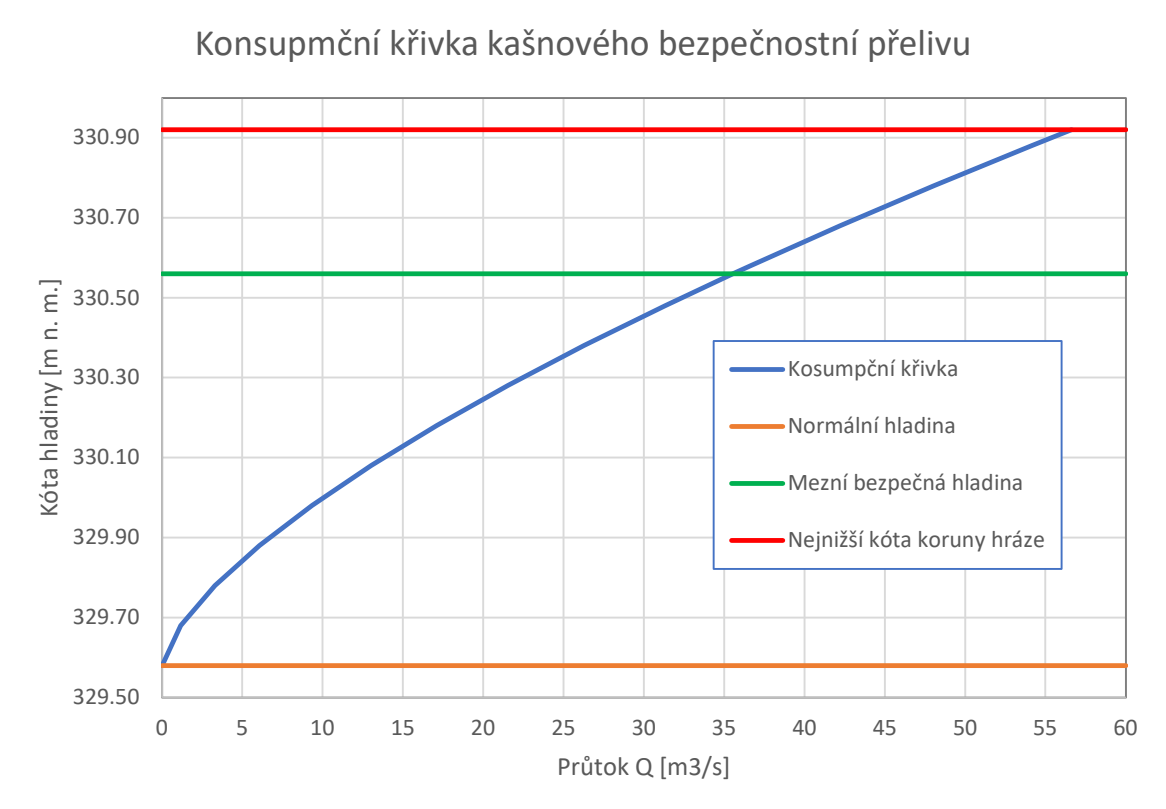
$$Q = 0{,}91 \times 0{,}45 \times 20{,}30 \times \sqrt{2 \times 9{,}81} \times 0{,}98^{3/2} = \mathbf{35{,}73\ m^3/s}$$

$$Q \geq Q_{pož} \qquad 35{,}73 > 34{,}93 \qquad \textbf{Návrh vyhovuje}$$

Navržena je hrana o délce 20,5 m. V tabulce 8 je spočítán průtok navrženým bezpečnostním přelivem v rozmezí H_{norm}=329,58 m n. m., což odpovídá kótě přelivné hrany, a kóty nejnižšího místa hráze 330,92 m n.m. Vypočtené hodnoty jsou vyneseny do grafu, který je konsumpční křivkou bočního bezpečnostního přelivu.

Tabulka 8: Výpočet průtoku kašnovým přelivem

H [m n.m.]	H_p [m]	Q [m^3/s]
329,58	0,00	0
329,68	0,10	1,17
329,78	0,20	3,30
329,88	0,30	6,06
329,98	0,40	9,32
330,08	0,50	13,01
330,18	0,60	17,09
330,28	0,70	21,51
330,38	0,80	26,26
330,48	0,90	31,30
330,56	0,98	35,73
330,58	1,00	36,62
330,68	1,10	42,21
330,78	1,20	48,05
330,88	1,30	54,13
330,92	1,34	56,62



Obrázek 21: Konsumpční křivka kašnového přelivu

7.4 Výpočet objemu hlavních prací

V této kapitole jsou uvedeny přibližné objemy základních materiálů, které budou použity pro stavbu. Vypočtené hodnoty mohou sloužit jako podklad pro stanovení přibližných nákladů na stavbu.

7.4.1 Demolice stávajících objektů

Demolice se týká odstranění stávající stavidlové výpusti, to znamená odstranění 4 ocelových stavidel, ovládacího mechanismu umístěného nad nimi, ocelové přístupové lávky a 3 betonových sloupů.

Demolice ocelových konstrukcí: 2 m^3

Demolice 4 betonových sloupů: 17,4 m^3

7.4.2 Kubatury zásypové zeminy

Objem zeminy potřebné pro podsyp stavby je stanoven přibližně z příčného řezu.

Objem zásypové zeminy: 57 m^3

7.4.3 Kubatury betonu

Na základě výkresové dokumentace kašnového přelivu byl stanoven celkový objem betonu pro stavbu.

Tabulka 9: Kubatury betonu pro kašnový přeliv

Přelivná hrana	17,58	m^3
Základy	18,58	m^3
Spadiště	12,95	m^3
Celkem	49,10	m^3

Celkové množství betonu pro stavbu kašnového přelivu je přibližně 50 m^3.

7.5 Majetkoprávní vztahy

Pozemky dotčené stavbou jsou uvedeny v následující tabulce.

Tabulka 10: Dotčené pozemky pro variantu A - boční přeliv [14]

Parcelní číslo	k. ú.	Číslo LV	Výměra [m2]	Druh pozemku	Vlastnické právo	Způsob ochrany
337	Petrohrad	18	243	zastavěná plocha a nádvoří	Česká republika - Povodí Ohře, státní podnik, Bezručova 4219, 43003 Chomutov	-
1103/1	Petrohrad	10001	28001	vodní plocha	Obec Petrohrad, č.p. 146, 43985 Petrohrad	nemovitá kulturní památka

Pozemek v místě stávající stavidlové výpusti je ve vlastnictví České republiky – Povodí Ohře, s. p. Vlastníkem vodní nádrže Finklův rybník je obec Petrohrad. V současnosti se jedná o převodu pozemku 1103/1 ve vlastnictví obce Petrohrad na státní podnik Povodí Ohře.

8 Varianta B – Labyrintový přeliv pianového typu

Jako druhá varianta byla zvažována možnost úpravy stavidlové výpusti a pevného bezpečnostního přelivu na dva labyrintové přelivy. Při využití obou přelivů by výsledná přelivná hrana pro přeliv umístěný místo stavidlové výpusti vycházela kratší. Do koryta pod pevným bezpečnostním přelivem by bylo možné dle výpočtů v programu HEC-RAS 4.0 pustit až 10 m^3/s. Konstrukce labyrintového přelivu v místě stávajícího pevného přelivu vycházela příliš velká a nebylo možné ji umístit do vymezeného prostoru. Proto byla zvolena varianta jednoho labyrintového přelivu v místě stávající stavidlové výpusti.

8.1 Labyrintový přeliv

V poslední době dochází ke zvyšování nároků na zásobní nádrže vody, s tím je spojená nedostatečná kapacita přelivů a mnohé z nich je nutné vyměnit nebo optimalizovat jejich tvar. Při hledání ideálního tvaru přelivu s vysokým účinkem a s malými náklady se zjistilo, že nejlepším řešením je přeliv s nepřímou přelivnou hranou. Jedním řešením je vytvoření labyrintového přelivu, který při stejné šířce jako má přímý přeliv převede větší průtok.

Klasické labyrintové přelivy mají relativně vysoké náklady na stavbu a nelze je snadno umístit na korunu běžných tížných přehrad. K jejich umístění je zapotřebí velká rovná plocha umožňující podepření svislých stěn a vybudování plochého dna jezů. Proto byl vyvinut nový druh labyrintového přelivu – Piano Key Weir (dále také jako PKW nebo přeliv pianového typu). Na rozdíl od klasických labyrintových přelivů jsou dna jednotlivých kláves nakloněna, což zvyšuje stabilitu konstrukce. Tím dojde ke zmenšení základové plochy a je snadnější jejich realizace na již stávajících hrázích. První realizace takového přelivu byla provedena v létě 2006 na přehradě EDF Goulours. Přeliv takového typu se ukázal jako ekonomické a efektivní řešení při zvýšení přelivné kapacity. [15]

Obrázek 22: PKW na přehradě Goulours (Frederic Laugier [20])

8.2 Popis konstrukčního řešení

8.2.1 Bezpečnostní přeliv

Je navržen labyrintový pianový bezpečnostní přeliv s délkou přelivné hrany 44,16 m. Konstrukční řešení je obsahem výkresu D.3B. Výšková kóta přelivné hrany je 329,61 m n. m. Labyrintový přeliv je tvořen 4 vnitřními klávesami směrem do nádrže, z toho jsou dvě s délkou 0,95 m a dvě s délkou 1,03 m a 3 klávesami s délkou 1,5 m směřujícími k hrázi. Vnitřní a vnější klávesy jsou spojeny 6 přelivnými hranami, každá o délce 5,4 m. Tloušťka konstrukce je 250 mm. Výška konstrukce je 1,90 m, její celková délka je 8,46 m a šířka je 2,75 m. Konstrukce labyrintového přelivu je z železobetonu a je umístěna na ploché dno v místě současné stavidlové výpusti.

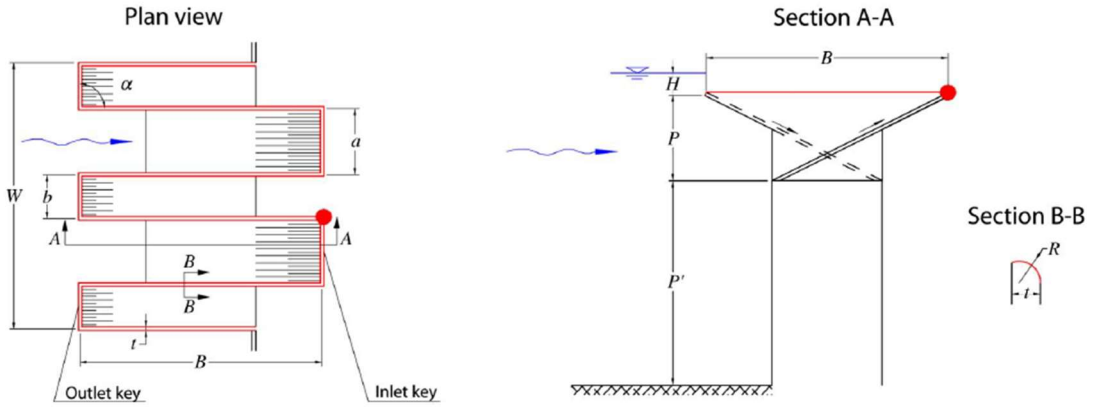
Na bezpečnostní přeliv navazuje stávající skluz se sklonem 10 %.

8.3 Hydrotechnické výpočty

Obsahem této kapitoly jsou všechny potřebné výpočty pro návrh labyrintového přelivu. Na začátku každého výpočtu jsou uvedeny informace k použitým výpočtovým metodám a použité vzorce.

8.3.1 Labyrintový bezpečnostní přeliv

Pro výpočet délky přelivné hrany bezpečnostního labyrintového přelivu byl použit odborný technicky článek *Discharge Capacity of Piano Key Weir* [15].



Obrázek 23: Schematický půdorys a řez labyrintovým přelivem

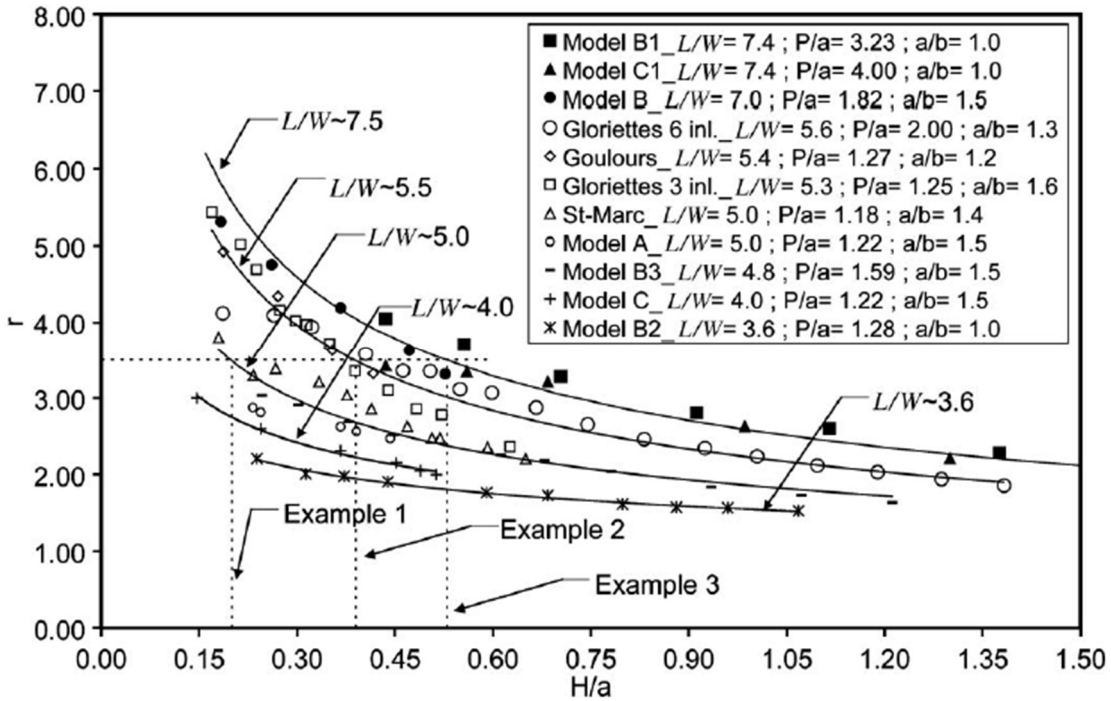
Prvním krokem pro výpočet přelivné délky hrany je určení poměru průtoků (r) mezi požadovaným průtokem přes labyrintový přeliv a průtokem přes přímou přelivnou hranu W.

Rovnice 12: Poměr průtoků r

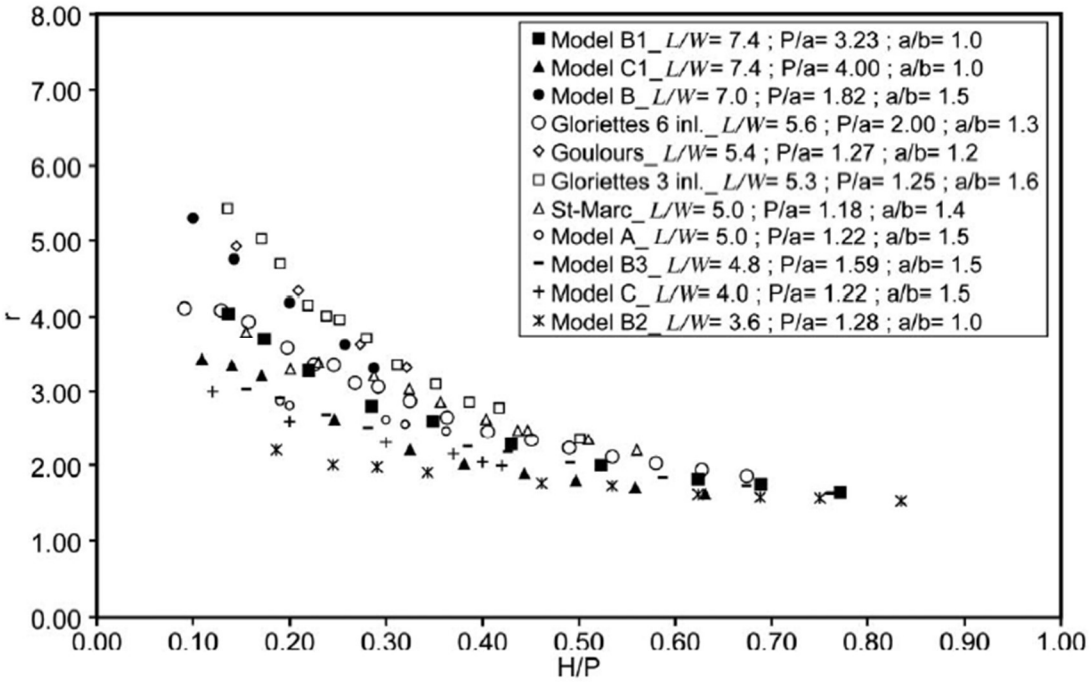
$$r = \frac{Q_{PKW}}{Q_W} = \frac{C_{PKW} \times L \times \sqrt{2g} \times H^{3/2}}{C_d \times W \times \sqrt{2g} \times H^{3/2}}$$

r	poměr průtoků [-]
Q_{PKW}	průtok přes labyrintový přeliv [m^3/s]
Q_W	průtok přes přímou přelivnou hranu [m^3/s]
C_{PKW}	průtokový koeficient [-]
C_d	průtokový koeficient s předpokládanou konstantní hodnotou 0,42
L	konstrukční délka přelivné hrany labyrintového přelivu [m]
g	tíhové zrychlení [m/s^2]
H	výška přepadového paprsku [m]
W	konstrukční délka přelivné hrany přímého přelivu [m]

S pomocí průměru průtoků r odečteme hodnoty L/W a H/P (P je výška konstrukce labyrintového přelivu) z následujících grafů. Pro hodnotu L/W je nutné si nejprve určit poměr přepadové výšky paprsku k délce přelivné hrany a (H/a).



Obrázek 24: Průtokový poměr r jako funkce H/a pro různé modely labyrintového přelivu [15]



Obrázek 25: Průtokový poměr r jako funkce H/P pro různé modely labyrintového přelivu [15]

Po několika iteracích v programu MS Excel byla určena šířka přepadového paprsku H = 0,95 m a k tomu délka přelivné hrany a = 1,5 m. Délka přelivné hrany b je vypočtena z doporučeného poměru a/b = 1,6.

Tabulka 11: Vstupních hodnot pro výpočet bezpečnostního přelivu

Q100	39,90	m^3/s	N-letý průtok Q100
Qbp	4,97	m^3/s	průtok pevným bezpečnostním přelivem
QPKW	34,93	m^3/s	návrhový průtok
W	8,27	m	šířka přímé přelivné hrany
g	9,81	m/s^2	tíhové zrychlení
Cd	0,42	-	průtokový koeficient
H	0,95	m	šířka přepadového paprsku
a	1,50	m	délka vnější hrany přelivu
b	0,95	m	délka vnitřní hrany přelivu

Poměr průtoků r:

$$r = \frac{34{,}93}{0{,}42 \times 8{,}27 \times \sqrt{2 \times 9{,}81} \times 0{,}95^{3/2}} = \frac{34{,}93}{14{,}25} = 2{,}45$$

Poměr H/a:

$$\frac{H}{a} = \frac{0{,}95}{1{,}50} = 0{,}63$$

Odečtená hodnota z grafu na obrázku 24 je L/W = 5,3.

Celková délka přelivné hrany labyrintového přelivu L:

$$\frac{L}{W} = 5{,}3 \rightarrow L = 5{,}3 \times W = 5{,}3 \times 8{,}27 = \mathbf{43{,}83\ m}$$

Navržená délka přelivné hrany **L je 44,16 m**.

Odečtená hodnota z grafu na obrázku 25 je H/P = 0,5.

Výška konstrukce P:

$$\frac{H}{P} = 0{,}5 \rightarrow P = \frac{H}{0{,}5} = \mathbf{1{,}9\ m}$$

Pro výpočet konsumpční křivky přelivu je nutný výpočet průtokového koeficientu C_{PKW}.

Rovnice 13: Průtokový koeficient C_{PKW}

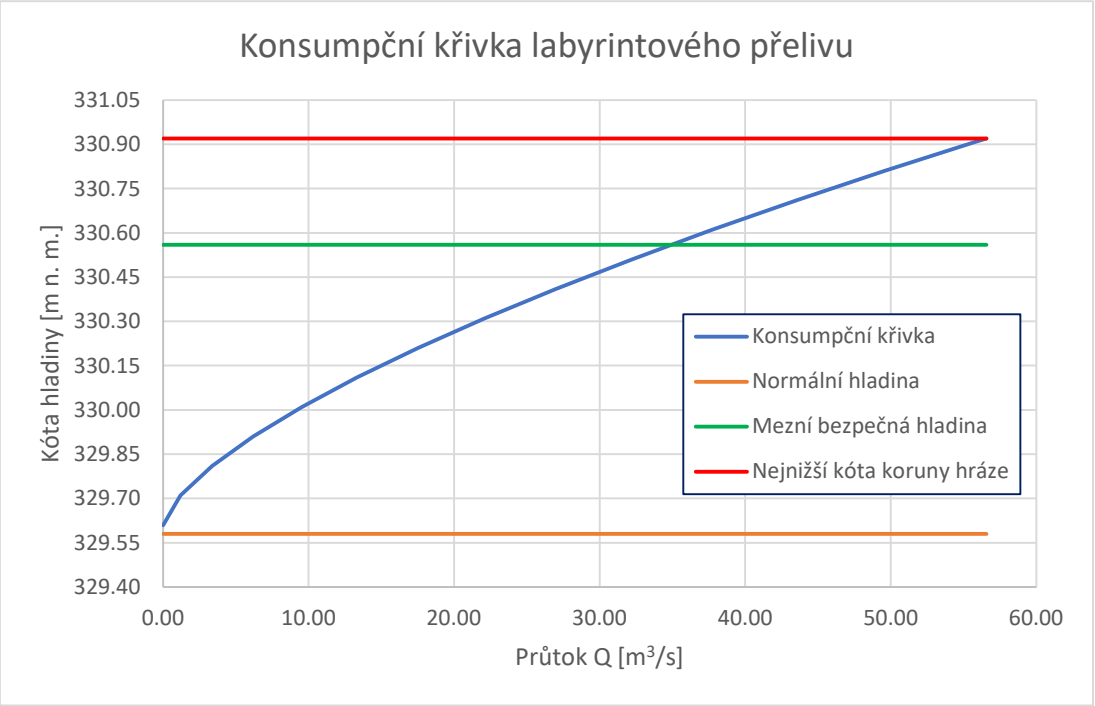
$$C_{PKW} = \frac{Q_{PKW}}{L \times \sqrt{2g} \times H^{3/2}}$$

$$C_{PKW} = \frac{34{,}93}{44{,}16 \times \sqrt{2 \times 9{,}81} \times 0{,}95^{3/2}} = 0{,}19$$

Navržena je přelivná hrana o délce L = 44,16 m a výška konstrukce P = 1,9 m. V tabulce 12 je spočítán průtok navrženým bezpečnostním přelivem v rozmezí H=329,61 m n. m., což odpovídá kótě přelivné hrany, a kóty nejnižšího místa hráze 330,92 m n. m. Vypočtené hodnoty jsou vyneseny do grafu, který je konsumpční křivkou labyrintového bezpečnostního přelivu.

Tabulka 12: Výpočet průtoku labyrintovým přelivem

H [m n.m.]	H_p [m]	Q [m^3/s]
329,61	0,00	0,00
329,71	0,10	1,19
329,81	0,20	3,37
329,91	0,30	6,20
330,01	0,40	9,54
330,11	0,50	13,34
330,21	0,60	17,53
330,31	0,70	22,09
330,41	0,80	26,99
330,51	0,90	32,21
330,56	0,95	34,93
330,61	1,00	37,72
330,71	1,10	43,52
330,81	1,20	49,59
330,91	1,30	55,91
330,92	1,31	56,56



Obrázek 26: Konsumpční křivka labyrintového přelivu

8.3.2 Zkapacitnění pevného BP na levém konci

V původní variantě B se uvažovalo se zkapacitněním pevného bezpečnostního přelivu a osazením dvou labyrintových přelivů. Pevný bezpečnostní přeliv převede průtok 4,97 m^3/s při kótě hladiny vody na MBH 330,56 m n. m. Při hladině na úrovni koruny hráze 330,92 m n. m. převede dle manipulačního řádu 8,18 m^3/s.

V programu HEC-RAS 4.0 byla spočítána maximální kapacita koryta za bezpečnostním přelivem. Z geodetického zaměření, které jsem měla k dispozici, bylo určeno 21 příčných profilů korytem, jejich vzájemná vzdálenost a sklon. Tyto údaje byly vloženy do HEC-RASu, Dále se určil Manningův drsnostní součinitel a břehová linie jednotlivých profilů. Tímto byla zadána geometrie koryta. Pro výpočet bylo ještě nutné zadat okrajové podmínky. Výpočtem bylo zjištěno, že koryto pod pevným bezpečnostním přelivem převede bez problémů průtok 10 m^3/s.

Pro výpočet délky přelivné hrany a výšky konstrukce labyrintového přelivu byl použit stejný postup jako v kapitole 8.2.1. Nejdříve se určil poměr průtoků r pomocí rovnice 12.

Tabulka 13: Vstupní hodnoty pro zkapacitnění pevného BP

Q_{PKW}	10,00	m^3/s	návrhový průtok
W	3,24	m	šířka stávající konstrukce stavidel
g	9,81	m/s^2	tíhové zrychlení
Cd	0,42	-	průtokový koeficient
H	0,98	m	šířka přepadového paprsku
a	1,50	m	délka vnější hrany přelivu
b	0,94	m	délka vnitřní hrany přelivu

Poměr průtoků r:

$$r = \frac{10{,}00}{0{,}42 \times 3{,}24 \times \sqrt{2 \times 9{,}81} \times 0{,}98^{3/2}} = \frac{10{,}00}{5{,}49} = 1{,}82$$

Poměr H/a:

$$\frac{H}{a} = \frac{0{,}98}{1{,}50} = 0{,}65$$

Odečtený poměr z grafu na obrázku 24 L/W = 3,6 a poměr z grafu na obrázku 25 H/P = 0,30.

Délka přelivné hrany L:

$$\frac{L}{W} = 3{,}6 \rightarrow L = 3{,}6 \times W = 3{,}6 \times 3{,}24 = \mathbf{11{,}66\ m}$$

Výška konstrukce P:

$$\frac{H}{P} = 0{,}30 \rightarrow P = \frac{H}{0{,}30} = \mathbf{3{,}27\ m}$$

Pro umístění konstrukce by bylo nutné zahloubení přes 3 metry v místě stávající přelivné hrany (na kótě 329,58 m n. m.), to by znamenalo prohloubení celého koryta za konstrukcí. Zkapacitnění přelivné hrany bezpečnostního přelivu na levém konci hráze by bylo nákladné a komplikované, proto se tato varianta neuvažuje.

8.4 Výpočet objemu hlavních prací

V této kapitole jsou uvedeny přibližné objemy základních materiálů, které budou použity pro stavbu. Vypočtené hodnoty mohou sloužit jako podklad pro stanovení přibližných nákladů na stavbu.

8.4.1 Demolice stávajících objektů

Demolice se týká odstranění stávající stavidlové výpusti, to znamená odstranění 4 ocelových stavidel, ovládacího mechanismu umístěného nad nimi, ocelové přístupové lávky a 3 betonových sloupů. Pro umístění labyrintové konstrukce bude nutné odstranit část betonu pod stavidly o tloušťce 25 cm.

Demolice ocelových konstrukcí: 2 m^3

Tabulka 14: Demolice betonových konstrukcí

Sloupy 4ks	17,40	m^3
Beton pod konstrukcí	2,11	m^3
Celkem	19,51	m^3

8.4.2 Kubatury betonu

Na základě výkresové dokumentace labyrintového přelivu byl stanoven celkový objem betonu pro stavbu.

Celkové množství betonu pro stavbu labyrintového přelivu je přibližně 19,5 m^3.

8.5 Majetkoprávní vztahy

Pozemky dotčené stavbou jsou uvedeny v následující tabulce.

Tabulka 15: Dotčené pozemky stavbou ve variantě B - labyrintový přeliv [14]

Parcelní číslo	k. ú.	Číslo LV	Výměra [m2]	Druh pozemku	Vlastnické právo	Způsob ochrany
337	Petrohrad	18	243	zastavěná plocha a nádvoří	Česká republika - Povodí Ohře, státní podnik, Bezručova 4219, 43003 Chomutov	-
1103/1	Petrohrad	10001	28001	vodní plocha	Obec Petrohrad, č.p. 146, 43985 Petrohrad	nemovitá kulturní památka

Pozemek v místě stávající stavidlové výpusti je ve vlastnictví České republiky – Povodí Ohře, s. p. Vlastníkem vodní nádrže Finklův rybník je obec Petrohrad. V současnosti se jedná o převodu pozemku 1103/1 ve vlastnictví obce Petrohrad na státní podnik Povodí Ohře.

9 Zhodnocení variant

V práci byly zpracovány dvě varianty řešení bezpečnostního přelivu. V této kapitole budou porovnány jednotlivé varianty a bude doporučeno vhodné řešení.

9.1 Výběr varianty bezpečnostního přelivu

Obě varianty mají provozní hladiny na úrovni pevného bezpečnostního přelivu na kótě 329,58 m n. m. Stavba kašnového přelivu zasahuje více do zátopy nádrže a zabírá mnohem větší plochu, při její realizaci bude potřeba složitější mechanizace na stavbě. To by mohlo vést ke zničení stávající komunikace na hrázi a delšímu omezení provozu silnice mezi Černčicemi a Petrohradem. Následně by přibyly náklady na opravu vozovky. Labyrintový přeliv je možné téměř okamžitě posadit na místo stávající stavidlové výpusti. Na obě varianty navazuje původní skluz. Kamenná dlažba dna stávajícího skluzu je místy poškozena, při stavbě nového bezpečnostního přelivu by došlo k její opravě.

Z pohledu kapacity jsou obě varianty navrženy tak, aby spolu s pevným bezpečnostním přelivem byly schopné převést návrhový průtok Q_{100}. Mírně vyšší kapacitu má kašnový přeliv (35,55 m^3/s) než labyrintový přeliv (34,93 m^3/s). Tento rozdíl nehraje příliš velkou roli.

Výpočet kubatur materiálu a demolic vykázal značné rozdíly mezi oběma variantami. Z tohoto pohledu je výhodnější stavba labyrintového přelivu, na kterou je potřeba přibližně 19,5 m^3 betonu. V případě kašnového přelivu je pro jeho stavbu potřeba asi 50 m^3 betonu a 57 m^3 zeminy. U obou variant dojde k odstranění stavidel a betonových sloupů. U varianty B – labyrintový přeliv, je nutná ještě demolice části betonového dna pod stavidly.

Při posouzení majetkoprávních vztahů vyšly pro obě varianty stejné dotčené pozemky. V obou případech jsou dotčené dva pozemky. Jeden v majetku Povodí Ohře, s. p. a druhý ve vlastnictví obce Petrohrad. U varianty A – kašnový přeliv, dojde k většímu trvalému záboru na pozemku obce Petrohrad než u labyrintového přelivu.

S ohledem na výše zmíněné se jako výhodnější jeví varianta B – labyrintový přeliv. Při porovnání s kašnovým přelivem se zdá varianta labyrintového přelivu ekonomičtější a jednodušší na realizaci. Labyrintový přeliv není u nás příliš častý a jeho stavba by se mohla stát i turistickou atrakcí. I když se labyrintový přeliv jeví jako ekonomičtější a zajímavější varianta, do krajiny by mnohem lépe zapadl kašnový přeliv.

10 Závěr

Cílem bakalářské práce bylo zajištění bezpečnosti Finklova rybníku při povodních na základě nevyhovujícího odborného posudku o bezpečnosti. V úvodu práce byla popsána daná problematika z pohledu legislativy a byly uvedeny základní pojmy. Součástí úvodní části je stručný popis a přehled hlavních objektů malých vodních nádrží. V této části jsou uvedeny možnosti řešení bezpečnostních přelivů, z nichž byly následně vybrány dvě varianty v projekční části práce. Zpracován byl také popis lokality vodního díla.

Pro tvorbu projekční práce jsem nejdříve VD Finklův rybník navštívila, provedla terénní průzkum a pořídila fotodokumentaci. Součástí práce je i popis současného stavu vodního díla. Hlavní část práce tvoří 2 varianty řešení bezpečnostního přelivu – kašnový přeliv a labyrintový přeliv. U obou variant je uveden technický popis, potřebné hydrotechnické výpočty, rozsah hlavních prací, kubatury materiálů a majetkoprávní vztahy. Obě varianty jsou následně porovnány.

Výsledkem práce je doporučení stavby labyrintového přelivu. S ohledem na charakter a významnost vodního díla bude jeho realizace záviset na dostupnosti finančních prostředků. S přihlédnutím k počtu spravovaných vodních děl ve vlastnictví Povodí Ohře, s. p. bude mít rekonstrukce Finklova rybníku menší prioritu než ostatní projekty. V případě realizace je možné tuto práci použít jako podklad pro další stupeň projektové dokumentace. Po doplnění všech příloh uvedených ve vyhlášce č. 499/2006 Sb. O dokumentaci staveb je možné práci použít jako dokumentaci pro stavební povolení. Se stavbou pianových přelivů nemají realizační firmy zkušenosti. Vzhledem k velikosti a významu VD Finklův rybník by mohla realizace labyrintového pianového přelivu posloužit jako pilotní projekt i pro větší vodní díla.

11 Seznam použitých zdrojů

1] ŠÁLEK, Jan, Anna TRESOVÁ a Zdeněk MIKA. *Rybníky a účelové nádrže: celostátní vysokoškolská učebnice pro stavební fakulty vysokých škol technických*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1989. ISBN 80-03-00092-.

2] LIEBSCHER, Petr a Jan RENDEK. *Rybníky České republiky*. Praha: Academia, 2014. Průvodce (Academia). ISBN 978-80-200-2368-1.

3] *Zákon č. 254/2001 Sb., o vodách (vodní zákon)*.

4] *ČSN 75 2410 Malé vodní nádrže*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011.

5] *Posuzování bezpečnosti vodních děl při povodních*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2014. ČSN 75 2935.

6] DAVID, Václav. *Vodní hospodářství krajiny 2: Úvod do MVN* [online]. In: . [cit. 2022-04-13]. Dostupné z: https://storm.fsv.cvut.cz/data/files/p%C5%99edm%C4%9Bty/VK2/VK2_prednVD01_ZS2021.pdf

7] DAVID, Václav. Vodní hospodářství krajiny 2: Konstrukce hrází. In: *Katedra hydromeliorací a krajinného inženýrství* [online]. 2021 [cit. 2022-04-17]. Dostupné z: https://storm.fsv.cvut.cz/data/files/p%C5%99edm%C4%9Bty/VK2/VK2_prednVD02_ZS2021.pdf

8] *Oprava vodní nádrže Finger-Petrohrad*. 2014.

9] *Manipulační řád VD Finklův rybník*. 03/2020. Chomutov: Povodí Ohře, s. p. – odbor vodohospodářského rozvoje oddělení manipulačních řádů a nádrží, 2020.

10] *Vodní nádrž Petrohrad: Odborný posudek technického stavu*. Praha: Vodní díla - TBD a.s., 2011.

11] Geovědní mapy. In: *Česká geologická služba* [online]. [cit. 2022-05-02]. Dostupné z: https://mapy.geology.cz/geocr500/?center=-782700%2C-1007100%2C102067&level=6

12] Mapy charakteristik klimatu. In: *Český hydrometeorologický ústav* [online]. [cit. 2022-05-02]. Dostupné z: https://www.chmi.cz/historicka-data/pocasi/mapy-charakteristik-klimatu

13] ČSN 75 0255. *Výpočet účinku vln na stavby na vodních nádržích a zdržích*. Praha: Vydavatelství Úřadu pro normalizaci a měření, 1987.

14] *Český úřad zeměměřičský a katastrální* [online]. [cit. 2022-05-08]. Dostupné z: cuzk.cz

15] LEITE RIBEIRO, M., M. BIERI, J.-L. BOILLAT, A. J. SCHLEISS, G. SINGHAL a N. SHARMA. Discharge Capacity of Piano Key Weirs. *Journal of Hydraulic Engineering*. 2012, **138**(2), 199-203. ISSN 0733-9429. Dostupné z: doi:10.1061/(ASCE)HY.1943-7900.0000490

16] Malé vodní nádrže. In: *Profesní informační systém ČKAIT* [online]. 2013 [cit. 2022-04-17]. Dostupné z: https://profesis.ckait.cz/dokumenty-ckait/tp-1-19/

17] HAVLÍK, Aleš. *Nádrže a přehrady* [online]. In: . 2013 [cit. 2022-04-17]. Dostupné z: http://hgf10.vsb.cz/546/VHZ3/prehrady.html

18] *Mapy.cz* [online]. 2022 [cit. 2022-04-17]. Dostupné z: https://mapy.cz/turisticka?x=13.4418965&y=50.1347604&z=15&q=rybn%C3%ADk%20petrohrad&source=base&id=2031565&ds=2

19] *Hydraulické tabulky* [online]. In: . [cit. 2022-05-12]. Dostupné z: http://hydraulika.fsv.cvut.cz/Hydraulika/Hydraulika/Predmety/Hya/ke_stazeni/cviceni/tabulky_1.pdf

20] s[online]. [cit. 2022-05-12]. Dostupné z: HTTPS://CLIMATE-ADAPT.EEA.EUROPA.EU/METADATA/CASE-STUDIES/FD/ENERGY-CS1_HYDROPOWER-FRANCE_FIGURE-2.JPG/VIEW

12 Seznam použitých zkratek

MVN	malá vodní nádrž
VD	vodní dílo
ČSN	česká technická norma
KVP	kontrolní povodňová vlna
MBH	mezní bezpečná hladina
KMH	kontrolní maximální hladina
ČÚZK	Český úřad zeměměřičský a katastrální
ČHMÚ	Český hydrometeorologický ústav
S-JTSK	Systém jednotné trigonometrické sítě katastrální
PKW	Piano Key Weir
s. p.	státní podnik
BP	bezpečnostní přeliv

13 Seznam obrázků

Obrázek 1: Požadovaná míra ochrany vodních děl při povodni dle vyhlášky č. 367/2005 Sb. [16] 3
Obrázek 2: Rozdělení prostorů v nádrži (Katedra hydrauliky a hydrologie, Fsv ČVUT) [17] 4
Obrázek 3: Lokalita Finklova rybníku (Mapy.cz) [18] 9
Obrázek 4: Čára překročení m-denních průtoků (ČHMÚ) [9] 11
Obrázek 5: Čára opakování N-letých průtoků (ČHMÚ) [9] 11
Obrázek 6: Vzdušní svah 13
Obrázek 7: Návodní svah 13
Obrázek 8: Pohled na spodní výpust 14
Obrázek 9: Požerák s vodočetnou latí 14
Obrázek 11: Bezpečnostní přeliv 15
Obrázek 10: Bezpečnostní přeliv 15
Obrázek 13: Stavidlová výpust 15
Obrázek 12: Stavidlová výpust 15
Obrázek 14: Odběrný objekt 16
Obrázek 15: Pohled na ostrov 16
Obrázek 17: Graf pro určení charakteristické výšky vlny [13] 19
Obrázek 16: Graf pro určení periody vlny [13] 19
Obrázek 18: Graf pro určení koeficientu k_p [13] 20
Obrázek 19: Komorův graf 25
Obrázek 20: Schéma zatopeného přepadu [19] 27
Obrázek 21: Konsumpční křivka kašnového přelivu 28
Obrázek 22: PKW na přehradě Goulours (Frederic Laugier [20]) 31
Obrázek 23: Schematický půdorys a řez labyrintovým přelivem 32
Obrázek 24: Průtokový poměr r jako funkce H/a pro různé modely labyrintového přelivu [15] . 33
Obrázek 25: Průtokový poměr r jako funkce H/P pro různé modely labyrintového přelivu [15] . 34
Obrázek 26: Konsumpční křivka labyrintového přelivu 36

14 Seznam tabulek

Tabulka 1: Hydrologická data - Podvinecký potok (zdroj: ČHMÚ) [9] 11
Tabulka 2: Vstupní hodnoty pro výpočet zvýšení polohy hladiny..... 17
Tabulka 3: Vstupní hodnoty pro výpočet výšky výběhové vlny 20
Tabulka 4: Vstupní hodnoty pro výpočet bezpečnostního přelivu 24
Tabulka 5: Vstupní hodnoty pro výpočet spadiště.....25
Tabulka 6: Vstupní hodnoty pro kontrolu podmínky spadiště 26
Tabulka 7: Vstupní hodnoty pro výpočet součinitele zatopení 27
Tabulka 8: Výpočet průtoku kašnovým přelivem.....28
Tabulka 9: Kubatury betonu pro kašnový přeliv 29
Tabulka 10: Dotčené pozemky pro variantu A - boční přeliv [14] 30
Tabulka 11: Vstupních hodnot pro výpočet bezpečnostního přelivu.....34
Tabulka 12: Výpočet průtoku labyrintovým přelivem 35
Tabulka 13: Vstupní hodnoty pro zkapacitnění pevného BP.....36
Tabulka 14: Demolice betonových konstrukcí 37
Tabulka 15: Dotčené pozemky stavbou ve variantě B - labyrintový přeliv [14].....38

15 Seznam rovnic

Rovnice 1: Efektivní délka rozběhu větru L_{ef} [13] 17

Rovnice 2: Zvýšení polohy hladiny [13] 17

Rovnice 3: Délka trvání větru [13] 18

Rovnice 4: Výška výběhu vlny [13] 18

Rovnice 5: Délka vlny v hlubokém pásmu [13] 20

Rovnice 6: Rovnice nezatopeného přepadu 24

Rovnice 7: Výpočet účinné šířky přelivu 24

Rovnice 8: Výpočet parametru G 25

Rovnice 9: Podmínka kóty spadiště na počátku 26

Rovnice 10: Rovnice zatopeného přepadu 26

Rovnice 11: Součinitel zatopení σ_z 27

Rovnice 12: Poměr průtoků r 33

Rovnice 13: Průtokový koeficient C_{PKW} 35

16 Seznam výkresových příloh

C. Situační výkresy

C.1 Situace širších vztahů

C.2 Vodohospodářská situace

D. Výkresy objektů

D.1 Vzorový příčný řez hrází

D.2 Podélný profil hrází

Varianta A – Kašnový přeliv

C.3A Katastrální situační výkres

C.4A Celková situace

D.3A Kašnový bezpečnostní přeliv

Varianta B – Labyrintový přeliv

C.3B Katastrální situační výkres

C.4B Celková situace

D.3B Labyrintový bezpečnostní přeliv