



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ  
ÚSTAV VODNÍCH STAVEB

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING  
INSTITUTE OF WATER STRUCTURES

# POSOUZENÍ VODNÍHO DÍLA HORNÍ DUNAJOVICE ZA POVODNÍ

SAFETY ASSESMENT OF THE HORNÍ DUNAJOVICE DAM DURING FLOODS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE  
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

ROMAN KŘIVOHLÁVEK

VEDOUCÍ PRÁCE  
SUPERVISOR

doc. Ing. JAN JANDORA, Ph.D.

BRNO 2016



# 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** Roman Křivohlávek

**Název** Posouzení vodního díla Horní Dunajovice za povodní

**Vedoucí bakalářské práce** doc. Ing. Jan Jandora, Ph.D.

**Datum zadání bakalářské práce** 17. 3. 2015

**Datum odevzdání bakalářské práce** 27. 5. 2016

V Brně dne 17. 3. 2015

.....  
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 vodního díla povodních.

Boor, B., Kunštátský, J., Patočka, C. 1968. Hydraulika pro vodohospodářské stavby, SNTL Praha. Manipulační řád pro vodní nádrž Horní Dunajovice.

## **Zásady pro vypracování**

Náplní diplomové práce bude posouzení bezpečnosti VD Horní Dunajovice při povodních podle TNV 75 2935. Mimo vlastní posouzení a prověření bezpečnosti VD Horní Dunajovice při povodních budou také navržena opatření, která povedou ke zvýšení bezpečnosti VD Horní Dunajovice.

Požadavky na zpracování bakalářské práce:

1. Posouzení mezní bezpečné hladiny pro převedení kontrolní povodňové vlny,
2. Navržení opatření ke zvýšení bezpečnosti.

Práce bude zpracována podle TNV 75 2935 a bude obsahovat:

- A. Úvodní část
- B. Účel a popis VD Horní Dunajovice
- 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
- H. Použité podklady
- I. Seznam příloh

## **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).

3.

.....  
doc. Ing. Jan Jandora, Ph.D.  
Vedoucí bakalářské práce

**Abstrakt**

Cílem této bakalářské práce je posouzení bezpečnosti vodního díla Horní Dunajovice při průchodu kontrolní povodňové vlny  $KPV_{1000}$ . Řešení bylo provedeno na základě požadavků ČSN 75 2935. Výsledkem práce je zhodnocení stávajícího stavu tělesa hráze a sdruženého objektu a návrh požadovaných opatření.

**Klíčová slova**

Kontrolní povodňová vlna, kontrolní maximální hladina, mezní bezpečná hladina, sdružený objekt, nehomogenní zemní hráz, stabilita svahů, kapacita, bezpečnostní přeliv

**Abstract**

The aim of this bachelor thesis is safety assesment of the Horní Dunajovice dam during control floods. The requirements ČSN 75 2935 were a basis for this thesis. The result of thesis is evaluation of current condition of body of dam and associated facility. Proposal of requested measures is attached.

**Keywords**

Control flood wave, control maximal water level, maximum permissible water level, the associated facility, inhomogeneous earth dike, slope stability, capacity, spillway

## **Bibliografická citace VŠKP**

Roman Křivohlávek *Posouzení vodního díla Horní Dunajovice za povodní*. Brno, 2016. 37 s., 17 s. příl. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodních staveb. Vedoucí práce doc. Ing. Jan Jandora, Ph.D.

**Prohlášení:**

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

V Brně dne 4. 5. 2016

.....  
podpis autora  
Roman Křivohlávek

# PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY VŠKP

## **Prohlášení:**

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané bakalářské práce je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 25.05.2016

.....  
podpis autora  
Roman Krivohlávek

**Poděkování:**

Tímto bych rád vyjádřil vděčnost a poděkování proděkanovi Janu Jandorovi za vstřícnost a rady při vedení mé práce a zároveň rodině a přátelům za materiální a duševní podporu při studiu.

# Obsah

A.	ÚVODNÍ ČÁST .....	1
B.	ÚČEL A POPIS VODNÍHO DÍLA.....	3
B.1	Účel díla.....	3
B.2	Technický popis díla.....	3
B.2.1	Vzdouvací objekt.....	3
B.2.2	Sdružený funkční objekt.....	4
C.	ZÁKLADNÍ ÚDAJE A PODKLADY .....	8
C.1	Požadovaná míra bezpečnosti VD při povodni.....	8
C.2	Hydrologické podklady.....	8
C.3	Technické parametry.....	9
C.4	Okolnosti ovlivňující bezpečnost vodního díla za povodní.....	9
C.4.1	Manipulace za povodní, obsluha díla, údržba .....	9
C.4.2	Vymezení retenčního prostoru.....	10
C.4.3	Stupeň povodňové aktivity pro profil hráze .....	10
C.4.4	Konstrukční uspořádání jednotlivých prvků vodního díla .....	11
C.5	Hydraulické výpočty.....	15
C.5.1	Odvození měrné křivky odpadního koryta za vývarem.....	15
C.5.2	Odvození měrné křivky bezpečnostního přelivu.....	16
C.5.3	Odvození měrné křivky spodní výpusti.....	19
C.5.4	Transformace povodňových vln .....	20
D.	STANOVENÍ MEZNÍ BEZPEČNÉ HLADINY .....	21
D.1	Celková stabilita hráze.....	21
D.2	Provalení podloží, respektive tělesa hráze v důsledku ztráty filtrační stability.....	24
D.3	Výběh větrové vlny.....	25
D.4	Protržení hráze při jejím přelití.....	25
D.5	Souhrnné zhodnocení.....	26

E. STANOVENÍ KONTROLNÍ MAXIMÁLNÍ HLADINY V NÁDRŽI.....	26
F. ZÁVĚREČNÉ ZHODNOCENÍ.....	27
G. NÁPRAVA A NOUZOVÁ OPATŘENÍ .....	27
G.1 Nouzová opatření .....	27
G.2 Opatření vedoucí ke zvýšení bezpečnosti VD .....	28
Citovaná literatura .....	30
Seznam tabulek.....	32
Seznam obrázků.....	33
Seznam použitých zkratk a symbolů .....	34
Seznam příloh.....	38

# Identifikační údaje

Název akce: Posouzení vodního díla Horní Dunajovice za povodní

Zhotovitel: Roman Křivohlávek

Výškový systém: Balt po vyrovnání (BPV)

Souřadnicový systém: S-JTSK

Vodní tok: Křepička (4-14-03-034)

## Cíle a předmět práce

Cílem bakalářské práce je posouzení bezpečnosti malé vodní nádrže Horní Dunajovice (dále jen VD Horní Dunajovice) za povodní dle ČSN 75 2935 [1] a dle vyhlášky č. 367/2005 Sb., kterou se mění vyhláška č. 590/2002 Sb., o technických požadavcích pro vodní díla [2], na potoce Křepička.

Posouzení je v bakalářské práci členěno následovně:

- A Úvodní část
- B Účel a popis 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
- H Použité podklady
- I Seznam příloh

## A. ÚVODNÍ ČÁST

Tato práce se zabývá posouzením vodního díla Horní Dunajovice za povodní dle [1] a [2]. VD Horní Dunajovice je řazeno mezi malé vodní nádrže. Největší hloubka nádrže dosahuje právě 9 m a objem nádrže po hladinu ovladatelného prostoru není větší než 2 mil. m<sup>3</sup>/s (limity zařazení do MVN dle [3]). Posouzení je provedeno pro hydrologické podklady aproximované z VD Ostrov nad Oslavou a VD Těšetice s podobnou plochou povodí [4] a pro podklady poskytnuté ČHMU [5]. VD Horní Dunajovice je zařazeno do III. kategorie podle [6] a [7]. Pravděpodobné škody při hypotetické havárii jsou značné ekonomické, škody na životním prostředí a sociální dopady v rozsahu regionu (Tabulka 2). Při porušení vodního díla se přepokládají ztráty na lidských životech v obci Horní Dunajovice, proto je dle [1] a [6] určena požadovaná míra bezpečnosti VD odpovídající povodňové vlně s dobou opakování  $N = 1000$  let.

Tabulka 1 - Míra bezpečnosti VD [2]

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

Tabulka 2 - Požadovaná míra bezpečnosti dle [1]

Kategorie vodního díla <sup>3)</sup>	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	mimofádně 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	20

Technické parametry VD byly převzaty z manipulačního řádu pro VD Horní Dunajovice [7].  
V posudku je používán výškový systém Balt po vyrovnání (Bpv).

## **B. ÚČEL A POPIS VODNÍHO DÍLA**

### **B.1 Účel díla**

Víceúčelová vodní nádrž Horní Dunajovice je situována na potoce Křepička, přibližně 1700 m pod soutokem se Stupešickým potokem, východně od obce Mikulovice. MVN je navržena jako průtočná nádrž. Jedná se o víceúčelové dílo sloužící:

- k akumulaci vody pro doplňkovou závlahu,
- k rybochovu,
- k zajištění asanačního průtoku v toku Křepička,
- k individuální rekreaci.

Odběry vody pro závlahu jsou povoleny firmě Závlahy Jevišovka s.r.o., Horní Dunajovice.

### **B.2 Technický popis díla**

#### **B.2.1 Vzdouvací objekt**

Je tvořen sypanou nehomogenní hrází lichoběžníkového profilu o výšce 9,0 m s maximálním využitím místních materiálů. Šířka v koruně hráze je 5,0 m a sklony svahu návodního i vzdušného jsou 1:2.

Těsnicí část hráze je nasypána z hlín náležících do skupiny CL. Zavázání do levého břehu je provedeno pomocí zavazovacího betonového žebra až na skalní podloží. V údolní části je zavázání provedeno těsnícím zářezem do naplavených hlín. Na pravém břehu je zavázání provedeno do hloubky 2,0 m pod terénem do povrchové vrstvy hlíny, která má dostatečnou mocnost.

Opevnění návodního svahu je provedeno kamenným pohozením, vzdušný svah je zatravněn. Stabilizační část hráze je provedena z kamenné sypaniny a sutí, které byly získány otevřením lomu na levém břehu hráze.

Filtrační vrstvy jsou z geotextilie v kombinaci s kamenivem získaným z lomu. Koruna hráze je průjezdná s vozovkou o šířce 3,3 m. Konstrukce vozovky je tvořena ze ztuhlého podloží materiálem z místního lomu, šterkopískem a šterkodrtí. Dále se sestává z vrstvy makadamu s dehtem o tl. 0,1 m, vrstvy obalovaného kameniva o tl. 0,05 m, z asfaltové penetrace a vrstvy asfaltového betonu silničního tl. 0,05 m [7].

Tabulka 3 – *Technické parametry VD Horní Dunajovice [7]*

<b>Těleso hráze</b>	
Kóta koruny hráze	260,00 m n. m.
Délka hráze v koruně	210,00 m
Výška hráze od základové spáry	9,00 m
Šířka komunikace v koruně hráze	3,30 m
Kubatura tělesa hráze	80 000 m <sup>3</sup>
Sklon návodního svahu hráze	1:2 – 1:5
Sklon vzdušního svahu hráze	1:2 – 1:2,5
<b>Prostory nádrže</b>	
Prostor stálého nadržení $V_s$	174 000 m <sup>3</sup>
Zásobní prostor $V_z$	673 000 m <sup>3</sup>
Prostor neovladatelný ochranný $V_m$	120 855 m <sup>3</sup>
Objem celkového prostoru $V_c$	1 088 000 m <sup>3</sup>
<b>Hladiny nádrže</b>	
Hladina stálého nadržení $M_s$	254,00 m n. m.
Hladina zásobního prostoru $M_z$	258,60 m n. m.
Hladina neovladatelného prostoru $M_m$	259,20 m n. m.

### **B.2.2 Sdružený funkční objekt**

Sdružený funkční objekt s vývarem je umístěn při levém břehu nádrže a sdružuje čtyři funkce:

- převádění povodňových průtoků přes boční přelivy a dále horní chodbou do vývaru
- odběr vody z nádrže spodní výpustí (vypouštění při opravách, revizích a přepouštění vody do toku)
- vypouštění asanačního průtoku
- odběr závlahové vody pro čerpací stanici situovanou pod nádrží

## **Přívodní koryto**

Přívodní koryto je tvořeno železobetonovým polorámem v délce 8,00 m s postupně se svažujícími zdmi kóty 253,10 m n. m. na kótu 271,70 m n. m. Šířka dna je 0,90 m. Niveleta dna v místě napojení na vlastní funkční blok je na kótě 249,60 m n. m.

## **Vtoková část**

Délka vtokové části je 4,90 m. Člení se dále na vlastní vtokovou část a armaturní komoru. Vtoková část délky 1,50 m s šířkou 2,50 m je opatřena drážkami pro vysunovatelné česle. Do drážek je možno zasunout provizorní hrazení (po vyhrazení česlí). Na koruně vtokové části (260,10 m n. m.) je umístěna plošina, odkud je možná manipulace s ručním ovládním uzávěru spodní výpusti. Dno vtokové části je na kótě 250,98 m n. m. Sestup z plošiny na dno je umožněn po ocelovém žebříku, opatřeným ochranným košem.

## **Přelivná část**

Ta je tvořena oboustranným přelivem délky 10,75 m. Šířka spadiště stejně jako šířka štoly spodních výpustí je v celém sdruženém objektu 2,50 m. Koruna přelivné hrany je umístěna na kótě 258,60 m n. m. a je opevněna opracovaným kamenem, kotveným do betonové konstrukce. Minimální hloubka spadiště je 4,78 m, maximální pak 5,26 m. Niveleta spadiště je navržena o sklonu 4,5%. Tento sklon má i štola spodní výpusti v celé délce objektu. Sklon vnějšího líce objektu je v celé délce stejný, a to 15:1, vnitřní líce stěn jsou svislé.

## **Hrázová část**

Sestává se ze zaklenutého skluzu výšky 4,65 m a štoly spodní výpusti výšky 2,1 m. Deska mezi skluzem a štolou je tvořena, dle požadavků dodavatele, prefabrikáty RZP 2/285 a železobetonem tloušťky 0,60 m. Stropní konstrukce štoly je taktéž z prefabrikátů RPZ 2/285 a z železobetonu tl. 0,40 m. Niveleta konce skluzu je 252,10 m n. m. a niveleta štoly spodních výpustí je ve výšce 249,26 m n. m.

## **Vývar**

Vývar je proveden jako železobetonový polorám s proměnným lichoběžníkovým profilem s napojením na odpadní koryto.

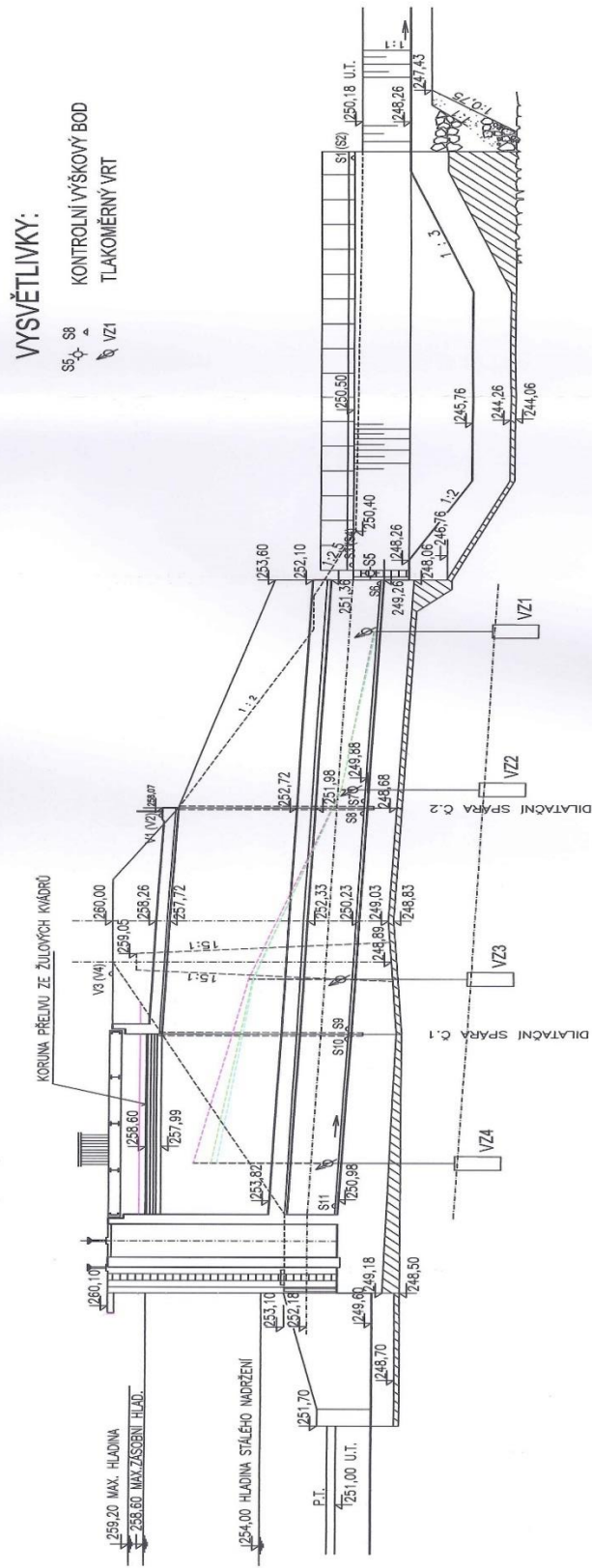


*Obrázek 1 - Sdružený funkční objekt [8]*



*Obrázek 2 - Vyústění DN400 a DN100 do chodby spodních výpustí [8]*

# PODÉLNÝ ŘEZ SDRUŽENÝM OBJEKTEM M 1 : 200



Obrázek 3 - Podélný řez druženým objektem [7]

PRŮJEM KORTÝ	VÝVAR	OPRAVA TOKU POD NADŘÍŽÍ
VÝVAR	HRÁZOVÁ ČÁST-BLOK Č.3	
VÝVAR	HRÁZOVÁ ČÁST-BLOK Č.2	
VÝVAR	HRÁZOVÁ ČÁST-BLOK Č.1	

## C. ZÁKLADNÍ ÚDAJE A PODKLADY

### C.1 Požadovaná míra bezpečnosti VD při povodni

Dle [1], [2] a přílohy č. 1 k vyhlášce č. 255/2010 Sb. [6] bylo VD Horní Dunajovice zařazeno do III. kategorie vodních děl [7]. Při porušení hráze dojde pravděpodobně k ohrožení lidských životů v obci Horní Dunajovice a infrastruktury obce Horní Dunajovice. Z tabulky 1. odstavce 7.1.1 [1] vyplývá požadovaná míra bezpečnosti na kulminační povodňovou vlnu s dobou opakování  $N = 1000$  let. Tato KPV byla odvozena aproximací známých povodňových vln z vodních děl Ostrov nad Oslavou a Těšetice s podobnými plochami povodí [4]. KPV pro výpočet také poskytl ČHMÚ, ta je specifikována v [5]. Srovnání těchto dvou KPV naleznete v Příloze 6. Pro obě povodňové vlny bylo provedeno variantní vodohospodářské řešení za těchto předpokladů:

- Nádrž je před příchodem povodně zcela vyprázdněna, všechna šoupátka spodních výpustí jsou otevřena.
- Hladina v nádrži je před příchodem povodně na hladině stálého nadržení  $H_{sn} = 254,00$  m n. m., všechna šoupata spodních výpustí jsou otevřena.
- Hladina v nádrži je před příchodem povodně na kótě koruny bezpečnostního přelivu  $H = 258,60$  m n. m. (horní hladina zásobního prostoru), všechna šoupata spodních výpustí jsou otevřena.

### C.2 Hydrologické podklady

Pro posudek byly použity průběhy KPV, tedy  $PV_{1000}$ , a jejich číselné charakteristiky dle [5] a [4]. Číselné údaje jsou uvedeny v tabulce 3.

Tabulka 4 - Číselná charakteristika teoretických povodňových vln dle [4] a [5].

$N$	50	100	200	500	1000
$Q_N$ [m <sup>3</sup> /s] dle [5]	16,10	22,50	30,80	45,50	60,00
$Q_N$ [m <sup>3</sup> /s] dle [4]			33,07		72,86
$W_N$ [m <sup>3</sup> ] dle [5]	604 735	753 506	951 690	1 299 008	1 607 445
$W_N$ [m <sup>3</sup> ] dle [4]			2 253 333		3 470 539

### C.3 Technické parametry

Jednotlivé konstrukční prvky a jejich technické parametry dle [7] jsou popsány v kapitole B.2.

Vybrané parametry vodního díla dle [7] [4] a [5] jsou:

- Plocha povodí: 3 366 ha
- Kóta dna nádrže: 251,00 m n. m.
- Kóta koruny hráze: 260,00 m n. m.
- Kóta koruny bezpečnostního přelivu: 258,60 m n. m.
- Kóta maximální hladiny: 259,20 m n. m.
- Kóta koruny středního těsnění: 259,20 m n. m.
- Objem prostoru stálého nadržení: 0,174 mil. m<sup>3</sup>
- Objem zásobního prostoru: 0,673 mil. m<sup>3</sup>
- Objem prostoru neovladatelného ochranného: 0,121 mil. m<sup>3</sup>
- Objem celkového prostoru: 1,088 mil. m<sup>3</sup>
- Plocha zátopy na kótě 254,00 m n. m.: 10,146 ha
- Plocha zátopy při maximální hladině: 20,798 ha
- Plocha zátopy při dosažení koruny středního těsnění: 20,798 ha
- Povodeň s dobou opakování  $N = 1000$  let dle [5]:
  - Objem vlny  $W_{PV1000}$ : 1,607 mil. m<sup>3</sup>
  - Kulminační průtok: 60 m<sup>3</sup>/s
- Povodeň s dobou opakování  $N = 1000$  let dle [4]:
  - Objem vlny  $W_{PV1000}$ : 3,471 mil. m<sup>3</sup>
  - Kulminační průtok: 72,86 m<sup>3</sup>/s

### C.4 Okolnosti ovlivňující bezpečnost vodního díla za povodní

Dle manipulačního řádu nemá VD Horní Dunajovice stálou obsluhu, která by zajišťovala bezprostřední manipulaci při možné povodni. Uzávěry na spodních výpustí mají manuální ovládání, není tedy možná manipulace z dispečinku.

#### C.4.1 Manipulace za povodní, obsluha díla, údržba

Manipulace na vodním díle probíhá dle manipulačního řádu [7].

V případě povodňových přítoků do nádrže je zvýšena četnost obchůzek obsluhy vodního díla. Obsluha především sleduje a zaznamenává tendence hladiny v nádrži, sleduje stav návodního svahu hráze, funkčních objektů a odtokového koryta pod nádrží, případně provádí manipulaci [7].

Dle [7], je při očekávané nepříznivé hydrologické situaci přípustné předpouštění nádrže. Množství předpuštěné vody bude stanoveno operativně dle aktuální hydrologické předpovědi. V případě předpouštění vody z důvodu vysoké zásoby vody ve sněhu se doporučuje předpuštění maximálně 20% objemu vody v zásobním prostoru nádrže [7].

Při příchodu povodně se nejdříve bude plnit volný zásobní prostor. Do toku se v tomto případě bude vypouštět pouze minimální zůstatkový průtok o hodnotě  $0,0025 \text{ m}^3/\text{s}$ . Jakmile bude dosažena kóta maximální zásobní hladiny (kóta koruny bezpečnostního přelivu), bude se postupně otevírat spodní výpusť, případně základová výpusť tak, aby kóta hladiny vody v nádrži poklesla přibližně  $0,5 \text{ m}$  pod korunu bezpečnostního přelivu. Při otevření obou spodních výpustí může odtok činit až  $1,45 \text{ m}^3/\text{s}$ .

V případě, že přítoky do nádrže jsou větší jak  $1,50 \text{ m}^3/\text{s}$ , nelze spodními výpusťmi již hladinu snížit, přikročí se tedy k uzavření výpustí a voda se nechá přepadat přes korunu bezpečnostního přelivu [7].

#### **C.4.2 Vymezení retenčního prostoru**

Pro transformaci povodňové vlny je vymezen neovladatelný retenční prostor od kóty koruny bezpečnostního přelivu  $256,80 \text{ m n. m.}$  po kótu maximální hladiny  $259,20 \text{ m n. m.}$

- Rozsah hladiny retenčního prostoru:  $256,80 - 259,20 \text{ m n. m.}$
- Objem retenčního prostoru:  $120\,855 \text{ m}^3$

Retenční prostor má znatelně menší objem než jsou objemy povodňových vln  $PV_{1000}$  dle [4] a [5]. ( $W_{1000} = 1\,607\,445 \text{ m}^3$  dle [5],  $W_{1000} = 3\,470\,539 \text{ m}^3$  dle [4])

#### **C.4.3 Stupeň povodňové aktivity pro profil hráze**

**I. Stupeň povodňové aktivity (bdělost)** - není stanoven

**II. Stupeň povodňové aktivity (pohotovost)** - nastává při odtoku  $1,45 \text{ m}^3/\text{s}$  (kapacita všech spodních výpustí) a je dosažena kóta přepadové hrany bezpečnostní přelivu ( $258,60 \text{ m n. m.}$ )

Dosažení II. stupně obsluha oznámí:

- Povodí Moravy, s. p., provoz Znojmo,
- obci Horní Dunajovice,
- vodoprávnímu úřadu,
- vodohospodářskému dispečinku Povodí Moravy, s. p.

Vodní stavy se odečítají 1× za 2 hodiny, nebo s četností dle pokynů vodohospodářského dispečinku.

**III. Stupeň povodňové aktivity (ohrožení)** – nastává při hladině 258,85 m n. m., tj. přepadová výška přes hranu přelivu je 0,25 m, průtok cca 5,4 m<sup>3</sup>/s.

Dosažení III. stupně obsluha VD oznámí:

- Povodí Moravy, s. p., provoz Znojmo,
- obci Horní Dunajovice,
- vodoprávnímu úřadu,
- vodohospodářskému dispečinku Povodí Moravy, s. p.

Vodní stavy se odečítají 2× za hodinu, nebo s četností dle pokynů vodohospodářského dispečinku.

#### **C.4.4 Konstrukční uspořádání jednotlivých prvků vodního díla**

##### **Těleso hráze**

Hráz VD Horní Dunajovice je nehomogenní zemní těleso. Těleso je založeno na zhutněné vrstvě hlíny (která není dle [7] dále specifikována) přibližné tloušťky 0,5 m. Další vrstvou podloží je štěrk, do kterého je částečně zapuštěn zavazovací zářez šířky 3,0 m, do hloubky 1,2 m od základové spáry ve sklonech 1:1,25.

Těsnicí vrstva hráze je řešena jako střední zemní těsnění a je dle [7] vytvořena z jílu s nízkou plasticitou třídy F6 (CL), které jsou velmi vhodné pro těsnicí části sypaných hrází. Šířka těsnicí části u základové spáry je 25,3 m. Dle [3] odstavce 7.4.4 splňuje šířka těsnění podmínku 2,5 násobku výšky hráze, které je od základové spáry 10,0 m. Koruna těsnění je dle [7] na kótě 259,20 m n. m. na které je zároveň definována maximální hladina v nádrži. Těsnicí část je oddělena od stabilizační geotextílií Tatrax a následně filtry tl. 0,05 m ze zhutněného štěrkovitého písku, tl. 0,10 m ze směsi štěrku a tl. 0,05 m z drceného kameniva frakce 63–125 mm.

Stabilizační část hráze je tvořena kamennou sypaninou z místního lomu, která není dle [7] blíže specifikovaná. Svah návodního svahu od koruny je 1:2 až na kótu 253,00 m n. m., kde je přerušen lavičkou o šířce 5,0 m. Za lavičkou následuje svah o sklonu 1:5.

Dle [3] odstavce 7.7.2 se musí pro hráze vyšší jak 6,0 m posoudit stabilita svahů výpočtem vhodnou metodou. Pro orientační účely posouzení dle tabulky 6 [3] je sklon návodního svahu

nedostačující. Sklon vzdušního svahu je 1:2 a dle [3] je dostačující. Vzdušný svah je na kótě 252,00 m n. m. přerušen lavičkou o šířce 2,0 m. Dále pokračuje svah o sklonu 1:2,5.

Průsakové vody jsou sváděny do zapuštěného patního drénu. V patním drénu je umístěno perforované potrubí DN140. Drén je vrstvou písku tl. 0,30 m napojen až na filtry těsnící části.

Provedení napojení těsnící části na sdružený výpustný objekt není dle [7] známo. Sklony betonový stěn jsou ve vhodném poměru 15:1, který by měl zaručit dobrou přilnavost mezi tělesem hráze a sdruženým objektem.

### **Sdružený funkční objekt**

Manipulaci s vodou a převádění povodní zajišťuje jeden sdružený objekt, který je situován při levém břehu nádrže. Součástí objektu je oboustranný bezpečnostní přeliv a spodní výpust. Ochrana těsnění hráze před promrzáním je zajištěna dvěma železobetonovými křídly, které mají sklon stěn 1:15 a prochází téměř celou výškou těsnícího jádra. Křídla mají výšku 10,2 m a jejich vrchní část končí na kótě 259,05 m. Objekt je rozdělen dvěma dilatačními spárami do tří bloků, a to na vtokovou a přepadovou část a dvě hrázové části. Prohlídkou na díle byl zjištěn průsak dilatační spárou mezi přepadovou a hrázovou částí. Tento průsak by mohl být způsoben smrštěním železobetonové konstrukce během zimních měsíců [7].

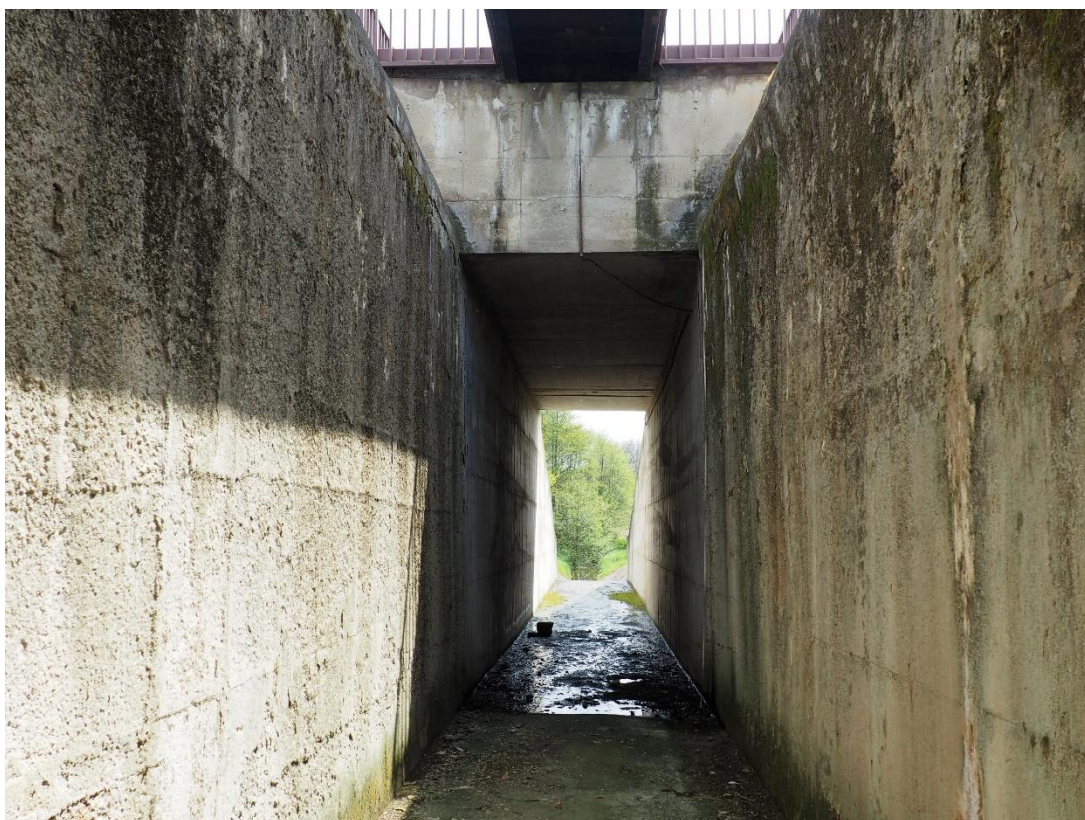
Spodní výpust je založena na zhutněné hlíně a na vrstvě podkladového betonu tl. 0,20 – 0,70 m. Vtok do objektu je opatřen česlemi, dále pak armaturní komorou a výpustní chodbou. Do armaturní komory je umístěn odběr závlahové vody, který je dle [3] možno použít jako spodní výpust, nebyl však, z hlediska nedostatku podkladů, pro posudek uvažován. Za armaturní komorou se nachází chodba obdélníkového tvaru 2,1 × 2,5 m, kterou voda proudí o volné hladině. Celou délkou chodby prochází odběrné potrubí a na jejím konci je stěnou svedeno směrem k čerpací stanici umístěné v podhráží. V chodbě se nachází čtyři manometry vyústěné ze čtyř tlakoměrných vrtů umístěných podél základové spáry.

Bezpečnostní přeliv má dvě rovnoběžné přelivné plochy s korunou na kótě 258,60 m n. m. Hloubka spadiště je 4,78 m. Ze spadiště přechází voda do propustku pod hrází, který se jeví jako kritické místo pro průchod povodňových průtoků, zvláště  $PV_{1000}$  [7].

Koruna bezpečnostního přelivu má kruhový tvar o poloměru 0,6 m. Osobní pochůzkou bylo zjištěno značné poškození na pravé přepadové hraně, v místech navázání levé přepadové hrany na část spodní výpusti je patrné porušení konstrukce a obnažení výztuže. Poškození je označené na obrázku 4. Působením přepadového paprsku byly také značně poškozeny vnitřní stěny a dno bezpečnostního přelivu patrné z obrázku 5 [8].



*Obrázek 4 - Poškození přelivné hrany [8]*



*Obrázek 5 - Poškození vnitřních stěn a dna BP [8]*



## C.5 Hydraulické výpočty

Hydraulické výpočty obsahují:

- odvození měrné křivky odpadního koryta za vývarem,
- odvození měrné křivky bezpečnostního přelivu,
- odvození měrné křivky spodní výpusti,
- transformaci povodňových vln ve variantách dle kapitoly C.1.

### C.5.1 Odvození měrné křivky odpadního koryta za vývarem

Měrná křivka koryta za vývarem byla odvozena na základě parametrů určených dle [7]:

- |                 |        |
|-----------------|--------|
| • Šířka ve dně  | 2,10 m |
| • Sklon svahů   | 1:1,5  |
| • Hloubka       | 1,92 m |
| • Drsnost       | 0,017  |
| • Podélný sklon | 0,2%   |

Výpočet odpadního koryta byl proveden pomocí rovnice kontinuity [9]:

$$Q = S \cdot v, \quad (1)$$

kde

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

$v$  je průřezová rychlost [m/s].

Průřezová rychlost byla určena pomocí vztahu dle Chézyho [9]:

$$v = C \cdot \sqrt{R \cdot I}, \quad (2)$$

kde

$C$  je Chézyho rychlostní součinitel [m<sup>0,5</sup>/s],

$R$  je hydraulický poloměr [m],

$I$  je podélný sklon dna koryta [-].

Rychlostní součinitel byl určen pomocí vztahu dle Manninga [9]:

$$C = \frac{1}{n} \cdot R^{1/6}, \quad (3)$$

kde

$n$  je drsnost koryta [-],

$R$  je hydraulický poloměr [m].

Z měrné křivky je na první pohled patrné, že odpadní koryto nemá dostatečnou kapacitu pro převedení  $PV_{1000}$ . Měrná křivka koryta za vývarem je uvedena v Příloze 3.

### C.5.2 Odvození měrné křivky bezpečnostního přelivu

Data pro odvození byla převzata z manipulačního řádu [7]:

- Šířka spadiště 2,5 m
- Délka přelivné hrany 10,75 m
- Poloměr zaoblení přelivné hrany 0,6 m
- Hloubka spadiště 4,78 m

Pro odvození měrné křivky bezpečnostního přelivu bylo využito vzorce pro přepadové množství přes jezová tělesa dle [9]:

$$Q = m b_0 \sqrt{2g} h^{3/2}, \quad (4)$$

kde

$b_0$  je účinná šířka přepadové hrany [m],

$g$  je tíhové zrychlení [ $m/s^2$ ],

$h$  je výška přepadového paprsku [m],

$m$  je součinitel přepadu [-].

Pro výpočet účinné šířky byl použit vzorec [9]:

$$b_0 = b - 0,1 \xi n_k h, \quad (5)$$

kde

$b$  je celková šířka přepadové hrany [m],

$\zeta$  je součinitel ztráty dle tvaru bočních pilířů [-],

$n_k$  je počet kontrakcí,

$h$  je výška přepadového paprsku [m].

Pro výpočet součinitele přepadu byl použit vzorec dle Rehbocka [9]:

$$m = \frac{2}{3} \left[ 0,312 + 0,09 \frac{h}{s_1} + \sqrt{0,30 - 0,01 \left( 5 - \frac{h}{r} \right)^2} \right], \quad (6)$$

kde

$h$  je výška přepadového paprsku [m],

$s_1$  je výška přepadové konstrukce [m],

$r$  je poloměr přepadové hrany [m].

Pro výpočet nedokonalého přepadu přes přeliv byla předchozí rovnice (4) rozšířena o součinitel zatopení na vztah [9]:

$$Q = \sigma_z m b_0 \sqrt{2g} h^{3/2}, \quad (7)$$

kde

$\sigma_z$  je součinitel zatopení [-].

Pro určení podmínky vzniku nedokonalého přepadu bylo třeba vypočítat průběh hladiny ve spadišti při daných průtocích přes přeliv. Byl použit výpočet dle Hindse [10], kde se předpokládalo, že na hranici spadiště a skluzu nastane kritická hloubka:

$$\Delta y = \frac{Q_1}{g} \cdot \frac{v_1 + v_2}{Q_1 + Q_2} \left( \Delta v + \frac{q v_2 \Delta x}{Q_1} \right), \quad (8)$$

kde

$\Delta y$  je rozdíl hladin vody v profilu 1 a 2 [m],

$Q_1$  je průtok v profilu 1 [m<sup>3</sup>/s],

$Q_2$  je průtok v profilu 2 [m<sup>3</sup>/s],

$v_1$  je rychlost v profilu 1 [m/s],

$v_2$  je rychlost v profilu 2 [m/s],

$\Delta v$  je přírůstek rychlosti [m/s],

$q$  je průtok na běžný metr délky přelivné hrany [m<sup>2</sup>/s],

$\Delta x$  je vzdálenost mezi profily 1 a 2 [m].

Převedení průtoků ze spadiště je také částečně ovlivněno kapacitou odpadní chodby, umístěné bezprostředně za spadištěm. Pro výpočet kapacity zahlceného tunelu byl použit vztah pro výtok volným obdélníkovým otvorem dle [9]:

$$Q = \frac{2}{3} \mu b_o \sqrt{2g} \left[ \left( h_2 + \frac{\alpha v_o^2}{2g} \right)^{3/2} - \left( h_1 + \frac{\alpha v_o^2}{2g} \right)^{3/2} \right], \quad (9)$$

kde

$\mu$  je součinitel výtoku otvorem [-],

$b_o$  je šířka otvoru [m],

$g$  je tíhové zrychlení [m/s<sup>2</sup>],

$h_1$  je výška od hladiny po horní hranu otvoru [m],

$h_2$  je výška od hladiny po dolní hranu otvoru [m],

$\alpha$  je Coriolisovo číslo (uvažována  $\alpha=1$ ) [-],

$v_o$  je přítoková rychlost [m/s].

Pro výpočet součinitele výtoku byl použit vztah [9]:

$$\mu = \frac{1}{\sqrt{\alpha + \lambda \frac{L}{D} + \sum \xi_i \frac{S^2}{S_i^2}}}, \quad (10)$$

kde

$\alpha$  je Coriolisovo číslo (uvažováno  $\alpha = 1$ ) [-],

$\xi_i$  je součinitel  $i$ -té místní ztráty [-],

$S_i$  je průtočná plocha v místě  $i$ -té ztráty [m<sup>2</sup>],

$\lambda$  je součinitel ztráty třením po délce [-],

$L$  je délka potrubí [m],

$D$  je průměr potrubí [m].

Součinitel ztrát třením byl vypočten dle vztahu [9]:

$$\lambda = \frac{8g}{C^2}, \quad (11)$$

kde

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

$C$  je Chézyho rychlostní součinitel [ $\text{m}^{0.5}/\text{s}$ ].

Měrná křivka bezpečnostního přelivu je uvedena v Příloze 4.

### C.5.3 Odvození měrné křivky spodní výpusti

Odvození měrné křivky spodních výpustí bylo provedeno za předpokladu, že všechna šoupátka spodních výpustí jsou otevřena. První část spodní výpusti je v tlakovém režimu a proto byl použit vztah pro výtok hydraulicky malým otvorem [9]:

$$Q = \mu S \sqrt{2g h_T}, \quad (12)$$

kde

$\mu$  je součinitel výtoku [-]

$S$  je plocha otvoru [ $\text{m}^2$ ]

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

$h_T$  je hloubka vody k těžišti otvoru [m].

Součinitel ztrát byl tak jako v předešlém případě u bezpečnostního přelivu počítán dle rovnice (10).

Celý člen ztrát třením po délce byl však pro asanační výpust DN 100 a pro spodní výpust DN400 zanedbán z hlediska velmi krátkého potrubí, které následně ústí do chodby spodních výpustí a dále odtéká při volné hladině. Při průtocích nad  $20 \text{ m}^3/\text{s}$  může docházet k zatopení chodby spodních výpustí dolní vodou. Tato hypotéza by pro své ověření potřebovala podrobné zaměření podhrází a následné hydraulické výpočty. Pro základovou výpust DN 200 byl brány v úvahu ztráty třením.

Pro výpočet součinitele ztrát třením byl použit vzorec dle Nikuradseho pro plně vyvinuté turbulentní proudění [9]:

$$\lambda = \frac{0,25}{\left(\log \frac{0,37D}{\Delta}\right)^2}, \quad (13)$$

kde

$D$  je průměr potrubí [m]

$\Delta$  je absolutní drsnost stěn potrubí [mm]

Pro absolutní drsnost byla z hlediska bezpečnosti použita hodnota částečně zkorodovaného potrubí.

Ze srovnání měrných křivek je patrné, že průtoky dle [7] jsou nadhodnocené. Měrná křivka spodních výpustí je uvedena v Příloze 5.

#### C.5.4 Transformace povodňových vln

Pro výpočet transformací bylo použito programové vybavení [11]. Výpočet byl proveden pro  $PV_{1000}$  dle [5] a  $PV_{1000}$  dle [4] v těchto variantách:

- Nádrž je před příchodem povodně zcela vyprázdněna, všechna šoupata spodních výpustí jsou otevřena.
- Hladina v nádrži je před příchodem povodně na hladině stálého nadržení  $H_{sn} = 254,00$  m n. m., všechna šoupata spodních výpustí jsou otevřena.
- Hladina v nádrži je před příchodem povodně na kótě koruny bezpečnostního přelivu  $H = 258,60$  m n. m. (horní hladina zásobního prostoru), všechna šoupata spodních výpustí jsou otevřena.

Podrobné parametry KPV jsou uvedeny v kapitole C.2 a v Příloze 6. Při řešení se vychází z těchto vztahů:

$$\frac{dV(t)}{dt} = Q_{in}(t) - Q_{out}(t), \quad dV(t) = A_s(h(t)) \cdot dh(t), \quad (14)$$

$$A_s(h(t)) \frac{dh(t)}{dt} = Q_{in}(t) - Q_{out}(t), \quad Q_{out}(t) = Q(h(t)),$$

kde

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

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

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

$A_s(h(t))$  je zatopená plocha v hladině [ $m^2$ ],

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

Pro numerickou integraci rovnice (14) byla použita jednokroková metoda. Výsledné grafy výpočtu jsou uvedeny v Přílohách 8,9,10,11,12 a 13.

## D. STANOVENÍ MEZNÍ BEZPEČNÉ HLADINY

Při stanovení mezní bezpečné hladiny (MBH) byla dle ČSN 75 2935 [1] odstavce 8.2 a dle [2] zvažována tato hlediska:

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

### D.1 Celková stabilita hráze

Podle manipulačního řádu [7] je stabilizační část tělesa hráze tvořena kamennou sypaninou z místního lomu. Její vlastnosti byly odhadnuty na šterkový materiál GP třídy G2. Tomuto materiálu byly dle [3] přiřazeny vlastnosti  $\varphi = 41^\circ$  a  $c = 0$  kPa. Pro tento materiál lze orientačně dle [3] určit sklony svahů tělesa hráze. Dle tabulky 6 [3] by měl být sklon návodního svahu minimálně 1:3 a vzdušního svahu 1:75. Skutečný sklon návodního i vzdušního svahu [7] je 1:2. Hodnoty jsou tedy ve smyslu ČSN 75 2410 [3] nevyhovující pro návodní svah.

Dle [3] je pro hráze vyšší 6 m třeba určit stabilitu svahů vhodnou metodou. Pro zjednodušený výpočet byla použita Pettersonova proužková metoda, kde se na návodním a na vzdušném svahu uvažovala vždy jedna smyková plocha, z pohledu autora kritická. Pro další závěry by bylo vhodné použít vhodný program (např. GEO, nebo PLAXIS atd.). Pro výpočet stability návodního svahu se uvažovala hladina vody na kótě 259,20 m n. m., tedy na maximální hladině v nádrži. Výsledky výpočtu byly posuzovány dle mezního stavu [12]:

$$\gamma_1 \sum_{i=1}^n (\gamma_{G,i} F_{G,k,i}^G + \gamma_{Q,i} \Psi F_{k,i}^Q) \sin \alpha_i \leq \frac{1}{\gamma_R} \sum_{i=1}^n \left\{ [(\gamma_{G,i} F_{G,k,i}^G + \gamma_{Q,i} \Psi F_{k,i}^Q) \cos \alpha_i - \gamma_{fvz,i} p_{vz,k,i} \Delta l_i] \frac{\operatorname{tg} \varphi'_{k,i}}{\gamma_{m,\varphi,i}} + \Delta l_i \frac{c'_{k,i}}{\gamma_{m,c,i}} \right\}, \quad (15)$$

kde

$\gamma_1$  je součinitel významu [-] ( $\gamma_1 = 1,2$  [12]),

$\alpha_i$  je úhel, který svírá vodorovná rovina s tečnou částí smykové plochy [°],

$\Delta l$  je část smykové plochy pro jeden proužek [m],

$F_{G,k}^G$  je charakteristická hodnota síly od vlastního zatížení [kN],

$F_k^Q$  je charakteristická hodnota síly od proměnného zatížení [kN],

$P_{vz,k}$  je charakteristická hodnota tlaku vody v pórech [Pa],

$\varphi'_k$  je charakteristický efektivní úhel vnitřního tření zeminy [°],

$c'_k$  je charakteristická efektivní soudržnost zeminy [kPa],

$\gamma_G$  je dílčí součinitel účinku stálého zatížení [-] ( $\gamma_{G,i \text{ destab.}} = 1,1$ ;  $\gamma_{G,i \text{ stab.}} = 0,9$  [12]),

$\gamma_Q$  je dílčí součinitel účinku proměnného zatížení [-] ( $\gamma_{Q,i \text{ destab.}} = 1,5$ ;  $\gamma_{Q,i \text{ stab.}} = 1$  [12]),

$\gamma_R$  je dílčí součinitel spolehlivosti [-] ( $\gamma_R = 1$  [12]),

$\gamma_{fvz}$  je součinitel nejistoty v účincích prosakující vody [-] ( $\gamma_{fvz} = 1,1$  [12]),

$\gamma_{m,\varphi}$  je dílčí součinitel spolehlivosti efektivního úhlu vnitřního tření [-]

( $\gamma_{m,\varphi} = 1,25$  [12]),

$\gamma_{m,c}$  je dílčí součinitel spolehlivosti efektivní soudržnosti [-] ( $\gamma_{m,c} = 1,25$  [12]),

$\Psi$  je příslušný součinitel kombinace zatížení [-] ( $\Psi = 1$  [12]).



## D.2 Provalení podloží, respektive tělesa hráze v důsledku ztráty filtrační stability

Pro posouzení průsakového režimu tělesa hráze při jeho maximální hladině byl použit vztah mezních stavů, a to:

$$\gamma_{sit} \gamma_n \gamma_{fa} i_p \leq \gamma_{stf} \gamma_{fp} i_K, \quad (16)$$

kde

$i_K$  je normový kritický střední hydraulický gradient [-] ( $i_K = 1,35$  pro jílu [14]),

$\gamma_{sit}$  je součinitel návrhové situace [-] ( $\gamma_{sit} = 0,9$  [14]),

$\gamma_n$  je součinitel účelu [-] ( $\gamma_n = 1,2$  [14]),

$\gamma_{fa}$  je součinitel spolehlivosti zatížení [-] ( $\gamma_{fa} = 1,3$  [14]),

$\gamma_{stf}$  je součinitel mezního stavu filtrační deformace [-] ( $\gamma_{stf} = 0,9$  [14]),

$\gamma_{fp}$  je součinitel spolehlivosti odolnosti zeminy [-] ( $\gamma_{fp} = 0,8$  [14]),

$i_p$  je střední hydraulický gradient [-].

Střední hydraulický gradient stanovíme dle vztahu [14]:

$$i_p = \frac{H}{L}, \quad (16)$$

kde

$H$  je výška od hladiny vody k vyústění průsakové dráhy [m],

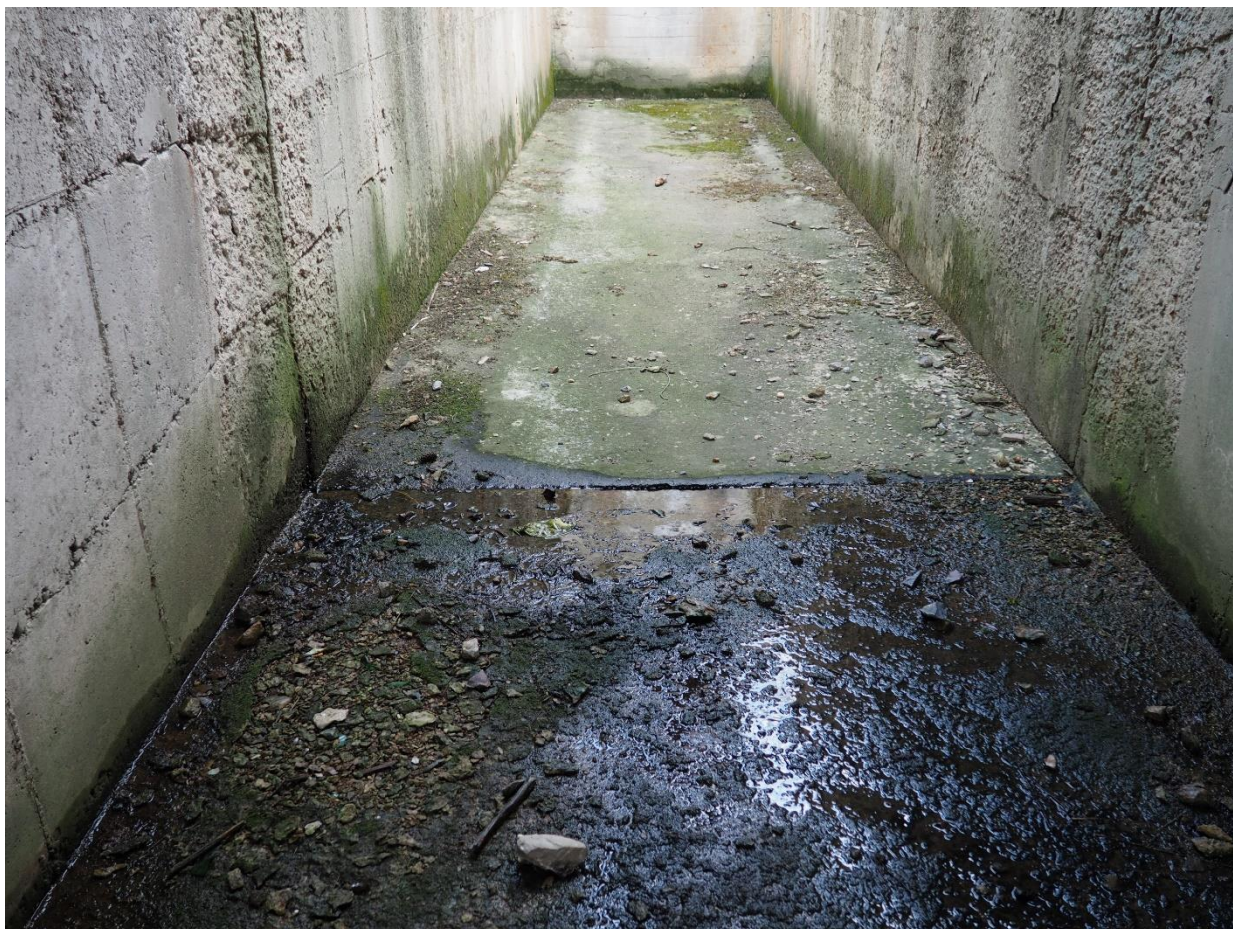
$L$  je délka průsakové dráhy [m].

Posudek se stanovil pro dva stavy, pro průsak tělesem hráze při maximální hladině a průsak podél základové spáry při maximální hladině. Pro oba tyto stavy konstrukce vyhověla. Výsledky jsou zaneseny do tabulky 4.

Tabulka 5 - Posouzení průsaků dle mezních stavů

	$\gamma_{sit} \gamma_n \gamma_{fa} i_p$	$\gamma_{stf} \gamma_{fp} i_K$
Max hladina 259,20 m n. m.	0,500	0,692
Průsak u základové spáry	0,387	0,615

Při místní pochůzce nebyly na návodním svahu zjištěny žádné průsaky ani poruchy. U sdruženého objektu byl objeven průsak dilatační spárou, který je však pravděpodobně způsoben netěsností železobetonové konstrukce.



*Obrázek 9 - Průsak vody dilatační spárou ve spadišti [8]*

### **D.3 Výběh větrové vlny**

Jako příčina přelítí byl také zvažován výběh větrové vlny. Výpočet byl proveden v souladu s [15] a výběh větrové vlny byl stanoven na hodnotu  $h_w = 0,93$  m, postup výpočtu je v Příloze 17. Mezní bezpečná hladina by se tímto snížila na kótu 258,27 m n. m. Nepředpokládáme však, že oba kritické stavy (dosažení maximální hladiny a maximální výběh větrové vlny) nastanou v jeden okamžik.

### **D.4 Protržení hráze při jejím přelítí**

Kóta koruny je dle [7] 260,00 m n. m. po celé délce hráze. Z projektové dokumentace [7](Obrázek 6) byla odhadnuta koruna středního těsnění na kótu 259,20 m n. m. na které je již

stanovena maximální hladina. Kóta koruny těsnění hráze **259,20 m n. m.** je zároveň mezní bezpečnou hladinou.

## D.5 Souhrnné zhodnocení

Dle posudků uvedených v kapitolách D.1, D.2 a D.3 byly stanoveny tyto MBH:

- Provalení hráze 259,20 m n. m.
- Porušení hráze přelitím 259,20 m n. m.

**Mezní bezpečná hladina VD Horní Dunajovice byla stanovena na kótu 259,20 m n. m.**

## E. STANOVENÍ KONTROLNÍ MAXIMÁLNÍ HLADINY V NÁDRŽI

Pro stanovení kontrolní maximální hladiny v nádrži byly uvažovány tyto varianty:

- I. Nádrž je před příchodem povodně zcela vyprázdněna, všechna šoupata spodních výpustí jsou otevřena.
- II. Hladina v nádrži je před příchodem povodně na hladině stálého nadržení  $H_{sn} = 254,00$  m n. m., všechna šoupata spodních výpustí jsou otevřena.
- III. Hladina v nádrži je před příchodem povodně na kótě koruny bezpečnostního přelivu  $H = 258,60$  m n. m. (horní hladina zásobního prostoru), všechna šoupata spodních výpustí jsou otevřena.

Ke stanovení kontrolní maximální hladiny bylo použito programové vybavení [11]. Výpočet byl proveden pro  $PV_{1000}$  dle [4] a  $PV_{1000}$  dle [5] (KPV). Výsledky jsou uvedeny v následující tabulce.

*Tabulka 6 - Kontrolní maximální hladiny, max. přítoky a odtoky při PV100 [4] [5]*

	Max. přítok [m <sup>3</sup> /s]	Max. odtok [m <sup>3</sup> /s]	Max. hladina [m n. m.]	Stav	Poznámka
$PV_{1000}$ dle [5]	60,0	12,7	259,02	vyhoví	Varianta I. Příloha 8
$PV_{1000}$ dle [5]	60,0	16,9	259,11	vyhoví	Varianta II. Příloha 9
$PV_{1000}$ dle [5]	60,0	47,3	259,59	přelito	Varianta III. Příloha 10
$PV_{1000}$ dle [4]	72,9	49,7	259,62	přelito	Varianta I. Příloha 11
$PV_{1000}$ dle [4]	72,9	56,5	259,73	přelito	Varianta II. Příloha 12
$PV_{1000}$ dle [4]	72,9	63,0	259,83	přelito	Varianta III. Příloha 13

Z provedeného výpočtu transformace KPV vyplývá, že pro  $PV_{1000}$  [4] dojde k přelití ve všech řešených variantách a pro  $PV_{1000}$  [5] dojde k přelití pouze při počáteční hladině v nádrži na kótě bezpečnostního přelivu 258,60 m n. m. (horní hladina zásobního prostoru).

## F. ZÁVĚREČNÉ ZHODNOCENÍ

Z uvedených výpočtů a posudků vyplývá, že VD Horní Dunajovice ve smyslu požadavků ČSN 75 2935 není bezpečné.

Tento stav doporučuji řešit podle opatření uvedených v následující kapitole.

## G. NÁPRAVA A NOUZOVÁ OPATŘENÍ

Následující opatření se zaměří na zvýšení mezní bezpečné hladiny a zvýšení kapacity bezpečnostního přelivu:

- navýšením kóty koruny těsnění hráze,
- zvětšení sklonu návodního svahu,
- vybudováním nového bezpečnostního přelivu, a rekonstrukcí stávajícího sdruženého objektu
- úpravou stávajícího sdruženého objektu, rozšířením BP a zvětšením spodní výpusti,
- zamezením akumulace vody nad hladinu stálého nadržení.

### G.1 Nouzová opatření

Nouzové opatření mají za cíl dočasně zvýšit bezpečnost díla na tolerovatelnou úroveň. Pro případ  $PV_{1000}$  [5] je možné **snížit hladinu na kótu 254,00 m n. m.** Toto řešení však zamezí využívání zásobního objemu nádrže, a tedy i jeho využití pro účely uvedené v kapitole B.1.

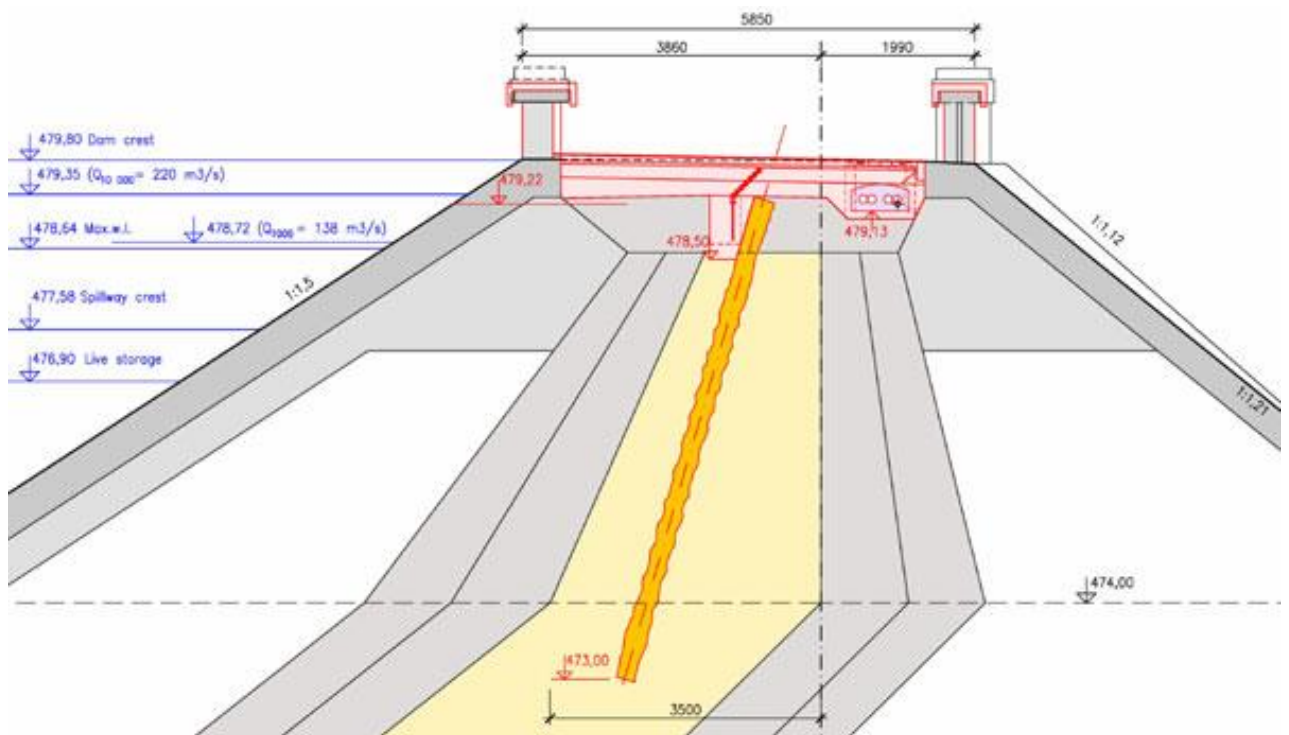
Dále doporučuji:

- zřízení varovné služby pro obyvatelstvo v ohroženém území, zajištění organizace evakuace a únikových cest z ohrožených míst,
- zajištění možnosti pohotového provizorního zvýšení koruny hráze při přelévání větrovou vlnou (například pytle s pískem).

## G.2 Opatření vedoucí ke zvýšení bezpečnosti VD

Opatření trvalého charakteru spočívá ve vybudování nových objektů, rekonstrukci a zkapacitnění stávajících objektů a v navýšení koruny těsnění hráze. Těmto řešením musí předcházet studie proveditelnosti a projektová dokumentace příslušného stupně. Opatření byla rozdělena do následujících třech variantačních řešení:

- I. Vybudování vlnolamu po celé délce koruny hráze a navýšení koruny těsnění hráze na kótu koruny hráze 260,00 m n. m. a to:
  - a. navýšení těsnící části tryskovou injektáží (Obrázek 10),
  - b. napojení středního těsnění pomocí těsnící fólie na vlnolam.



Obrázek 10 - Řešení sanace těsnění tryskovou injektáží na VD Mostiště [16]

- II. Vybudování druhého bezpečnostního přelivu při levém břehu nádrže o parametrech:
  - Návrhový průtok  $52,86 \text{ m}^3/\text{s}$
  - Poloměr přelivné hrany  $0,6 \text{ m}$
  - Délka přelivné hran  $21,6 \text{ m}$
  - Šířka spadiště  $3,5 \text{ m}$
  - Sklon dna spadiště  $4\%$
  - Hloubka spadiště  $4,5 \text{ m}$
  - Kóta přelivné hrany  $258,20 \text{ m n. m.}$

- Šířka skluzu 3,5 m
- Sklon dna skluzu 13%
- Délka skluzu 36,1 m

Přehledná situace návrhu je v Příloze 14.

III. Rozšíření stávajícího bezpečnostního přelivu a to jeho obě přelivné hrany ze současné délky 10,75 m na 19 m. Nezbytné bude vybourání vtokové části spodních výpustí a její umístění dle Přílohy 15. Součástí řešení je nahrazení spodní výpustí DN 400 a asanační výpustí DN 100 jedním ocelovým potrubím DN 1500 vedeném po celé délce chodby spodních výpustí. Toto řešení se jeví jako vhodné pro převedení  $PV_{1000}$  dle [5], pro  $PV_{1000}$  dle [4] není vhodné s ohledem na kapacitu chodby bezpečnostního přelivu. Dle výpočtů v kapitole C.5.2 a Přílohy 4 není chodba pro převedení  $PV_{1000}$  dle [4] dostatečně kapacitní. Pro  $PV_{1000}$  dle [4] by bylo nezbytné přelivnou hranu dále prodloužit a rozšířit chodbu bezpečnostního přelivu přibližně o 1 m. Návrh řešení a transformace KPV ( $PV_{1000}$  dle [5]) jsou v Příloze 15 a Příloze 16.

Dále doporučuji:

- jako nezbytná opatření rekonstrukci stávajícího sdruženého objektu, a to zejména přelivné hrany a zjištění příčin průsaku dilatační spárou s následnou sanací,
- zvýšení sklonu návodního svahu přísypem z vhodného materiálu minimálně na sklon 1:3,
- úpravu manipulačního řádu, a to konkrétně manipulace při povodních,
- zavedení varovného systému včetně zpracování povodňových plánů ohroženého území až do úrovně jednotlivých objektů,
- zvážit mechanizaci ovládání spodních výpustí s možností dálkového řízení
- zvážit úpravu kapacity odpadního koryta pro bezpečné odvedení vody od paty tělesa hráze.

Další možnou úpravou je rekonstrukce stávajícího objektu, a to zejména zkapacitnění spodní výpustí nahrazením stávajících DN 400 a DN 100 jednou spodní výpustí DN 1500. Toto řešení se jeví jako nejefektivnější s ohledem na cenu, nicméně dle výpočtů není kapacita DN 1500 dostatečná a v případě počáteční hladiny vody na kótě koruny bezpečnostního přelivu 258,60 m n. m. dojde k přelití.

## Citovaná literatura

- [1.] ČSN 75 2935 Posouzení bezpečnosti vodních děl při povodních (leden 2014).
- [2.] Vyhláška č. 367/2005 Sb., kterou se mění vyhláška č. 590/2002 Sb., o technických požadavcích pro vodní díla.
- [3.] ČSN 75 2410 Malé vodní nádrže.
- [4.] Křivohlávek, Roman. Aproximace kulminační povodňové vlny PV1000 VD Horní Dunajovice z PV1000 VD Ostrov nad Oslavou a PV1000 VD Těšetice na základě plochy povodí .
- [5.] Kulminační povodňové vlny PV50, PV100, PV200, PV500 a PV1000 na potoce Křepička v profilu hráze malé vodní nádrže Horní Dunajovice. Brno : ČHMÚ, 2016.
- [6.] Vyhláška Ministerstva zemědělství č. 255/2010 Sb. o technickobezpečnostním dohledu nad vodními díly.
- [7.] Zezula, Ondřej. *Manipulační řád pro VD Horní dunajovice na vodním toku Křepička ř.km 9.375*. Schválil městský úřad Znojmo OŽP : Povodí Moravy, s.p., vodohospodářský dispečink, prosinec 2015.
- [8.] Místní pochůzka díla. 5.5.2016.
- [9.] Boor, Boris, Kunštátský, Jiří a Patočka, Cyril. *Hydraulika pro vodohospodářské stavby*. Praha : SNTL-Nakladatelství technické literatury, 1968.
- [10.] Kratochvíl, Jiří, Janda, Miloš a Stara, Vlastimil. *Projektování přehrad - Komplexní projekt HT*. Brno : Vysoké učení technické v Brně, 1988.
- [11.] Jandora, Jan. Programový produkt NÁDRŽ. 2006-2009.
- [12.] Říha, Jaromír a Špano, Miroslav. *Hodnocení bezpečnosti určených vodních děl metodou mezních stavů*. Brno : Vysoké učení technické v Brně; Fakulta stavební, 2016. ISBN 978-80-214-5326-5.
- [13.] Zachoval, Zbyněk. Podklady do cvičení BR08 - Projekt vodní stavby. *Posouzení stability svahů*. 2015.
- [14.] Říha, Jaromír. *Ochranné hráze na vodních tocích*. Praha : Grada Publishing, a. s., 2010. ISBN 978-80-247-3570-2.
- [15.] ČSN 75 0255 Výpočet účinků vln na stavby na nádržích a zdržích.

[16.] Švancara, Jiří a Krejčí, Vlastimil. Časopis stavebnictví. [Online] EXPO DATA spol. s r.o., 2007. [Citace: 14. 5 2016.] [http://www.casopisstavebnictvi.cz/oprava-vodniho-dila-mostiste\\_N1015](http://www.casopisstavebnictvi.cz/oprava-vodniho-dila-mostiste_N1015).

## Seznam tabulek

Tabulka 1 - <b>Míra bezpečnosti VD</b> [2] .....	1
Tabulka 2 - <b>Požadovaná míra bezpečnosti dle</b> [1] .....	2
Tabulka 3 – <b>Technické parametry VD Horní Dunajovice</b> [7] .....	4
Tabulka 4 - <b>Číselná charakteristika teoretických povodňových vln dle</b> [4] a [5]. .....	8
Tabulka 5 - <b>Posouzení průsaků dle mezních stavů</b> .....	24
Tabulka 6 - <b>Kontrolní maximální hladiny, max. přítoky a odtoky při PV100</b> [4] [5] .....	26

## Seznam obrázků

Obrázek 1 - Sdružený funkční objekt [8] .....	6
Obrázek 2 - Vyústění DN400 a DN100 do chodby spodních výpustí [8].....	6
Obrázek 3 - Podélný řez druženým objektem [7].....	7
Obrázek 4 - Poškození přelivné hrany [8] .....	13
Obrázek 5 - Poškození vnitřních stěn a dna BP [8].....	13
Obrázek 6 - Vzorový příčný řez hrází [7].....	14
Obrázek 7 Schéma Pettersonovi metody [13] .....	23
Obrázek 8 - Přetvoření tělesa hráze [8] .....	23
Obrázek 9 - Průsak vody dilatační spárou ve spadišti [8] .....	25
Obrázek 10 - Řešení sanace těsnění tryskovou injektáží na VD Mostiště [16].....	28

## Seznam použitých zkratk a symbolů

Seznam použitých značek:

$A_s$	plocha hladiny v čase $t_i$	[m <sup>2</sup> ]
$b$	účinná šířka přelivné hrany	[m]
$b_o$	šířka otvoru	[m]
$b_0$	délka přelivné hrany	[m]
$C$	Chézyho rychlostní součinitel	[m <sup>0,5</sup> /s]
$c'_k$	charakteristická efektivní soudržnost zeminy	[kPa]
$dh(t)/dt$	okamžitá změna polohy vody v nádrži	[m]
$dV(t)/dt$	okamžitá změna objemu vody v nádrži	[m <sup>3</sup> ]
$D$	průměr potrubí	[m]
$F_6 CL$	jíl s nízkou plasticitou	[-]
$F_{G,k}^G$	charakteristická hodnota síly od vlastního zatížení	[kN]
$F_k^Q$	charakteristická hodnota síly od proměnného zatížení	[kN]
$g$	gravitační zrychlení	[m/s]
$G4 GP$	šterk špatně zrněný	[-]
$h_0$	energetická přepadová výška	[m]
$h_1$	výška od hladiny po horní hranu otvoru	[m]
$h_2$	výška od hladiny po dolní hranu otvoru	[m]
$h$	přepadová výška	[m]
$H$	rozdíl mezi maximální hladinou a vyústěním průsak. křivky	[m]
$H_{max}$	maximální hladina	[m n. m.]
$H_s$	hladina stálého nadržení	[m n. m.]
$H_z$	zásobní hladina	[m n. m.]
$h_T$	hloubka vody k těžišti otvoru	[m]
$i$	sklon	[%]
$i_K$	normový kritický střední hydraulický gradient	[-]
$i_P$	střední hydraulický gradient	[-]
$L$	délka průsakové dráhy	[m]
$m$	součinitel přepadu	[-]

$n$	drsnost koryta	[-]
$n_k$	počet kontrakcí	[-]
$P_{vz,k}$	charakteristické hodnota tlaku vody v pórech	[Pa]
$Q_1$	průtok v profilu 1	[m <sup>3</sup> /s]
$Q_2$	průtok v profilu 2	[m <sup>3</sup> /s]
$q$	průtok na běžný metr délky přelivné hrany	[m <sup>2</sup> /s]
$Q_{in}$	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]
$R$	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]
$v_0$	přítoková rychlost	[m/s]
$v_1$	rychlost v profilu 1	[m/s]
$v_2$	rychlost v profilu 2	[m/s]
$V$	objem	[m <sup>3</sup> ]
$v$	průřezová rychlost	[m/s]
$V_c$	celkový objem	[m <sup>3</sup> ]
$v_i$	přítoková rychlost	[m/s]
$V_{rn}$	ochranný prostor neovladatelný	[m <sup>3</sup> ]
$V_{sn}$	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> ]
$\alpha$	Coriolisovo číslo	[-]
$\alpha_i$	úhel, který svírá vodorovná rovina s tečnou částí smykové plochy	[°]
$\Delta$	absolutní drsnost stěn potrubí	[mm]
$\Delta l$	část smykové plochy pro jeden proužek	[m]
$\Delta z$	ztrátová výška	[m]
$\Delta t$	délka časového kroku	[s]

$\Delta v$	přírůstek rychlosti	[m/s]
$\Delta x$	vzdálenost mezi profily 1 a 2	[m]
$\Delta y$	rozdíl hladin vody v profilu 1 a 2	[m]
$\gamma_I$	součinitel významu	[-]
$\gamma_{fa}$	součinitel spolehlivosti zatížení	[-]
$\gamma_{fp}$	součinitel spolehlivosti odolnosti zeminy vůči porušení vnitřní erozí	[-]
$\gamma_G$	dílčí součinitel účinku stálého zatížení	[-]
$\gamma_{fvz}$	součinitel nejistoty v účincích prosakující vody	[-]
$\gamma_{m,\varphi}$	dílčí součinitel spolehlivosti efektivního úhlu vnitřního tření	[-]
$\gamma_{m,c}$	dílčí součinitel spolehlivosti efektivní soudržnosti	[-]
$\gamma_Q$	dílčí součinitel účinku proměnného zatížení	[-]
$\gamma_R$	dílčí součinitel spolehlivosti	[-]
$\gamma_n$	součinitel účelu	[-]
$\gamma_{sit}$	součinitel návrhové situace	[-]
$\gamma_{stf}$	součinitel mezního stavu filtrační deformace	[-]
$\xi$	součinitel místních ztrát	[-]
$\sigma_z$	součinitel zatopení	[-]
$\Psi$	je příslušný součinitel kombinace zatížení	[-]
$\varphi'_k$	charakteristický efektivní úhel vnitřního tření zeminy	[°]
$\lambda$	součinitel ztráty třením	[-]
$\mu$	součinitel výtoku	[-]

Seznam použitých zkratk:

BP	bezpečnostní přeliv
BPV	Balt po vyrovnání
ČSN	česká státní norma
DN	jmenovitá světlost
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
VD	vodní dílo

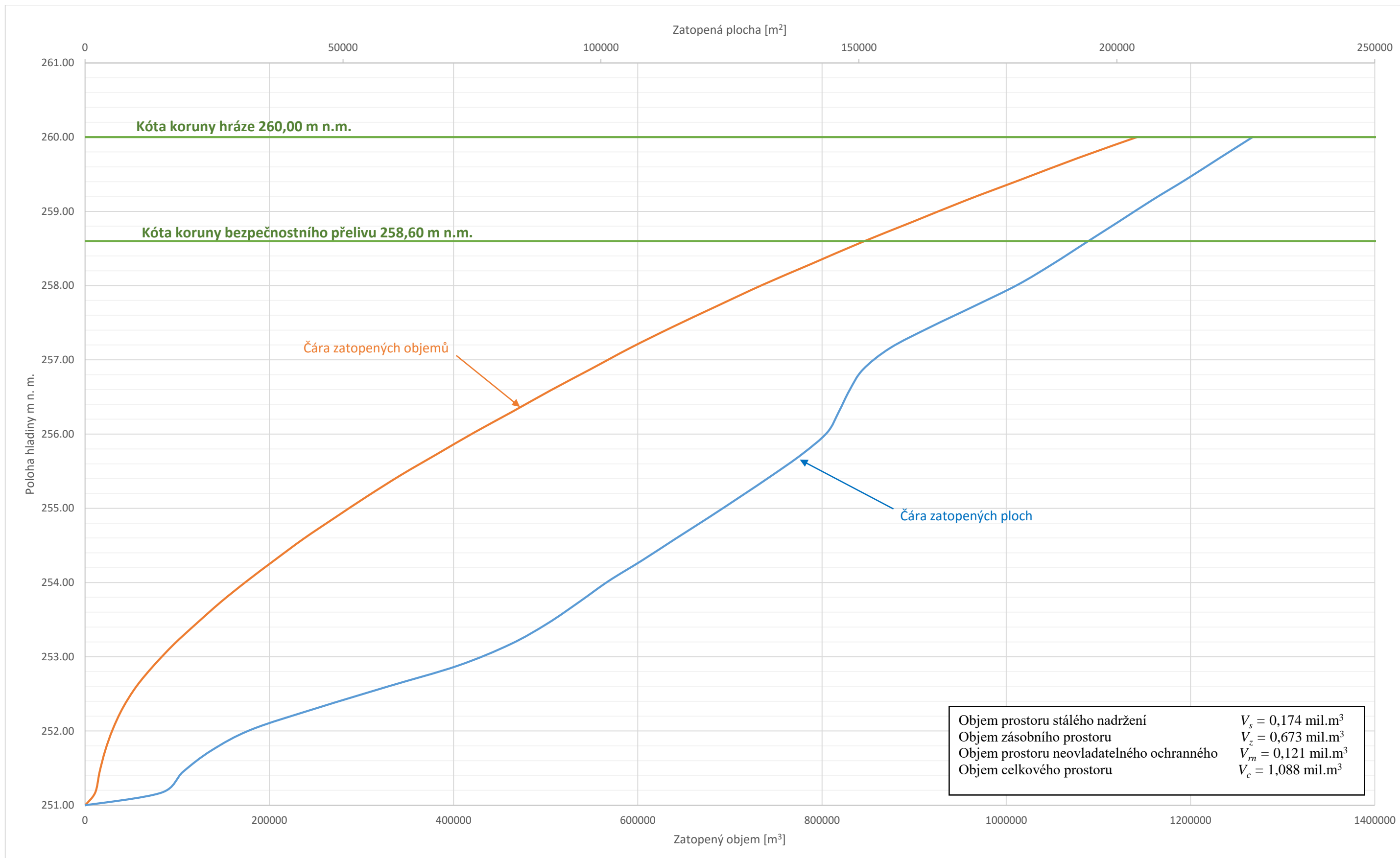
## Seznam příloh

Příloha 1	Umístění VD Horní Dunajovice
Příloha 2	Čáry zatopených ploch a objemů
Příloha 3	Měrná křivka koryta za vývarem
Příloha 4	Měrná křivka bezpečnostního přelivu
Příloha 5	Měrná křivka spodních výpustí
Příloha 6	Teoretické povodňové vln $PV_{1000}$ dle [4] a $PV_{1000}$ dle [5] potoku Křepička v profilu hráze VD Horní Dunajovice
Příloha 7	Znázornění kulminačního přítoku $Q_{1000}$ VD Horní Dunajovice ve vazbě na specifické odtoky
Příloha 8	Transformace KPV ( $PV_{1000}$ ) dle [5] v prázdné nádrži [11]
Příloha 9	Transformace KPV ( $PV_{1000}$ ) dle [5] s počáteční výškou hladiny vody na hladině stálého nadržení [11]
Příloha 10	Transformace KPV ( $PV_{1000}$ ) dle [5] s počáteční výškou hladiny vody na koruně bezpečnostního přelivu [11]
Příloha 11	Transformace KPV ( $PV_{1000}$ ) dle [4] v prázdné nádrži [11]
Příloha 12	Transformace KPV ( $PV_{1000}$ ) dle [4] s počáteční výškou hladiny vody na hladině stálého nadržení [11]
Příloha 13	Transformace KPV ( $PV_{1000}$ ) dle [4] s počáteční výškou hladiny vody na koruně bezpečnostního přelivu [11]
Příloha 14	Přehledná situace nového bezpečnostního přelivu
Příloha 15	Návrh úpravy stávajícího sdruženého objektu
Příloha 16	Transformace KPV ( $PV_{1000}$ ) dle [5] pro návrh v Příloze 15 s počáteční výškou hladiny vody na koruně bezpečnostního přelivu [11]
Příloha 17	Výpočet výběhu větrové vlny dle [15]

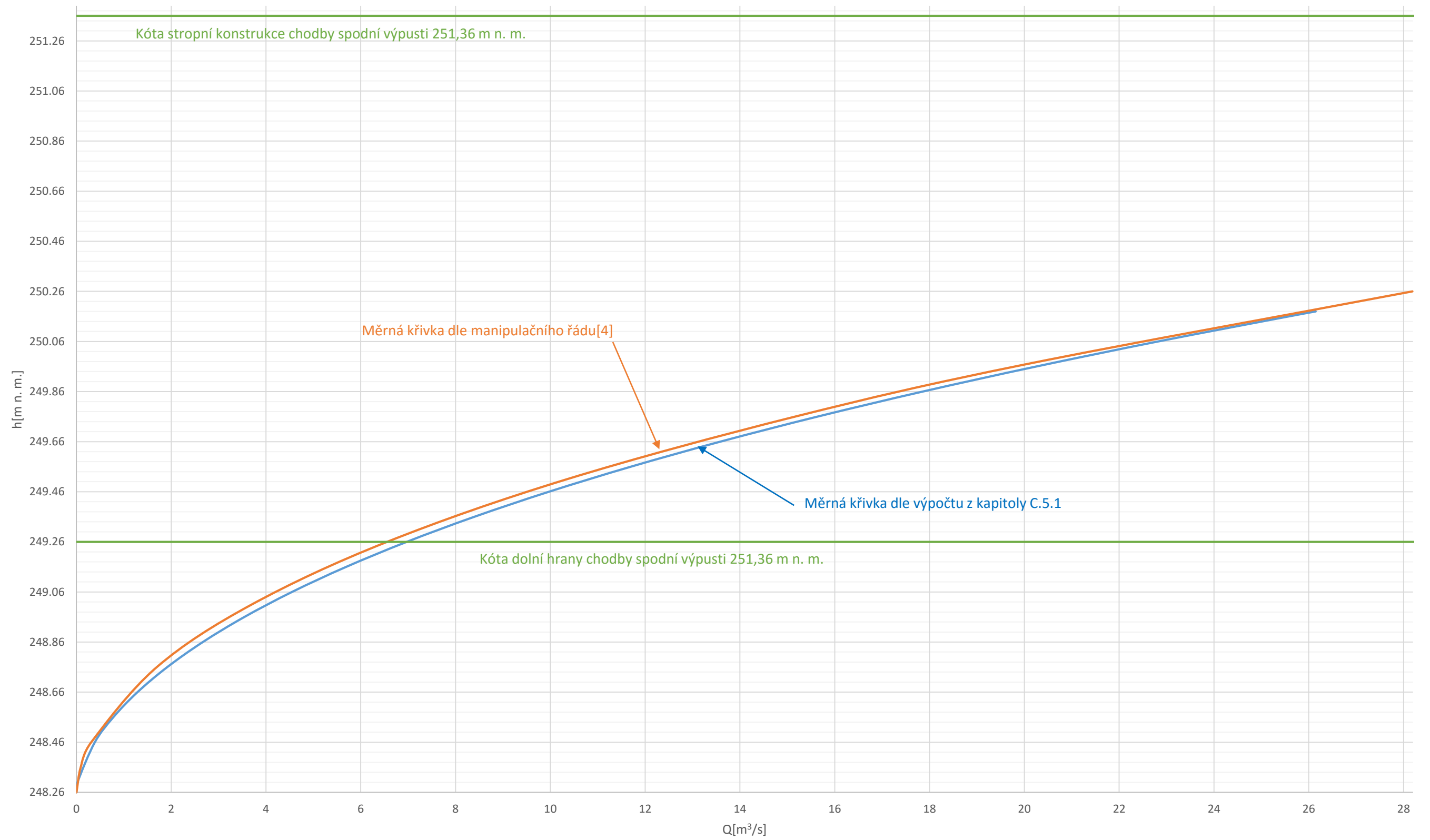


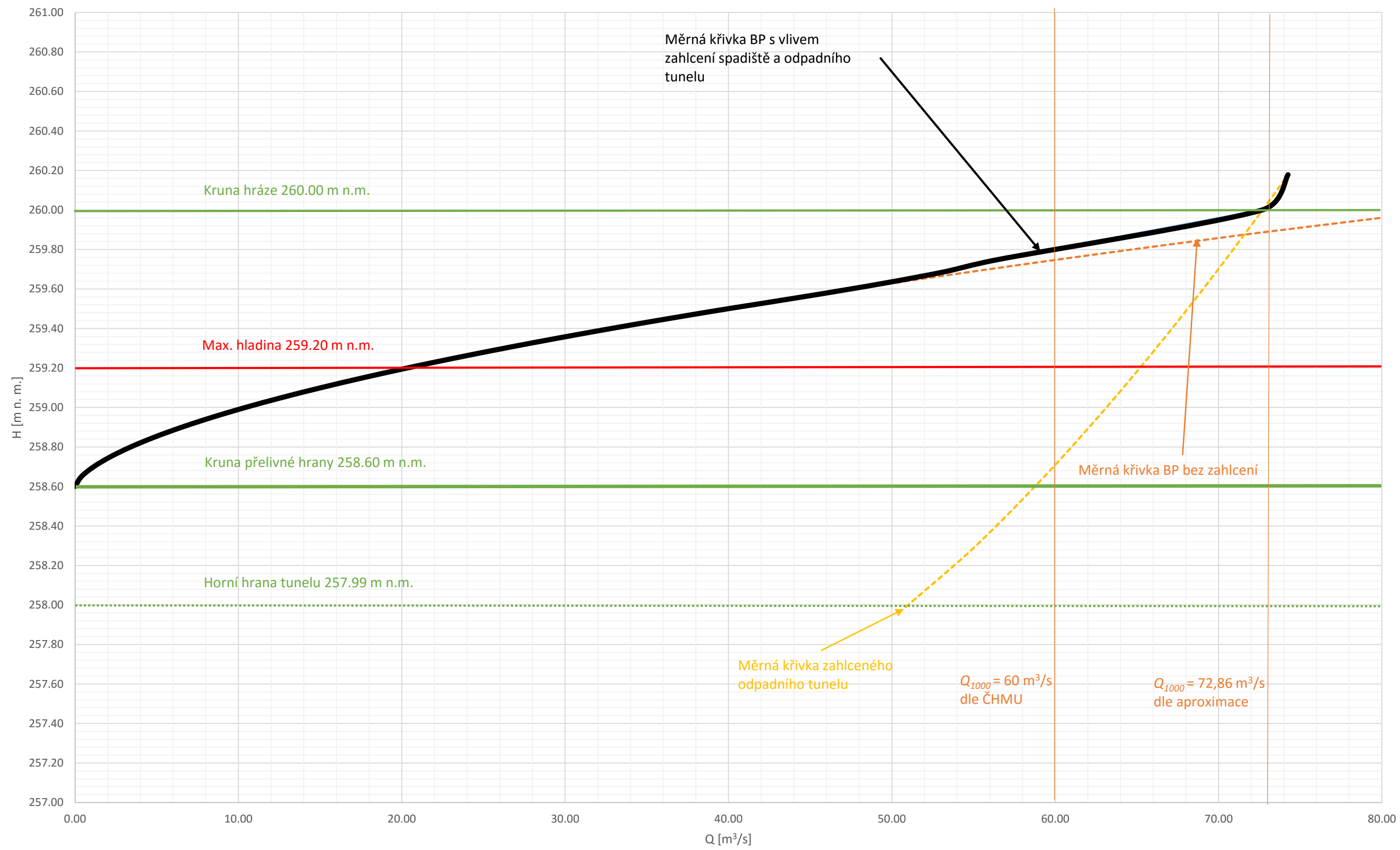
**Příloha 1**

Umístění VD Horní Dunajovice



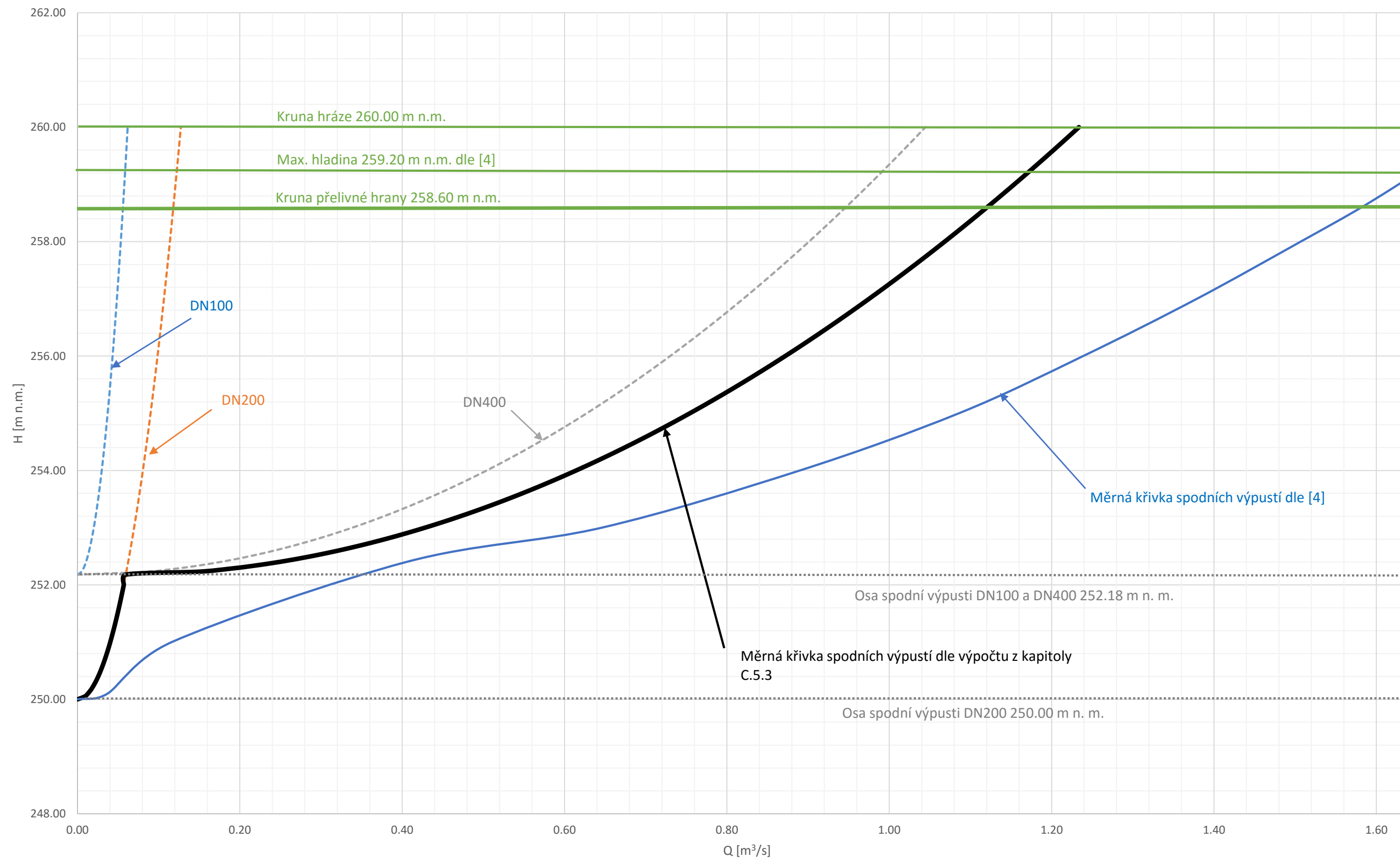
**Příloha 2**  
Čáry zatopených ploch a objemů

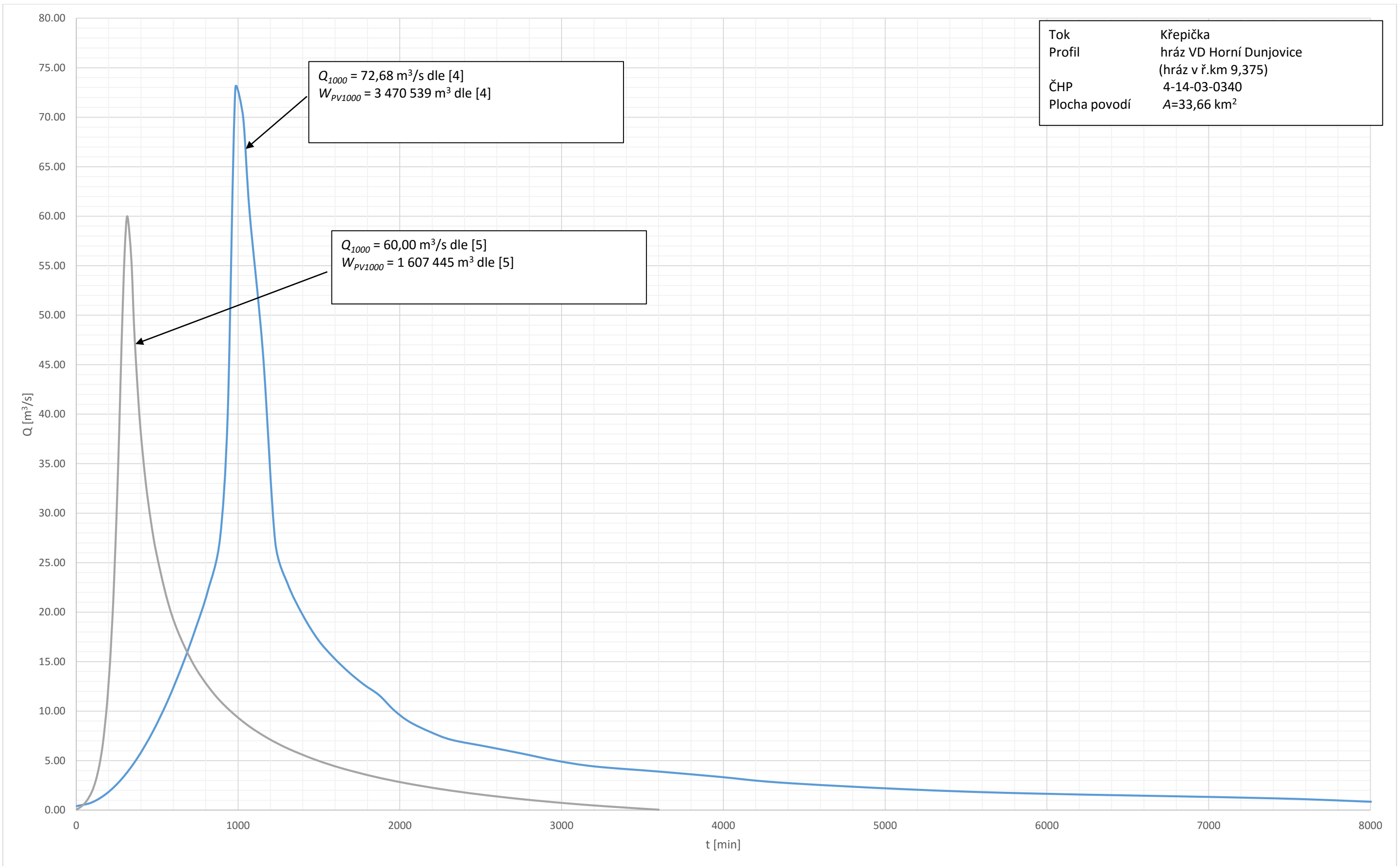




**Příloha 4**

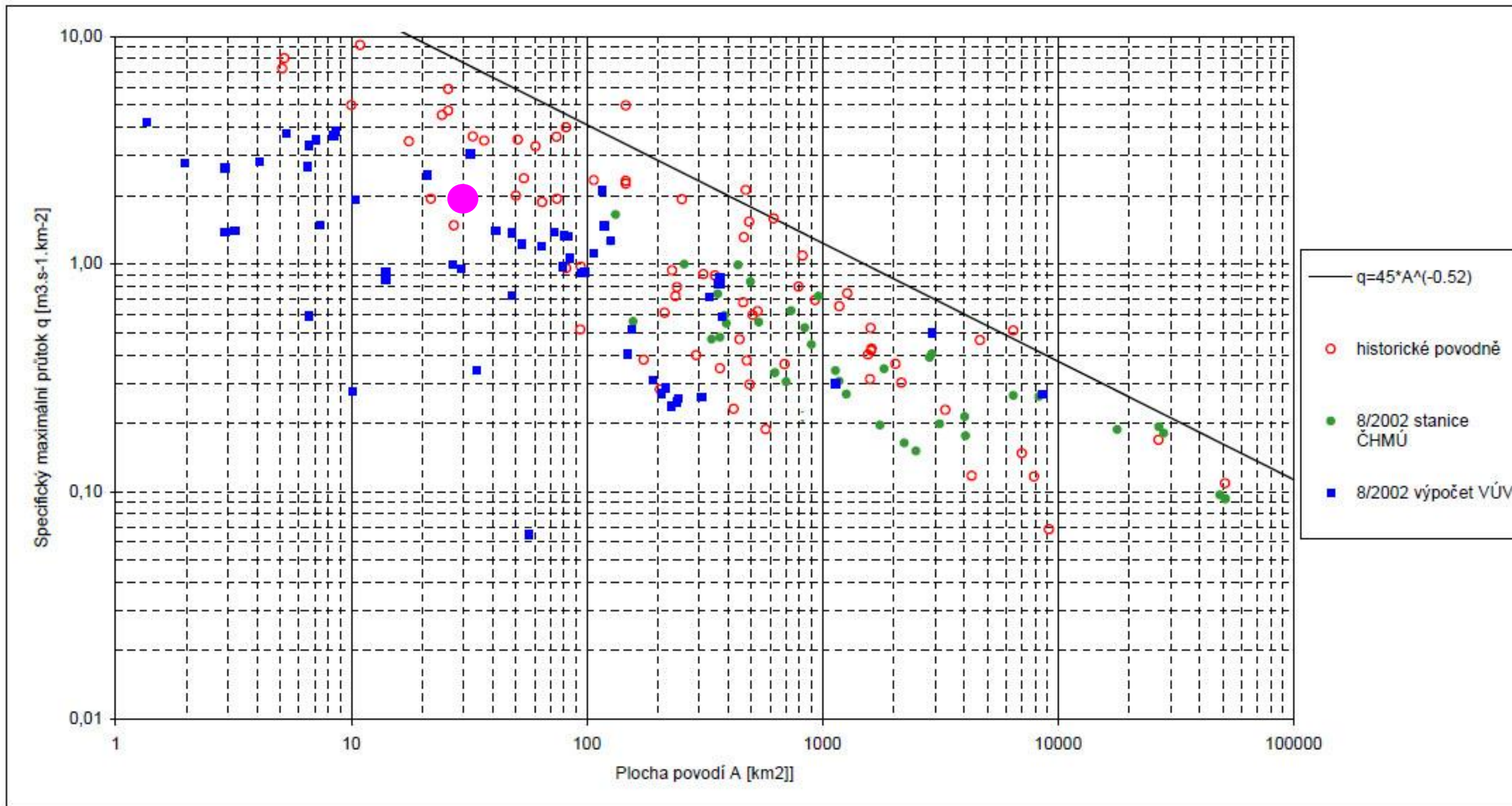
Měrná křivka bezpečnostního přelivu





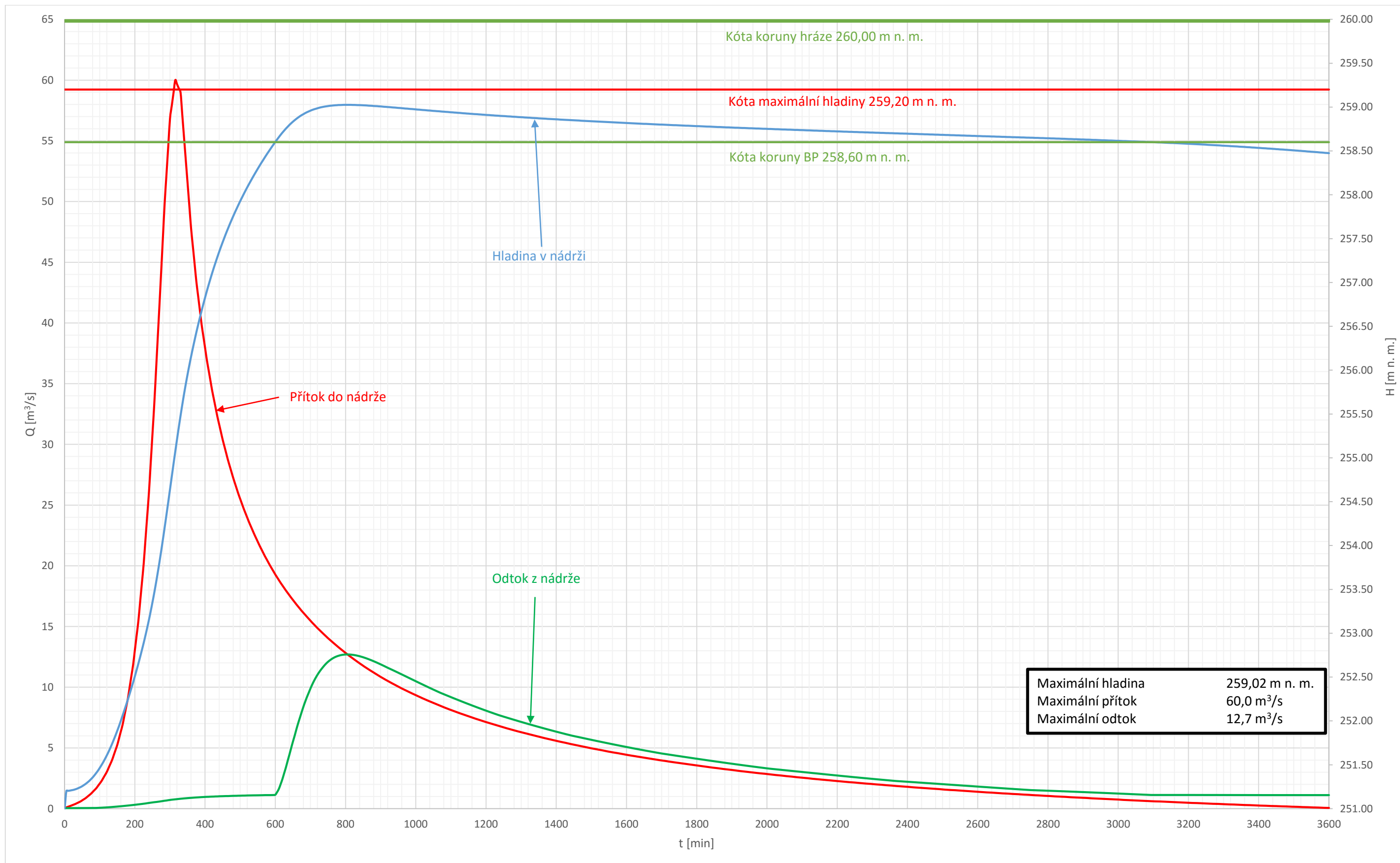
**Příloha 6**

Teoretické povodňové vln  $PV_{1000}$  dle [4] a  $PV_{1000}$  dle [5] potoku Křepička v profilu hráze VD Horní Dunajovice



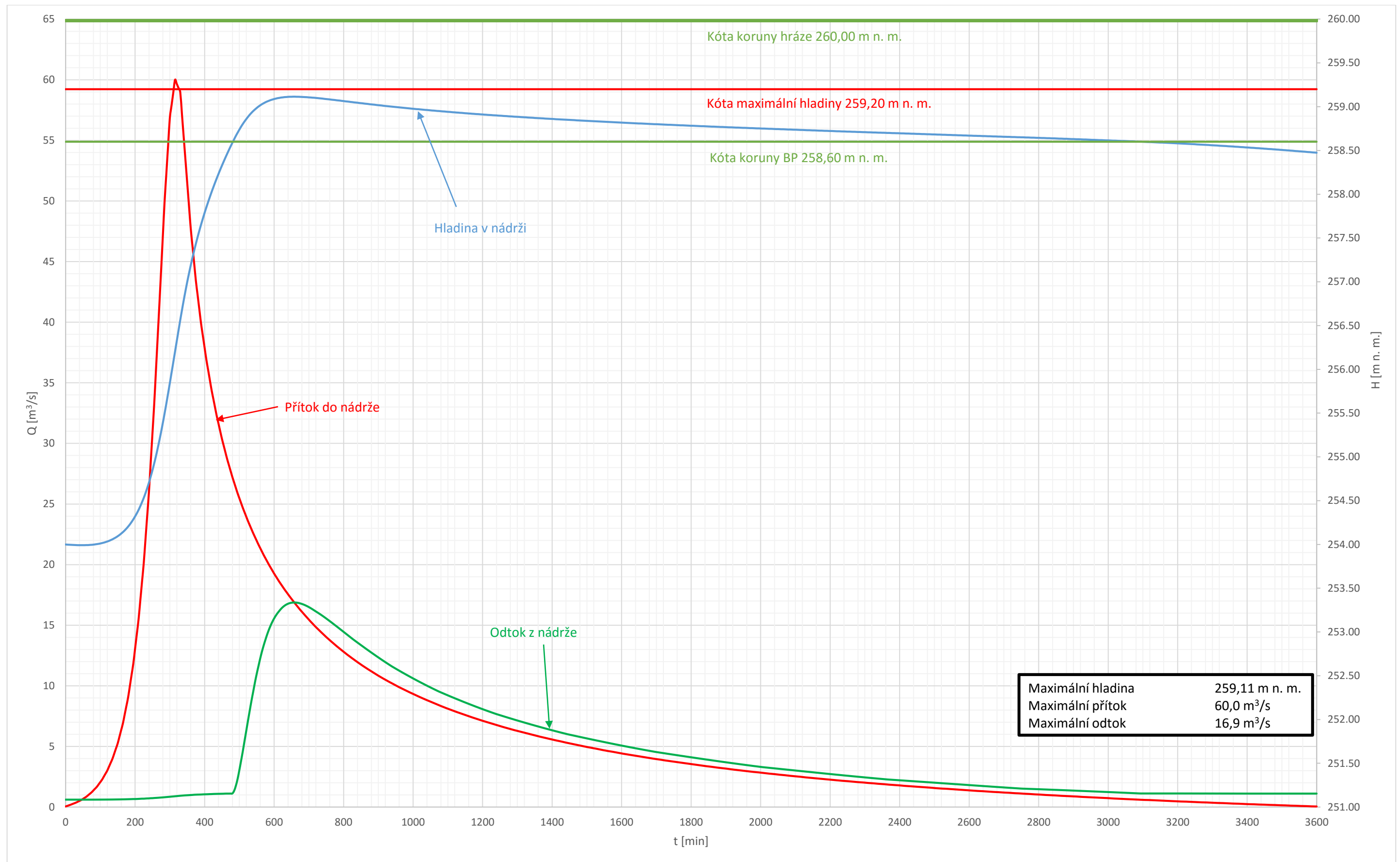
## Příloha 7

Znázornění kulminačního průtoku  $Q_{1000}$  VD Horní Dunajovice ve vazbě na specifické odtoky



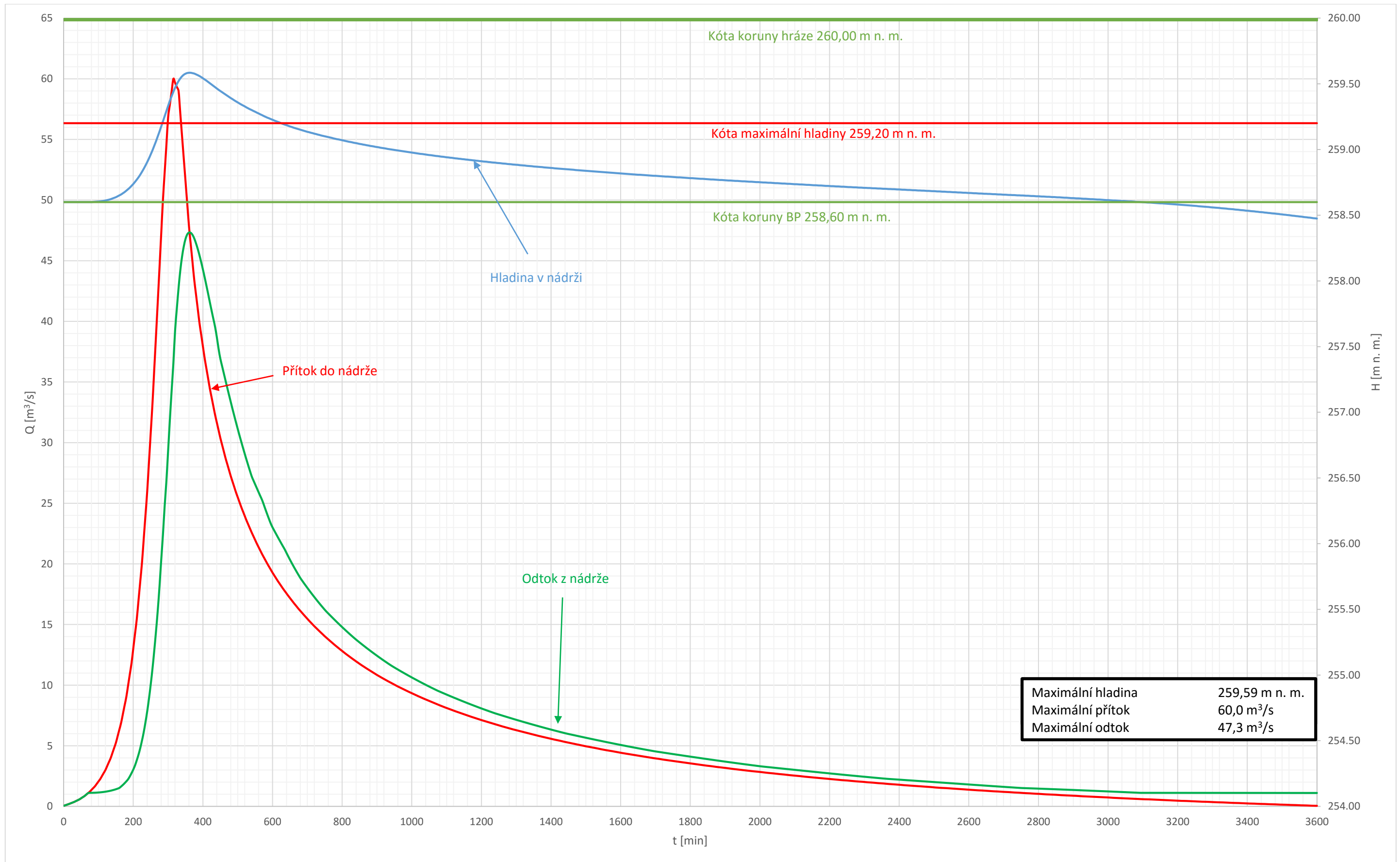
### Příloha 8

Transformace KPV ( $PV_{1000}$ ) dle [5] v prázdné nádrži [11]



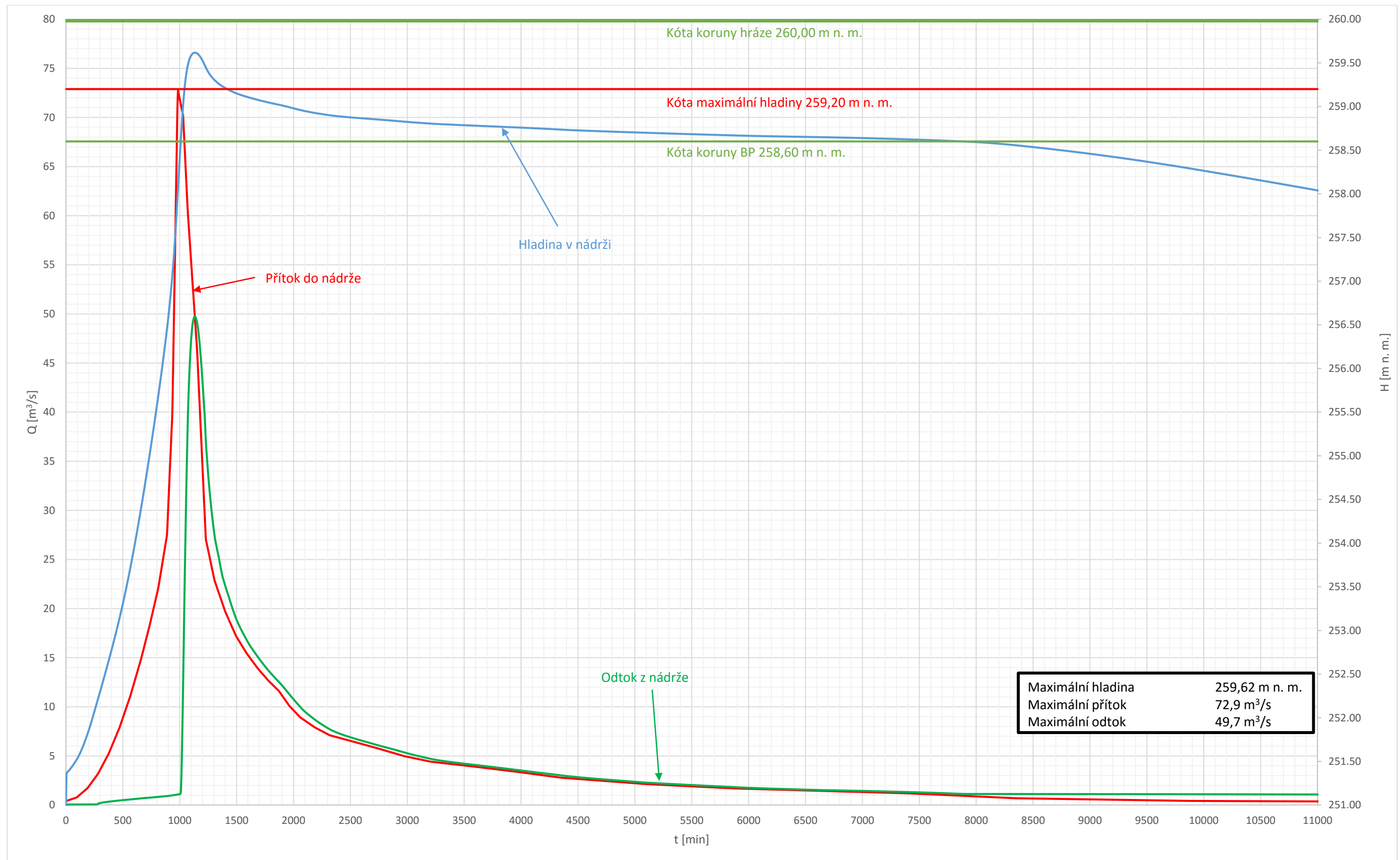
**Příloha 9**

Transformace KPV ( $PV_{1000}$ ) dle [5] s počáteční výškou hladiny vody na hladině stálého nadržení [11]

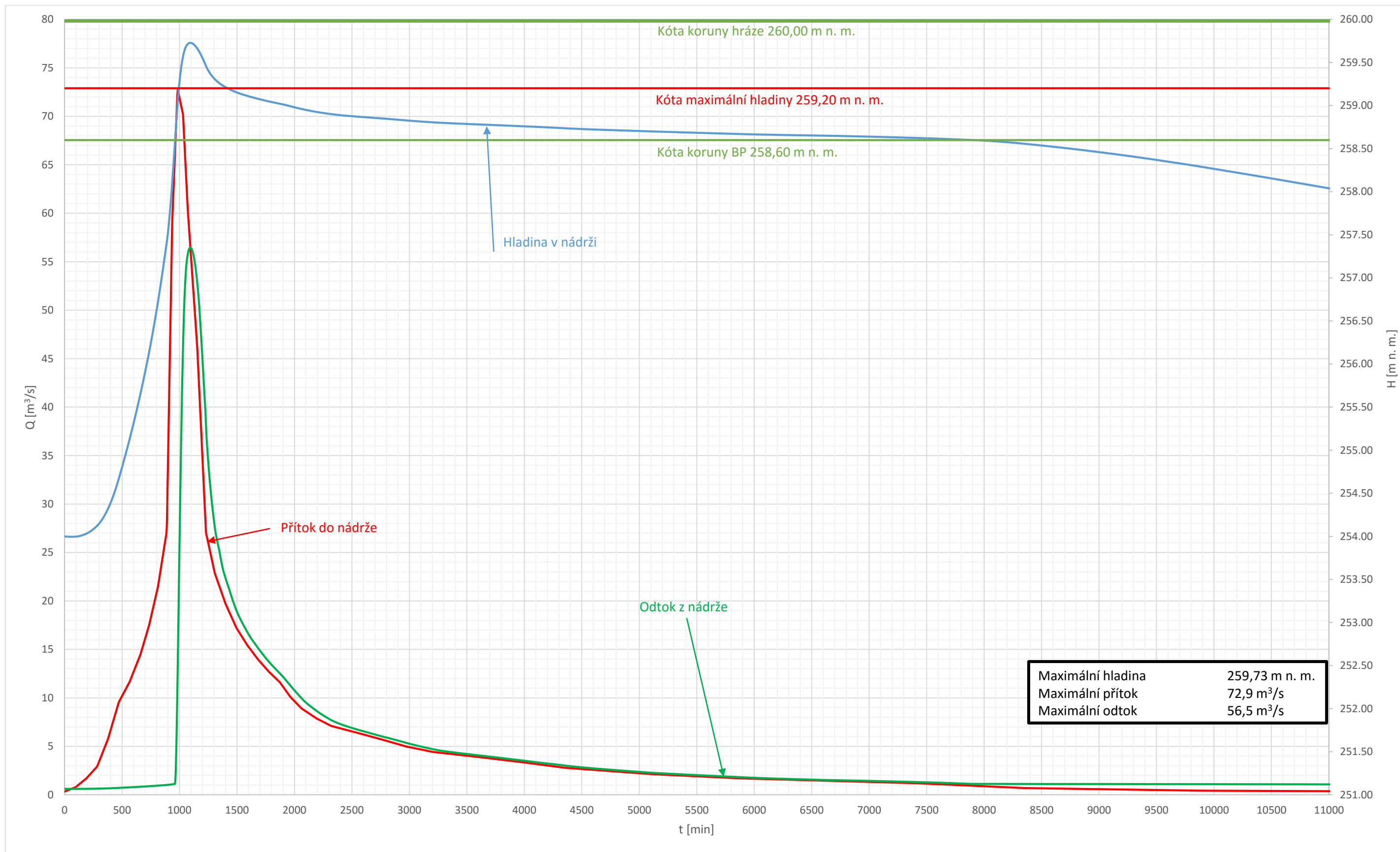


**Příloha 10**

Transformace KPV ( $PV_{1000}$ ) dle [5] s počáteční výškou hladiny vody na koruně bezpečnostního přelivu [11]

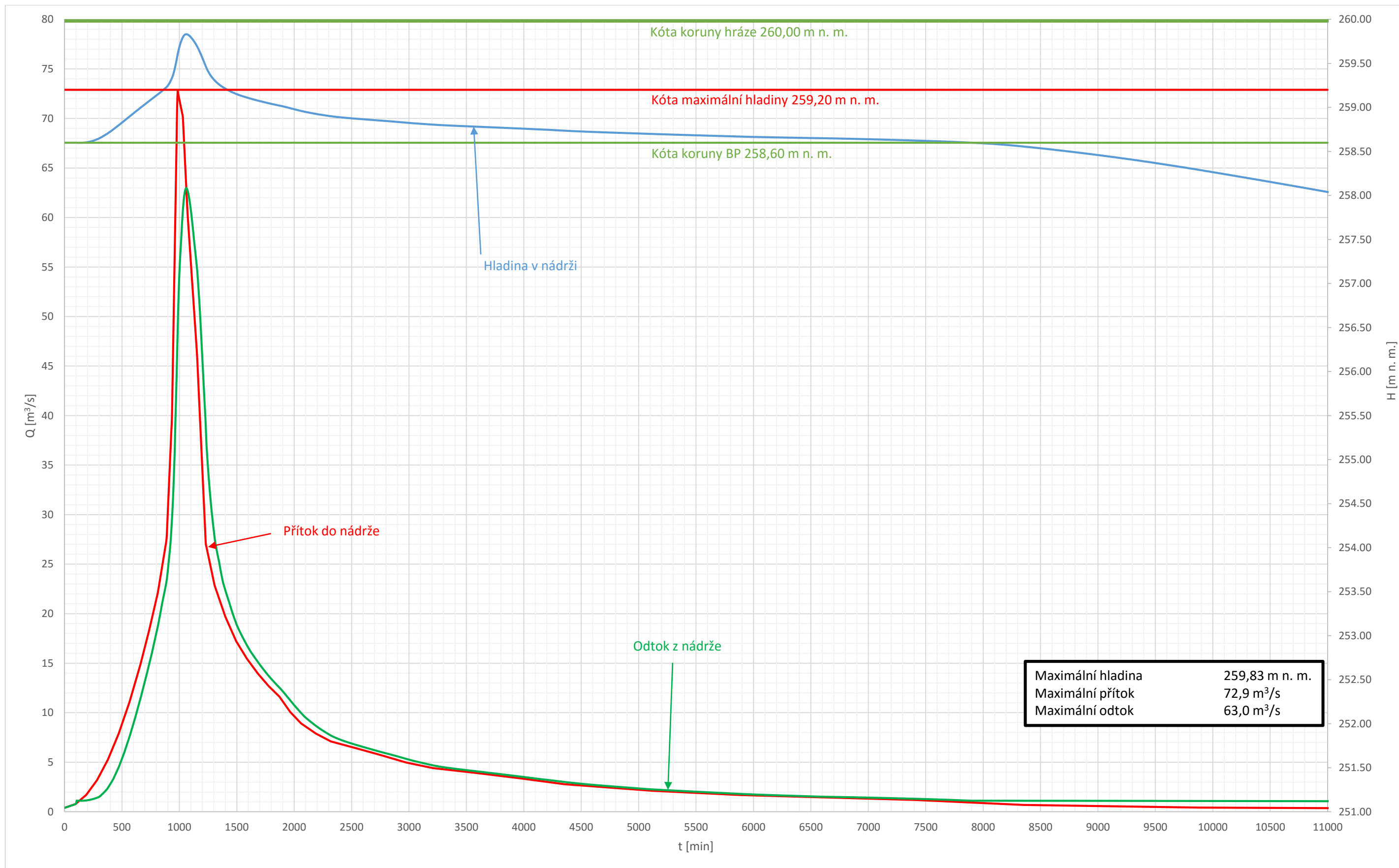


**Příloha 11**  
 Transformace KPV ( $PV_{1000}$ ) dle [4] v prázdné nádrži [11]



## Příloha 12

Transformace KPV ( $PV_{1000}$ ) dle [4] s počáteční výškou hladiny vody na hladině stálého nadržení [11]



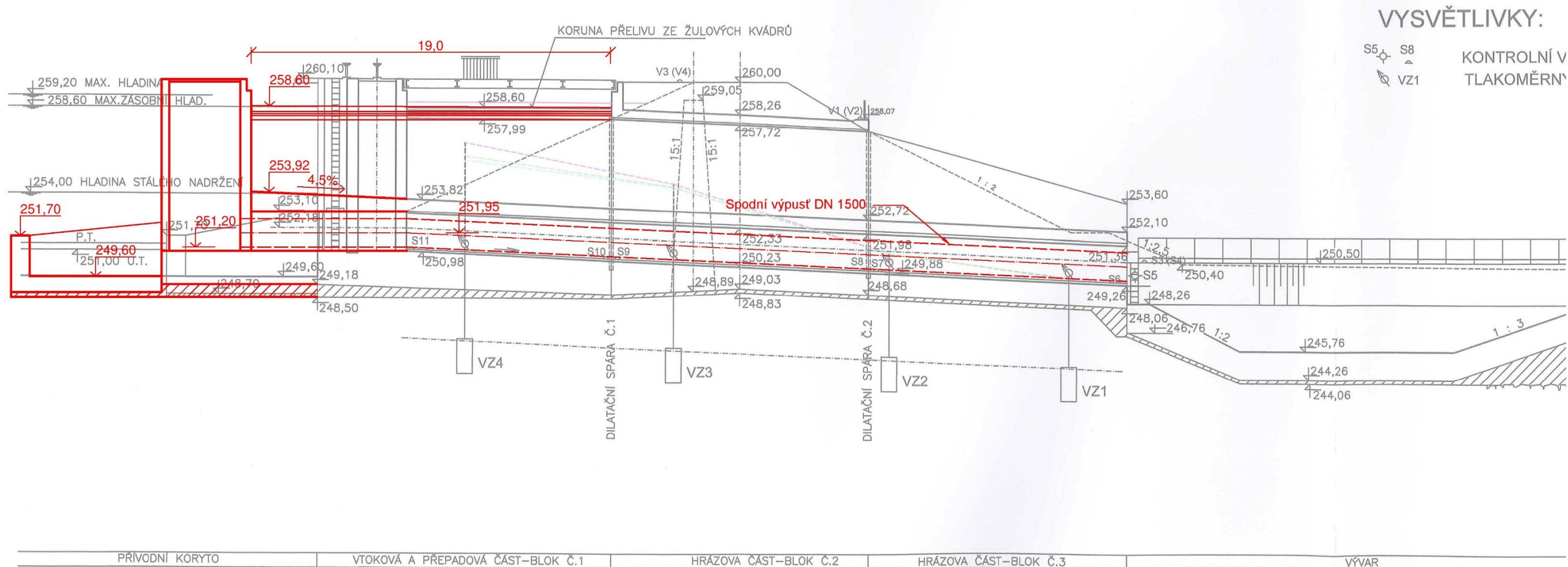
### Příloha 13

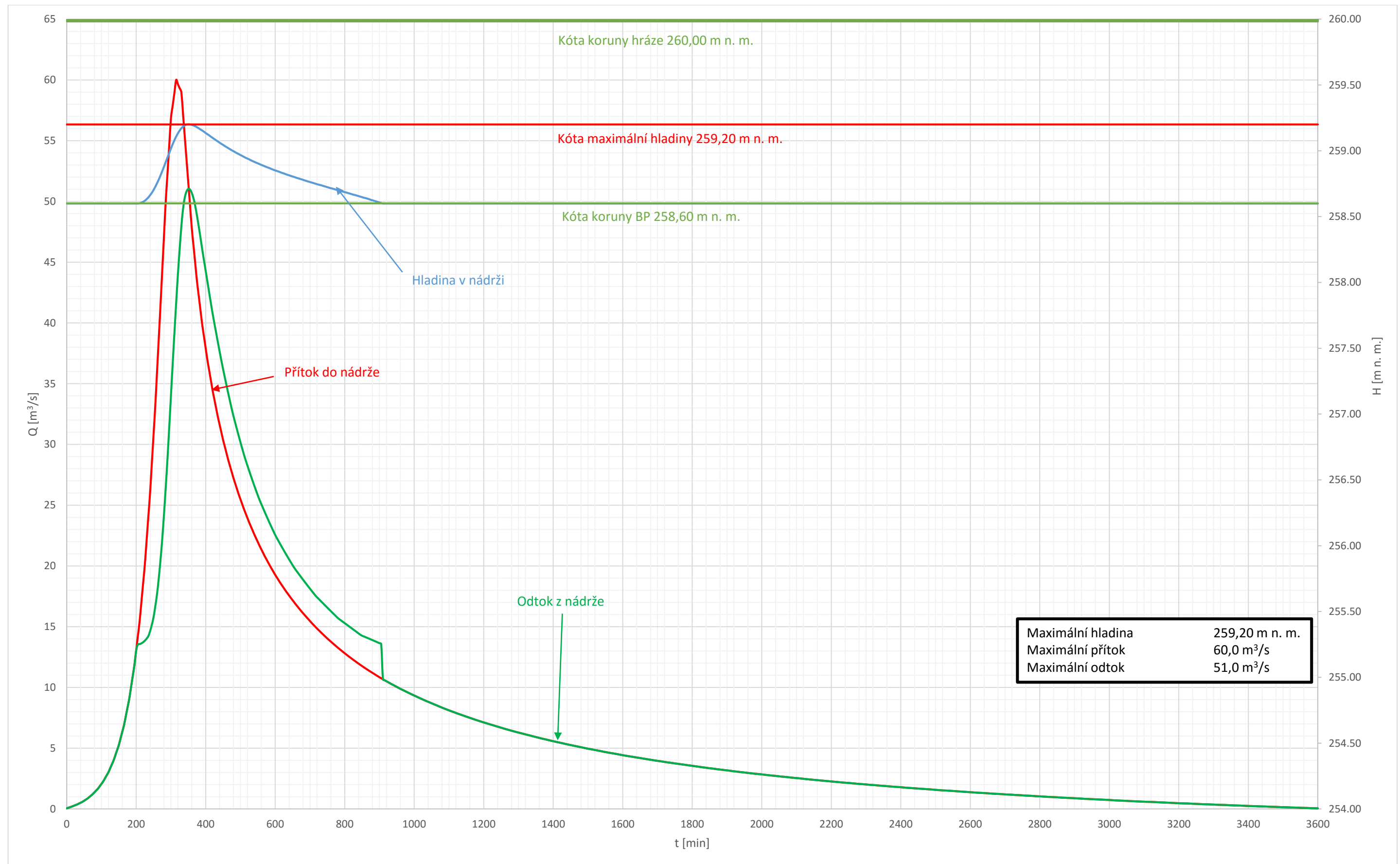
Transformace KPV ( $PV_{1000}$ ) dle [4] s počáteční výškou hladiny vody na koruně bezpečnostního přelivu [11]



**Příloha 14**  
Přehledná situace nového bezpečnostního přelivu

# PODÉLNÝ ŘEZ SDRUŽENÝM OBJEKTEM M 1 : 200





## Příloha 16

Transformace KPV (PV1000) dle [5] pro návrh v Příloze 15 s počáteční výškou hladiny vody na koruně bezpečnostního přelivu [11]

# Příloha 17

Výpočet výběhu větrové vlny dle [15]

## Pro hluboké pásmo

hloubka vody při hladině v klidu	$H =$	9 m
délka rozběhu	$L =$	837 m
úhel směru větru	$\delta =$	2 °
	$\delta =$	0.03 rad
efektivní délka rozběhu větru	$L_{ef} =$	392 m
tíhové zrychlení	$g =$	9,81 m <sup>2</sup> /s

## Rychlost větru

<b>návrhová rychlost větru 10 m nad zemí</b>	$w_{10z} =$	<b>25</b> m/s
součinitel přepočtu zem-voda	$k =$	1,080
<b>návrhová rychlost větru 10 m nad hladinou</b>	$w_{10v} =$	<b>27.00</b> m/s

## Výška nahnání větrem

součinitel rychlosti větru	$k_w =$	2,8E-06
<b>výška namáhání vody větrem</b>	$\Delta H =$	<b>0,02</b> m

graf 3 [15] 5,28  
0,0075

<b>charakteristická výška vlny</b>	$h_{0c} =$	<b>0,56</b> m
graf 4 [15]		5,28 0,14

<b>perioda vlny</b>	$T_{0c} =$	<b>2,42</b> s
délka vlny	$\lambda_{0c} =$	9,15 m
postupová rychlost vlny $c = f(\lambda)$	$c_{0c} =$	3,78 m/s

## Účinek vlny na svah

přepočet na 1% vlnu	$k_p =$	1,4
<b>výška vlny (1%)</b>	$h_{1\%} =$	<b>0,78</b> m
cotg sklonu svahu od vodorovné	$\cotg \alpha =$	2
koeficient opevnění	$k_d =$	0,7
	$\lambda_0 / h_{1\%} =$	11,73
koeficient sklonu svahu (Graf 11 [15])	$k_{pp} =$	2
<b>výška výběhu vlny</b>	$h_{w1\%} =$	<b>1,09</b> m
<b>přepočet na 13%</b>	$h_{w13\%} =$	<b>0,93</b> m
	$k_i =$	0,85