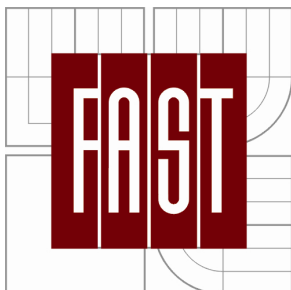


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ  
ÚSTAV VODNÍCH STAVEB

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING  
INSTITUTE OF WATER STRUCTURES

## POSOUZENÍ PŘEHRAD ZA POVODNÍ

SAFETY ASSESMENT OF DAMS DURING FLOODS

DIPLOMOVÁ PRÁCE

DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

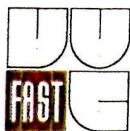
JIŘÍ VALCHAŘ

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Prof. Ing. JAROMÍR ŘÍHA, CSc.

BRNO 2014



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

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

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

**Student** Jiří Valchař

**Název** Posouzení přehrad za povodní

**Vedoucí bakalářské práce** prof. Ing. Jaromír Říha, CSc.

**Datum zadání bakalářské práce** 30. 11. 2013

**Datum odevzdání bakalářské práce** 30. 5. 2014

V Brně dne 30. 11. 2013

prof. Ing. Jan Šulc, CSc.  
Vedoucí ústavu



prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA  
Děkan Fakulty stavební VUT

## Podklady a literatura

TNV 75 2935 Posuzování bezpečnosti vodních děl při povodních  
ČSN 75 2410 Malé vodní nádrže.

BOOR, B. – KUNŠTÁTSKÝ, J. – PATOČKA, C. 1968. Hydraulika pro vodohospodářské stavby, SNTL Praha.

ŘÍHA, J. a kol. Malé vodní a suché nádrže. ČKAIT – PROFESIS 2010, IC ČKAIT. Publikace č. 19 – TP.

Hydrologická studie pro VD Bílovec, Průběhy teoretických povodňových vln s dobou opakovaní N=100,200 a 1000 let, ČHMÚ Ostrava, 4/2013.

Hydrologické údaje povrchových vod, VD Bílovec, vodní tok Jamník, 30.7.2013, ČHMÚ Ostrava.

Manipulační a provozní řád pro VN Bílovec, potok Jamník, km 5,635,07/2007.

Výstavba VH nádrže, Hydropedologický průzkum, JP, KZPÚ Opava, 07/1962.

Geodetické zaměření, BPV, 03/2013, Poskytnuto v „DWG“ P Odry, s.p.

Závěrečná zpráva, IG průzkum MVN, VN Bílovec, Ostrava, 07/2013.

KOMORA, J. 1962. Bočné priepady pri vodných nádržiach. Veda a výskum praxi, sv. 6. VÚVH Bratislava.

## Zásady pro vypracování (zadání, cíle práce, požadované výstupy)

Náplní práce bude posouzení bezpečnosti vodního díla - MVN Bílovec za povodně ve smyslu požadavků TNV 75 2935. Práce bude sestávat z těchto částí:

A Úvodní část

B Účel a popis vodního díla

C Základní údaje a podklady

C.1 Požadovaná míra bezpečnosti VD při povodni

C.2 Hydrologické podklady

C.3 Technické parametry a podklady

C.4 Okolnosti ovlivňující bezpečnost VD za povodni

C.5 Hydraulické výpočty

D Stanovení mezní bezpečné hladiny (MBH)

E Stanovení kontrolní maximální hladiny (KMH) v nádrži

F Závěrečné zhodnocení

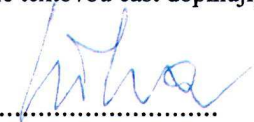
G Nápravná a nouzová opatření

H Použité podklady

## Struktura bakalářské/diplomové práce

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část VŠKP zpracovaná podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchování vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchování vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (povinná součást VŠKP).
2. Přílohy textové části VŠKP zpracované podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchování vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchování vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (nepovinná součást VŠKP v případě, že přílohy nejsou součástí textové části VŠKP, ale textovou část doplňují).



prof. Ing. Jaromír Říha, CSc.  
Vedoucí bakalářské práce

## **ABSTRAKT**

Tato bakalářská práce se zabývá posouzením bezpečnosti malé vodní nádrže Bílovec za povodní, ve smyslu požadavků TNV 75 2935. První dvě kapitoly jsou věnovány popisu a účelu vodního díla. Následující kapitola se zabývá shrnutím základních údajů a podkladů, včetně popsání hydraulických výpočtů. Dále je provedeno stanovení mezní bezpečné hladiny a následně stanovení kontrolní maximální hladiny v nádrži na základě výsledku transformace kontrolní povodňové vlny. V kapitole závěrečné zhodnocení je provedeno srovnání mezní bezpečné hladiny a kontrolní maximální hladiny. Na závěr práce jsou uvedena doporučení vedoucí k zajištění spolehlivosti a bezpečnosti vodního nádrže.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Mezní bezpečná hladina, kontrolní maximální hladina, těleso hráze, kontrolní povodňová vlna, transformace povodňové vlny

## **ABSTRACT**

This bachelor's thesis deals with the safety assesment of the small water reservoir Bílovec during the floods, according to requirments of TNV 75 2935 (technical standard). First two chapters are devoted to description of the dam purpose. Following chapter deals with the summary of basic information and documentation, including hydraulic analysis. In the following section maximum permissible safe water level is determined together with the maximum check flood water level in reservoir which reflects the flood wave transformation. In the final evaluation the comparison between the maximum permissible safe water level and maximum check flood level is carried out. At the end of the thesis recommendations leading to ensuring of reliability and safety of water reservoir are listed.

## **KEY WORDS**

Maximum permissible safe water level, maximum check flood water level, dam body, check flood wave, flood wave transformation

## **Bibliografická citace VŠKP**

Jiří Valchař. *Posouzení přehrad za povodní*. Brno, 2014. 42 s., 9 s. příl. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodních staveb. Vedoucí práce prof. Ing. Jaromír Říha, CSc.

**Prohlášení:**

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 19. 5. 2014

.....

Jiří Valchař

**Poděkování:**

Na tomto místě bych rád poděkoval vedoucímu mé bakalářské práce Prof. Ing. Jaromírovi Říhovi za cenné rady a vstřícný přístup při zpracovávání práce. Dále bych chtěl poděkovat svým rodičům za podporu při studiu a v neposlední řadě za umožnění studia na vysoké škole.

**OBSAH**

<b>1</b>	<b>ÚVOD .....</b>	<b>10</b>
<b>2</b>	<b>ÚVODNÍ ČÁST .....</b>	<b>11</b>
<b>3</b>	<b>ÚČEL A POPIS VODNÍHO DÍLA.....</b>	<b>12</b>
3.1	Účel vodního díla .....	12
3.2	Technický popis díla.....	12
<b>4</b>	<b>ZÁKLADNÍ ÚDAJE A PODKLADY.....</b>	<b>16</b>
4.1	Požadovaná míra bezpečnosti VD při povodni.....	16
4.2	Hydrologické podklady.....	16
4.3	Technické parametry vodního díla .....	16
4.4	Okolnosti ovlivňující bezpečnost VD za povodní.....	17
4.4.1	Manipulace za povodní, obsluha díla, údržba.....	17
4.4.2	Vymezení retenčního prostoru.....	18
4.4.3	Stupně povodňové aktivity pro profil hráze.....	18
4.4.4	Konstrukční uspořádání funkčních zařízení.....	18
4.4.5	Odvození kapacity odpadního koryta za vývarem a propustku v hrázi .....	22
4.4.6	Odvození měrné křivky bezpečnostního přelivu .....	23
4.4.7	Odvození měrné křivky spodní výpusti .....	24
4.4.8	Transformace povodňových vln .....	26
<b>5</b>	<b>STANOVENÍ MEZNÍ BEZPEČNÉ HLADINY .....</b>	<b>28</b>
5.1	Celková stabilita hráze.....	28
5.2	Provalení podloží, resp. tělesa hráze v důsledku ztráty filtrační stability .....	28
5.3	Protržení hráze při jejím přelití.....	30
5.4	Souhrnné zhodnocení .....	30
<b>6</b>	<b>STANOVENÍ KONTROLNÍ MAXIMÁLNÍ HLADINY V NÁDRŽI.....</b>	<b>31</b>
<b>7</b>	<b>ZÁVĚREČNÉ ZHODNOCENÍ.....</b>	<b>32</b>
<b>8</b>	<b>DOPORUČENÍ.....</b>	<b>33</b>

<b>8.1</b>	<b>Oprava bezpečnostního přelivu .....</b>	<b>33</b>
<b>8.2</b>	<b>Zamezení průsakové erozi .....</b>	<b>33</b>
<b>9</b>	<b>ZÁVĚR.....</b>	<b>34</b>
<b>10</b>	<b>POUŽITÁ LITERATURA .....</b>	<b>35</b>
	<b>SEZNAM TABULEK.....</b>	<b>37</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>38</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ.....</b>	<b>39</b>
	<b>SEZNAM PŘÍLOH .....</b>	<b>42</b>

# 1 ÚVOD

Cílem této bakalářské práce je provedení posouzení a prověření bezpečnosti vodního díla Bílovec při povodni. Posouzení je provedeno v souladu s TNV 75 2935 Posuzování bezpečnosti vodních děl při povodních. Základním podkladem je kontrolní povodňová vlna s pravděpodobností překročení odpovídající požadované míře bezpečnosti. Na základě konkrétních podmínek posuzovaného vodního díla se stanoví mezní bezpečná hladina (MBH). Mezní bezpečná hladina je nejvyšší možná hladina v nádrži, při jejímž překročení hrozí nebezpečí poruchy a havárie vodního díla. Zároveň se stanoví podle podmínek převádění kontrolní povodňové vlny přes vodní dílo kontrolní maximální hladina (KMH), která se určí výpočtem transformace povodňové vlny. Výsledkem je právě posouzení vztahu mezi MBH a KMH. Vodní dílo se obecně pokládá za bezpečné při platnosti vztahu:

$$\mathbf{MBH \geq KMH}$$

Skladba a obsah posudku podle TNV 75 2935:

- A Úvodní část
- B Účel a popis vodního díla
- C Základní údaje a podklady
  - C.1 Požadovaná míra bezpečnosti vodního díla při povodni
  - C.2 Hydrologické podklady
  - C.3 Technické parametry a podklady
  - C.4 Okolnosti ovlivňující bezpečnost vodního díla při povodni
  - C.5 Hydraulické výpočty
- D Stanovení mezní bezpečné hladiny
- E Stanovení kontrolní maximální hladiny v nádrži
- F Závěrečné zhodnocení
- G Nápravná a nouzová opatření

## 2 ÚVODNÍ ČÁST

Hráz VD se nachází na severovýchodním okraji obce Bílovec (7600 obyvatel). Vodní nádrž protéká potok Jamník, jehož koryto je v podhráží situováno mimo blízkou zástavbu. V nejbližším okolí vodní nádrže se nachází ČOV města Bílovec. Vodní dílo je dle manipulačního řádu (MŘ) [19] zařazeno do IV. kategorie. S ohledem na nevelký objem nádrže a s přihlédnutím k výše uvedenému, lze malou vodní nádrž (MVN) zařadit z hlediska ochrany při povodních do skupiny B, s požadovanou mírou bezpečnosti vyjádřenou dobou opakování překročení kontrolní povodňové vlny (KPV)  $N = 200$  let, kdy jsou očekávány relativně vysoké škody, ztráty na životech jsou nepravděpodobné.

**Tab. 2-1 Požadovaná míra bezpečnosti VD [1]**

Skupina VD	Označení výše škody	Kategorie VD	Hodnotící hledisko	Požadovaná míra bezpečnosti VD	
				$p = 1/N$	$N$ [let]
A	velmi vysoké	I. – II. II.	Očekávají se značné ztráty na životech.	0,0001	10000
			Ztráty na životech jsou nepravděpodobné.	0,0005	2000
B	vysoké	III. – IV.	Očekávají se ztráty na jednotlivých životech.	0,001	1000
			Ztráty na životech jsou nepravděpodobné	0,005	200
C	nízké	IV.	Převažují ztráty u třetích stran.	0,01	100
			Převažují ztráty u vlastníka, ostatní ztráty jsou nevýznamné.	0,02 až 0,05	50 až 20

V této práci je použit výškový systém Balt po vyrovnání (BPV). Parametry vodního díla byly převzaty z manipulačního řádu [19] a z dokumentace [25]. Výškové kóty v [25] zřejmě nerespektují výškový systém BPV. Proto se uvažují výškové kóty z nejnovejšího geodetického zaměření [23] a MŘ [19].

## 3 ÚČEL A POPIS VODNÍHO DÍLA

### 3.1 Účel vodního díla

Víceúčelová vodní nádrž Bílovec se nachází v mělkém údolí potoka Jamník v Údolí Mladých severovýchodně od okraje stejnojmenné obce Bílovec. Vodní dílo je v provozu od roku 1964. Vodní nádrž Bílovec je využívána k udržování, případně k nadlepšování, minimálního zůstatkového průtoku v korytě potoka Jamník pod hrází. Dále slouží vodní nádrž k transformaci povodňových průtoků, ke sportovnímu rybolovu, rekreaci a k akumulaci vody pro odběr firmy Sugál s.r.o. Nádrž také vytváří vhodné podmínky pro zvýšení ekologické stability a existenci flory a fauny v přilehlém okolí [19].

### 3.2 Technický popis díla

#### Vzdouvací objekt

Je tvořen homogenní zemní hrází, která je vybudována v mělkém údolí potoka Jamník. Hráz má maximální výšku nad terénem přibližně 5,0 m. Dle MŘ [19] a [25] je návodní svah při patě vybudován ve sklonu 1 : 3, poté je rozdělen lavičkou o šířce 1,5 m na kótě 268,65 m n. m., na kterou navazuje návodní svah o sklonu 1 : 2. Návodní svah je pod lavičkou bez opevnění a nad lavičkou je opevněn pohozením z lomového kamene až do výšky max. hladiny 269,65 m n. m.

Vzdušní líc hráze je dle MŘ [19] a [25] vybudován v jednotném sklonu 1 : 2. Svah je opevněn ohumusováním v tl. 100 mm a oset travním semenem. Koruna hráze široká 4,0 m je ohumusována v tl. 100 mm a oseta travním semenem.

Při analýze podkladů [23], geodetické zaměření, bylo zjištěno, že kóta koruny hráze neodpovídá ve všech místech hodnotě uvedené v manipulačním řádu [19]. Zejména je patrné prosednutí v oblasti sdruženého funkčního objektu.

Dle jednotlivých podkladů byla kóta koruny hráze na kótě:

- 270,40 m n. m. [19],
- 270,21 m n. m. [23] prosednutí hráze v oblasti sdruženého objektu,
- 285,00 m n. m. [25].

Těleso hráze se dle inženýrsko-geologického průzkumu (IGP) [26] jeví jako homogenní a bylo ověřeno ve všech třech provedených vrtech. Jedná se o jíly se střední plasticitou, tuhé konzistence F6 Cl. Hráz je podle [26] založena v místě provedených vrtů na náplavových jílech F6 CL, měkké konzistence, níže přechází do zvodnělých písků a hlinitých štěrků G4 GM. Zatřídění zemin a hornin je v souladu s ČSN 75 2410 [6]. Dle geofyzikálního průzkumu [24] je ve střední části hráze je patrné mírné prosednutí, v okolí sdruženého objektu je pak prosednutí výraznější.

Odvodnění tělesa hráze zajišťuje dle [19] obrácený třívrstvý šterkopískový filtr o tloušťce 750 mm, vespod filtru je uložena drenážní roura DN 50 mm.

### **Sdružený funkční objekt**

Skládá se z otevřeného požeráku a na něj navazujícího bezpečnostního přelivu. Konstrukční řešení sdruženého funkčního objektu se, co se týče půdorysného a výškového uspořádání, nijak neliší dle dostupných podkladů manipulační řád [19] a zkrácená dokumentace [25].

**Požerák** má vnitřní rozměry 1000 x 2000 mm, tl. Stěny 600 až 1200 mm a výšku 5350 mm a je vystavěn z vodostavebního betonu. K manipulaci vodní hladiny slouží dvě řady dlužů uložených do ocelových U-profilů v bočních stěnách. Proti vstupu do šachty požeráku je horní vstupní otvor zabezpečen uzamykatelným ocelovým poklopem.

Na požerák navazuje ocelová spodní výpust o délce 1,2 m, která vyústí do spadiště bezpečnostního přelivu. V manipulačním řádu [19] a v geodetickém zaměření [23] je uveden rozměr DN 500 spodní výpusti požeráku, ale ve zprávě o technicko-bezpečnostním dohledu (TBD) [20] je uveden rozměr DN 600 mm. Nadále se bude uvažovat rozměr DN 500 mm spodní výpusti. Na vtoku je podle [19] spodní výpust osazena plochým kanalizačním šoupátkem DN 500 mm, s ovládací tyčí a otočným kolem pro ovládání. Kanalizační šoupátko je trvale otevřeno. Podle zprávy TBD [20] je kanalizační šoupátko v současné době odstraněno. Osa spodní výpusti leží na kótě 265,50 m n. m.

Přístup na požerák je proveden pomocí ocelové komunikační lávky o délce 14,1 m a šířce 1000 mm, která je uložena na betonových pilířích na hraně části bezpečnostního přelivu. Lávka i těleso požeráku jsou opatřeny ocelovým zábradlím.

**Bezpečnostní přeliv**, který navazuje na požerák, má tvar otevřeného žlabu lichoběžníkového příčného profilu. Přelivná hrana je půdorysně rozdělena na dva souběžné přímé úseky, rovnoběžné s osou sdruženého funkčního objektu a je provedena z vodostavebního betonu.

Na základě místního šetření [18] bylo zjištěno, že přelivná hrana je poškozena degradací betonu a je v některých částech snížena. Dle [19] leží přelivná hrana na kótě 269,15 m n. m., podle nejnovějšího geodetického zaměření [23] je levá přelivná hrana na kótě 269,10 m n. m., pravá přelivná hrana leží na kótě 269,13 m n. m. Jedna přelivná hrana má délku 14,1 m, druhá je zmenšena o šířku dvou pilířů ocelové lávky a má tedy délku 13,5 m, celkově má tedy přelivná hrana 27,6 m. Koruna přelivu má tvar půlkružnice a je široká 1280 mm. Dno spadiště bezpečnostního přelivu má šířku 2400 mm a je provedeno v podélném sklonu 1% a leží dle [19] na kótě 265,05 m n. m. a svažuje se až na kótu 264,90 m n. m.



**Obr. 3-1 Poškození bezpečnostního přelivu [18]**

Spadiště v hrázové části přechází ve skluz, který je řešen jako monolitický obdélníkový propustek hrází o šířce 2400 mm a výšce 3300 mm a délce 13,6 m. Podélný sklon dna je 1% a je totožný s podélným sklonem dna spadiště. Propustek leží dle [19] na vtoku na kótě 264,90 m n. m. a vyústí do vývařiště na kótě 264,76 m n. m.

Propustek je vyústěn do vývařiště o délce 12 m a hloubce 0,6 m. Dno vývaru je dle [25] provedeno jako 500 mm silná betonová deska. Boční zdi vývaru jsou vystavěny ve sklonu 5:1 a obloženy dlažbou z lomového kamene o tl. 250 mm. Dno vývaru leží dle [19] na kótě 263,85 m n. m., podle nejnovějšího geodetického zaměření [23] na kótě 264,06 m n. m., práh vývaru leží dle [19] na kótě 264,46 m n. m., dle [23] na kótě 264,59 m n. m. Za vývarem v délce 5,0 m je dno zpevněno těžkým kamenným záhozem.

Základní parametry hráze a nádrže MVN Bílovec jsou shrnuty v Tab. 3.1. Jde o údaje převzaté z podkladů [19] [23] a [25].

Tab. 3-1- Základní parametry MVN Bílovec [19] [23] [25]

<b>Hráz a funkční zařízení</b>	
střední kóta koruny hráze [19]	270,40 m n. m.
nejnižší kóta koruny hráze [23]	270,21 m n. m.
šířka hráze v koruně [19]	4,0 m
délka hráze v koruně [19]	130,00 m
maximální výška hráze nade dnem výpusti [19]	5,35 m
výška hráze nad původním terénem [19]	5,0 m
sklon návodního svahu [19], [25]	1: 2 a 1:3
sklon vzdušního svahu [19], [25]	1:2
kóta dna propustku (výústění) [19]	264,76 m n. m.
nejnižší kóta bezpečnostního přelivu [23]	269,10 m n. m.
kóta dna bezpečnostního přelivu [19]	264,90 – 265,05 m n. m.
<b>Prostory nádrže [19]</b>	
prostor stálého nadržení $V_s$	30 003 m <sup>3</sup>
zásobní prostor $V_z$	41 948 m <sup>3</sup>
ochranný prostor neovladatelný $V_r$	20 989 m <sup>3</sup>
celkový objem $V_c$	92 940 m <sup>3</sup>
<b>Hladiny v nádrži [19]</b>	
hladina stálého nadržení $H_s$	267,90 m n. m.
zásobní hladina $H_z$	269,15 m n. m.
maximální hladina $M_{max}$	269,65 m n. m.

## 4 ZÁKLADNÍ ÚDAJE A PODKLADY

### 4.1 Požadovaná míra bezpečnosti VD při povodni

Vodní dílo je podle svého významu a stupně ohrožení území pod vodním dílem zařazeno pro potřeby odborného technicko-bezpečnostního dohledu podle vyhlášky č. 471/2001 [2] do IV. kategorie. S přihlédnutím k požadavkům TNV 75 2935 [1] a vyhlášky č. 590/2002 [3] je VD zařazeno do skupiny B (vysoké škody), kdy podle hodnotícího hlediska jsou ztráty na životech nepravděpodobné (viz Tab. 2.1). Z toho vychází požadovaná míra bezpečnosti pro kontrolní povodňovou vlnu (KPV) s dobou opakování  $N = 200$  let. KPV je uvažována jako teoretická vlna specifikovaná podkladem [16]. Průběh kontrolní povodňové vlny byl prošetřen pro  $PV_{100}$ ,  $PV_{200}$  (KPV) a pro  $PV_{1000}$  (kapitola 6, přílohy 7, 8 a 9).

### 4.2 Hydrologické podklady

Údaje o teoretických povodňových vlnách  $PV_{100}$ ,  $PV_{200}$  a  $PV_{1000}$  jsou obsaženy v hydrologické studii pro VD Bílovec [16]. Hydrologické údaje o  $N$ -letých průtocích jsou převzaty z podkladu [17] z roku 2013 a z manipulačního řádu [19] z roku 2001. Můžeme si všimnout vzestupného trendu kulminačních průtoků pro všechny doby opakování. Číselné charakteristiky kulminačních průtoků a povodňových vln uvádí přehledně Tab. 4.2.

Tab. 4-1 Číselné charakteristiky průtoků a teoretických povodňových vln [16] [17] [19]

$N$	1	2	5	10	20	50	100	200	1000
$Q_N$ [m <sup>3</sup> /s] dle [19]	2,58	4,45	7,02	9,02	11,10	13,80	16,00	-	-
$Q_N$ [m <sup>3</sup> /s] dle [17]	3,74	6,45	10,20	13,10	16,00	19,90	23,10	-	-
$Q_N$ [m <sup>3</sup> /s] dle [16]	-	-	-	-	-	-	23,10	26,30	34,00
$W_N$ [tis. m <sup>3</sup> ] dle [16]	-	-	-	-	-	-	605,7	710,5	936,8

### 4.3 Technické parametry vodního díla

Vybrané technické parametry a popis konstrukčního uspořádání dle dokumentace [16], [19] a [23] je souhrnně uveden v kapitole 3.2. VD má následující základní parametry:

- Číslo hydrologického pořadí: 2-01-01-121
- Plocha povodí [16]: 15,41 km<sup>2</sup>
- Kóta dna nádrže [19]: 265,05 m n. m.
- Kóta koruny hráze (nejnižší) [23]: 270,21 m n. m.
- Kóta koruny bezpečnostního přelivu (nejnižší) [23]: 269,10 m n. m.
- Kóta max. hladiny: 269,65 m n. m.

- Objem ochranného (retenčního) prostoru:  $V_r = 20\,989\text{ m}^3$
- Celkový objem nádrže:  $V_c = 92\,940\text{ m}^3$
- Plocha zátopy s hladinou na kótě 269,15 m n. m.: 4,021 ha
- Plocha zátopy při max. hladině: 4,530 ha
- Povodeň s dobou opakování  $N = 100$  let [16]:
  - objem vlny:  $605\,700\text{ m}^3$
  - kulminační průtok:  $23,1\text{ m}^3/\text{s}$
  - specifický maximální odtok:  $1,50\text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$
- Povodeň s dobou opakování  $N = 200$  let [16]:
  - objem vlny:  $710\,500\text{ m}^3$
  - kulminační průtok:  $26,30\text{ m}^3/\text{s}$
  - specifický maximální odtok:  $1,71\text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$
- Povodeň s dobou opakování  $N = 1000$  let [16]:
  - objem vlny:  $936\,800\text{ m}^3$
  - kulminační průtok:  $34,00\text{ m}^3/\text{s}$
  - specifický maximální odtok:  $2,21\text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$

## 4.4 Okolnosti ovlivňující bezpečnost VD za povodní

### 4.4.1 Manipulace za povodní, obsluha díla, údržba

Manipulace na VD probíhá podle manipulačního řádu [19] z července 2007. Při běžném provozu je hladina udržována na úrovni maximální hladiny zásobního prostoru, tj. na kótě 269,15 m n. m. Dle MŘ není vypouštění vody z nádrže při povodni regulováno, povodňová vlna se převádí požerákem a bezpečnostním přelivem. Na sdruženém funkčním objektu se při povodni nepředpokládá manipulace, při katastrofální povodni spočívá činnost především v udržování průchodnosti průtočného profilu bezpečnostního přelivu a opadu od bezpečnostního přelivu, aby nedošlo k jejich zanesení či zahrazení jinými předměty. Dále se kontroluje prostor kolem požeráku a funkce manipulačních zařízení, za účelem udržení kapacity sdruženého funkčního objektu, zejména z důvodu malých mezer česlic 20 mm, v nátoku do požeráku. Nebezpečí povodně hlásí pověřený pracovník správci vodní nádrže, ten pak povodňové komisi města Bílovec, která rozhodne o vyhlášení jednotlivých stupňů povodňové aktivity [19].

#### 4.4.2 Vymezení retenčního prostoru

Pro transformaci povodňové vlny je v nádrži vymezen pouze neovladatelný retenční prostor:

- kóta maximální hladiny zásobního prostoru: 269,15 m n. m.
- kóta maximální hladiny neovladatelného retenčního prostoru: 269,65 m n. m.

Povodňový stoletý průtok by měl být spolehlivě transformován bezpečnostním přelivem do potoka Jamník pod vodní nádrží a měl by zachytit část povodňového průtoku v neovladatelném ochranném prostoru nádrže [19].

#### 4.4.3 Stupně povodňové aktivity pro profil hráze

Vodní dílo nemá povodňový plán, není ani zapojeno do systému hlásné a povodňové služby a zároveň nebyly stanoveny žádné stupně povodňové aktivity (SPA) [19].

#### 4.4.4 Konstrukční uspořádání funkčních zařízení

##### Těleso hráze

Hráz má maximální výšku nad terénem cca 5,0 m. Koruna hráze není podle geodetického zaměření [23] po celé délce vodorovná. Patrné je prosednutí v místě sdruženého funkčního objektu až o 0,25 m. Nejnižší kóta v tomto místě byla zaměřena 270,21 m n. m., což se liší od projektované úrovně koruny hráze 270,40 m n. m. uváděné v manipulačním řádu [19].

Návodní svah je při patě vybudován ve sklonu 1 : 3, poté je rozdělen lavičkou o šířce 1,5 m ležící na kótě 268,65 m n. m., na kterou navazuje návodní svah o sklonu 1 : 2. Sklon vzdušního svahu hráze je jednotný 1 : 2 [19].

Norma ČSN 75 2410 [6] pro uvedený materiál tělesa hráze CL doporučuje sklon návodního svahu 1 : 3,7, sklon vzdušního svahu 1 : 2,2. Sklony návodního a vzdušního svahu tedy nevyhovují požadavkům normy.

Stabilitní výpočet byl proveden v rámci IGP [26] pro vzdušní svah a maximální polohu hladiny a ukázal, že vzdušní svah splňuje předepsané hodnoty stupně stability. Stabilita návodního svahu nebyla početně ověřena.

Dle výsledků geofyzikálního průzkumu [24] a inženýrsko-geologického průzkumu je hráz homogenní. Nejsvrchnější část hráze tvoří humózní hlíny o mocnosti 0,2 m. Ve všech třech vrtech  $V_1$  (střední část hráze),  $V_2$  (v blízkosti sdruženého objektu) a  $V_3$  (levá část hráze) byly jako materiál hráze ověřeny jíly se střední plasticitou, tuhé konzistence F6 CL. Dle ČSN 75 2410 [6] jsou tyto materiály pro stavbu homogenní hráze vhodné. Podloží tvoří náplavové jíly (mocnost 0,5 až 1,0 m), zvodnělé písky (mocnost do 0,6 m) a hlinitopísčité štěrky. Podzemní voda byla zastižena v hloubce 6,0 až 6,5 m a je mírně napjatá (vystoupila o 0,6 až

0,9 m). Geofyzikální průzkum [24] ukázal, že zeminy v podloží vykazují vyšší propustnost a dají se očekávat průsaky podložím. Z IGP [26] vychází, že může docházet k vyplavování drobných částic v podloží. Způsob navázání hráze do podloží není znám a nebyl vrty zjištěn.

Vrty provedené v rámci IGP [26] byly situovány do míst zjištěných nevýrazných anomálií dle geofyzikálního průzkumu [24]. Vrt  $V_1$  (u sdruženého objektu) se nachází v místě příznaků průsaků, zvýšené pórovitosti a byl vystrojen jako pozorovací.

Průsaky na vzdušné straně hráze a v podhráží nebyly při místním šetření [18], ani při inženýrsko-geologickém průzkumu [26] zjištěny.

### **Sdružený funkční objekt**

Sdružený objekt se skládá z otevřeného požeráku, na který navazuje bezpečnostní přeliv a následně přechází ve skluz až do vývařiště.

Požerák je hrazen dvěma řadami dlužích osazených česlovými rámy, odtud voda přepadá do šachty o rozměrech 1,0 x 1,0 m. Výtok z šachty požeráku je zajištěn ocelovým potrubím DN 500 mm o délce 1,2 m [19].

Z hydraulického hlediska lze průtok požerákem rozdělit následovně:

- Přepad přes dlužovou stěnu.
- Následuje výtok otvorem, který je ovlivněn výškou hladiny vody ve spadišti.
- Při dosažení úrovně hladiny v šachtě požeráku na úroveň dluží, dochází k zahlcení a kapacitu již určuje jen výtok otvorem DN 500 mm.

Základní kóty jsou následující:

- kóta přelivné hrany požeráku (dlužová stěna šířky 120 mm): 269,12 m n. m.
- kóta dna šachty před spodní výpustí: 265,05 m n. m.
- osa potrubí DN500 spodní výpusti: 265,50 m n. m.
- kóta dna potrubí spodní výpusti DN 500: 265,25 m n. m.
- kóta dna spadiště za výtokem ze spodní výpusti: 265,05 m n. m.

Bezpečnostní objekt navazuje na požerák. Skládá se ze dvou přelivných hran, souběžných s osou spodní výpusti. Přelivné hrany jsou půlkruhovitěho tvaru o průměru 1,28 m. Levá přelivná hrana je rozdělena dvěma pilíři lávky na tři pole a zároveň je zřejmě vlivem sedání snížena na kótu 269,10 m n. m. dle [23], pravá část bezpečnostního přelivu leží dle [23] na kótě 269,13 m n. m. Přelivné hrany jsou poškozeny degradací betonu a dochází k výronům vody těsně pod hranou koruny přelivu (viz. Obr. 3.1). Bezpečnostní přeliv má lichoběžníkový příčný profil, šířka ve dně spadiště je 2400 mm a má podélný sklon 1%.

Spadiště v místě hráze přechází ve skluz provedený jako obdélníkový monolitický propustek, který po 13,6 m vyústí do vývaru.

Základní kóty:

- kóta přelivné hrany (levá část): 269,10 m n. m.
- kóta přelivné hrany (pravá část): 269,13 m n. m.
- kóta dna spadiště (vyústění spodní výpusti): 265,05 m n. m.
- kóta dna spadiště (přechod ve skluz): 264,90 m n. m.
- kóta dna propustku (vyústění do vývaru): 264,76 m n. m.

V místě křížení sdruženého objektu s hrází je patrné výrazné prosednutí cca 0,25 m potvrzené geodetickým zaměřením [23], geofyzikálním a inženýrsko-geologickým průzkumem [24], [26]. Toto nerovnoměrné sedání je patrně způsobeno nevhodným uspořádáním propustku, kdy konstrukce nesahá až ke koruně hráze. Strop propustku se nachází pod hladinou stálého nadržení, přibližně 2 m pod korunou hráze. Nerovnoměrné sedání může vyvolat tahová napětí v zemině a vznik trhlin. Z místního šetření [18] jsou patrné četné průsaky u stropu propustku v blízkosti bezpečnostního přelivu (Obr. 4.1), které jsou zřejmě způsobeny průsaky trhlinami v zemině, nekvalitním betonem, resp. nedostatečně ošetřenými pracovními spárami mezi stěnami a stropem propustku v kombinaci s úrovní stropu pod hladinou stálého nadržení. Tyto průsaky vlivem namrzaní mohou způsobovat další degradaci betonu propustku a také promrzání zeminy za rubem zdi a stropu propustku. Trvalé soustředěné průsaky mohou při zvýšené hladině vody v nádrži při povodni vyvolat progresi privilegované průsakové cesty a následné protržení tělesa hráze.



**Obr. 4-1 Strop propustku pod úrovní hladiny stálého nadržení [18]**



**Obr. 4-2 Průsaky vody v propustku (detail – průsak vody ze stěn propustku) [18]**

#### **Obr. 4.2 Hydraulické výpočty**

Hydraulické výpočty obsahují:

- odvození kapacity odpadního koryta za vývarem a propustku v hrázi,
- odvození měrné křivky bezpečnostního přelivu,
- odvození měrné křivky spodní výpusti,
- transformaci povodňových vln.

#### 4.4.5 Odvození kapacity odpadního koryta za vývarem a propustku v hrázi

Výpočet kapacity byl proveden pro propustek v hrázi za sdruženým funkčním objektem a pro odpadní koryto za vývarem.

Parametry propustku byly určeny z manipulačního řádu [19]:

- délka 13,6 m, šířka 2400 mm, výška 3300 mm,
- podélný sklon dna 1%,
- drsnost 0,02,
- kóta vyústění propustku do vývaru 264,76 m n. m.

Parametry odpadního koryta byly určeny na základě geodetického zaměření [23] s využitím poznatků z místního šetření [18]:

- šířka ve dně 5,3 m, šířka v bermách odhadnuta na 3 m na obě strany,
- sklon svahů 1 : 1 a 1 : 1,95,
- podélný sklon dna byl odhadnut na 0,3%,
- drsnost dna 0,03, drsnost svahů 0,035.

Výpočty průtoků v propustku i odpadním korytě byly provedeny pomocí rovnice kontinuity [28]:

$$Q = S \cdot v, \quad (4.1)$$

kde

$S$  je průtočná plocha [m<sup>2</sup>],

$v$  je průřezová rychlost [m/s].

Průřezová rychlost byla určena pomocí Chézyho rovnice [28]:

$$v = C \cdot \sqrt{R \cdot i}, \quad (4.2)$$

kde

$C$  je rychlostní součinitel [-],

$i$  je sklon dna [%],

$R$  je omočený obvod [m],

**Měrná křivka koryta pod hrázi a propustku hrázi je uvedena v Příloze 3.**

#### 4.4.6 Odvození měrné křivky bezpečnostního přelivu

Při určení měrné křivky bezpečnostního objektu byl souběžně prováděn výpočet polohy hladiny ve spadišti. Pro potřebu výpočtu byl bezpečnostní objekt rozdělen na levou a pravou část, kdy pravá část je rozdělena dvěma pilíři konstrukce mostku.

Odvození kapacity bezpečnostního zařízení sestávalo z těchto kroků:

- výpočtu měrné křivky bezpečnostního přelivu bez zahrnutí zahlcení,
- výpočtu měrné křivky bezpečnostního přelivu se zahrnutím zahlcení.

Průtok přes bezpečnostní přeliv byl proveden podle vztahu [28]:

$$Q_P = \sigma_z \cdot m \cdot b \cdot \sqrt{2g} \cdot h_0^{3/2}, \quad (4.3)$$

kde

$Q_P$  je přepadové množství přes bezpečnostní přeliv [ $\text{m}^3/\text{s}$ ],

$\sigma_z$  je součinitel zatopení [-],

$m$  je součinitel přepadu [-],

$g$  je gravitační zrychlení [ $\text{m}/\text{s}^2$ ],

$h_0$  je přepadová výška [m],

$b$  je účinná šířka přelivné hrany daná vztahem [28]:

$$b = b_0 - 0,1 \cdot n \cdot \xi \cdot h, \quad (4.4)$$

kde

$b_0$  je délka přelivné hrany,  $b_0 = 13,5$  m (pro levou část),  $b_0 = 14,1$  m (pro pravou část),

$n$  je počet kontrakcí [-],

$\xi = 1$ , je součinitel boční kontrakce [-],

$h$  je výška přepadového paprsku [m].

Součinitel zatopení  $\sigma_z$  je ve výpočtu do výšky přepadového paprsku  $h = 0,6$  m uvažován roven 1. Pro vyšší přepadovou výšku je při výpočtu přepadového množství u konce spadiště zmenšen v závislosti na poloze hladiny ve spadišti. K výpočtu polohy hladiny ve spadišti byl použit postup dle Komory [27].

Vliv přítokové rychlosti byl zanedbán, přepadová výška je tedy  $h_0 = h$ .

Součinitel přepadu  $m$  je uvažovaný podle vztahu [29]:

$$m = 0,349494 + 0,307084 \frac{\frac{h}{s_1}}{\left(\frac{h}{s_1}\right)^{1,62877} + \left(\frac{s_1}{2r}\right)^{-1,45694} + 0,223402}, \quad (4.5)$$

kde

$h$  je přepadová výška nad přelivnou hranou [m],

$s_1$  je výška přelivné hrany nad terénem,  $s_1 = 3,6$  m pro levou část a  $s_1 = 3,63$  m pro pravou část,

$r$  je poloměr půlkruhové přelivné hrany,  $r = 0,64$  m.

**Měrná křivka bezpečnostního objektu je uvedena v Příloze 4.**

#### 4.4.7 Odvození měrné křivky spodní výpusti

Odvození měrné křivky spodní výpusti bylo provedeno za následujících předpokladů:

- Přelivná hrana tvořená dlužemi, se dle [19] uvažuje na úrovni hladiny zásobního prostoru, na základě geodetického zaměření [23] byla pro výpočet použita hodnota 269,12 m n. m.
- Obě řady dluží jsou osazeny česlovým rámem s česlicemi tl. 8 mm a roztečí 20 mm.
- Potrubí spodní výpusti má průměr  $D = 500$  mm, dno potrubí na vtoku i výtoku leží na kótě 265,05 m n. m.

**Samotný výpočet se skládal z těchto částí:**

Nejprve je kapacita dána přepadem přes dlužovou stěnu požeráku (uvažujeme jako ostrohranný přeliv bez bočního zúžení dle Bazina) [28]:

$$Q_p = \sigma_z \cdot m \cdot b \cdot \sqrt{2 \cdot g} \cdot h^{3/2}, \quad (4.6)$$

kde

$Q_{Pož}$  je přepadové množství přes dlužovou stěnu požeráku [ $m^3/s$ ],

$\sigma_z$  je součinitel zatopení [-],

$m$  je součinitel přepadu [-],

$g$  je gravitační zrychlení [ $m/s^2$ ],

$h$  je přepadová výška [m],

$b$  je účinná šířka přelivné hrany [m].

Součinitel přepadu  $m$  je uvažován upraveným vztahem dle Bazina [10]:

$$m = \left( 0,405 + \frac{0,003}{h} \right), \quad (4.7)$$

kde

$h$  je výška přepadového paprsku [m].

Ztrátová výška česlového rámu byla určena ze vztahu [10]:

$$h_z = \sum \xi_i \cdot \frac{v_i^2}{2g}, \quad (4.8)$$

kde

$\xi$  je součinitel místních ztrát na česlích [-],

$v$  je přítoková rychlost [m/s],

$g$  je gravitační zrychlení [m/s<sup>2</sup>].

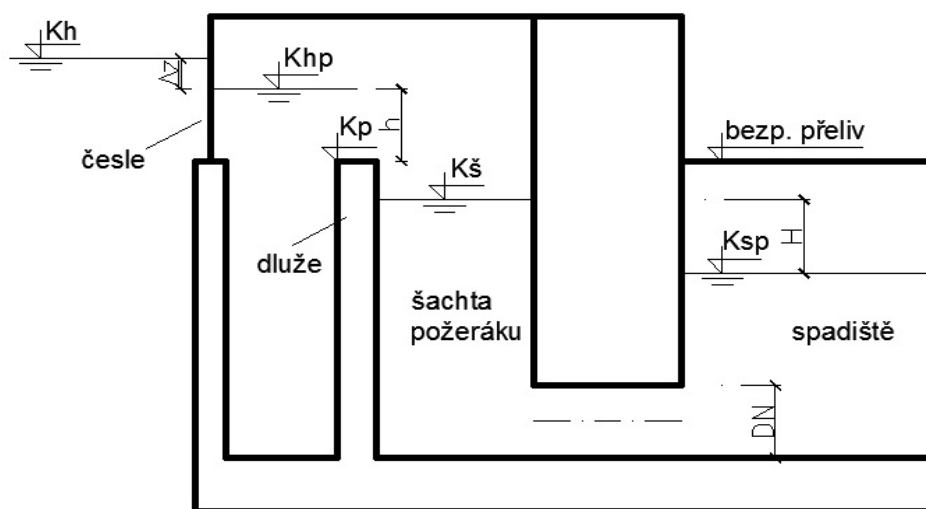
Součinitel místních ztrát na česlích  $\xi$  byl uvažován podle Kirschmera dle vztahu [10]:

$$\xi = 2,42 \cdot \left( \frac{t}{b} \right)^{4/3}, \quad (4.9)$$

kde

$t$  je tloušťka česlic [mm],

$b$  je rozteč mezi česlicemi [mm].



Obr. 4-3 Schema pro výpočet spodní výpusti (požeráku)

Výška hladiny v nádrži  $K_h$  je oproti kótě hladiny v šachtě požeráku  $K_{hp}$  zvýšena právě o ztrátovou výšku česlového rámu  $h_z$ .

Při dosažení hladiny v šachtě  $K_s$  úrovně přelivné hrany dluží  $K_p$  dochází postupně k nedokonalému přepadu vlivem zatopení a kapacitu již určuje jen výtok otvorem (spodní výpustí). Výtok otvorem je dán vztahem [28]:

$$Q_{otvor} = \mu \cdot S \cdot \sqrt{2gH}, \quad (4.10)$$

kde

$Q_{otvor}$  je průtok kruhovým otvorem [ $m^3/s$ ],

$\mu$  je součinitel výtoku pro kruhový otvor ( $\mu = 0,62$ ) dle [10],

$S$  je plocha potrubí [ $m^2$ ],

$H$  je tlačná výška daná rozdílem hladiny v šachtě požeráku a ve spadišti [ $m$ ].

**Konsumpční křivka spodní výpusti je uvedena v Příloze 5.** Z křivky je patrné, že při stoupajícím průtoku vody přes bezpečnostní přeliv dochází k vyrovnávání hladin a ztrátě kapacity spodní výpusti.

#### 4.4.8 Transformace povodňových vln

V rámci práce bylo provedeno přešetření průběhu návrhových povodňových vln PV100, PV200 (KPV) a PV1000 dle [16]. Parametry vln jsou uvedeny v kapitolách 4.2 a 4.3, povodňové vlny na přítoku do MVN Bílovec jsou zobrazeny v Příloze 6. Řešení bylo provedeno variantně za následujících předpokladů:

- hladina v nádrži je při příchodu povodňové vlny na kótě 269,12 m n. m.,
- spodní výpust je funkční, nemanipuluje se s ní.

Při řešení se vychází z následujících vztahů:

$$\frac{dV(t)}{dt} = Q_{in}(t) - Q_{out}(t),$$

$$dV(t) = A_s(H(t)) \cdot dH(t),$$

$$A_s(H(t)) \frac{dH(t)}{dt} = Q_{in}(t) - Q_{out}(t),$$

$$Q_{out}(t) = Q(H(t)), \quad (4.11)$$

kde

$Q_{in}(t)$  je přítok vody do nádrže [ $m^3/s$ ],

$Q_{out}(t)$  je odtok vody z nádrže (přes přeliv a spodní výpustí) [ $m^3/s$ ],

$dV(t)/dt$  je okamžitá změna objemu vody v nádrži [ $m^3$ ],

$A_s(H(t))$  je zatopená plocha [ $m^2$ ],

$dH(t)/dt$  je okamžitá změna polohy vody v nádrži [ $m$ ].

Řešení bylo provedeno explicitním vyjádřením vztahů (4.11) s časovým krokem 10 minut. Na základě zvoleného časového kroku byl z rovnic (4.11) odvozen diferenční vztah pro určení změny hladiny v nádrži v závislosti na přítoku  $Q_{in}$  do nádrže a odtoku  $Q_{out}$  z nádrže.

$$h_{i+1} = [Q_{in_i} - Q_{out_i}] \cdot \frac{\Delta t}{A_{s_i}} + h_i, \quad (4.12)$$

kde

$h_{i+1}$  je kóta hladiny v čase  $t_{i+1}$  [m n. m.],

$Q_{in_i}$  je přítok do nádrže v čase  $t_i$  [ $m^3/s$ ],

$Q_{out_i}$  je odtok z nádrže v čase  $t_i$  [ $m^3/s$ ],

$\Delta t$  je délka časového kroku ( $t_{i+1} - t_i$ ) [min],

$A_{s_i}$  je plocha hladiny v čase  $t_i$  [ $m^2$ ],

$h_i$  je kóta hladiny v čase  $t_i$  [m n. m.].

Výsledek byl srovnán se staršími výsledky, dosaženými s využitím programového vybavení [11] (doc. Jandora), ve kterých byla pro přibližnou numerickou integraci rovnice (4.11) použita jednokroková metoda. Výsledek transformace se nijak výrazně u obou způsobů nelišil, ale z důvodu větší přesnosti a spolehlivosti výstupních dat dosažených pomocí programového vybavení NÁDRŽ [11], se dále uvažují jen tyto výsledky.

**Výsledky výpočtů jsou uvedeny v Přílohách 7 až 9.**

## 5 STANOVENÍ MEZNÍ BEZPEČNÉ HLADINY

Při stanovení MBH byla zvažována v souladu s TNV 75 2935 tato hlediska [1]:

- celková stabilita hráze z globálního pohledu (porušení po smykové ploše),
- provalení podloží, resp. tělesa hráze v důsledku ztráty filtrační stability,
- protržení hráze při jejím přelití v důsledku povrchové eroze.

### 5.1 Celková stabilita hráze

Inženýrsko-geologickým průzkumem [26] byly jako materiál hráze ověřeny jíly se střední plasticitou, tuhé konzistence F6 CL. Dle ČSN 75 2410 [6] jsou tyto materiály pro stavbu homogenní hráze vhodné.

Hráz má maximální výšku nad terénem přibližně 5,0 m. Návodní svah je při patě vybudován ve sklonu 1 : 3, poté je rozdělen lavičkou o šířce 1,5 m ležící na kótě 268,65 m n. m., na kterou navazuje návodní svah o sklonu 1 : 2. Sklon vzdušního svahu líce hráze je v jednotném sklonu 1 : 2.

Pro homogenní hráze doporučuje pro uvedené materiály norma ČSN 75 2410 [6] následující sklony svahů tělesa hráze:

- návodní 1 : 3,7,
- vzdušní 1 : 2,2.

Z uvedeného je zřejmé, že sklony svahů nevyhovují požadavkům ČSN 75 2410 [6].

Stabilitní výpočet byl proveden v rámci IGP [26] pro vzdušní svah a maximální polohu hladiny a ukázal, že vzdušní svah splňuje předepsané hodnoty stupně stability. Stabilita návodního svahu nebyla početně ověřena.

Při místním šetření nebyly na hrázi identifikovány svahové deformace, zátrhy apod.

### 5.2 Provalení podloží, resp. tělesa hráze v důsledku ztráty filtrační stability

Při prohlídce vodního díla dne 23. 5. 2013 [18] nebyly na vzdušním líci hráze zastíženy žádné průsaky vody a ani jiné náznaky možných průsaků. Byly však zjištěny četné průsaky vody ze stěn propustku v hrázi (Obr. 4.2). Inženýrsko-geologický průzkum [26] a geofyzikální průzkum [24] rovněž v těchto místech potvrdil drobné anomálie ukazující na možné průsaky v místě sdruženého objektu. Tyto průsaky jsou patrně způsobeny kombinací nekvalitní pracovní spáry při stropě propustku a nevhodným konstrukčním řešením propustku, na němž je proveden násyp hráze malé mocnosti. Strop propustku se nachází pod hladinou zásobního prostoru 269,15 m n. m. V okolí sdruženého objektu je také patrné výrazné prosednutí hráze, které může být zapříčiněno výše zmíněnými průsaky a řešením

monolitického propustku, který není vytažen až ke koruně hráze, ale jehož strop se nachází cca 2 m pod korunou.

Geofyzikální průzkum [24] zjistil mírné prosednutí hráze ve staničení 140 až 160 m, mohlo by se jednat o možné projevy průsaků ve vazbě na původní koryto potoka. Pro potvrzení této hypotézy chybí archivní mapové podklady.

Pro posouzení průsakového režimu v prostoru průchodu propustku hrázi byly vyhodnoceny střední hydraulické gradienty v okolí sdruženého funkčního objektu (propustku v hrázi) a z jejich přípustných hodnot byla odvozena mezní bezpečná hladina. Byly řešeny dvě varianty, v první variantě kopíruje průsaková dráha úroveň stropu propustku, ve druhé variantě je průsaková dráha vedena podél stěny propustku šikmo směrem k patě vzdušního svahu hráze. Podmínka mezního stavu pro vznik privilegované průsakové cesty má tvar [13] :

$$\gamma_{sit} \gamma_n \gamma_{fa} i_P \leq \gamma_{stf} \gamma_{fp} i_K, \quad (5.1)$$

kde

$i_K$  je normový kritický střední hydraulický gradient uvažovaný dle [12] pro jíly  
 $i_K = 0,90$ ,

$\gamma_{sit}$  je součinitel návrhové situace,  $\gamma_{sit} = 0,95$ ,

$\gamma_n$  je součinitel účelu (významu konstrukce),  $\gamma_n = 1,15$ ,

$\gamma_{fa}$  je součinitel spolehlivosti zatížení, uvažovaný  $\gamma_{fa} = 1,1$ ,

$\gamma_{stf}$  je součinitel mezního stavu filtrační deformace,  $\gamma_{stf} = 0,9$ ,

$\gamma_{fp}$  je součinitel spolehlivosti odolnosti zeminy vůči porušení vnitřní erozí,

$\gamma_{fp} = 0,8$ ,

$i_P$  je střední hydraulický gradient, uvažovaný dle vztahu [13]:

$$i_P = \frac{H}{L}, \quad (5.2)$$

kde

$H$  je rozdíl mezi maximální hladinou určenou z hydraulických výpočtů a vyústěním průsakové dráhy [m],

$L$  je délka průsakové dráhy [m].

Dosazením uvedených hodnot do vztahu (5.1) vychází podmínka pro mezní hydraulický gradient  $i_P \leq 0,49$ .

Hydraulické gradienty pro různé polohy průsakové dráhy jsou shrnuty v Tab. 5.1.

**Tab. 5-1** *Hydraulické gradienty pro různé polohy průsakové dráhy*

	Kóta hladiny vody v nádrži 269,80 m n. m.	
Varianta	Varianta 1	Varianta 2
střední hydraulický gradient $i_p$	0,123	0,249

Z Tab. 5.1 je zřejmé, že pro odpovídající výpočtovou maximální hladinu ležící na kótě 269,80 m n. m. není mezní hydraulický gradient ani v jedné z řešených variant překročen, lze předpokládat, že nehrozí bezprostřední nebezpečí průsakovou erozí.

Pro hydraulický gradient  $i_p = 0,49$  vychází mezní bezpečná hladina na kótě 273,87 m n. m.

### 5.3 Protržení hráze při jejím přelítí

Kóta koruny hráze (Tab. 3.1) má nejnižší místo v okolí sdruženého funkčního objektu a leží na kótě 270,21 m n. m. Koruna hráze není nijak zpevněna, je pouze zatravněna. S ohledem na výšku výběhu vlny uvažovanou hodnotou 0,54 m dle [1] se uvažuje kóta mezní bezpečné hladiny na úrovni 269,90 m n. m. za předpokladu přelévání koruny hráze při průchodu  $PV_{200}$  ojedinělými vlnami po dobu cca 2 hodiny.

### 5.4 Souhrné zhodnocení

Pro výše zmíněná kritéria, s ohledem na nevyhovující sklony návodního i vzdušního svahu vychází nejnižší mezní bezpečná hladina na kótě 269,90 m n. m.

**Mezní bezpečná hladina pro MVN Bílovec odpovídá 269,90 m n. m.**

## 6 STANOVENÍ KONTROLNÍ MAXIMÁLNÍ HLADINY V NÁDRŽI

Kontrolní maximální hladina byla odvozena na základě výsledků řešení transformace kontrolní povodňové vlny KPV ( $PV_{200}$ ). Průběh průchodu povodňové vlny byl uvažován s naplněným zásobním prostorem, který je dán úrovní přelivné hrany bezpečnostního přelivu. Maximální hladina dosažená při průchodu uvažované  $KPV_{200}$  odpovídá kótě 269,72 m n. m.

**Tab. 6-1 Přítoky a odtoky z MVN Bílovec při průchodu  $PV_{100}$ , KPV ( $PV_{200}$ ),  $PV_{1000}$**

PV	max. přítok [m <sup>3</sup> /s]	max. odtok [m <sup>3</sup> /s]	max. hladina [m n. m.]	Poznámka
100	23,100	23,012	<b>269,68</b>	Přelivná hrana dluží – 269,12 m n. m. Nejnižší hrana bezpeč. přelivu – 269,10 m n. m.
200	26,300	26,172	<b>269,72</b>	
1000	34,000	33,765	<b>269,86</b>	

Na základě provedených výpočtů transformace KPV vychází kóta kontrolní maximální hladiny 269,72 m n. m.

Řešení transformace povodňové vlny pro  $PV_{100}$ ,  $PV_{200}$  a  $PV_{1000}$  je uvedeno v přílohách 7, 8 a 9.

## 7 ZÁVĚREČNÉ ZHODNOCENÍ

Stanovená KMH 269,72 m n. m. nepřevyšuje stanovenou MBH 269,90 m n. m. Vodnímu dílu nehrozí bezprostřední nebezpečí protržení hráze. Z dlouhodobého hlediska je nutné se zabývat průsaky do propustku v hrázi, pozorovat sedání hráze v místě křížení skluzu s hrází a také intenzitu průsaků v tomto prostoru. Nápravná opatření jsou shrnuta v kapitole 8.

**KMH 269,72 m n. m.  $\leq$  MBH 269,90 m n. m.**

**Z porovnání KMH a MBH vyplývá, že MVN Bílovec je bezpečná ve smyslu požadavků TNV 75 2935 [1].**

## 8 DOPORUČENÍ

Uvedená doporučení směřují k zajištění dlouhodobé spolehlivosti a bezpečnosti vodního díla. Týkají se opravy bezpečnostního přelivu a zabránění, resp. omezení nerovnoměrného sedání a průsaků v okolí propustku hrází.

### 8.1 Oprava bezpečnostního přelivu

Stav bezpečnostního přelivu, zejména jeho přelivné hrany není vyhovující. Z geodetického zaměření [23] a místního šetření [18] je zřejmé, že přelivné hrany nemají stejnou nadmořskou výšku, povrch přelivu je rozrušen degradací betonu. Patrné jsou zejména výrony vody těsně pod úrovní přelivné hrany a nežádoucí vegetace rostoucí na přelivných hranách apod. (Obr. 4.1 a 4.2).

Doporučuje se provést:

- sanaci vodostavebního betonu přelivné hrany, stěn i dna spadiště,
- vyrovnání výškové odchylky úrovní přelivných hran na kótu 269,12 m. n. m.

### 8.2 Zamezení průsakové erozi

Umístění stropu monolitického propustku pod hladinou zásobního prostoru (Obr. 4.1) a nevhodná konstrukce propustku vedoucí k nerovnoměrnému sedání hráze v místě propustku způsobují průsaky stěnami propustku (Obr. 4.2) a nerovnoměrné sedání v okolí sruženého funkčního objektu. Průsaky mohou vyvolávat zvětšování trhlin a při vyšší hladině v nádrži způsobit lokální vyplavování drobných částic. Tento stav je patrně zhoršován promrzáním zeminy za rubem propustku.

Z krátkodobého hlediska se doporučuje sledování sedání hráze a sledování průsaků na stěnách propustku a na vzdušní straně svahu hráze. Inženýrsko-geologický průzkum [26] dále doporučuje posouzení filtrační stability celé hráze z důvodu podezření na vyplavování částic v propustném podloží hráze.

Z dlouhodobého hlediska se doporučuje rekonstrukce propustku, vytažení konstrukce monolitického rámu až na úroveň koruny hráze a tím zamezit nerovnoměrnému sedání hráze v tomto prostoru. Dále by bylo vhodné zvýšit úroveň stropu nad hladinu zásobního prostoru nebo ošetřit pracovní spáru při stropě propustku k zamezení průsaků. Ke zvýšení bezpečnosti proti provalení v místě propustku v hrázi se doporučuje vybudování zavazovacího křídla po obou stranách propustku (při rozsáhlejší rekonstrukci).

## 9 ZÁVĚR

Bakalářská práce se věnovala posouzení bezpečnosti vodního díla Bílovec za povodní, dle požadavků TNV 75 2935. Úvodní kapitoly jsou věnovány popisu a základním parametrům vodního díla. MVN byla zařazena do skupiny B vodních děl, s požadovanou mírou bezpečnosti  $N=200$  let. Pro sdružený funkční objekt byly odvozeny konsumpční křivky spodní výpusti (požeráku) a bezpečnostního přelivu. K ověření, zda nedochází ke vzduť v odpadním korytě a propustku, které by mohlo ovlivňovat kapacitu sdruženého funkčního objektu, byly odvozeny konsumpční křivky odpadního koryta a propustku. Na základě hydrologických podkladů průběhů povodňových vln, byla vypočítána jejich transformace vodním dílem Bílovec. Z jejich řešení byla určena kontrolní maximální hladina na kótě 269,72 m n. m. pro  $KPV_{200}$ . Mezní bezpečná hladina byla určena s ohledem na celkovou stabilitu hráze, možnost provalení podloží tělesa hráze a protržení hráze při jejím přelití. Výsledná nejnižší mezní bezpečná hladina byla určena na kótě 269,90 m n. m.

Cílem bylo posoudit, zda mezní bezpečná hladina nepřevyšuje určenou kontrolní maximální hladinu. Z porovnání těchto hladin vychází, že vodnímu dílu Bílovec nehrozí v dlouhodobém horizontu nebezpečí protržení hráze. K zajištění větší bezpečnosti vodního díla, jsou v kapitole 8 uvedena doporučení týkající se opravy bezpečnostního přelivu a zabránění, resp. omezení nerovnoměrného sedání a průsaků v okolí propustku hrází.

## 10 POUŽITÁ LITERATURA

- [1] TNV 75 2935. *Posuzování bezpečnosti vodních děl při povodních*. Praha: Hydroprojekt CZ a. s., 2003.
- [2] Vyhláška č. 471/2001 *Sb. o technicko-bezpečnostním dohledu nad vodními díly*. 2011.
- [3] Vyhláška č. 590/2002 *Sb., o technických požadavcích pro vodní díla ve znění pozdějších předpisů (367/2005 Sb.)*.
- [4] ČSN EN 1997-1. *Eurokód 7: Navrhování geotechnických konstrukcí*. Praha: Český normalizační institut, 2006.
- [5] ČSN 75 2310. *Sypané hráze*. Praha: Český normalizační institut, 2006.
- [6] ČSN 75 2410. *Malé vodní nádrže*. Praha: Český normalizační institut, 1997.
- [7] TNV 75 2415. *Suché nádrže*. 2002.
- [8] ČSN 75 0255. *Výpočet účinků vln na stavby na vodních nádržích a zdržích*. Praha: Vydavatelství Úřadu pro normalizaci a měření, 1988.
- [9] ČSN 75 2405. *Vodohospodářská řešení vodních nádrží*. Praha: Český normalizační institut, 2004.
- [10] BOOR, B., KUNŠTÁTSKÝ J., PATOČKA C. *Hydraulika pro vodohospodářské stavby*. Praha: SNTL, 1968.
- [11] JANDORA, J. *Programový produkt NADRZ, 2006 - 2009*.
- [12] JANDORA, J. *Porušení sypaných hrází v důsledku přelití*. Vyd. 1. Editor Říha, J. Brno: Econ, c2002, 188 s. Práce a studie (Vysoké učení technické v Brně. Ústav vodních staveb). ISBN 80-864-3314-5.
- [13] ŘÍHA, J. *Ochranné hráze na vodních tocích*. 1. vyd. Praha: Grada, 2010, 223 s. ISBN 978-80-247-3570-2.
- [14] DOLEŽAL, P. *Malé vodní a suché nádrže: TP 1.19 : technická pomůcka k činnosti autorizovaných osob*. 1. vyd. Praha: Pro Českou komoru autorizovaných inženýrů a techniků činných ve výstavbě vydává Informační centrum ČKAIT, 2011, 108 s. ISBN 978-80-86364-16-2.
- [15] *Hydrologické poměry ČSR. III. díl. ČHMÚ, 1973*.
- [16] *Hydrologická studie pro VD Bílovec: Průběhy teoretických povodňových vln s dobou opakování N=100, 200 a 1000 let*. Ostrava: ČHMÚ, 2013.
- [17] *Hydrologické údaje povrchových vod v profilu VD Bílovec, vodní tok Jamník*. Ostrava: ČHMÚ, 2013.

- [18] *Místní šetření*. 23. 5. 2013.
- [19] *Manipulační a provozní řád: pro vodní nádrž Bílovec: na potoce Jamník v km 5,635*. Studénka, 2007.
- [20] *Zápis o prohlídce v rámci technicko-bezpečnostního dohledu podle §11 vyhlášky č. 471/2001 Sb., ze dne 26. 7. 2009*.
- [21] *Doplnění projektu rybníka v Bílovcích: Přeložka odpadu: Jednostupňový projekt*. Opava: Ústav pro typizaci a vývoj zemědělských a lesnických staveb v Praze, pobočka 07.
- [22] *Výstavba vodohospodářské nádrže: Hydropedologický průzkum: Jednostupňová dokumentace*. Opava: KZPÚ, 1962.
- [23] *Hráz vodní nádrže Bílovec: Účelová mapa pro projektové účely*. Ostrava: GESPO v.o.s., 2013.
- [24] *Závěrečná zpráva o geofyzikálním průzkumu hráze: VN Bílovec*. Praha: G IMPULS Praha, spol. s r.o., 2013.
- [25] *Technická zpráva: Rybník Bílovec: Zkrácená dokumentace*. Brno, 1965.
- [26] *Závěrečná zpráva: IG průzkum malých vodních nádrží- III. Etapa- Realizace: VN Bílovec*, Ostrava, 2013.
- [27] KOMORA, J. *Bočné priepady pri vodných nádržiach*. Bratislava: VÚVH Bratislava, 1962. Veda a výskum v praxi, sv. 6.
- [28] JANDORA, J., ŠULC, J. *Hydraulika, Modul 01. Studijní opora*, VUT FAST, Brno, 2006.
- [29] ŠAFÁŘ, R. *Fyzikální a matematické modelování proudění na bezpečnostních přelivech přehrad s kruhově zaoblenou korunou*. Brno, 2012. Disertační práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodních staveb.
- [30] *Mapy.cz* [online]. [cit. 2014-02-07]. Dostupné z: <http://www.mapy.cz/>

## SEZNAM TABULEK

<i>Tab. 2-1 Požadovaná míra bezpečnosti VD [1] .....</i>	<i>11</i>
<i>Tab. 3-1- Základní parametry MVN Bílovec [19] [23] [25] .....</i>	<i>15</i>
<i>Tab. 4-1 Číselné charakteristiky průtoků a teoretických povodňových vln [16] [17] [19].....</i>	<i>16</i>
<i>Tab. 5-1 Hydraulické gradienty pro různé polohy průsakové dráhy .....</i>	<i>30</i>
<i>Tab. 6-1 Přítoky a odtoky z MVN Bílovec při průchodu <math>PV_{100}</math>, <math>KPV</math> (<math>PV_{200}</math>), <math>PV_{1000}</math>.....</i>	<i>31</i>

## SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 3-1 Poškození bezpečnostního přelivu [18].....</i>	<i>14</i>
<i>Obr. 4-1 Strop propustku pod úrovní hladiny stálého nadržení [18] .....</i>	<i>21</i>
<i>Obr. 4-2 Průsaky vody v propustku (detail – průsak vody ze stěn propustku) [18].....</i>	<i>21</i>
<i>Obr. 4-3 Schema pro výpočet spodní výpusti (požeráku).....</i>	<i>25</i>

**SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ****SEZNAM SYMBOLŮ:**

$A_{s_i}$	plocha hladiny v čase $t_i$	$[m^2]$
$b$	účinná šířka přelivné hrany	$[m]$
$b_0$	délka přelivné hrany	$[m]$
$C$	rychlostní součinitel	$[-]$
$dH(t)/dt$	okamžitá změna polohy vody v nádrži	$[m]$
$dV(t)/dt$	okamžitá změna objemu vody v nádrži	$[m^3]$
F6 CL	jíl s nízkou plasticitou	$[-]$
$g$	gravitační zrychlení	$[m/s]$
G4 GM	štěrk hlinitý	$[-]$
$h$	přepadová výška	$[m]$
$H$	rozdíl mezi maximální hladinou a vyústěním	
$h_0$	energetická přepadová výška	$[m]$
$h_i$	kóta hladiny v čase $t_i$	$[m \text{ n. m.}]$
$h_{i+1}$	kóta hladiny v čase $t_{i+1}$	$[m \text{ n. m.}]$
$H_{max}$	maximální hladina	$[m \text{ n. m.}]$
$H_s$	hladina stálého nadržení	$[m \text{ n. m.}]$
$H_z$	zásobní hladina	$[m \text{ n. m.}]$
$i$	sklon	$[\%]$
$i_k$	normový kritický střední hydraulický gradient	$[-]$
$i_p$	střední hydraulický gradient	$[-]$
$i_p$	střední hydraulický gradient	$[-]$
$K_h$	kóta hladiny	$[m \text{ n. m.}]$
$K_h$	výška hladiny v nádrži	$[m \text{ n. m.}]$
$K_{hp}$	výška hladiny v požeráku	$[m \text{ n. m.}]$
$K_p$	kóta přelivné hrany dluží	$[m \text{ n. m.}]$
$K_{\xi}$	výška hladiny šachtě požeráku	$[m \text{ n. m.}]$

L	délka průsakové dráhy	[m]
m	součinitel přepadu	[-]
n	počet kontrakcí	[-]
	průsakové dráhy	[m]
$Q_{in}$	přítok do nádrže	[m <sup>3</sup> /s]
$Q_N$	N – letý průtok	[m <sup>3</sup> /s]
$Q_{out}$	odtok z nádrže	[m <sup>3</sup> /s]
$Q_p$	přepadové množství přes bezpečnostní přeliv	[m <sup>3</sup> /s]
$Q_{pož}$	přepadové množství přes dlužovou stěnu požeráku	[m <sup>3</sup> /s]
R	omočený obvod	[m]
r	poloměr	[m]
S	průtočná plocha	[m <sup>2</sup> ]
$s_1$	výška přelivné hrany nad terénem	[m]
t	tloušťka česlic	[mm]
V	objem	[m <sup>3</sup> ]
v	průřezová rychlost	[m/s]
$V_c$	celkový objem	[m <sup>3</sup> ]
$v_i$	přítoková rychlost	[m/s]
$V_r$	ochranný prostor neovladatelný	[m <sup>3</sup> ]
$V_s$	prostor stálého nadržení	[m <sup>3</sup> ]
$V_z$	zásobní prostor	[m <sup>3</sup> ]
$W_N$	objem povodňové vlny	[tis. m <sup>3</sup> ]
$\Delta z$	ztrátová výška	[m]
$\Delta t$	délka časového kroku	[s]
$\gamma_{fa}$	součinitel spolehlivosti zatížení	[-]
$\gamma_{fp}$	součinitel spolehlivosti odolnosti zeminy vůči porušení vnitřní erozí	[-]
$\gamma_n$	součinitel účelu	[-]
$\gamma_{sit}$	součinitel návrhové situace	[-]

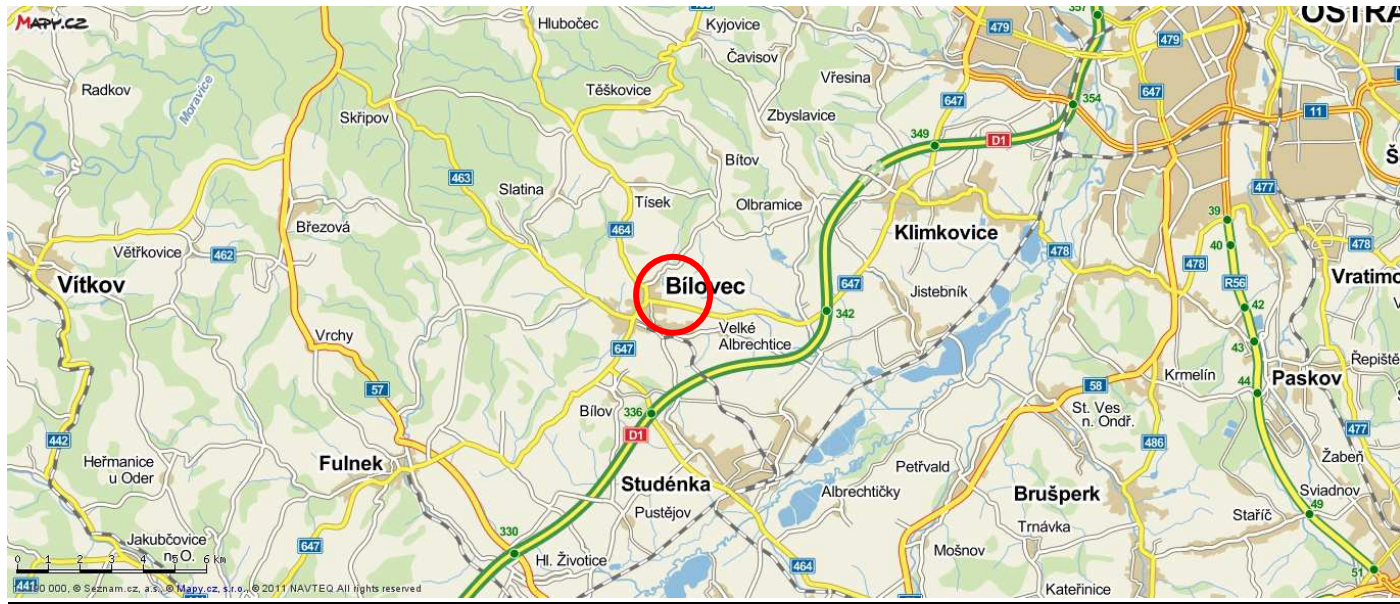
$\gamma_{stf}$	součinitel mezního stavu filtrační deformace	[-]
$\xi$	součinitel místních ztrát	[-]
$\sigma_z$	součinitel zatopení	[-]

## SEZNAM ZKRATEK:

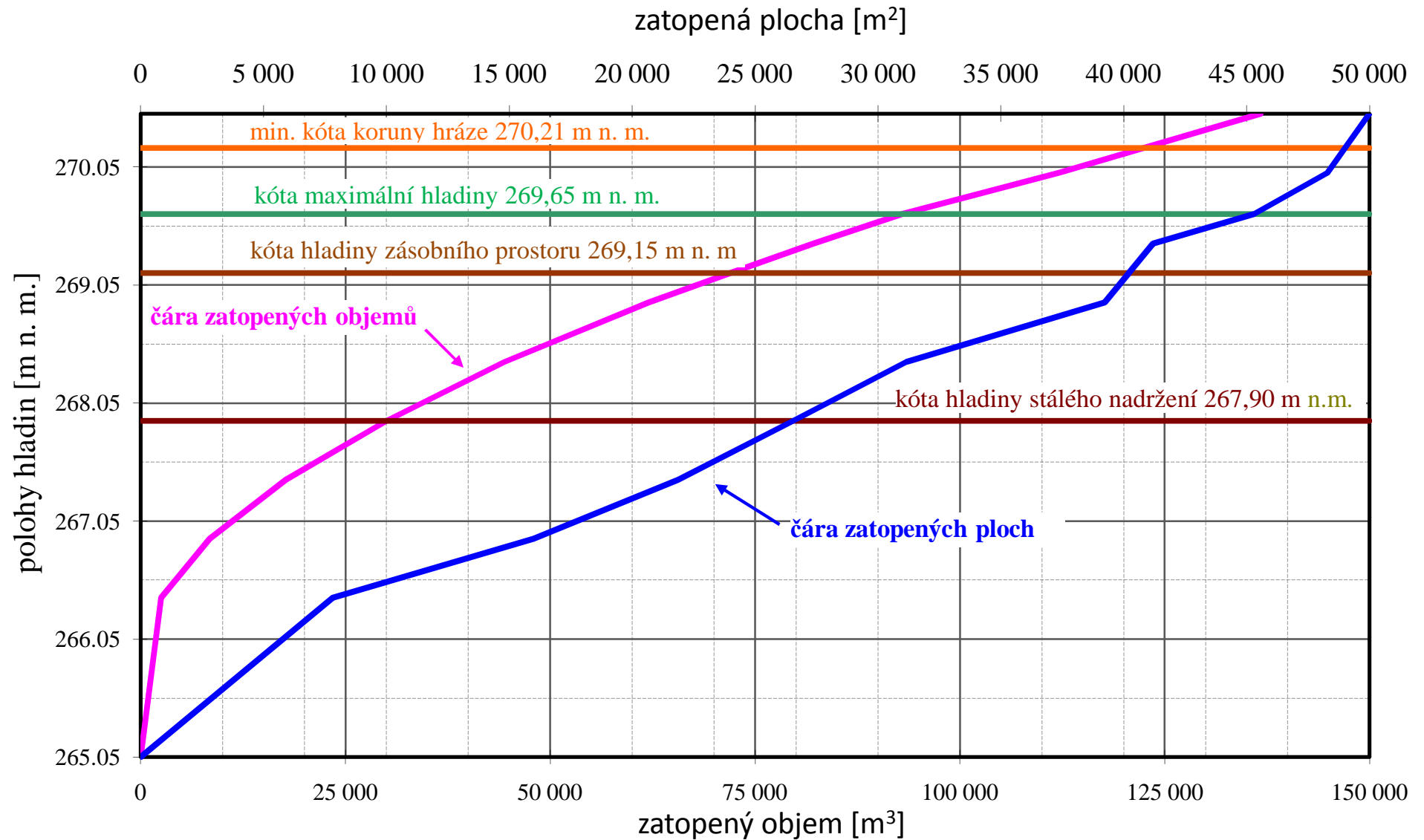
BPV	Balt po vyrovnání
ČOV	čistírna odpadních vod
ČSN	česká státní norma
DN	jmenovitá světlost
IGP	inženýrsko-geologický průzkum
KMH	kontrolní maximální hladina
KPV	kontrolní povodňová vlna
MBH	mezní bezpečná hladina
MŘ	manipulační řád
MVN	malá vodní nádrž
PV	povodňová vlna
SPA	stupně povodňové aktivity
TBD	technicko-bezpečnostní dohled
TNV	odvětvové technické normy vodního hospodářství
VD	vodní dílo

## SEZNAM PŘÍLOH

- 1) Umístění MVN Bílovec
- 2) Čáry zatopených ploch a objemů MVN Bílovec
- 3) Měrná křivka koryta pod hrází a propustku v hrázi MVN Bílovec
- 4) Měrná křivka bezpečnostního přelivu MVN Bílovec
- 5) Měrná křivka spodní výpusti MVN Bílovec
- 6) Teoretické povodňové vlny  $PV_{100}$   $PV_{200}$  a  $PV_{1000}$  v profilu hráze MVN Bílovec
- 7) Transformace KPV ( $PV_{100}$ ) MVN Bílovec
- 8) Transformace KPV ( $PV_{200}$ ) MVN Bílovec
- 9) Transformace KPV ( $PV_{1000}$ ) MVN Bílovec

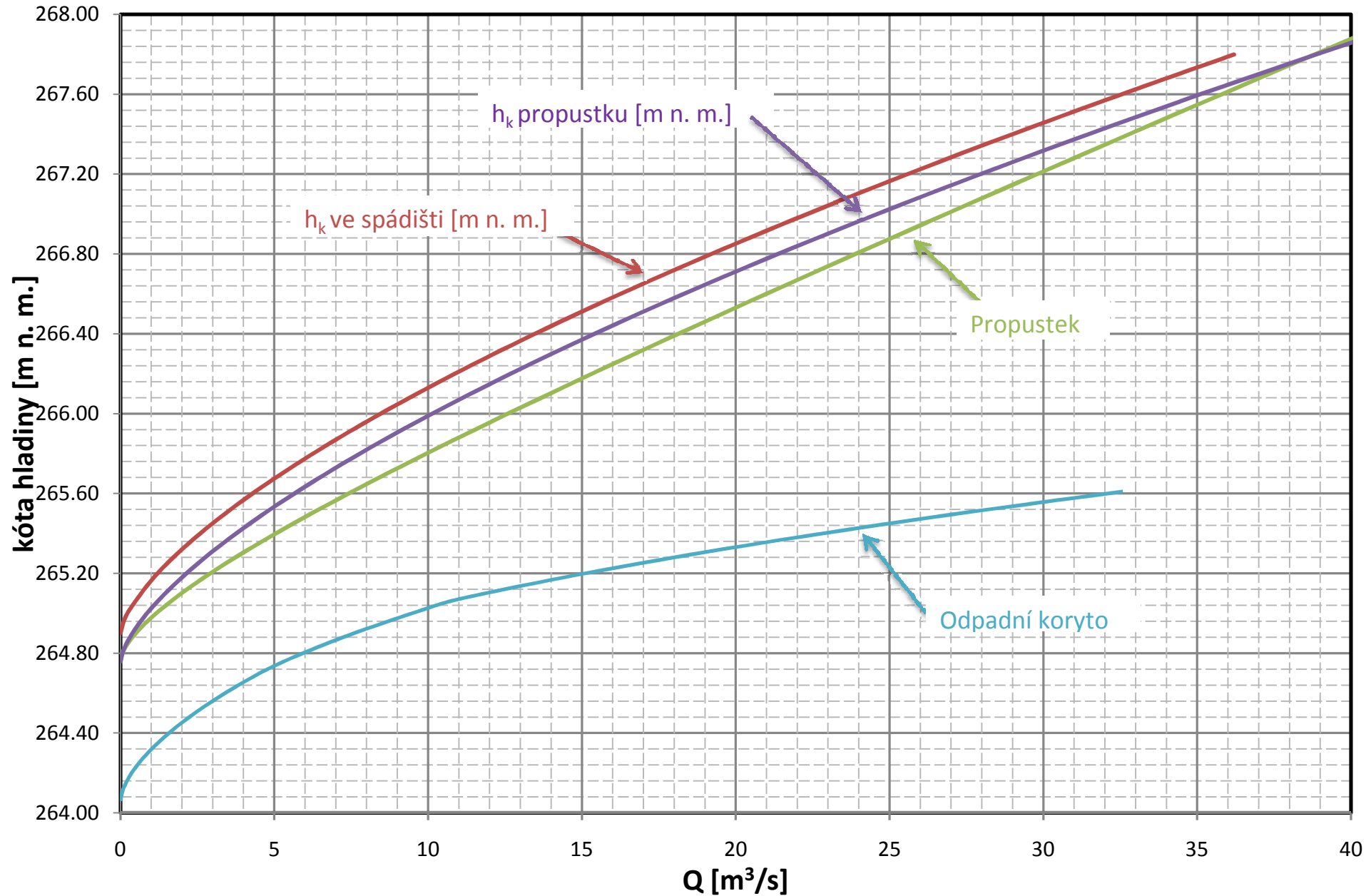


**Příloha 1**  
**Umístění MVN Bílovec [30]**



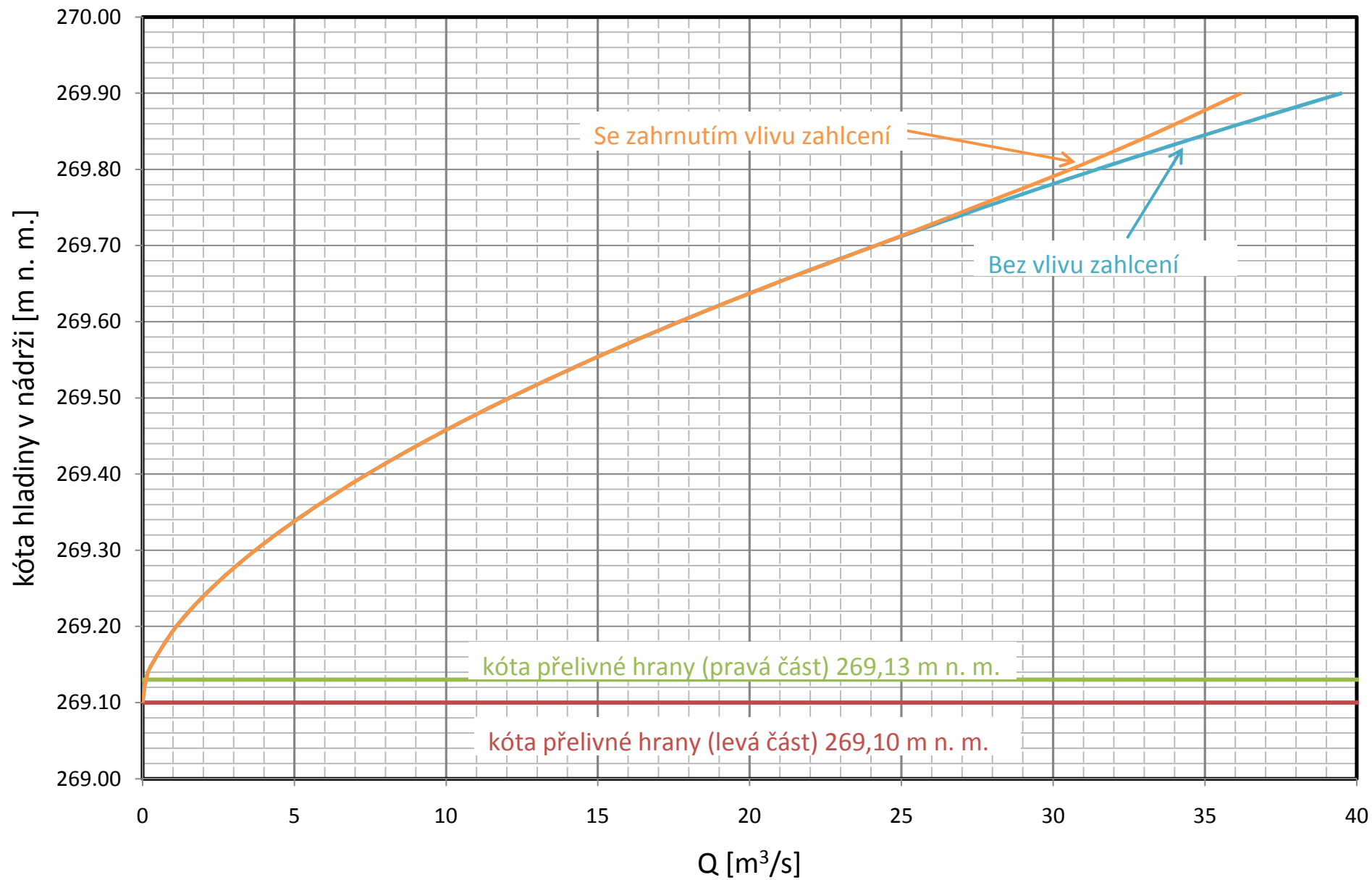
## Příloha 2

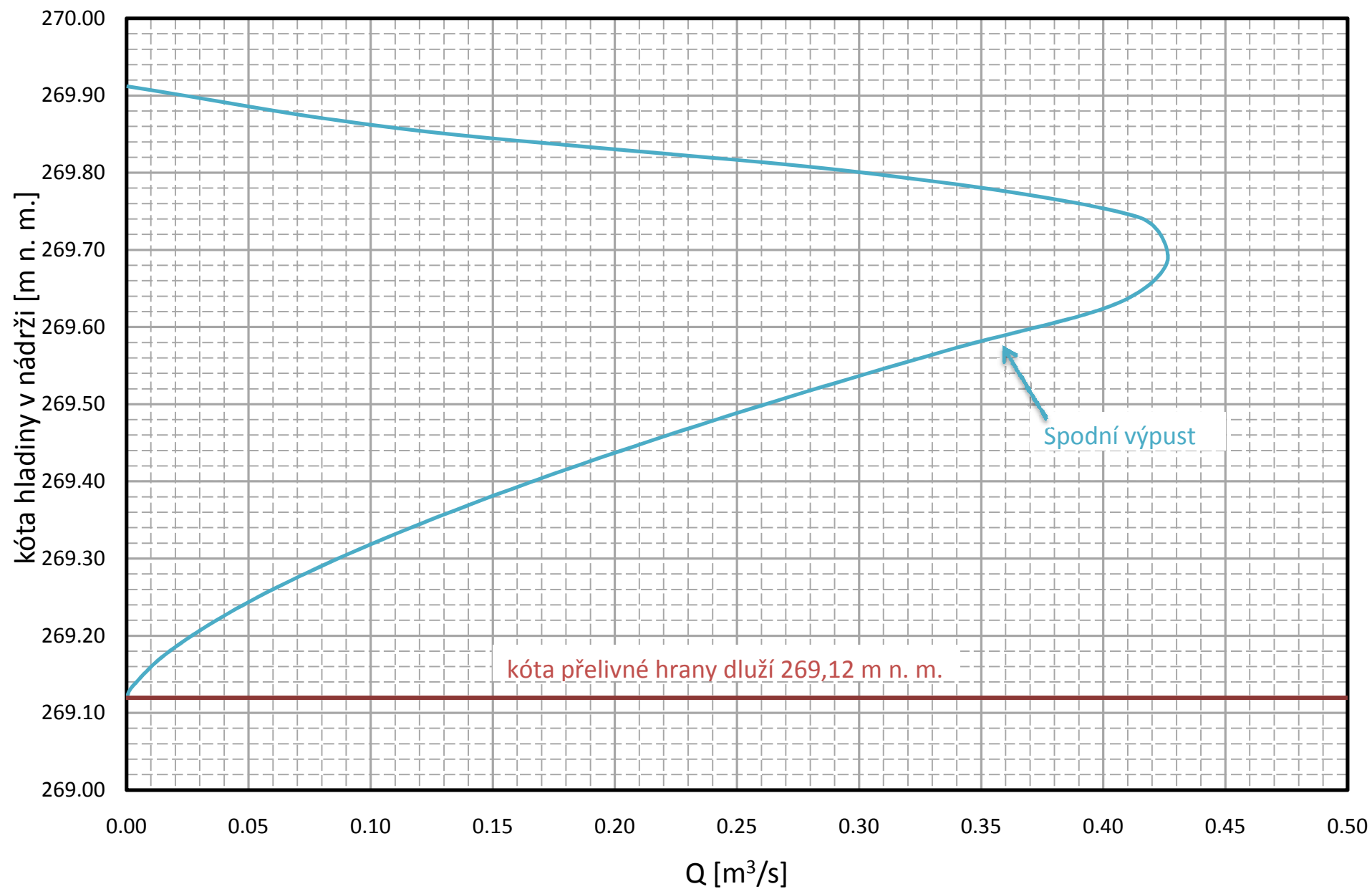
Čáry zatopených ploch a objemů MVN Bílovec [19]

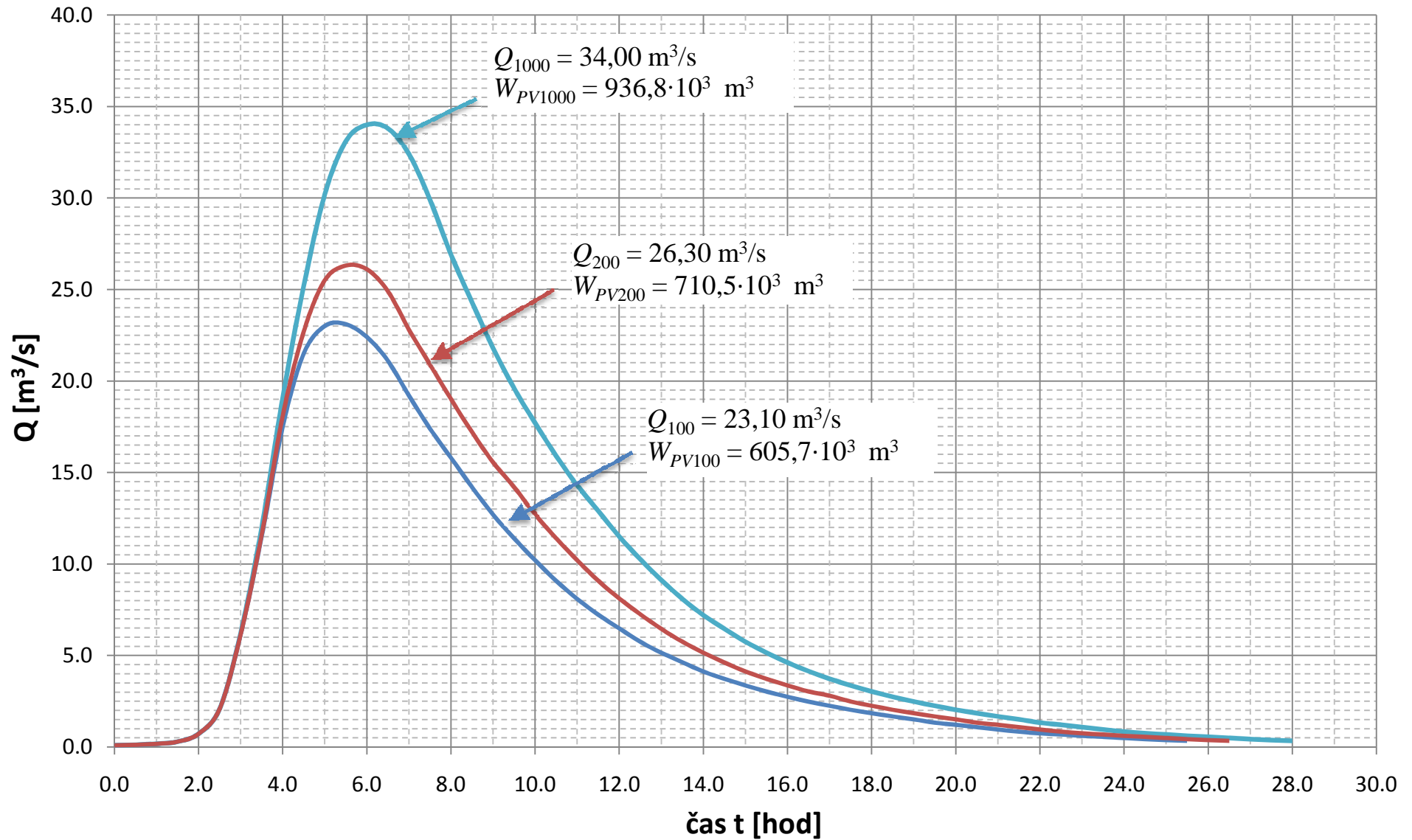


### Příloha 3

Měrná křivka koryta pod hrází a propustku v hrázi MVN Bílovec







## Příloha 6

Teoretické povodňové vlny  $PV_{100}$ ,  $PV_{200}$  a  $PV_{1000}$  v profilu hráze MVN Bílovec [16]

