

České vysoké učení technické v Praze

Fakulta stavební

Katedra hydrotechniky



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Studie technického stavu a provozních podmínek VD Ordějov

Study of technical and operational conditions of the small
reservoir Ordějov

Vedoucí bakalářské práce: doc. Ing. Ladislav Satrapa, CSc.



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební
Tháškurova 7, 166 29 Praha 6

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Norková Jméno: Lucie Osobní číslo: 438433
Zadávající katedra: Katedra hydrotechniky
Studijní program: Stavební inženýrství
Studijní obor: Vodní hospodářství a vodní stavby

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce: Studie technického stavu a provozních podmínek VD Ordějov

Název bakalářské práce anglicky: Study of technical and operational conditions of the small reservoir Ordějov

Pokyny pro vypracování:

Popis vodního díla a jeho účelu, zhodnocení technického stavu vodního díla, zhodnocení bezpečnosti vodního díla za povodní, návrh případných opatření pro zajištění bezpečnosti vodního díla za povodní, návrh dalšího postupu (případně ve variantách) opatření k zajištění provozu nádrže

Seznam doporučené literatury:

studijní literatura v oboru malých vodních nádrží a přehrad, příslušné ČSN a TNV, zákon o vodách, vyhlášky MZE a MŽP

Jméno vedoucího bakalářské práce: doc. Ing. Ladislav Satrapa, CSc.

Datum zadání bakalářské práce: 1.3.2018

Termín odevzdání bakalářské práce: 28.5.2018

Údaj uvést 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“.

1.3.2018
Datum převzetí zadání

[Podpis studenta]
Podpis studenta(ky)

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracovala samostatně a že jsem uvedla veškeré použité informační zdroje v souladu s metodickým pokynem ČVUT 1/2009 „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.

.....

Místo zpracování, celé datum

.....

Lucie Norková

Poděkování

Ráda bych poděkovala panu doc. Ing. Ladislavu Satrapovi za vstřícné vedení mé bakalářské práce. Jeho trpělivost a rychlé reakce mi byly velkou oporou.

Mé poděkování dále patří panu Ing. Vlastimilu Krejčímu za poskytnutí podkladů a doprovod při obhlídce vodního díla Bánov-Ordějov.

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce řeší posouzení průchodu 100-leté povodňové vlny vodním dílem Bánov-Ordějov. Součástí bakalářské práce je stanovení mezní bezpečné hladiny a to především na základě výšky výběhu vlny na svah. Stanovení maximální kontrolní hladiny je provedeno na základě transformace povodňové vlny. Pro její stanovení je třeba určit měrnou křivku bezpečnostního přelivu, přes který je povodňová vlna převáděna. V závěru práce je posouzena bezpečnost vodního díla na základě vztahu mezi maximální kontrolní hladinou a mezní bezpečnou hladinou a navržena jsou případná nápravná opatření.

ABSTRACT

This bachelor thesis deals with the assessment of passage of the 100-year flood wave through Bánov-Ordějov water structure. Part of the bachelor thesis is a determination of a safe water level limit, mainly on a basis of the height of waves on a slope. Determination of the maximum flood water level will be based on flood wave transformation. A rating curve of a spillway needs to be created for this determination, through which a flood wave is transferred. Safety of the water structure will be assessed on a basis of the relationship between the maximum flood water level and the limit of safe water level at the end of the bachelor thesis. Possible remedial measures will be proposed if needed.

KLÍČOVÁ SLOVA

Bezpečnostní přeliv, požerák, měrná křivka, výška výběhu vlny na svah, povodňová vlna, mezní bezpečná hladina, kontrolní maximální hladina.

KEY WORDS

Spillway, gullet, rating curve, height of the waves on the slope, flood wave, safe water level limit, maximum flood water level.

Obsah

1. ÚVOD.....	2
2. CÍLE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE.....	2
3. ÚČEL A POPIS VODNÍHO DÍLA.....	2
4. ZHODNOCENÍ TECHNICKÉHO STAVU DÍLA.....	14
5. ZÁKLADNÍ ÚDAJE A PODKLADY.....	14
5.1. Požadovaná míra bezpečnosti vodního díla při povodni.....	14
5.2. Hydrologické podklady.....	15
5.3. Technické parametry a podklady.....	17
5.4. Okolnosti ovlivňující bezpečnost vodního díla při povodni.....	17
5.5. Hydraulické výpočty.....	18
6. STANOVENÍ MEZNÍ BEZPEČNÉ HLADINY.....	27
7. STANOVENÍ KONTROLNÍ MAXIMÁLNÍ HLADINY.....	32
8. ZÁVĚREČNÉ POSOUZENÍ.....	36
9. NÁPRAVNÁ A NOUZOVÁ OPATŘENÍ.....	37
10. ZÁVĚR.....	39
11. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	40
12. SEZNAM OBRÁZKŮ, TABULEK A ROVNIC.....	40
13. SEZNAM SAMOSTATNÝCH PŘÍLOH.....	42

1. ÚVOD

V roce 2011 došlo ke sloučení podniku Povodí Moravy se Zemědělskou vodohospodářskou správou. Pod správu Povodní Moravy tak bylo převedeno více než 7 200 km drobných vodních toků a stovky vodních děl, které dříve patřili již zmíněné Zemědělské vodohospodářské správě. [5]

Dokumentace k velké části těchto nádrží je nedostatečná nebo neodpovídá skutečnosti. Chybí historické podklady a osobní zkušenost správce s chováním nádrže. Velká část nádrží byla předána ve stavu vyžadující rekonstrukci či obnovu některých částí.

Vodní dílo Bánov-Ordějov, které bylo zvoleno pro mou bakalářskou práci, se naštěstí v takto žalostném stavu nenachází. Přesto je třeba porovnat informace uvedené v podkladech se skutečností a ověřit správnou funkci vodního díla a to především za povodňových stavů.

2. CÍLE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Cíle této bakalářské práce jsou následující:

- Vyhodnocení bezpečnosti vodního díla Bánov-Ordějov při průchodu 100-leté povodňové vlny dle normy ČSN 75 2935 a v případě potřeby navržení opatření pro zvýšení bezpečnosti tohoto vodního díla.
- Seznámení s podklady pro dané vodní dílo a to především s Manipulačním řádem pro vodní dílo Bánov-Ordějov.
- Porovnání informací nabytých při studia podkladů se skutečností a alespoň orientační ověření správnost výpočtů a závěrů z těchto informací vycházejících.
- Zhodnocení technického stavu a provozních podmínek vodního díla případně navržení opatření pro zlepšení.

3. ÚČEL A POPIS VODNÍHO DÍLA

Vodní dílo Bánov-Ordějov se nachází ve Zlínském kraji nedaleko obce Bánov na 14,447 km toku Nivnička. (číslo hydrologického pořadí 4-12-01-117). Plocha povodí potoka k profilu hráze je 14,45 km. Přehlednou situaci můžeme vidět na obrázku 3.1. Podrobnější

situace je přiložena jako příloha A. Letecký pohled na vodní dílo je zobrazen v příloze D.

[2]



Obr. 3.1: Přehledná situace [8]

Původně bylo toto vodní dílo v letech 1969 až 1971 budováno za účelem zavlažování přilehlých pozemků. Následně se ale takto nevyužívalo. V současnosti je účelem vodního díla Bánov-Ordějov především zajištění minimálních průtoků pod nádrží, snížení povodňových průtoků retenčním prostorem nádrže, sportovní rybolov a znovu obnovená funkce zajištění odběru pro závlahy. [2]

Základní údaje:

- typ nádrže: průtočná
- typ vzdouvací stavby: zemní hráz
- objem vody při max. zásobní hladině 323,60 m n. m.: 385 000 m³
- plocha hladiny při max. zásobní hladině 323,60 m n. m.: 127 000 m²
- max. hloubka vody v nádrži při max. zásobní hladině: 6,1 m
- spodní výpust: DN 600 mm
- bezpečnostní přeliv: volný, nehrazený, kašnový
- jiný odběr:
 - (původní pro závlahu – neprovozuje se)

- mobilní čerpací stanice – odběr do čerpací stanice na břehu nádrže u levobřežního zavázání hráze umožňuje odběr společnosti BISSOLO GABRIELE REP CECA, s. r. o.

Objemy a zatopené plochy jednotlivých funkčních prostorů nádrže a k nim náležící výškové kóty hladin jsou uvedeny v následujících tabulkách (Tab. 3.1, Tab. 3.2 a Tab. 3.3). Skutečné objemy a zatopené plochy se mohou od původních lišit vlivem zanášení nádrže a abraze břehů. [2]

Tab. 3.1: Prostor stálého nadržení [2]

Kóta dna nádrže	317,50 m n.m.
Hladina stálého nadržení	320,00 m n.m.
Objem prostoru stálého nadržení	48 000 m ³
Celkem	48 000 m ³
Zatopená plocha při hladině stálého nadržení	4,3 ha

Tab. 3.2: Prostor zásobní [2]

Kóta minimální hladiny zásobního prostoru	320,00 m n.m.
Kóta maximální hladiny zásobního prostoru	323,60 m n.m.
Objem zásobního prostoru	337 000 m ³
Celkem	385 000 m ³
Zatopená plocha při max. zásobní hladině	12,7 ha

Tab. 3.3: Prostor retenční neovladatelný [2]

Kóta minimální hladiny retenčního prostoru =kóta bezpečnostního přelivu	323,60 m n.m.
Kóta maximální hladiny	324,30 m n.m.
Objem neovladatelného retenčního prostoru	120 000 m ³
Celkem	505 000 m ³
Zatopená plocha při hladině na přelivu	15,6 ha

Hráz

Jedná se o půdorysně přímou homogenní zemní hráz sypanou z místních materiálů lichoběžníkového průřezu. Vzdušní líc je oset a ohumusován, stejně tak jako pochůzná koruna hráze. V patě je vybaven kamennou patkou. Ve vzdušní části základové spáry se nachází štěrkopísková filtrační vrstva tl. 400 mm. Návodní líc je ode dna po rozdělovací

lavičku na kótě 322,0 m n. m. opevněn kamenným pohozelem tl. 250 mm do šterkového lože tl. 100 mm. Pata hráze je ještě navíc stabilizována kamennou rovnatinou. Od kóty 322,0 m n. m. po korunu hráze je svah opevněn pohozelem s prolitím betonem tak jak lze vidět na obrázku 3.2. [2]



Obr. 3.2: Opevnění pohozelem s prolitím betonem

Hráz je odvodněna drenážním potrubím DN 100 mm, které ústí do odpadního koryta. Jak je vidět na obrázku 3.3, jsou v trase drénu na vzdušném líci umístěny kontrolní šachty. [2]



Obr. 3.3: Rozmístění kontrolních šachet drenážního potrubí

Základní parametry hráze:

- Kóta koruny (min.): 324,75 m n. m.
- Šířka koruny: 4,0 m
- Sklon návodního líce: 1 : 3,5, 1 : 3
- Sklon vzdušního líce: 1 : 2,5, 1 : 2
- Max. výška hráze: 7,0 m
- Délka hráze v koruně: 253,0 m
- Celková kubatura hráze: 34 000 m³

Výpustné zařízení

Na obrázku 3.4 lze vidět betonový uzavřený kombinovaný požerák (vnější rozměry 2,9 x 2,05 m s tloušťkou stěny 400 mm) s dvojitou dlužovou stěnou, který se nachází na návodním svahu při levobřežním zavázání. Jak je patrné z obrázku, je přístup k němu zajištěn 12 m dlouhou lávkou s oboustranným zábradlím. [2]



Obr. 3.4: Požerák

Šachta požeráku je rozdělena betonovou dělicí stěnou tl. 300 mm s vrchem na kótě 323,00 m n. m. Nad ní jsou umístěny v bočních zdech ocelové drážky pro osazení dluží. Vrch dlužové stěny je ve výšce 323,60 mm.

Na požeráku je umístěna vodočetná lať, ze které jsou obsluhou vodního díla odečítány dosažené stavy hladiny a v závislosti na nich pak případně vyhlašovány stupně povodňové aktivity. Vodočetnou lať můžeme vidět na obrázku 3.5. [2]



Obr. 3.5 Vodočetná lať

Přívodní i výpustné potrubí požeráku je betonové o DN 600 mm. Výpustné potrubí je zaústěno do odpadního koryta bezpečnostního přelivu, tak jak je vidět na obrázku 3.6. [2]



Obr. 3.6: Zaústění výpustného potrubí do odpadního koryta bezpečnostního přelivu

Uzávěr spodní výpusti je šoupátkový DN 600 mm a je umístěn na návodní straně dělicí stěny požerákové šachty. Ovládán je ručně z vrchu objektu. [2]

Základní údaje:

- kóta dna šachty požeráku (dna spodní výpusti): 317,15 m n.m.
- vrch šachty požeráku: 325,00 m n.m.
- výška požeráku: 7,85 m
- délka odpadního potrubí: 62 m
- kapacita spodní výpusti: 1,39 m³/s

Bezpečnostní přeliv

Bezpečnostní přeliv kašnového typu, který je zachycen na obrázku 3.7, se nachází při levobřežním zavázání hráze. Přelivná hrana se skládá ze dvou přímých úseků, každý o délce 10,6 m, a půlkruhového oblouku o poloměru 3,9 m (v ose přelivu). Přelivná hrana je z opracovaného kamene. V řezu má půlkruhový tvar o poloměru 400 mm. Zdi přelivu jsou betonové s obkladem z lomového kamene na vnitřní straně. [2]



Obr. 3.7: Bezpečnostní přeliv

Dno spadiště a skluz je opevněno kamennou dlažbou do betonu. Skluz, který je ukončen vývarem, je navíc opatřen pilovitě zalomenými žebry pro zvýšení drsnosti dna, která jsou vidět na obrázku 3.8. [2]



Obr. 3.8: Žebra pro zvýšení drsnosti

Přechod do toku je tvořen závěrným prahem s betonovými rozražeči vyobrazenými na obrázku 3.9.



Obr. 3.9: Rozražeče

Základní údaje :

- kóta hrany bezpečnostního přelivu: 323,60 m n.m.
- délka přelivné hrany: 33,5 m
- rozměry spadiště: délka 3,9, šířka 6,5 m
- šířka skluzu: 6 m
- Rozměry vývaru: hloubka 0,6 m, délka 13 m

Odběrný objekt čerpací závlahová stanice - původní

Sloužil k odběru závlahové vody čerpací stanicí závlahovou v rozsahu výškových úrovní hladin:

- max. zásobní hladina: 323,60 m n. m.
- min. zásobní hladina: 320,00 m n. m.

Odběrný objekt sestává z otevřeného přívodního koryta a betonové žlabové konstrukce, která napojuje na mokrou jímku přilehlé ČSZ. Objekt byl zprivatizován a není součástí vodní nádrže. [2]

Mobilní odběrný objekt pro závlahy - současný

Čerpací stanice je řešena jako mobilní jednotka, umístěná v areálu původní závlahové čerpací stanice. Voda je odebírána pomocí sací hadice se sacím košem. Hadice je spuštěna pod vodní hladinu v místě původního odběrného objektu. Situace odběrného objektu je uvedena jako příloha C.

Mimo vegetační období je agregát vždy demontován. [2]

Sedimentační nádrž

Přelévaná zemní hráz usazovací nádrže, která je umístěna na konci vzduť, byla vystavěna z odtěženého materiálu z prostoru zátopy. Při návodním okraji koruny je hráz stabilizována štetovou ocelovou stěnou. Opevněna je kamenným záhozem tl. 500 – 600 mm s urovnáním povrchu.

Pro vypouštění nádrže je vybudován otvor o šířce 2 m, hrazený pomocí dřevěných hranolů vsazených do U profilů. K řádnému vypuštění napomáhá příčně i podélně vyspádané dno. Břehová hrana je upravena na kótu 324,80 m n. m. Svahy nádrže jsou ve sklonu 1:3. Nivnička do této sedimentační nádrže zaústíuje kamenným skluzem.

Objem při maximální hladině normálního nadržení, která je stejně jako u hlavní nádrže na kótě 323,60 m n. m., činí 8 750 m³. Je však nutné počítat s tím, že tato hodnota se může v průběhu let měnit v důsledku zanášení. [2]

Základní údaje:

- délka hráze: 85,0 m
- šířka koruny: 3,0 m
- sklon návodního líce: 1:1,5
- sklon vzdušního (přelévaného) líce: 1:4
- kóta koruny (přelévané na délce 65 m): 323,60 m n. m.

4. ZHODNOCENÍ TECHNICKÉHO STAVU DÍLA

Vodní dílo Bánov-Ordějov se nachází technicky v dobrém stavu. Nejsou zde žádné viditelné závady ani poškozená či zanesená místa. Skutečnost odpovídá manipulačnímu řádu s jedinou neznámou, kterou je míra zanesení nádrže.

Se zvyšující se mírou zanesení nádrže dochází ke zmenšení zásobního objemu. To by v krajním případě mohlo mít za následek ohrožení jedné z hlavních funkcí nádrže a to zajištění dostatečného množství vody pro závlahy. To však v nejbližší době zjevně nehrozí.

5. ZÁKLADNÍ ÚDAJE A PODKLADY

5.1. Požadovaná míra bezpečnosti vodního díla při povodni

Vodní dílo Bánov-Ordějov je vodní dílo IV. kategorie, při jehož havárii dojde k nízkým ekonomickým škodám a pouze lokálním škodám na životním prostředí s nízkým sociálním dopadem. Ztráty na lidských životech se nepředpokládají. [1]

Pro posouzení míry bezpečnosti vodního díla tedy dle tabulky 5.1.1, která uvádí míru bezpečnosti vodního díla a pravděpodobnosti překročení kulminačního průtoku, postačí ověření průchodu 100 - leté povodňové vlny s pravděpodobností 0,01.

Tab. 5.1.1: Požadovaná míra bezpečnosti pro návrh a posuzování vodního díla [1]

Kategorie vodního díla ³⁾	Pravděpodobné škody při hypotetické havárii vodního díla	Hodnotící hlediska podle potenciálního rozsahu škod při hypotetické havárii vodního díla		Požadovaná míra bezpečnosti VD	
		Potencionální rozsah celkových škod	Uvažované ztráty lidských životů	$p = 1/N$	N (let)
I.	velmi vysoké	mimořádně vysoké ekonomické škody, škody na životním prostředí a sociální dopady v rozsahu státu	ztráty lidských životů se předpokládají	0,0001	10 000
II.	vysoké	vysoké ekonomické škody, škody na životním prostředí a sociální dopady v rozsahu regionu, případně státu	ztráty lidských životů se předpokládají	0,0001	10 000
			ztráty lidských životů jsou nepravděpodobné	0,0005	2 000
III.	střední	značné ekonomické škody, škody na životním prostředí a sociální dopady v rozsahu regionu	ztráty lidských životů se předpokládají	0,001	1 000
			ztráty lidských životů jsou nepravděpodobné	0,005	200
IV.	nízké	nízké ekonomické škody, škody na životním prostředí a sociální dopady lokálního rozsahu	předpokládají se ojedinělé ztráty lidských životů	0,005	200
			ztráty lidských životů jsou nepravděpodobné	0,01	100
			nízké ekonomické škody pouze u vlastníka VD, ostatní škody jsou nevýznamné	ztráty lidských životů jsou nepravděpodobné	0,05

5.2. Hydrologické podklady

Základní hydrologické podklady pro profil hráze vodního díla Bánov-Ordějov na toku Nivnička byly převzaty z Manipulačního řádu pro vodní dílo Bánov-Ordějov.

Hydrologické číslo povodí:		4-13-01-117
Plocha povodí:	1	4,45 km ²
Průměrná roční výška srážek na povodí:		772 mm
Průměrný roční průtok:		0,108 m ³ /s

M-denní průtoky, převzaté taktéž z Manipulačního řádu pro vodní dílo Bánov-Ordějov můžeme vidět v tabulce 5.2.1.

Tab. 5.2.1: M-denní průtoky v profilu hráze VD Bánov-Ordějov [2]

Dnů v roce	30	90	180	270	355	364
Q [l.s ⁻¹]	235	112	56	31	9	4

V tabulce 5.2.2, můžeme vidět N-leté průtoky a v tabulce 5.2.3 k nim odpovídající objemy, tak jak jsou uvedeny v Manipulačního řádu pro vodní dílo Bánov-Ordějov. Tyto údaje zpracoval Ing. Kotrnec v roce 2001.

Tab. 5.2.2: N-leté průtoky v profilu hráze VD Bánov-Ordějov z roku 2001[2]

Roků	1	2	5	10	20	50	100	200	500	1000
Q [m ³ .s ⁻¹]	3,2	5,5	9,5	13,5	18,5	26	33	41	53	64

Tab. 5.2.3: Objemy N-letých povodní v profilu hráze VD Bánov-Ordějov z roku 2001 [2]

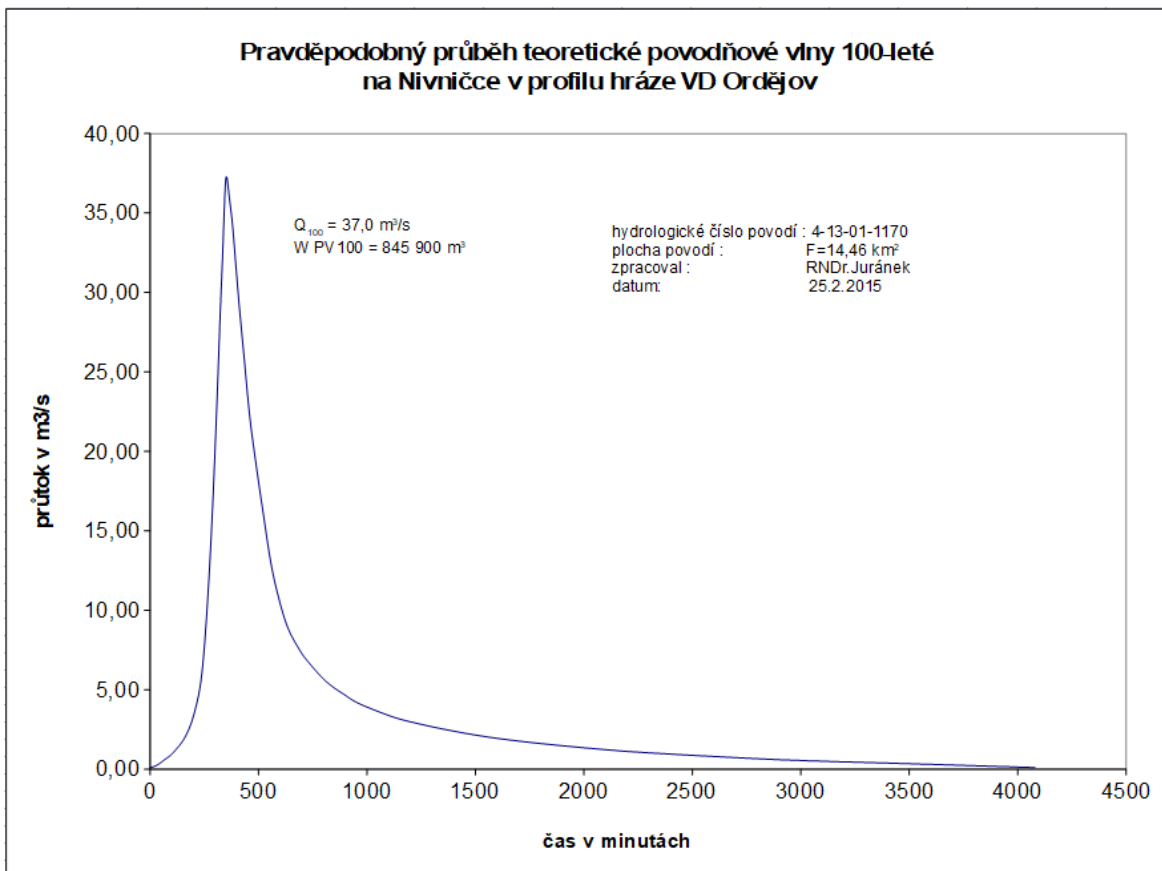
Roků	1	2	5	10	20	50	100	200	500	1000
WPVn [mil. m ³]	0,16	0,28	0,39	0,51	0,63	0,82	0,95	1,10	1,30	1,45

Pro posouzení průchodu povodňové vlny však byly uvažovány hodnoty novější, které jsou uvedeny v tabulce 5.2.4. Tyto hodnoty byly zjištěny na základě hodnot z pravděpodobných průběhů teoretických povodňových vlny na Nivniče, které vypracoval RNDr. Juránek v roce 2015.

Tab. 5.2.4: N-leté průtoky a k nim odpovídající objemy v profilu hráze VD Bánov-Ordějov z roku 2015

Roků	1	2	5	10	20	50	100
Q [m ³ /s]	3.2	5.4	9.7	14.0	19.5	28.6	37.0
WPVn [mil. m ³]	0.1	0.16	0.26	0.35	0.47	0.67	0.85

Dalším nezbytným hydrologickým podkladem je pravděpodobný průběh teoretické 100-leté povodňové vlny. Ten byl zpracován, jak již bylo řečeno výše, v roce 2015 panem RNDr. Juránkem. Průběh je vyobrazen na obrázku 5.2.1.



Obr. 5.2.1: Pravděpodobný průběh teoretické 100-leté povodňové vlny

5.3. Technické parametry a podklady

Technické parametry, které byly získány z Manipulačního řádu pro vodní dílo Bánov-Ordějov z roku 2012, jsou uvedeny v kapitole 3 ÚČEL A POPIS VODNÍHO DÍLA. Ostatní výkresové podklady jsou uvedeny jako samostatné přílohy. Jejich soulad se skutečností byl posouzen osobní rekognoskací vodního díla a jeho okolí, během které nebyly zjištěny žádné významnější odchylky.

5.4. Okolnosti ovlivňující bezpečnost vodního díla při povodni

Vodní dílo Bánov-Ordějov není zapojeno do systému hlášené a předpovědní služby. Proto je obsluha vodního díla povinna předávat hlášení o dosažených stavech hladin v nádrži a odtocích v intervalech podle dosaženého stupně povodňové aktivity. Při I. stupni

povodňové aktivity 1 x denně, při II. stupni povodňové aktivity 4 x denně a při III. stupni povodňové aktivity 1 x za hodinu. [1]

Déle je obsluha vodního díla povinna odstraňovat plaveniny, případně ledy, všemi dostupnými prostředky a bránit tak snížení kapacity bezpečnostního přelivu.

Neméně důležité je sledovat jevy signalizující přímé nebezpečí poruchy hráze, jako jsou například soustředěný vývěr vody ze vzdušního svahu či paty hráze, jehož výtokové množství se zvětšuje a je doprovázeno vynášením zemního materiálu, sesuvy vzdušního nebo návodního svahu či poklesy na koruně hráze. Tyto jevy je třeba co nejdříve ohlásit a včas na ně reagovat. [1]

Nejdůležitějším faktorem ovlivňujícím bezpečnost vodního díla je tedy včasná reakce na vzniklou událost, která je přímo závislá na pravidelných a častých pochůzkách obsluhy vodního díla.

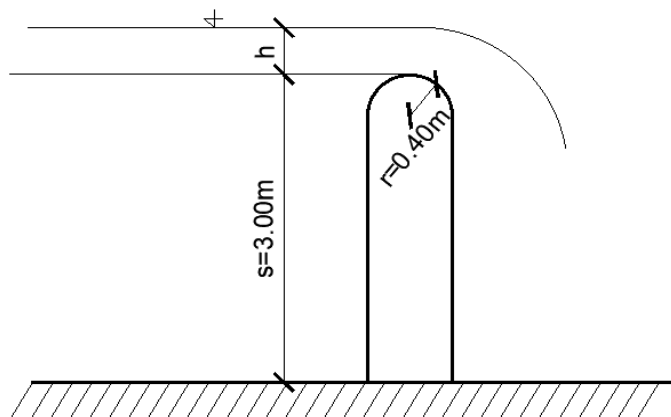
5.5. Hydraulické výpočty

Pro posouzení bezpečnosti vodního díla při povodni je uvažován pouze převod vody přes bezpečnostní přeliv. Měrná křivka bude tedy spočtena a graficky znázorněna pouze pro bezpečnostní přeliv nikoliv i pro spodní výpust, která pro převádění bezpečnostních průtoků neslouží.

Orientačně bude posouzena i kapacita odpadního koryta.

Měrná křivka bezpečnostního přelivu

Rozměry bezpečnostního přelivu jsou patrné z obrázku 5.5.1, na jehož základě je pro výpočet měrné křivky vybrán přepad přes přeliv se zaoblenou korunou.



Obr. 5.5.1: Schématický řez bezpečnostního přelivu

Jelikož se jedná o nádrž, je pro výpočet uvažována nulová přítoková rychlost. Přeliv je dále uvažován jako dokonalý tedy nezatopený bez vlivu dolní vody. Výpočet bude proveden dle rovnice 5.5.1.

$$Q = \frac{2}{3} * \mu * b_0 * \sqrt{2 * g * h_0^3}$$

Rce. 5.5.1: Rovnice přepadu

Kde μ - součinitel přepadu [-]
 b_0 – účinná šířka [m]
 g – tíhové zrychlení [m/s²]
 h – výška přepadového paprsku [m]

Pro výpočet součinitele přepadu μ je využit vzorec pro jezové přelivy se zaoblenou korunou dle Kramera 5.5.2.

$$\mu = 1,02 - \frac{1,015}{\frac{h}{r} + 2,08} + [0,04 * (\frac{h}{r} + 0,19)^2 + 0,0223] * (\frac{r}{s})$$

Rce. 5.5.2: Součinitel přepadu dle Kramera [3]

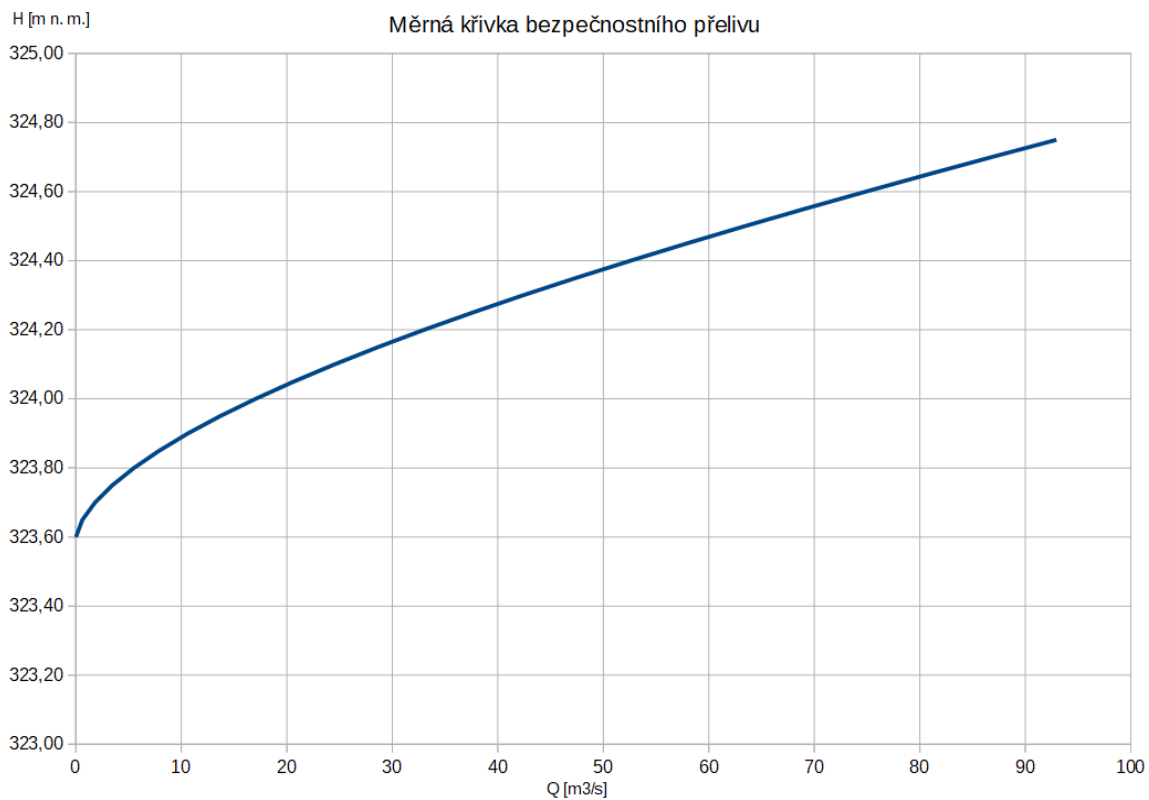
Kde h – výška přepadového paprsku [m]
 r – poloměr zaoblení koruny přelivu [m]
 s – výška přelivu v horní vodě [m]

Výška přelivu v horní vodě s byla odhadnuta z podélného profilu hráze, který je přílohou Manipulačního řádu pro vodní dílo Bánov-Ordějov (viz příloha B), jako $s = 3$ m. Vzhledem k tomu, že není známa mohutnost zanesení nádrže, není stanovena přesná hodnota výšky přelivu. Jde tedy pouze o orientační hodnotu, která je však pro stanovení měrné křivky dostačující. Hodnota gravitačního zrychlení je uvažována $g = 9,81$ m/s². Hodnota účinné šířky je uvažována konstatní a rovná celé šířce bezpečnostního přelivu $b = b_0 = 33,5$ m. Poloměr zaoblení koruny přelivu je $r = 0,4$ m.

Výsledky výpočtů jsem znázorněny v tabulce 5.5.1, jejich grafickou podobu pak nalezneme na obrázku 5.5.2.

Tab. 5.5.1: Měrná křivka bezpečnostního přelivu

h [m]	μ [-]	H [m n. m.]	Q [m ³ /s]
0,00	0,53	323,60	0,00
0,05	0,56	323,65	0,61
0,10	0,58	323,70	1,82
0,15	0,60	323,75	3,46
0,20	0,62	323,80	5,49
0,25	0,64	323,85	7,89
0,30	0,65	323,90	10,62
0,35	0,67	323,95	13,67
0,40	0,68	324,00	17,01
0,45	0,69	324,05	20,63
0,50	0,70	324,10	24,52
0,55	0,71	324,15	28,65
0,60	0,72	324,20	33,02
0,65	0,73	324,25	37,60
0,70	0,73	324,30	42,40
0,75	0,74	324,35	47,39
0,80	0,74	324,40	52,56
0,85	0,75	324,45	57,90
0,90	0,75	324,50	63,41
0,95	0,75	324,55	69,06
1,00	0,76	324,60	74,85
1,05	0,76	324,65	80,77
1,10	0,76	324,70	86,81
1,15	0,76	324,75	92,96



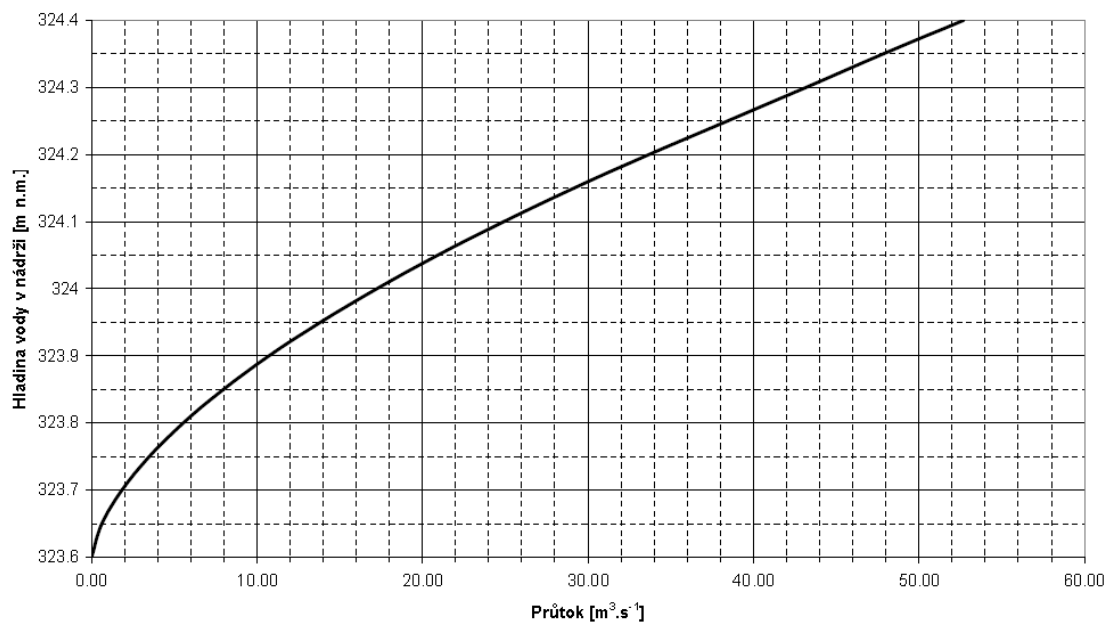
Obr. 5.5.2: Měrná křivka bezpečnostního přelivu

Pro porovnání je přiložena tabulka 5.5.2 a obrázek 5.5.3, které znázorňují konšumpční křivku převzatou z Manipulačního řádu pro vodní dílo Bánov-Ordějov vydanou v prosinci 2006 pracovištěm Brno VODNÍ DÍLA – TBD.

Tab. 5.5.2: Měrná křivka bezpečnostního přelivu dle manipulačního řádu [2]

h	H	μ	bo	Q
[m]	[m n.m.]		[m]	[m ³ .s ⁻¹]
0	323.6		33.5	0.00
0.05	323.65	0.55968	33.485	0.62
0.1	323.7	0.58438	33.47	1.83
0.15	323.75	0.60656	33.455	3.48
0.2	323.8	0.62659	33.44	5.53
0.25	323.85	0.64477	33.425	7.96
0.3	323.9	0.66134	33.41	10.72
0.35	323.95	0.67651	33.395	13.81
0.4	324	0.69045	33.38	17.22
0.45	324.05	0.70331	33.365	20.92
0.5	324.1	0.7152	33.35	24.90
0.55	324.15	0.72622	33.335	29.16
0.6	324.2	0.73648	33.32	33.68
0.65	324.25	0.74605	33.305	38.45
0.7	324.3	0.75	33.29	43.18
0.75	324.35	0.75	33.275	47.87
0.8	324.4	0.75	33.26	52.71

Měrná křivka bezpečnostního přelivu



Obr. 5.5.3: Měrná křivka bezpečnostního přelivu dle manipulačního řádu [2]

Pro další výpočty bude použita měrná křivka, která byla stanovena v rámci této bakalářské práce.

Kapacita odpadního koryta

Vzhledem k absenci výkresové dokumentace odpadního koryta od bezpečnostního přelivu byla hloubka skluzu i spadiště určena pouze odhadem při osobní prohlídce vodního díla. Hloubka koryta spadiště je $y_{sp} = 2,5$ m. Hloubka koryta skluzu $y_{sk} = 1,5$ m. Šířka koryta je převzata z manipulačního řádu a je po celé délce odpadního koryta rovna $b = 6,5$ m. Sklon byl určen z Přehledného podélného profilu nádrže Ordějov (viz příloha B). Ani zde se však nejedná o přesnou hodnotu. V případě spadiště byla hodnota podélného sklonu určena jako $i_{sp} = 0,4$ %. Pro skluz je $i_{sk} = 4$ %.

Pro výpočet kapacity koryta je užito Chézyho rovnice 5.5.3.

$$v = C \sqrt{R * i}$$

Rce. 5.5.3: Chézyho rovnice [7]

kde v – rychlost proudění
 i – sklon čáry energie, který je pro zjednodušení uvažován roven podélnému sklonu dna koryta [%]
 R – hydraulický poloměr (poměr mezi průtočnou plochou a omočeným obvodem) [m]
 C – Chézyho rychlostní součinitel [$m^{0.5}/s$]

Chézyho rychlostní součinitel lze vypočítat například podle vzorce dle Manninga 5.5.4.

$$C = \frac{1}{n} * R^{\frac{1}{6}}$$

Rce. 5.5.4: Chézyho rychlostní součinitel [7]

- kde
- C – Chézyho rychlostní součinitel [$m^{0.5}/s$]
 - R – hydraulický poloměr (poměr mezi průtočnou plochou a omočeným obvodem) [m]
 - n – Manningův součinitel drsnosti

Manningův součinitel drsnosti je určen podle Cowanovy procedury, kde se hodnota součinitele drsnosti vypočítá dle rovnice 5.5.5.

$$n = (n_0 + n_1 + n_2 + n_3 + n_4) * m_5$$

Rce. 5.5.5: Výpočet součinitele drsnosti dle Cowanovy procedury [7]

- kde
- n -Manningův součinitel drsnosti [-]
 - n_0 – bazální hodnota pro přímé, pravidelné, hladké koryto daného materiálu [-]
 - n_1 – hodnota zohledňující vliv nerovností povrchu [-]
 - n_2 – hodnota zohledňující tvar a velikost příčného profilu [-]
 - n_3 – hodnota zohledňující překážky [-]
 - n_4 – hodnota zohledňující vliv vegetace a poměrů proudění [-]
 - m_5 – hodnota zohledňující zakřivení koryta [-]

Hodnoty těchto součinitelů se určí z tabulky 5.5.3.

Tab. 5.5.3: Hodnoty dílčích součinitelů drsnosti podle Cowana [7]

Charakteristika koryta		Hodnota	
Materiál	zemní	n_0	0,020
	ve skále		0,025
	jemný štěrk		0,024
	hrubý štěrk		0,028
Stupeň nepravidelnosti povrchu	hladký	n_1	0,000
	malý		0,005
	střední		0,010
	velký		0,020
Změny příčného průřezu	pozvolné	n_2	0,000
	příležitostné		0,005
	časté		0,010–0,015
Relativní vliv překážek	zanedbatelný	n_3	0,000
	malý		0,010–0,015
	citelný		0,020–0,030
	velký		0,040–0,060
Vliv vegetace	nízký	n_4	0,005–0,010
	střední		0,010–0,025
	velký		0,025–0,050
	velmi značný		0,050–0,100
Stupeň zakřivení	malý	m_5	1,00
	citelný		1,15
	velký		1,30

Pro skluz i spadiště jsou součinitele n_0 , n_1 , n_2 a n_4 uvažovány schodné.

Součinitel n_0 je stanoven jako $n_0 = 0,020$. Tato hodnota je srovnatelná s hodnotou součinitele drsnosti pro otevřená koryta podle Chowa pro otevřené opevněné kanály s upraveným betonovým dnem a svahy z lomového kamene na maltu a proto byla zvolena přestože materiál koryta není zemní ale betonový se svahy opevněnými kamennou dlažbou do betonu.

Stupeň nepravidelnosti povrchu n_1 je uvažován jako hladký a tedy $n_1 = 0,000$. Na daném úseku nedochází k významným změnám příčného profilu a součinitel n_2 je tedy uvažován jako $n_2 = 0,000$. Vliv vegetace je nízký a tedy $n_4 = 0,005$.

Pro spadiště je relativní vliv překážek zanedbatelný a tedy $n_3 = 0,000$. Stupeň zakřivení je malý a je určen jako $m_5 = 1$.

Pro skluz je pak relativní vliv překážek n_3 určen jako citelný a tedy $n_3 = 0,02$ a stejně tak stupeň zakřivení je citelný a je tedy $m_5 = 1,15$.

Po dosazení součinitelů do rovnice 5.5.5 je pak Manningův součinitel drsnosti pro spadiště roven $n_{sp} = 0,025$ a pro skluz $n_{sk} = 0,05$. Po dosazení těchto hodnot do rovnice pro výpočet Chézyho rychlostního součinitele 5.5.4 a následně do Chézyho rovnice 5.5.3 dostáváme v korytě spadiště rychlost proudění $v_{sp} = 3,19$ m/s, což odpovídá průtoku $Q_{sp} = 51,76$ m³/s. V korytě skluzu pak dostáváme rychlost proudění $v_{sk} = 3,96$, což odpovídá průtoku $Q_{sk} = 38,63$ m³/s.

Obě části odpadního koryta jsou tedy dostatečně kapacitní pro průchod 100-leté povodňové vlny která má hodnotu $Q_{100} = 37,0$ m³/s. Kinetická energie vody je následně utlumena ve vývaru o stejné šířce jako je celé odpadní koryto $b = 6,5$ m a hloubce ještě o 0,9 m prohloubené oproti skluzu tedy $y_v = 2,4$ m. Následně je odpadní koryto napojeno do toku říčky Nivničky.

6. STANOVENÍ MEZNÍ BEZPEČNÉ HLADINY

Mezní bezpečná hladina se stanoví jako nejvyšší hladina v nádrži, při jejímž překročení začíná být aktuální nebezpečí poruchy a havarie vodního díla. [1]

Vzhledem k tomu že se jedná o homogenní sypanou hráz z místních materiálů je nejpravděpodobnější příčinou protržení hráze za povodně povrchová eroze při přelití hráze. Mezní bezpečná hladina tedy vychází z kóty koruny hráze 324,75 m n. m. Po zhodnocení stavu a stáří hráze, zvážení odolnosti opevnění koruny hráze a vzdušního líce při přelití a především zvážení účinku větrových vln je stanovena mezní bezpečná hladina nižší než je kóta koruny hráze.

Pro stanovení této kóty je využito výpočtů dle normy ČSN 75 0255 Výpočet účinků vln na stavby na vodních nádržích a zdržích. Výsledek je následně zaokrouhlen tak, aby bylo vzato v úvahu nepříliš odolné travní opevnění koruny hráze a vzdušního líce.

Nejprve podle účelu volíme pravděpodobnost překročení výšky vlny. V našem případě jde o výpočet zatížení stavebních konstrukcí a objektů a pravděpodobnost je tedy volena 13%.

Pro určení charakteristické výšky vlny a následně výšky výběhu vlnu je zapotřebí nejprve určit návrhovou rychlost větru w_{10v} . Podle významu stavby volíme pravděpodobnost překročení návrhové rychlosti 1%. Této pravděpodobnosti odpovídá průměrná rychlost větru ve výšce 10 m nad zemí za dobu trvání 1 až 2 hodiny $w_{10z} = 25$ m/s. Návrhová rychlost se určí ze vzorce 6.1.

$$w_{10v} = k * w_{10z}$$

Rce. 6.1: Výpočet návrhové rychlosti [4]

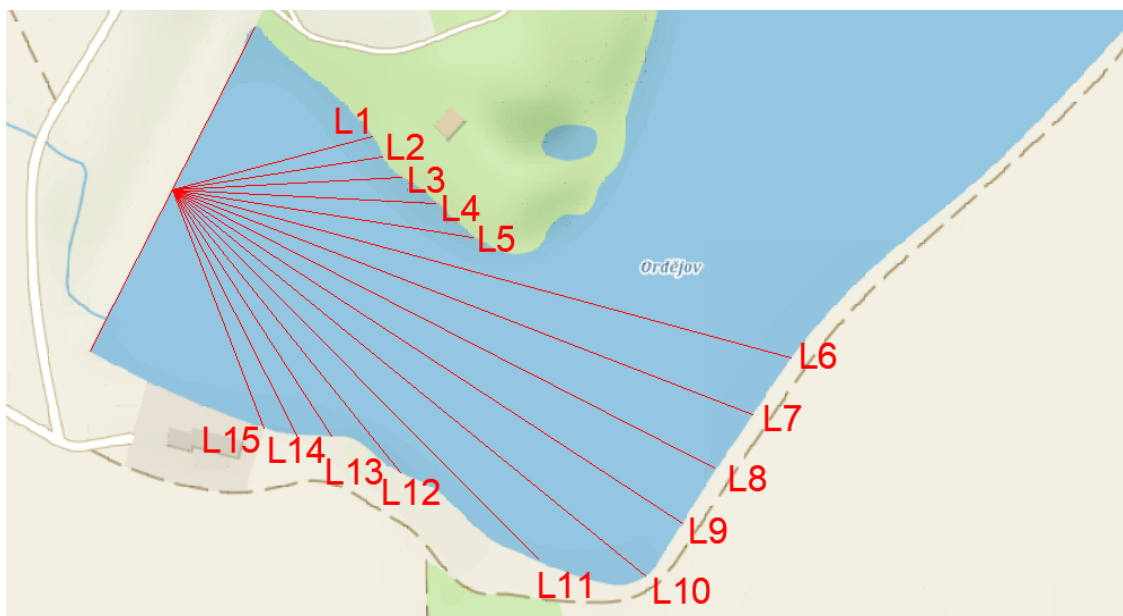
kde w_{10v} - návrhová rychlost větru

w_{10z} - průměrná rychlost ve výšce 10 m nad zemí

k - součinitel zohledňující efektivní délku rozběhu vlny

Pro určení koeficientu k je tedy třeba nejprve vypočítat efektivní délku rozběhu vlny L_{ef} . Pro tu se předpokládá, že vítr přenáší energii na hladinu vody ve všech směrech v rozpětí 90° s osou shodnou s hlavním směrem větru. Efektivní délka rozběhu větru L_{ef} se pak stanoví z 15 radiál vedených zkoumaným bodem tak, že střední radiála je totožná s hlavním směrem větru a sedm radiál po její každé straně se kreslí v intervalech po 6° (tedy až do úhlu 42°) až k protějšímu břehu. [4]

Toto schéma pro výpočet efektivní délky rozběhu vlny je zobrazeno na obrázku 6.1.



Obr. 6.1: Schéma umístění radiál [8]

Délky jednotlivých radiál a k nim odpovídající úhly jsou patrné z tabulky 6.1.

Tab. 6.1: Délky radiál a k nim odpovídající úhly

	φ [°]	L_i
L1	42	121
L2	36	124,3
L3	30	134,5
L4	24	154,2
L5	18	178,2
L6	12	375,3
L7	6	364,0
L8	0	356,4
L9	6	356,4
L10	12	356,4
L11	18	303,2
L12	24	212,1
L13	30	171,2
L14	36	161,5
L15	42	149,1

Efektivní délka rozběhu vlny je pak spočtena podle vzorce 6.2.

$$L_{ef} = \frac{\sum L_i * \cos^2 \varphi_i}{\sum \cos \varphi_i}$$

Rce. 6.2: Výpočet efektivní délky rozběhu vlny [4]

kde L_i - délka i-té radiály [m]

φ_i - úhel, který svírá i-tá radiála s hlavním směrem větru [°]

Hodnota efektivní délky rozběhu vlny L_{ef} je tedy výše uvedeným postupem stanovena na $L_{ef} = 227,7$ m. Dle tabulky 6.2 má pak koeficient hodnotu $k = 1,08$.

Použitím vzorce 6.1 dostaneme návrhovou rychlost větru $w_{10v} = 27$ m/s.

Tab. 6.2: Stanovení koeficientu k [4]

$L_{ef}(10^3\text{m})$	0,8	1	2	3	4	5	6	7	≥ 8
k	1,08	1,10	1,15	1,20	1,23	1,26	1,28	1,29	1,30

Podle grafu na obrázku 3 a na obrázku 4 normy ČSN 75 0255 jsou na základě návrhové rychlosti a efektivní délce rozběhu vlny určeny charakteristická výška vlny v hlubokém pásmu H_{oc} a perioda vlny v hlubokém pásmu T_{oc} .

$$H_{oc} = 0,4 \text{ m}$$

$$T_{oc} = 2,1 \text{ s}$$

Ze vzorce 6.3 je určena délka postupové vlny v hlubokém pásmu $\lambda_{oc} = 6,7$ m a ze vzorce 6.4 pak postupová rychlost vlny v hlubokém pásmu $c_{oc} = 3,24$ m/s

$$\lambda_{oc} = 1,55 * T_{oc}^2$$

Rce. 6.3: Výpočet délky postupové vlny [4]

$$c_{oc} = 1,25 * \sqrt{\lambda_{oc}}$$

Rce. 6.4: Výpočet postupové rychlosti vlny [4]

kde T_{oc} - perioda vlny v hlubokém pásmu
 λ_{oc} - délka postupové vlny v hlubokém pásmu

Z podmínky 6.5, která je v případě, že $H = 6,1$ m a $\lambda_{oc} = 6,7$ m splněna, lze vyvodit, že se jedná o hlubokou nádrž, kde dno neovlivňuje tvar a rozměry vln a výpočet tedy již není třeba upravovat.

$$H > 0,5 * \lambda_{oc}$$

Rce. 6.5: Podmínka pro hluboké pásmo [4]

Vzhledem k tomu, že sklon návodního líce je v místě výběhu vlny 1:3, je výpočet výběhu vlny proveden podle postupu pro svahy se sklonem plošším než 1:1. Při výpočtu se tedy vychází s výšky vlny s pravděpodobností překročení 1%. Pro přepočítání z výšky vlny s pravděpodobností 13%, která byla určena výše, využijeme koeficient k_p , který určíme z tabulky 6.3.

Tab. 6.3: Stanovení koeficientu k_p [4]

Pravděpodobnost překročení %	1	2	5	10	13
Součinitel k_p	1,4	1,28	1,17	1,05	1

Koeficient má tedy hodnoty $k_p = 1,4$. Po přenásobení charakteristické výšky vlny v hlubokém pásmu h_{oc} tímto koeficientem dostáváme výšku vlny s pravděpodobností překročení 1% $h_{1\%} = 0,6$ m.

Výška výběhu vlny na svah $h_{v1\%}$ se určí ze vzorce 6.6.

$$h_{v1\%} = k_d * k_p * h_{1\%}$$

Rce. 6.6: Výpočet výběhu vlny [4]

kde k_d - součinitel zohledňující materiál opevnění
 k_p - součinitel dle obrázku 11 z normy ČSN 75 0255
 $h_{1\%}$ - výška vlny s pravděpodobností překročení 1%

Součinitel k_d je určen dle tabulky 7 z normy ČSN 75 0255 jako $k_d = 0,8$, což odpovídá dlažbě z kamene případně opevnění prolévané makadamem. Součinitel k_p je určen na základě grafu z obrázku 11 z normy ČSN 75 0255, jako $k_p = 2,17$.

Výška výběhu vlny se tedy rovná $h_{v1\%} = 1,0$ m.

Na závěr je třeba výšku výběhu vlny s pravděpodobností 1% přepočítat na výšku výběhu vlny s pravděpodobností 13%. Pro přepočet bude využit koeficient k_i , který byl odečten z tabulky 6.4.

Tab. 6.4: Stanovení koeficientu k_i [4]

Pravděpodobnost překročení výšky výběhu i %	0,1	1	2	5	10	13	30	50
k_i	1,1	1	0,96	0,91	0,86	0,85	0,76	0,68

Pro požadovanou pravděpodobnost $i = 13\%$ je tedy koeficient roven $k_i = 0,85$. Po přenásobení výšky výběhu vlny s pravděpodobností 1% $h_{v1\%}$ tímto koeficientem dostáváme výšku výběhu vlny s pravděpodobností 13% $h_{v13\%} = 0,9$ m.

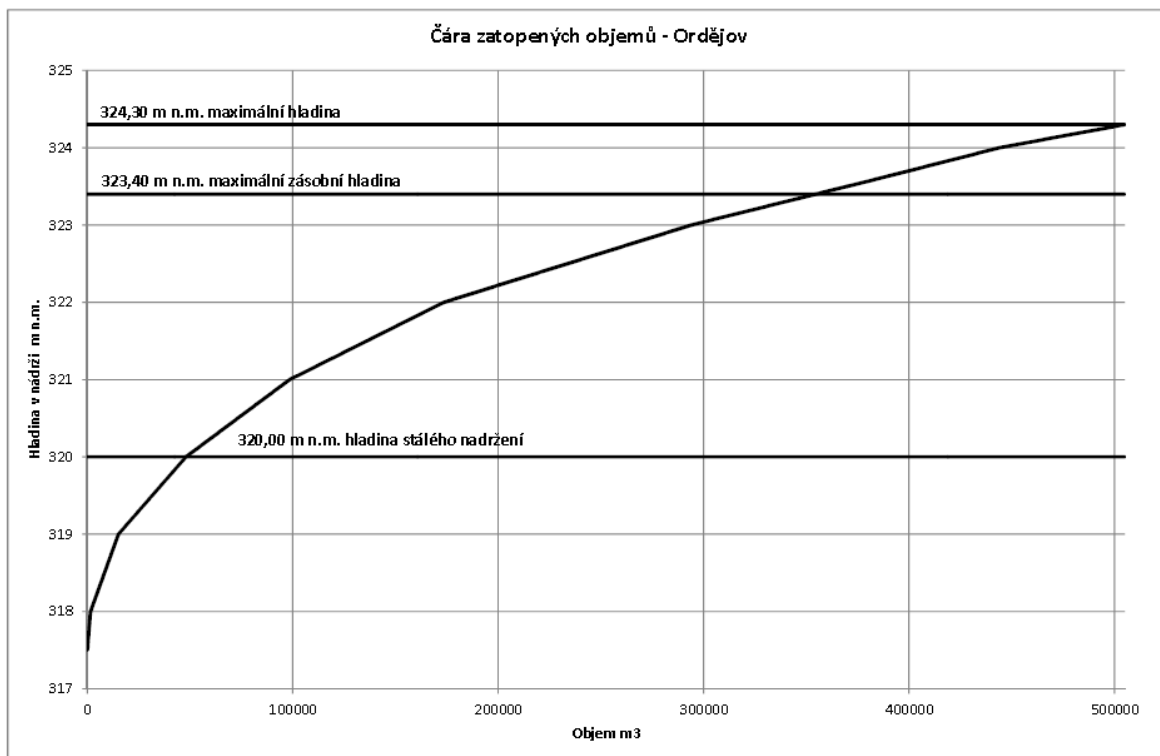
Po odečtení této hodnoty od kóty koruny hráze 324,75 m n. m dostáváme kótu 323,85 m n. m. Při uvážení nepříliš odolného travního opevnění hráze a vzdušního líce je tato kóta snížena o dalších 0,10 m.

Kóta mezní bezpečné hladiny je tedy stanovena na 323,75 m n. m.

7. STANOVENÍ KONTROLNÍ MAXIMÁLNÍ HLADINY

Kontrolní maximální hladina při povodni se stanoví řešením úlohy transformace povodňové vlny retenčním účinkem nádrže. [1]

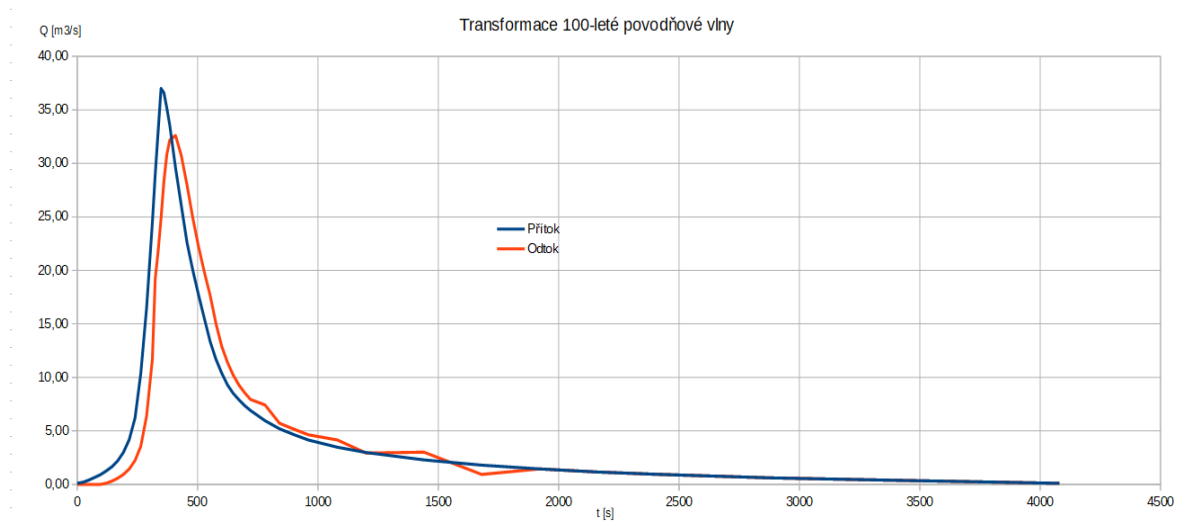
Pro výpočet se vychází z charakteristických čar nádrže, především z čar zatopených objemů, která jsou přílohou Manipulačního řádu pro vodní dílo Bánov-Ordějov, viz obrázek 7.1, měrné křivky bezpečnostního přelivu spočtené v kapitole 5.5 Hydraulické výpočty a průběhu 100-leté povodňové vlny zobrazeném na obrázku Obr. 5.2.1. [6]



Obr. 7.1: Čára zatopených objemů [2]

Při výpočtu transformace povodňové vlny je uvažován nejnepříznivější případ, kdy hladina před příchodem povodňové vlny dosahuje kóty maximální hladiny zásobního prostoru 323,60 m n. m. Tato kóta je zároveň i kótou bezpečnostního přelivu. Při dosažení této kóty dojde k uzavření spodní výpusti a povodňový průtok je převáděn pouze bezpečnostním přelivem.

Na obrázku 7.2 je vidět transformační účinek vodního díla Bánov-Ordějov.



Obr. 7.2: Transformace povodňové vlny

Tabelární podobu výpočtu transformace 100-leté povodňové vlny můžeme vidět v tabulce 7.1.

Tab. 7.1: Transformace 100-leté povodňové vlny

t	Q_0	ΔV_0	V_1	H	Q_1	ΔV_1	ΔV	V_2
[min]	[m ³ /s]	[m ³]	[m ³]	[m n. m.]	[m ³ /s]	[m ³]	[m ³]	[m ³]
0	0,10	0	385 000	323,60	0,00	0	0	385000
24	0,20	288	385 000	323,60	0,00	0	288	385288
48	0,40	576	385 288	323,60	0,00	0	576	385864
72	0,65	936	385 864	323,61	0,00	0	936	386800
96	0,90	1 296	386 800	323,61	0,00	0	1 296	388096
120	1,25	1 800	388 096	323,62	0,10	151	1 649	389745
144	1,65	2 376	389 745	323,63	0,31	444	1 932	391677
168	2,20	3 168	391 677	323,65	0,57	826	2 342	394019
192	3,00	4 320	394 019	323,66	0,93	1 343	2 977	396997
216	4,20	6 048	396 997	323,68	1,45	2 084	3 964	400960
240	6,20	8 928	400 960	323,71	2,23	3 216	5 712	406673
264	10,40	14 976	406 673	323,75	3,56	5 130	9 846	416518
288	16,50	23 760	416 518	323,82	6,38	9 188	14 572	431091
312	24,50	35 280	431 091	323,92	11,70	16 851	18 429	449520
324	29,00	20 880	449 520	324,03	19,23	13 843	7 037	456557
336	33,00	23 760	456 557	324,07	21,77	15 672	8 088	464644
348	37,00	26 640	464 644	324,10	24,84	17 885	8 755	473400
360	36,60	26 352	473 400	324,15	28,34	20 407	5 945	479344
372	35,20	25 344	479 344	324,18	30,82	22 192	3 152	482496
384	33,60	24 192	482 496	324,19	32,17	23 161	1 031	483527
408	29,60	42 624	483 527	324,20	32,61	46 963	-4 339	479188
432	26,10	37 584	479 188	324,18	30,76	44 289	-6 705	472483
456	22,60	32 544	472 483	324,14	27,97	40 275	-7 731	464753
480	20,00	28 800	464 753	324,11	24,88	35 831	-7 031	457722
504	17,70	25 488	457 722	324,07	22,20	31 968	-6 480	451242
528	15,50	22 320	451 242	324,04	19,84	28 565	-6 245	444997
552	13,35	19 224	444 997	324,01	17,66	25 433	-6 209	438789
576	11,70	16 848	438 789	323,97	15,03	21 646	-4 798	433991
600	10,40	14 976	433 991	323,94	12,92	18 599	-3 623	430368
624	9,30	13 392	430 368	323,91	11,41	16 426	-3 034	427334
648	8,50	12 240	427 334	323,89	10,20	14 694	-2 454	424880
672	7,90	11 376	424 880	323,88	9,27	13 352	-1 976	422904
696	7,35	10 584	422 904	323,86	8,55	12 310	-1 726	421178
720	6,90	9 936	421 178	323,85	7,94	11 429	-1 493	419685
780	5,95	21 420	419 685	323,84	7,42	26 722	-5 302	414383
840	5,20	18 720	414 383	323,80	5,71	20 570	-1 850	412532
900	4,65	16 740	412 532	323,79	5,16	18 580	-1 840	410692
960	4,15	14 940	410 692	323,78	4,63	16 683	-1 743	408950
1080	3,48	25 056	408 950	323,77	4,16	29 923	-4 867	404082
1200	2,98	21 456	404 082	323,73	2,93	21 106	350	404432
1440	2,29	32 976	404 432	323,73	3,01	43 401	-10 425	394007
1680	1,80	25 920	394 007	323,66	0,93	13 399	12 521	406528
1920	1,45	20 880	406 528	323,75	1,45	20 880	0	385000
2160	1,16	16 704	385 000	323,60	1,16	16 704	0	385000
2400	0,95	13 680	385 000	323,60	0,95	13 680	0	385000
2880	0,61	17 568	385 000	323,60	0,61	17 568	0	385000
3360	0,40	11 520	385 000	323,60	0,40	11 520	0	385000
4080	0,10	4 320	385 000	323,60	0,10	4 320	0	385000

kde

- t – čas [min]
- Q_p – přítok [m^3/s]
- ΔV_p – změna objemu způsobená přítokem [m^3]
- V_1 – objem na začátku časového intervalu [m^3]
- H – výška vody v nádrži [m n. m.]
- Q_o – odtok [m^3/s]
- ΔV_o – změna objemu odtokem [m^3]
- ΔV – celková změna objemu [m^3]
- V_2 – objem na konci intervalu [m^3]

Rozkolísanost odtokové křivky v její druhé části je způsobena příliš velkým časovým intervalem mezi jednotlivými kroky výpočtu. Zatímco od první minuty křivky je uvažován časový interval 16 minut, počínaje minutou 720 je uvažován interval 40 minut. Tím dochází ke skokovým změnám. Pro vyhlazení křivky by bylo třeba snížit časový interval mezi jednotlivými kroky. K tomu však nejsou dostatečně přesné podklady.

Vlivem transformačního účinku je kulminační průtok z 37 m^3/s snížen na 32,6 m^3/s . Tohoto odtoku je dosaženo na kótě 324,20 m n. m.

Pro zachycení vod z jarního tání a letních přívalových srážek, případně v období vytrvalých dešťů, je možné provést předpuštění na kótu hladiny 323,00 m n. m. Předpuštění se provádí otevřením spodní výpusti na maximální průtok 1,39 m^3/s . Takto vznikne ovladatelný retenční prostor o objemu 111 000 m^3 . [2]

Při průchodu povodňové vlny je pak voda nejprve vypouštěna spodní výpustí a to až do kóty hladiny 323,60. V tuto chvíli začíná voda přepadat přes přeliv a spodní výpust je plynule uzavřena. Dále je voda odváděna pouze bezpečnostním přepadem. K manipulaci spodní výpustí dochází ručně. [2]

Po opětovném poklesu hladiny pod kótu 323,60 m n. m. je spodní výpust opět uvedena do provozu a je vypouštěn minimální průtok 9 l/s. [2]

Při vhodném načasování takovéto manipulace může dojít ještě k většímu snížení kulminačního průtoku. Pro stanovení maximální kontrolní hladiny je však vhodnější využít nejnepříznivější situace a předvypouštění tedy neuvažovat.

Maximální kontrolní hladina je tedy stanovena na kótu 324,20 m n. m.

8. ZÁVĚREČNÉ POSOUZENÍ

Vodní dílo se považuje za bezpečné při převádění povodňové vlny v případě, že je kóta maximální kontrolní hladiny niž než kóta mezní bezpečné kladiny.[1]

Na základě této bakalářské práce byla maximální kontrolní hladina stanovena na kótu 324,20 m n. m. a mezní bezpečná hladina na kótu 323,75 m n. m. Výše uvedená podmínka tedy není splněna a vodní dílo Bánov-Ordějov nelze považovat při provedení 100-leté povodně za zcela bezpečné.

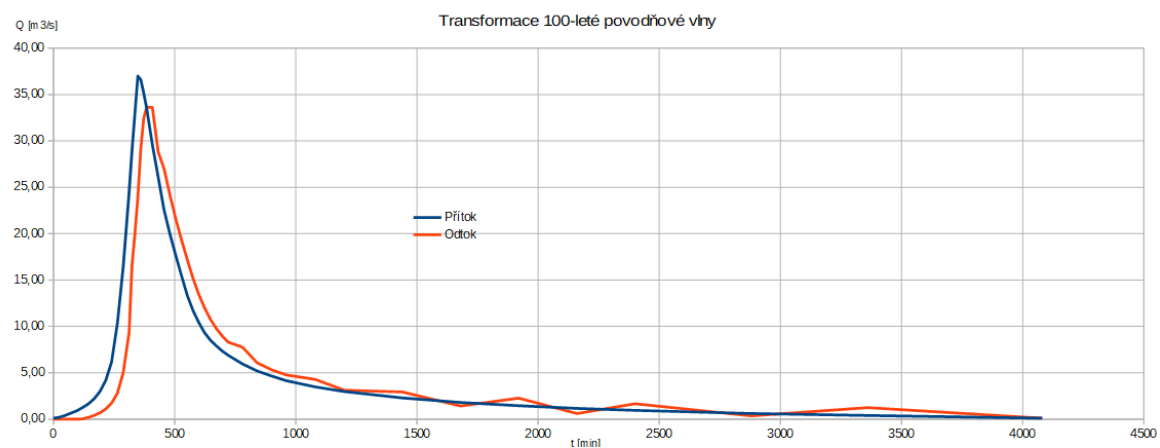
9. NÁPRAVNÁ A NOUZOVÁ OPATŘENÍ

Vzhledem k tomu, že v předchozí kapitole 8 Závěrečné posouzení, bylo vodní dílo Bánov-Ordějov vyhodnoceno jako ne příliš bezpečné, je třeba provést nápravná opatření.

Z možných řešení je jako nejvhodnější vybráno snížení kóty bezpečnostního přelivu. Zvažováno bylo navýšení koruny hráze a její opevnění, případně vybudování nouzového přelivu. Tato řešení byla shledána stavebně a tedy i finančně náročnějšími. Zvoleno tedy je snížení kóty bezpečnostního přelivu, avšak za předpokladu, že tím nedojde k nepřípustnému omezení žádného účelu vodního díla.

Snížením kóty bezpečnostního přelivu o 0,5 m, tedy na kótu 323,10 m n. m. dojde ke snížení kulminační hladiny na 323,71 m n. m., kulminační průtok je snížen z 37 m³/s na 33,64 m³/s. Zároveň tím nedojde k tak rapidnímu snížení hladiny, aby byla ohrožena kvalita vody nebo omezeno množství odebírané vody pro závlahy.

Transformaci 100-leté povodňové vlny při snížené kótě bezpečnostního přelivu můžeme vidět na obrázku 9.1. Výpočet transformace je pak zobrazen v tabulce 9.1.



Obr. 9.1: Transformace 100-leté povodňové vlny po snížení kóty bezpečnostního přelivu

Tab. 9.1: Transformace 100-leté povodňové vlny po snížení kóty bezpečnostního přelivu

t	Q_p	ΔV_p	V_1	H	Q_o	ΔV_o	ΔV	V_2
[min]	[m ³ /s]	[m ³]	[m ³]	[m n. m.]	[m ³ /s]	[m ³]	[m ³]	[m ³]
0	0,10	0	292 500	323,10	0,00	0	0	292500
24	0,20	288	292 500	323,10	0,00	0	288	292788
48	0,40	576	292 788	323,10	0,00	0	576	293364
72	0,65	936	293 364	323,10	0,00	0	936	294300
96	0,90	1 296	294 300	323,11	0,00	0	1 296	295596
120	1,25	1 800	295 596	323,12	0,03	40	1 760	297356
144	1,65	2 376	297 356	323,13	0,19	273	2 103	299460
168	2,20	3 168	299 460	323,14	0,40	579	2 589	302049
192	3,00	4 320	302 049	323,15	0,69	996	3 324	305374
216	4,20	6 048	305 374	323,17	1,11	1 596	4 452	309826
240	6,20	8 928	309 826	323,19	1,74	2 512	6 416	316241
264	10,40	14 976	316 241	323,23	2,82	4 055	10 921	327162
288	16,50	23 760	327 162	323,29	5,05	7 267	16 493	343655
312	24,50	35 280	343 655	323,38	9,34	13 444	21 836	365491
324	29,00	20 880	365 491	323,49	16,59	11 946	8 934	374426
336	33,00	23 760	374 426	323,54	20,04	14 426	9 334	383760
348	37,00	26 640	383 760	323,59	23,91	17 215	9 425	393185
360	36,60	26 352	393 185	323,66	29,13	20 976	5 376	398561
372	35,20	25 344	398 561	323,69	32,38	23 315	2 029	400589
384	33,60	24 192	400 589	323,71	33,64	24 222	-30	400559
408	29,60	42 624	400 559	323,71	33,62	48 417	-5 793	394766
432	26,10	37 584	394 766	323,65	28,82	41 494	-3 910	390856
456	22,60	32 544	390 856	323,63	27,03	38 926	-6 382	384474
480	20,00	28 800	384 474	323,60	24,22	34 872	-6 072	378402
504	17,70	25 488	378 402	323,56	21,65	31 180	-5 692	372710
528	15,50	22 320	372 710	323,53	19,35	27 870	-5 550	367160
552	13,35	19 224	367 160	323,50	17,21	24 789	-5 565	361595
576	11,70	16 848	361 595	323,47	15,17	21 849	-5 001	356595
600	10,40	14 976	356 595	323,45	13,43	19 338	-4 362	352233
624	9,30	13 392	352 233	323,42	11,98	17 252	-3 860	348372
648	8,50	12 240	348 372	323,40	10,76	15 490	-3 250	345123
672	7,90	11 376	345 123	323,38	9,77	14 067	-2 691	342431
696	7,35	10 584	342 431	323,37	8,98	12 933	-2 349	340082
720	6,90	9 936	340 082	323,36	8,32	11 975	-2 039	338043
780	5,95	21 420	338 043	323,35	7,76	27 922	-6 502	331541
840	5,20	18 720	331 541	323,31	6,08	21 887	-3 167	328374
900	4,65	16 740	328 374	323,29	5,32	19 168	-2 428	325945
960	4,15	14 940	325 945	323,28	4,77	17 184	-2 244	323702
1080	3,48	25 056	323 702	323,27	4,29	30 856	-5 800	317902
1200	2,98	21 456	317 902	323,24	3,12	22 484	-1 028	316874
1440	2,29	32 076	316 874	323,23	2,93	42 215	-9 239	307634
1680	1,80	25 920	307 634	323,18	1,42	20 453	5 467	313101
1920	1,45	20 880	313 101	323,21	2,27	32 678	-11 798	301303
2160	1,16	16 704	301 303	323,15	0,60	8 709	7 995	309298
2400	0,95	13 680	309 298	323,19	1,66	23 972	-10 292	299006
2880	0,61	17 568	299 006	323,14	0,35	10 203	7 365	306372
3360	0,40	11 520	306 372	323,17	1,24	35 805	-24 285	292500
4080	0,10	4 320	292 500	323,10	0,10	4 320	0	292500

- kde
- t – čas [min]
 - Q_p – přítok [m³/s]
 - ΔV_p – změna objemu způsobená přítokem [m³]
 - V_1 – objem na začátku časového intervalu [m³]
 - H – výška vody v nádrži [m n. m.]
 - Q_o – odtok [m³/s]
 - ΔV_o – změna objemu odtokem [m³]

ΔV – celková změna objemu [m^3]

V_2 – objem na konci intervalu [m^3]

Mezní bezpečná hladina, která je na kótě 323,75 m n. m, je tedy vyšší než maximální kontrolní hladina 323,71 m n. m. a bezpečnostní podmínka je splněna.

10. ZÁVĚR.

V této bakalářské práci bylo dosaženo všech předem stanovených cílů:

- Vodního díla Bánov-Ordějov bylo posouzeno na průchodu 100-leté povodňové vlny dle normy ČSN 75 2935 a nebylo shledáno jako bezpečné. Z toho důvodu bylo navrženo a početně ověřeno nápravné řešení.
- Proběhlo důkladné seznámení s dodanými podklady.
- Informace z podkladů byly porovnány se skutečností a byly vyhodnoceny jako dostatečně přesné. Ověřované výpočty, až na stanovení mezní bezpečné hladiny, byly shledány jako vypovídající. Mezní bezpečnostní hladina byla stanovena níže oproti hodnotě uvedené v Manipulačním řádu pro vodní dílo Bánov-Ordějov. Důvodem je s největší pravděpodobností to, že manipulační řád neuvažuje výšku výběhu vlny na svah.
- Po technické a provozní stránce bylo vodní dílo shledáno v dobrém stavu.

11. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

Seznam použité literatury

- 1: ČSN 75 2935 Posuzování bezpečnosti vodních děl při povodních, Praha, Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, leden 2014
- 2: Ing. Michaela Juříčková, Manipulační řád pro VD Bánov-Ordějov, Brno, Povodí Moravy,s.p., prosinec 2011
- 3: Doc. Ing. Aleš Havlík, CSc., Ing. Tomáš Pícek PhD., Přepady [online], K141 FSv ČVUT, září 2008, [citace: 29. 4. 2018], Dostupné z: http://hydraulika.fsv.cvut.cz/Hydraulika/Hydraulika/Predmety/HY2V/ke_stazeni/prednasky/HY2V_06_Prepady.pdf
- 4: ČSN 75 0255 Výpočet účinků vln na stavby na vodních nádržích a zdržích, Praha, Český normalizační ústav, únor 1987
- 5: Historie podniku, Povodí Moravy, s. p., 2018, [Citace 18. 5. 2018], Dostupné z: <http://www.pmo.cz/cz/o-podniku/historie-podniku/>
- 6: Ing. Václav David, Ph. D. Projekt 1 -Malé vodní nádrže [online], ČVUT v Praze, Fakulta stavební, Katedra hydromeliorací a krajinného inženýrství, 2016, [Citace 10. 5. 2018], Dostupné z: http://storm.fsv.cvut.cz/data/files/p%C5%99edm%C4%9Bty/PZ01/06_cvic_LS2016.pdf
- 7: Ing. Daniel Matta, CSc., Výpočet průtoků v otevřených korytech [online], Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, v. v. i., Praha, 2014, [Citace 18. 5. 2018], Dostupné z: https://www.vuv.cz/files/pdf/edicni_cinnost/publikace/mattas_vypocet_prutoku.pdf
- 8: seznam.cz, mapy.cz [online], seznam.cz, a. s., 2016, [Citace 10. 5. 2018], Dostupné z: <https://mapy.cz/>

12. SEZNAM OBRÁZKŮ, TABULEK A ROVNIC

Seznam obrázků

Obr. 3.1: Přehledná situace [8].....	3
Obr. 3.2: Opevnění pohozelem s prolitím betonem.....	5
Obr. 3.3: Rozmístění kontrolních šachet drenážního potrubí.....	6
Obr. 3.4: Požerák.....	7
Obr. 3.5: Vodočetná lať.....	8
Obr. 3.6: Zaústění výpustního potrubí do odpadního koryta bezpečnostního přelivu.....	9
Obr. 3.7: Bezpečnostní přeliv.....	10
Obr. 3.8: Žebra pro zvýšení drsnosti.....	11
Obr. 3.9: Rozražeče.....	12
Obr. 5.2.1: Pravděpodobný průběh teoretické 100-leté povodňové vlny.....	17
Obr. 5.5.1: Schématický řez bezpečnostního přelivu.....	19
Obr. 5.5.2: Měrná křivka bezpečnostního přelivu.....	22

Obr. 5.5.3: Měrná křivka bezpečnostního přelivu dle manipulačního řádu [2].....	23
Obr. 6.1: Schéma umístění radiál [8].....	29
Obr. 7.1: Čára zatopených objemů [2].....	33
Obr. 7.2: Transformace povodňové vlny.....	34
Obr. 9.1: Transformace 100-leté povodňové vlny po snížení kóty bezpečnostního přelivu	38

Seznam tabulek

Tab. 3.1: Prostor stálého nadržení [2].....	4
Tab. 3.2: Prostor zásobní [2].....	4
Tab. 3.3: Prostor retenční neovladatelný [2].....	4
Tab. 5.1.1: Požadovaná míra bezpečnosti pro návrh a posuzování vodního díla [1].....	15
Tab. 5.2.1: M-denní průtoky v profilu hráze VD Bánov-Ordějov [2].....	15
Tab. 5.2.2: N-leté průtoky v profilu hráze VD Bánov-Ordějov z roku 2001[2].....	16
Tab. 5.2.3: Objemy N-letých povodní v profilu hráze VD Bánov-Ordějov z roku 2001 [2]	16
Tab. 5.2.4: N-leté průtoky a k nim odpovídající objemy v profilu hráze VD Bánov- Ordějov z roku 2015.....	16
Tab. 5.5.1: Měrná křivka bezpečnostního přelivu.....	21
Tab. 5.5.2: Měrná křivka bezpečnostního přelivu dle manipulačního řádu [2].....	23
Tab. 5.5.3: Hodnoty dílčích součinitelů drsnosti podle Cowana [7].....	26
Tab. 6.1: Délky radiál a k nim odpovídající úhly.....	29
Tab. 6.2: Stanovení koeficientu k [4].....	30
Tab. 6.3: Stanovení koeficientu k_p [4].....	31
Tab. 6.4: Stanovení koeficientu k_i [4].....	32
Tab. 7.1: Transformace 100-leté povodňové vlny.....	35
Tab. 9.1: Transformace 100-leté povodňové vlny po snížení kóty bezpečnostního přelivu	39

Seznam rovnic

Rce. 5.5.1: Rovnice přepadu.....	19
Rce. 5.5.2: Součinitel přepadu dle Kramera [3].....	19
Rce. 5.5.3: Chézyho rovnice [7].....	24
Rce. 5.5.4: Chézyho rychlostní součinitel [7].....	24
Rce. 5.5.5: Výpočet součinitele drsnosti dle Cowanovy procedury [7].....	25
Rce. 6.1: Výpočet návrhové rychlosti [4].....	28
Rce. 6.2: Výpočet efektivní délky rozběhu vlny [4].....	30
Rce. 6.3: Výpočet délky postupové vlny [4].....	30
Rce. 6.4: Výpočet postupové rychlosti vlny [4].....	30
Rce. 6.5: Podmínka pro hluboké pásmo [4].....	31
Rce. 6.6: Výpočet výběhu vlny [4].....	31

13. SEZNAM SAMOSTATNÝCH PŘÍLOH

Seznam příloh

Příloha A: Situace [2]

Příloha B: Podélný profil nádrže Ordějov [2]

Příloha C: Situace odběrného objektu [2]

Příloha D: Letecký pohled na vodní dílo Bánov-Ordějov [8]