

# **VD Hostivař**

## **Vyhodnocení povodňové situace v roce 2013**



BRNO, září 2013

Prof. Ing. Jaromír Říha, CSc.

# OBSAH

<b>1.</b>	<b>IDENTIFIKAČNÍ ÚDAJE .....</b>	<b>4</b>
<b>2.</b>	<b>CÍLE A PŘEDMĚT PRÁCE.....</b>	<b>4</b>
<b>3.</b>	<b>POPIS LOKALITY.....</b>	<b>4</b>
<b>4.</b>	<b>TECHNICKÝ POPIS VODNÍHO DÍLA .....</b>	<b>5</b>
4.1	NÁDRŽ .....	5
4.2	HRÁZ.....	6
4.3	BEZPEČNOSTNÍ PŘELIV .....	8
4.4	SPODNÍ VÝPUSTI.....	10
4.5	OBTOKOVÁ ODPADNÍ ŠTOLA .....	10
4.6	VÝVAR A ODPADNÍ KORYTO.....	11
4.7	OSTATNÍ OBJEKTY .....	11
4.7.1	Dělicí hráz v horní části nádrže .....	11
4.7.2	Obtok ze soustavy retenčních nádrží Hájecký R1, R2 a R3 .....	11
4.8	ZARÍZENÍ PRO POZOROVÁNÍ A MĚŘENÍ.....	11
4.8.1	Měření a sledování TBD .....	11
4.8.2	Sít limnigrafických a srážkoměrných stanic.....	11
4.9	STUPNĚ POVODŇOVÉ AKTIVITY.....	12
<b>5.</b>	<b>HYDROLOGICKÉ PODKLADY .....</b>	<b>13</b>
5.1	ZÁKLADNÍ HYDROLOGICKÉ ÚDAJE .....	13
5.2	SMĚRODATNÉ PRŮTOKY .....	14
<b>6.</b>	<b>MANIPULACE NA VD .....</b>	<b>14</b>
<b>7.</b>	<b>PRŮBĚH POVODŇĚ V ČERVNU 2013 .....</b>	<b>18</b>
7.1	SRÁŽKOVÉ A ODTOKOVÉ POMĚRY.....	18
7.2	VYHODNOCENÍ EXTREMITY PRŮTOKŮ .....	19
7.3	MANIPULACE NA VD HOSTIVAŘ .....	20
<b>8.</b>	<b>VLASTNÍ ŘEŠENÍ .....</b>	<b>23</b>
8.1	SESTAVENÍ SRÁŽKOODTOKOVÉHO MODELU .....	23
8.1.1	Vstupní podklady a předpoklady .....	23
8.1.2	Postup řešení .....	25
8.1.3	Kalibrace modelu .....	25
8.1.4	Modelová rekonstrukce přítoku do nádrže .....	27
8.2	ODVOZENÍ PŘÍTOKU DO NÁDRŽE BILANČNÍ METODOU.....	28
8.3	HYDRAULICKÉ ODVOZENÍ PŘÍTOKU DO NÁDRŽE.....	29
8.3.1	Hydraulické řešení ve stanicích Hostivař, Benice, Průhonice a Petrovice.....	30
8.3.2	Hydraulické ověření podmínek v profilu pod ulicí Novopetrovická .....	32
8.4	POROVNÁNÍ DOSAŽENÝCH VÝSLEDKŮ .....	33

8.5	KOMENTÁŘ K HYDRAULICKÝM CHARAKTERISTIKÁM OBJEKTŮ VD HOSTIVAŘ .....	34
8.5.1	Spodní výpust DN 500 na kótě 237,645 m n. m.....	34
8.5.2	Spodní výpust DN 700 na kótě 237,645 m n. m.....	34
8.5.3	Odběrné potrubí DN500 – 239,95 m n. m.....	34
8.5.4	Bezpečnostní objekt .....	35
8.5.5	Souhrnné zhodnocení .....	36
8.6	POROVNÁNÍ MANIPULACE PŘI POVODNI S MŘ.....	36
8.6.1	Tabelární porovnání .....	36
8.6.2	Porovnání odtoků z nádrže při povodni v 6/2013 s manipulací dle MŘ .....	39
8.6.3	Souhrnné zhodnocení způsobu manipulace.....	40
<b>9.</b>	<b>SOUHRNNÉ STANOVISKO, ZÁVĚR.....</b>	<b>41</b>
9.1	REKONSTRUKCE PŘÍTOKU DO VD HOSTIVAŘ .....	41
9.2	TRANSFORMACE POVODŇOVÉ VLNY VD HOSTIVAŘ.....	41
9.3	REKONSTRUKCE PRŮTOKU POD VD HOSTIVAŘ A MANIPULACE NA DÍLE .....	41
9.4	ROZBOR NEJISTOT.....	41
9.4.1	Nejistoty ve vstupních datech.....	42
9.4.2	Nejistoty v modelových postupech.....	43
9.4.3	Souhrnné hodnocení .....	44
<b>10.</b>	<b>NĚKTERÁ DOPORUČENÍ.....</b>	<b>44</b>
10.1	LIMNIGRAFICKÉ STANICE .....	44
10.2	MANIPULAČNÍ ŘÁD.....	45
10.3	PROVOZNÍ PODMÍNKY.....	45
<b>11.</b>	<b>POUŽITÉ PODKLADY .....</b>	<b>46</b>
<b>12.</b>	<b>SEZNAM ZKRATEK.....</b>	<b>47</b>
<b>13.</b>	<b>SEZNAM PŘÍLOH .....</b>	<b>48</b>

# 1. IDENTIFIKAČNÍ ÚDAJE

Tato studie byla vypracována na základě objednávky č. 156/13-000000-VSVT ze dne 22. 7. 2013 společnosti Lesy hl. m. Prahy.

<b>Název akce:</b>	<b>Vyhodnocení povodňové situace v roce 2013 na VD Hostivař.</b>
<b>Objednatel:</b>	Lesy hl. m. Prahy, Práčská 1885, 106 00 Praha10 – Záběhlice.
<b>Zhotovitel:</b>	prof. Ing. Jaromír Říha, CSc., Pekařská 46, 602 00 Brno.
<b>Spolupracovníci:</b>	doc. Dr. Ing. Petr Doležal. doc. Ing. Jan Jandora, Ph.D. Ing. Karel Adam.
<b>Výškový systém:</b>	Balt po vyrovnání (BPV).
<b>Časové údaje:</b>	Středoevropský čas (SEČ).
<b>Souřadnicový systém:</b>	S-JTSK.

## 2. CÍLE A PŘEDMĚT PRÁCE

Cílem předkládané studie je provést rekonstrukci povodňové situace, která proběhla ve dnech 1. až 4. 6. 2013 na toku Botič, souvisejících přítocích a na vodním díle (VD) Hostivař. Předmětem práce je:

- rekonstrukce přítoku do VD Hostivař,
- transformace povodňové vlny ve VD Hostivař,
- rekonstrukce průtoku pod VD Hostivař a posouzení manipulace na VD.

Studie obsahuje:

- studium a analýzu dostupných podkladů,
- sestavení srážkoodtokového modelu povodí nad Hostivařskou nádrží,
- kalibraci srážkoodtokového modelu povodí nad Hostivařskou nádrží s využitím poskytnutých a odvozených podkladů (průběhy srážek a průtoků během povodně 2013 ve vybraných stanicích),
- modelový výpočet přítoku do nádrže Hostivař s využitím nakalibrovaného modelu,
- odvození přítoku do nádrže VD Hostivař bilanční metodou,
- ověření průtoků v limnigrafických stanicích a přítoku do nádrže hydraulickým výpočtem,
- ověření hydraulických charakteristik objektů VD Hostivař,
- výpočet transformace povodňového průtoku z června 2013 nádrží,
- porovnání manipulace při povodni s manipulačním řádem VD Hostivař [1],
- souhrnné hodnocení, formulace závěrů, doporučení.

Pokud není uvedeno jinak, všechny údaje a hodnoty v této studii jsou uváděny ve výškovém systému Balt po vyrovnání (Bpv), čas je uveden ve středoevropském čase (SEČ).

## 3. POPIS LOKALITY

Studovaná lokalita leží na území hlavního města Prahy. Patří do povodí vodního toku Botiče. Botič je (mimo Berounky) největším pražským přítokem Vltavy a také nejznámějším pražským potokem. Pramení jihovýchodně od Prahy, blízko obce Čenětice. Do Vltavy se vlévá u železničního mostu na Výtoni. Do Botiče ústí řada drobných vodních toků jako Průhonický,

Chodovecký, Měcholupský, Milíčovský, Pitkovický, Slatinský potok. Na toku Botiče je kromě několika menších rybníků místního významu vybudována v km 13,55 také předmětná Hostivařská přehrada, která je využívána převážně pro rekreaci. Jde o protěkanou nádrž zabírající km 13,55 až 15,75 Botiče (dle [11]). Její půdorysný tvar je hodně protáhlý a dvakrát esovitě zakřivený s největší šířkou zátopy cca 300 m v prostoru koupaliště (Obr. 4.1).

Vlastníkem vodního díla je Hlavní město Praha, zastoupené Magistrátem hl. m. Prahy (MHMP), uživatelem (správcem) díla jsou Lesy hl. m. Prahy.

Souhrnné údaje Botiče jsou uvedeny v následujícím výčtu:

- Délka toku: 34,5 km.
- Plocha povodí:
  - celková 134,85 km<sup>2</sup>,
  - po nádrž Hostivař 94,806 km<sup>2</sup>.
- Číslo hydrologického pořadí: 1-12-01-020.
- Přítoky: Slatinský potok, Odpad od Hamerského rybníka, Chodovecký potok, Měcholupský, Košíkovský, Hájecký, Mlýnský náhon, Milíčovský, Dobrá Voda, Pitkovický potok, 4 bezejmenné přítoky.
- Správce toku:
  - Obor městské zeleně a odpadového hospodářství MHMP, Jungmannova 35, 110 00 Praha 1 (úsek 0,0 – 17,447 km).
  - Povodí Vltavy s.p. (úsek 17,447 - 34,500 km).

## 4. TECHNICKÝ POPIS VODNÍHO DÍLA

Vodní dílo Hostivař v Praze-Hostivaři na Botiči bylo vybudováno v letech 1959–1961 s prioritním účelem zajistit rekreaci občanů. VD Hostivař dále slouží omezeně ke zmírnění průchodu velkých vod (účinněji do cca PV20), ke krátkodobému zmírnění rozkolísanosti odtoku v období přechodu hladiny ze zimního na letní režim a naopak a ke sportovnímu rybaření.

První návrh na výstavbu přehrady v místech současné hráze je z roku 1906, kdy se uvažovalo o zděné hrázi vysoké 13 m [11]. Rozhodnutí o vybudování VD Hostivař padlo po velké povodni 8. července 1958 [19]. Tato povodeň, kterou dokument [20] označuje jako „stoletou“, způsobila v Hostivaři mimořádné škody.

VD Hostivař tvoří zemní hráz s obtokovou štolou, do níž jsou zaústěny základové výpusti, odběrné potrubí a odpad od přelivu [11], [18]. Pod vyústěním obtokové štoly je umístěn vývar půdorysně „ledvinovitého“ tvaru. Dispozice hráze a funkčních zařízení je na Obr. 4.2. Vodní dílo je podle svého významu a stupně ohrožení území pod dílem zařazeno pro potřeby odborného technickobezpečnostního dohledu podle vyhlášky č. 471/2001 Sb. [2] do II. kategorie [11].

### 4.1 Nádrž

Půdorysný tvar nádrže je hodně protáhlý a dvakrát esovitě zakřivený (Obr. 4.1). Délka zátopy v ose je asi 2,0 km s největší šířkou (v místě zaústění Hájeckého potoka) asi 300 m.

Dno nádrže je neopevněné, přírodní. Nejnižší místo se nachází pravděpodobně v blízkosti hráze. Hostivařská nádrž má podle [11] při letní provozní hladině na kótě 246,60 m n. m. plochu hladiny 349 tis. m<sup>2</sup> (34,9 ha). Objem vody zadržovaný při této hladině v nádrži byl vypočten na 1,310 mil. m<sup>3</sup> [11]. Při zimní provozní hladině na kótě 245,10 m n. m. je plocha hladiny 259 tis. m<sup>2</sup> (25,9 ha). Objem vody zadržovaný při této hladině v nádrži je v práci [11] uveden hodnotou 851 tis. m<sup>3</sup> [11].

V roce 2010 byla nádrž zcela vypuštěna a prošla odbahněním a revitalizací [21]. V předstihu byla v roce 2003 postavena v horní části nádrže dělicí přerónová hráz, která od té doby zachycuje sedimenty a zabraňuje dalšímu zanášení přehrady. V letech 2009 až 2010 byla provedena sanace betonového objektu hlavního výpustného zařízení přehrady. Na pravém břehu nádrže byla již v zimě 2010 zahájena rekonstrukce břehového doprovodu. Na levém břehu byly obnoveny a upraveny pískové pláže a zpevněny nestabilní části břehů.

Batygrafické křivky (charakteristiky nádrže) dle [11] jsou uvedeny v Příloze 3.

Povodí nad nádrží je částečně urbanizované, bez jiných významných nádrží. Těsně pod VD Hostivař je podél koryta toku přírodní památka „Meandry Botiče“. Plocha povodí Botiče k profilu hráze VD Hostivař je 94,806 km<sup>2</sup> [11]. VD Hostivař je majetkem hl. m. Prahy a jeho správu vykonává podnik Lesy hl. m. Prahy.



Obr. 4.1 Situace VD Hostivař [23]

## 4.2 Hráz

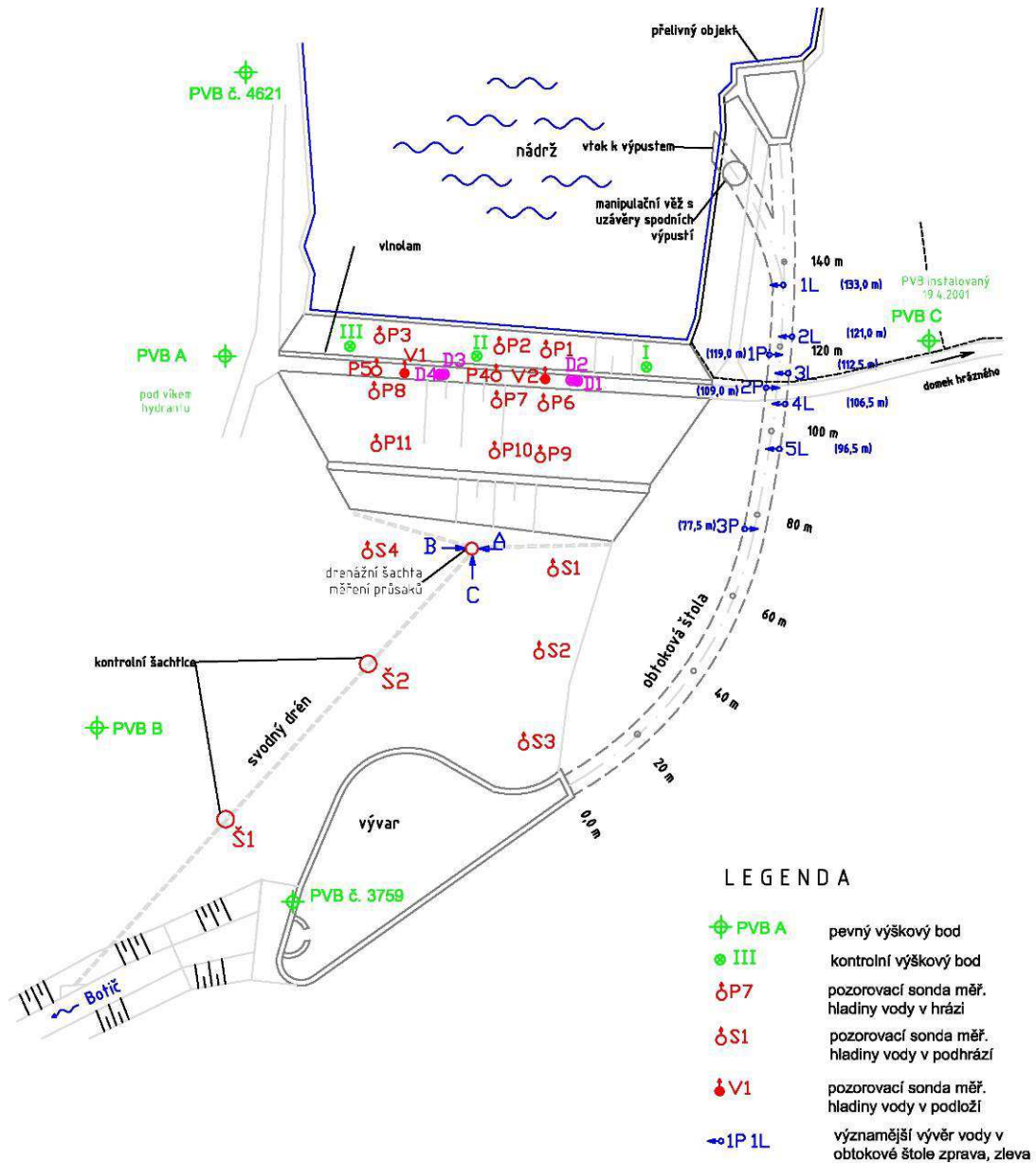
Hráz VD Hostivař je zemní, sypaná z písčitých hlín, s návodním těsněním ze sprašových hlín (Obr. 4.3). Výška hráze nad terénem je ze vzdušní strany cca 13 m. Kóta koruny hráze je na kótě 249,60 m n. m.

V příčném řezu má hráz tvar pravidelného lichoběžníku s předsazenou návodní přitěžovací lavičkou z lomového kamene. Po koruně hráze široké 4 m vede asfaltová komunikace místního významu určená pouze pro pěší a cyklisty. Na návodní hraně koruny je umístěn betonový vlnolam se zábradlím, který určuje délku koruny hráze 101,4 m. Návodní svah ve sklonu 1 : 2,5 je opevněn dlažbou z betonových šestibokých tvárníc s kruhovými otvory vyplněnými šterkem. Vzdušný svah ve sklonu cca 1 : 2 je zatravněn. Lavičku na vzdušném svahu tvoří kamenná drenážní patka, která je zakrytá zatravněním.

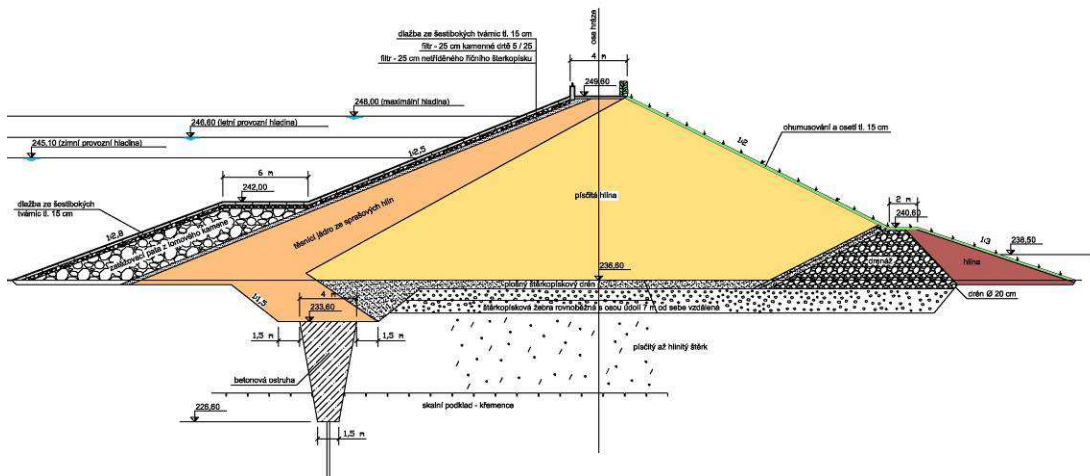
Návodní těsnění je zapuštěno do podloží zavazovacím zářezem a nasazeno na betonovou ostruhu, která těsní vrstvu písčito-hlinitého šterku pod hrází. K dotěsnění skalního podkladu byla provedena jednořadá injekční clona do hloubky 30 až 40 m.

Základní parametry hráze a nádrže VD Hostivař jsou uvedeny v tabulce 4.1.





Obr. 4.2 Dispozice hráze a funkčních zařízení [11]



Obr. 4.3 Příčný řez hrází VD Hostivař [11]

**Tab. 4.1 Základní parametry hráze a nádrže VD Hostivař [11]**

Koruna hráze	
Kóta koruny hráze	249,60 m n. m.
Šířka hráze v koruně	4,0 m
Délka hráze v koruně	101,4 m
Maximální výška hráze	13 m
Objemy při hladině	
$H_{\text{prov-zimní}} = 245,10$ m n. m.	851 tis. m <sup>3</sup> ; 835 tis. m <sup>3</sup> *)
$H_{\text{prov-letní}} = 246,60$ m n. m.	1 310 tis. m <sup>3</sup> ; 1 297 tis. m <sup>3</sup> *)
$H_{\text{max}^*} = 248,00$ m n. m.	1 845 tis. m <sup>3</sup> ; 1 830 tis. m <sup>3</sup> *)
Plochy při hladině	
$H_{\text{prov-zimní}} = 245,10$ m n. m.	259 tis. m <sup>2</sup> ; 245 tis. m <sup>2</sup> *)
$H_{\text{prov-letní}} = 246,60$ m n. m.	349 tis. m <sup>2</sup> ; 352 tis. m <sup>2</sup> *)
$H_{\text{max}^*} = 248,00$ m n. m.	420 tis. m <sup>2</sup> ; 408 tis. m <sup>2</sup> *)
Návodní svah	
Sklon	1:2,5 (242,00 – 249,60 m n. m.)
Sklon	1:2,8 (dno - 242,00 m n. m.)
Lavička	242,00 m n. m. (šířka - 6,0 m)
Opevnění	Dlažba ze šestibokých tvárnic
Vzdušní svah	
Sklon	1:2,0 (240,60–249,60 m n. m.)
Sklon	1:3,0 (podhrází - 240,60 m n. m.)
Lavička	240,60 m n. m. (šířka - 2,0 m)
Opevnění	Zatravněno

\*) hodnoty odvozené v této práci vyhodnocením podkladů [17] a [41]

### 4.3 Bezpečnostní přeliv

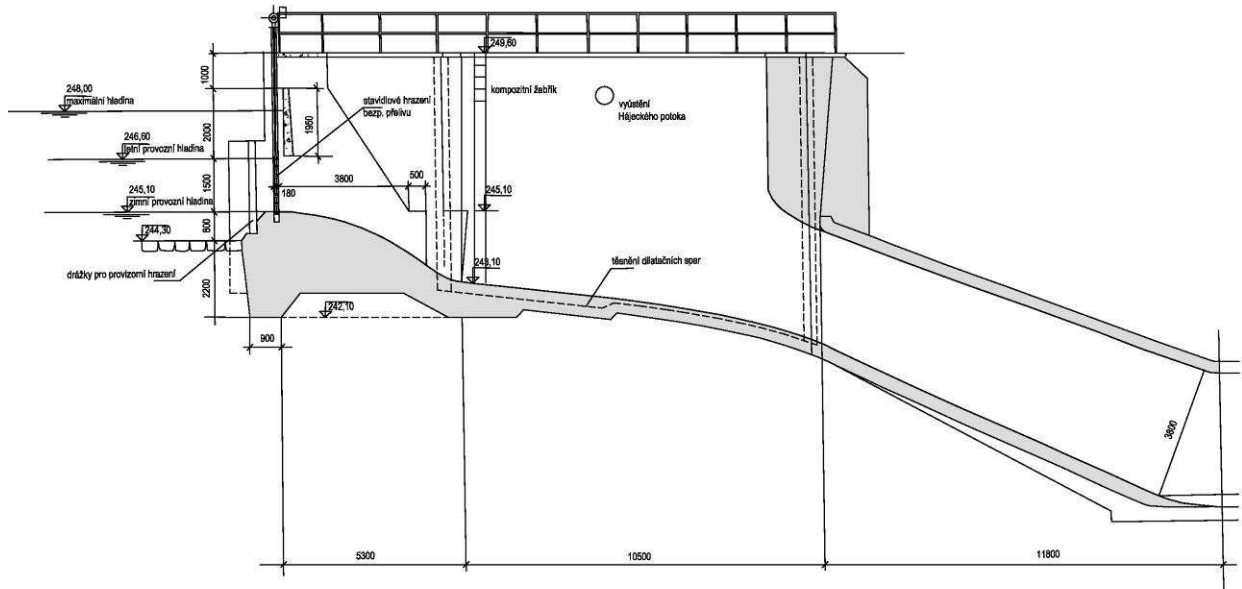
Bezpečnostní přeliv je situován na levém břehu nádrže (Obr. 4.2). Přeliv má 4 přelivná pole o celkové délce přelivné hrany cca 10,76 m [11] o šířkách jednotlivých polí:

- pravé: 2,75 m,
- střední: 2,68 m,
- střední: 2,65 m,
- levé: 2,68 m.

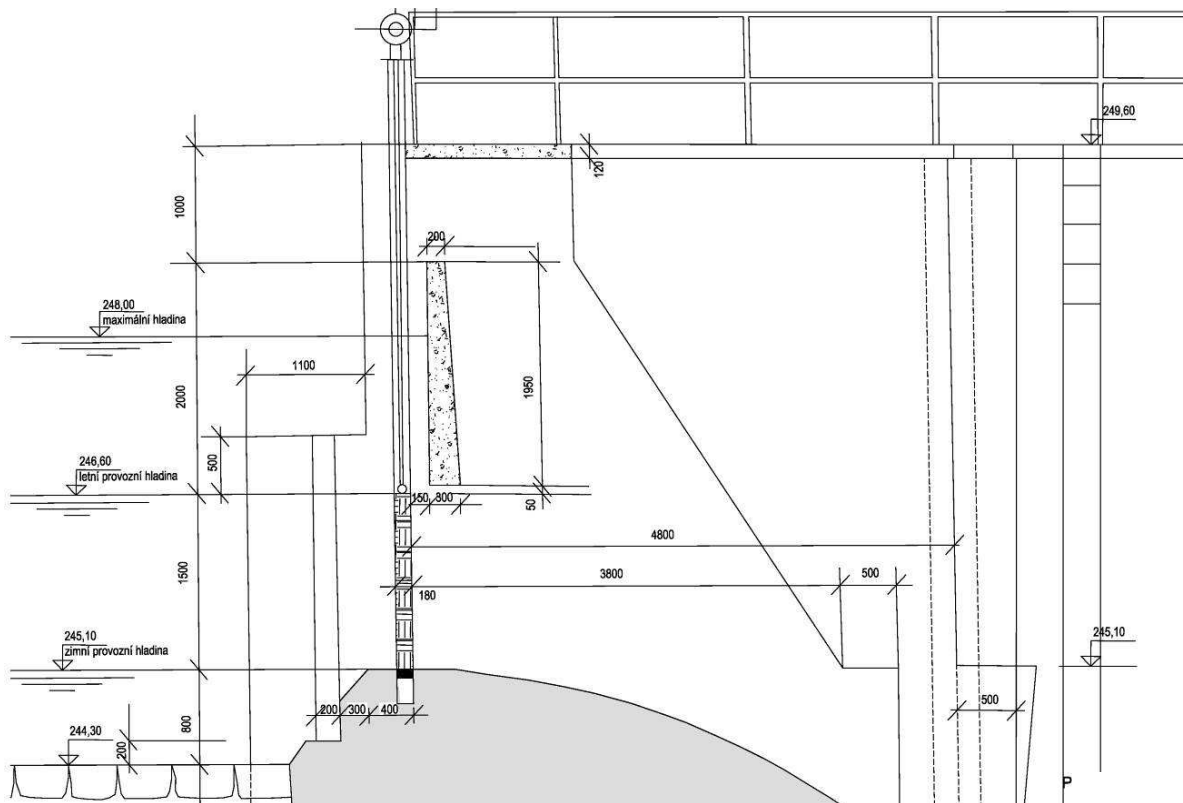
Přelivná pole jsou hraditelná dřevěnými stavidly (Obr. 4.4, 4.5). Pilířky, oddělující jednotlivá přelivná pole, jsou široké 0,48 až 0,53 m a všechny jsou zakončeny půlkruhovým zhlavím. Přelivná pole jsou hrazena dřevěnými stavidly z trámů 100 x 165 mm. Hrazení se pohybuje v drážkách 165 x 60 mm z ocelových “U“ profilů. Průtočný otvor mezi vrchem uzavřených stavidel a železobetonovou stěnou má průměrnou velikost 185 mm. Celková délka přelivné hrany je cca 10,75 m. Stavidla hrazení bezpečnostního přelivu je možné ovládat jak dálkově z velína, tak přímo z místa u stavidel elektrickým ovládaním. Přístup k mechanismům pro manipulaci se stavidly je možný po železobetonové lávce na kótě 249,68 m n. m. Kóta pevné hrany přelivu je 245,10 m n. m. Pohyblivými stavidly je přeliv hrazen do kóty 246,60 m n. m. Od kóty 246,70 m n. m. až na kótu 248,59 m n. m. pokračuje 1,95 m vysoká pevná železobetonová stěna. Světla vzdálenost mezi horní hranou železobetonové stěny nad stavidly a spodní hranou desky železobetonové lávky je 0,88 m. Na levé zdi za stavidly je žebřík, který slouží pro vstup do skluzu přelivu.



Přeliv za stavidly tvoří bezpodtlaková plocha. Její délka od přelivné hrany je 5,3 m a plynule navazuje na skluz. Celková šířka na konci skluzu je 12,3 m a odtud se profil v délce 10,5 m trychtýřově zužuje na šířku 3,0 m a ve dně přechází plynule do půlkružnice. Na otevřený skluz navazuje tunel, jehož profil je kruhový a na délce 11,8 m se z průměru 3,0 m rozšiřuje na 3,8 m a tečně přechází v obtokovou štolu. Obtoková štola je umístěna v levém zavázání hráze a jsou do ní zaústěny i spodní výpusti. Od vtokového portálu je štola vedena ve složeném oblouku v celkové délce 169,3 m. Za obtokovou štolou je vývar půdorysně „ledvinovitého“ tvaru.



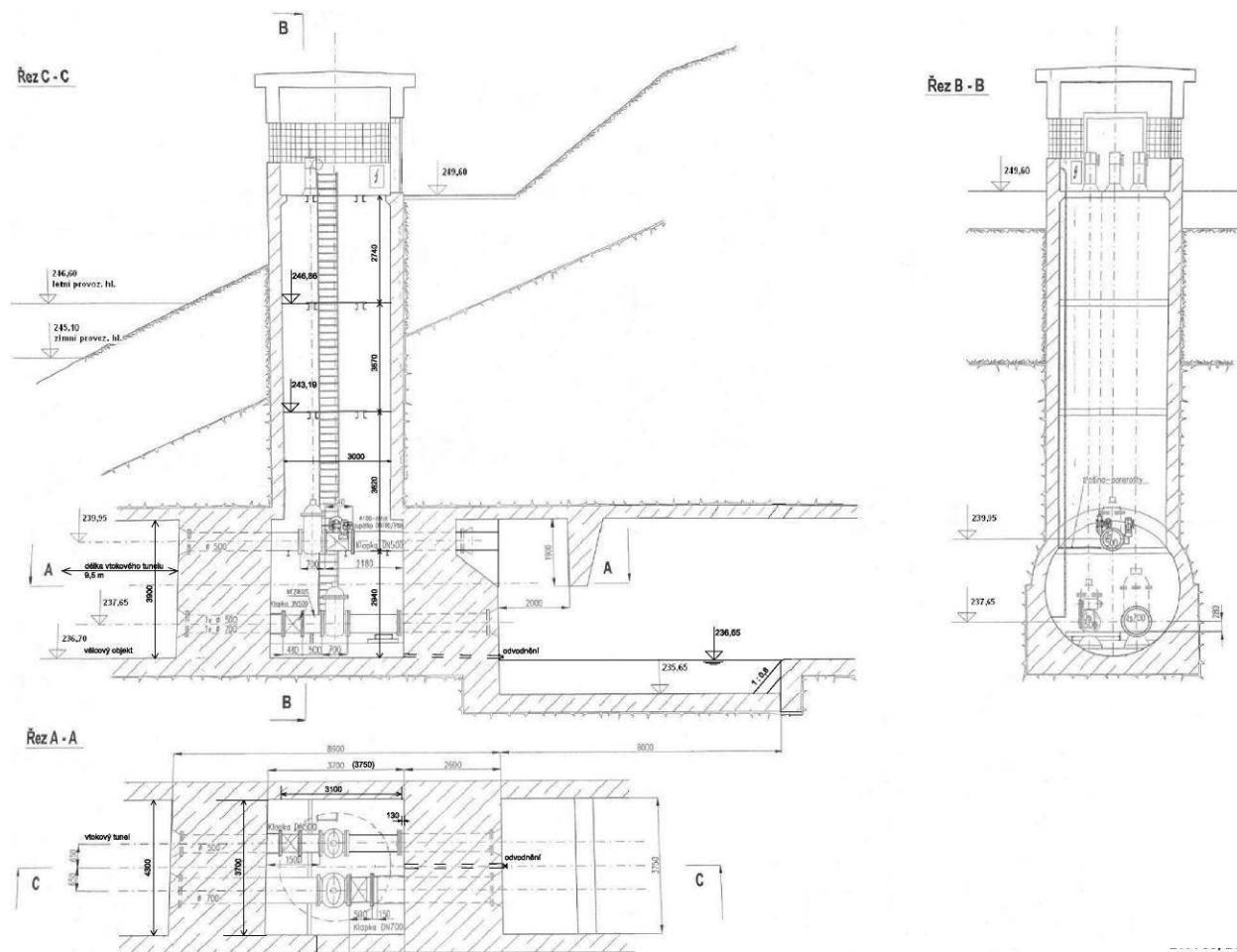
Obr. 4.4 Podélný řez přelivným objektem VD Hostivař [11]



Obr. 4.5 Detail bezpečnostního přelivu VD Hostivař [11]

## 4.4 Spodní výpusti

Spodní výpusti VD Hostivař jsou v manipulační věži na levém břehu nádrže. Tvoří je dvě potrubí průměru 500 mm a 700 mm. Vtok do štol spodních výpustí je asi 53 m od osy hráze směrem proti vodě (Obr. 4.2). Na vtoku jsou osazeny hrubé česle z ocelových prutů. Potrubí spodních výpustí doplňuje odběrné potrubí DN 500. Každé z potrubí má po provedené rekonstrukci osazen jeden třmenový šoupátkový uzávěr (revizní) a jeden klapkový uzávěr (regulační). Osa níže položených potrubí DN 500 a 700 je na kótě 237,645 m n. m. (Obr. 4.6). Spodní výpusti jsou vyústěny do obtokové štol. Ovládání spodních výpustí a obtoku se provádí z velína (manipulační věže nad potrubími). Odběrné potrubí DN 500 je na kótě 239,95 m n. m., tedy výše než spodní výpusti, je vybaveno šoupátkovým uzávěrem a je vyústěno do obtokové štol [18].



Obr. 4.6 Uspořádání spodních výpustí DN 500, DN 700 a odběru DN 500 [11]

## 4.5 Obtoková odpadní štola

Obtoková štola průměru 3,8 m je umístěna v levém závězu hráze. Je do ní zaústěn odpad od bezpečnostního přelivu a spodní výpusti. Od vtokového portálu spodních výpustí je štola vedena ve složeném oblouku v celkové délce 169,3 m a v jednotném sklonu 2,5 %. Výtoku z obtokové štol tvoří betonový portál obložený řádkovým zdivem do výšky 1,15 m. Dno výtoku je vydlážděno lomovým kamenem do betonu. Obtoková štola přechází do vývaru korytem v délce 19 m. Na přechodu do vývaru je kóta dna štol 236,275 m.

## 4.6 Vývar a odpadní koryto

Vývar za obtokovým tunelem má půdorysně ledvinovitý tvar (Obr. 4.2) s kótou dna v místě zaústění obtoku 235,875 m n. m. a kótou půlkruhového přelivu v nejnižším místě 235,41 m n. m. Z vývaru je voda odváděna propustkem pod sníženou obslužnou komunikací. Kóta povrchu vozovky je 236,51 m n. m., dno propustku na vtoku 234,55 m n. m. a na výtoku 234,46 m n. m. V případě vyšších průtoků je voda převáděna přes snížené místo obslužné komunikace.

Koryto pod hrází je upraveno pouze v nejbližším úseku pod vývarem. Dále voda pokračuje přirozeným korytem, které je zde chráněným krajinným prvkem „Meandry Botiče“. Neškodný průtok v toku pod nádrží je dle [11] stanoven na 10 m<sup>3</sup>/s. Tato hodnota je podmíněna sklopením jezu Marcela na Botiči v Záběhlicích. Jez Marcela musí být sklopen při odtoku z nádrže 5 m<sup>3</sup>/s. Rovněž musí být při odtoku z nádrže 5 m<sup>3</sup>/s vyhrazena propust v Záběhlickém jezu.

## 4.7 Ostatní objekty

### 4.7.1 Dělicí hráz v horní části nádrže

Pro zachycování sedimentů je v horní části nádrže navržena dělicí kamenitá hráz (Obr. 4.1). Pro vypouštění horní části nádrže nad dělicí hrázkou je navržen výpustný objekt hrazený na šířku 3,0 m dřevěnými trámky. Součástí realizace dělicí hráze je i přístup a provozní komunikace v zátopě. Dělicí hráz byla dokončena v roce 2003. Její základní parametry dle [11] jsou:

- kóta koruny dělicí hráze: 246,30 m n. m.,
- délka koruny dělicí hráze: 32,0 m,
- maximální výška dělicí hráze: 1,5 m,
- sklony svahů návodní/vzdušní: 1:1,5 / 1:2.

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

Odpadní potrubí od přepouštěcího objektu retenční nádrže R3 Hájecký je vyústěno do levé stěny přelivného objektu VD Hostivař – za stavidly bezpečnostního přelivu (Obr. 4.4).

## 4.8 Zařízení pro pozorování a měření

### 4.8.1 Měření a sledování TBD

Na VD Hostivař jsou umístěna zařízení pro pozorování a měření provozních veličin (výška hladiny vody v nádrži, teplota vzduchu, srážkový úhrn, apod.) a zařízení pro sledování veličin technickobezpečnostního dohledu (TBD). Z veličin TBD jsou sledovány deformace tělesa hráze a funkčních objektů a průsakové a tlakové poměry vodního díla. Podrobně jsou jednotlivá zařízení pro sledování a měření veličin TBD uvedena a zdokumentována v Programu technickobezpečnostního dohledu pro VD Hostivař. Základní rozmístění zařízení TBD je zakresleno na Obr. 4.2 dle [11].

### 4.8.2 Síť limnigrafických a srážkoměrných stanic

Síť limnigrafických stanic (LS) v povodí Botiče zahrnuje celkem 10 limnigrafických stanic na Botiči a jeho přítocích [12], [40]:

- 5 stanic na Botiči (Kocanda, Průhonice, Petrovice, Hostivař, Nusle),
- 2 stanice na Pitkovickém potoce (Benice, Kuří),
- 1 stanice na Jesenickém potoce (Jesenice),
- 1 stanice na Chomutovickém potoce (Modletice),
- 1 stanice na Dobřejovickém potoce (Dobřejovice).

Jednotlivé stanice jsou vybaveny vzájemně kompatibilní technologií, kterou je tlaková měřicí sonda, software umožňující přenos dat pomocí GSM do dispečerských stanovišť správce VD Hostivař (Lesy hl. m. Prahy), záložní zdroj elektrické energie, některé stanice jsou doplněny srážkoměrem (Hostivař, Dobřejovice, Kocanda, Jesenice). Umístění stanic dle [11] je patrné z Přílohy 2 této studie. Odvození měrných křivek průtoku bylo provedeno v [40]

#### **4.9 Stupně povodňové aktivity**

V následujícím výčtu pro informaci (hodnocení není předmětem studie) uvádíme jednotlivé stupně povodňové aktivity (SPA) pro tok Botič a pro VD Hostivař.

Stupně povodňové aktivity (SPA) jsou pro tok Botič pod VD Hostivař (tj. pro úsek VD Hostivař – ústí do Vltavy) vymezeny následovně [11], [26]:

- **I. SPA** (bdělost) nastává při odtoku z nádrže 10,0 m<sup>3</sup>/s, hladina v nádrži na kótě 247,60 m n. m., vyhrazena 2 stavidla přelivu o 0,2 m a přepad přes 2 zbývající pole (7,9 m<sup>3</sup>/s), otevřena výpust DN 500 na úrovni 237,65 m n. m. na 100% (2,0 m<sup>3</sup>/s); odtok celkem je 9,9 m<sup>3</sup>/s.
- **II. SPA** (pohotovost) se vyhláší při odtoku z nádrže 15,0 m<sup>3</sup>/s, hladina na kótě 247,95 m n. m., začíná se vyhrázovat přeliv a otevírají se všechny spodní výpusti.
- **III. SPA** (ohrožení) se vyhláší při odtoku z nádrže 35,0 m<sup>3</sup>/s, hladina na kótě 248,00 m n. m. (resp. 247,60 m n. m.), otevřeny všechny výpusti (7,9 m<sup>3</sup>/s), při vyhrázování přelivu dosažen průtok přes přeliv 27,1 m<sup>3</sup>/s.

Nastanou-li na vodním díle skutečnosti podmiňující vyhlášení SPA, je obsluha díla povinná neprodleně informovat o situaci:

- pracovníka správce odpovědného za provoz vodního díla,
- krizový štáb hl. m. Prahy.

Na VD Hostivař mohou také nastat podmínky pro vyhlášení stupňů aktivity při nebezpečí ohrožení bezpečnosti vodního díla, tzv. interní SPA. Interní stupně povodňové aktivity se vztahují pouze k vodnímu dílu a nemají vazbu na stupně povodňové aktivity pro Botič pod VD Hostivař. Tyto interní SPA jsou odvozeny z provozních podmínek VD Hostivař a souvisí pouze s činností pracovníků správce VD Hostivař (např. provádění manipulací za povodně na VD je nutné ještě před tím, než nastane I. SPA pro Botič pod hrází).

Interní SPA pro VD H Hostivař vymezeny takto:

- **I. SPA** (bdělost) - odtok z nádrže dosáhne 5 m<sup>3</sup>/s, manipulace s výpustí DN 500 na úrovni 237,66 m n. m. a přepad přes stavidla, manipulace na objektech pod hrází VD Hostivař (jezy Marcela, Záběhlický atp.); též nastává při dosažení mezních hodnot sledovaných jevů a skutečností či při zjištění mimořádných okolností, jež by mohly vést ke vzniku zvláštní povodně.
- **II. SPA** (pohotovosti) - hladina dosáhne 247,60 m n. m., vzestup hladiny při odtoku z nádrže cca 10 m<sup>3</sup>/s, manipulace s přelivem a výpustí dle tab. 2 v MŘ [11], zajištění povodňové hlídky u mostku v Petrovicích, též se vyhláší při překročení mezních hodnot sledovaných jevů a skutečností.
- **III. SPA** (ohrožení) - hladina vody v nádrži dosáhne 247,80 m n. m., manipulace s přelivem a výpustí dle tab. 2 v MŘ [11], též se vyhláší při dosažení kritických hodnot sledovaných jevů a skutečností.

## 5. HYDROLOGICKÉ PODKLADY

### 5.1 Základní hydrologické údaje

Pro tok Botič a profil v místě hráze VD Hostivař (hydrologické číslo povodí: 1-12-01-020, plocha povodí: 94,806 km<sup>2</sup>) je průměrný dlouhodobý roční průtok 350 l/s a průměrný dlouhodobý roční úhrn srážek je 589 mm. Pravděpodobný teoretický průběh stoleté povodňové vlny v profilu hráze VD Hostivař je uveden na Obr. 5.1.

Číselné charakteristiky  $N$ -letých a  $m$ -denních průtoků pro vybrané profily povodí toku Botiče dle [11] jsou uvedeny v tabulkách 5.1 a 5.2.

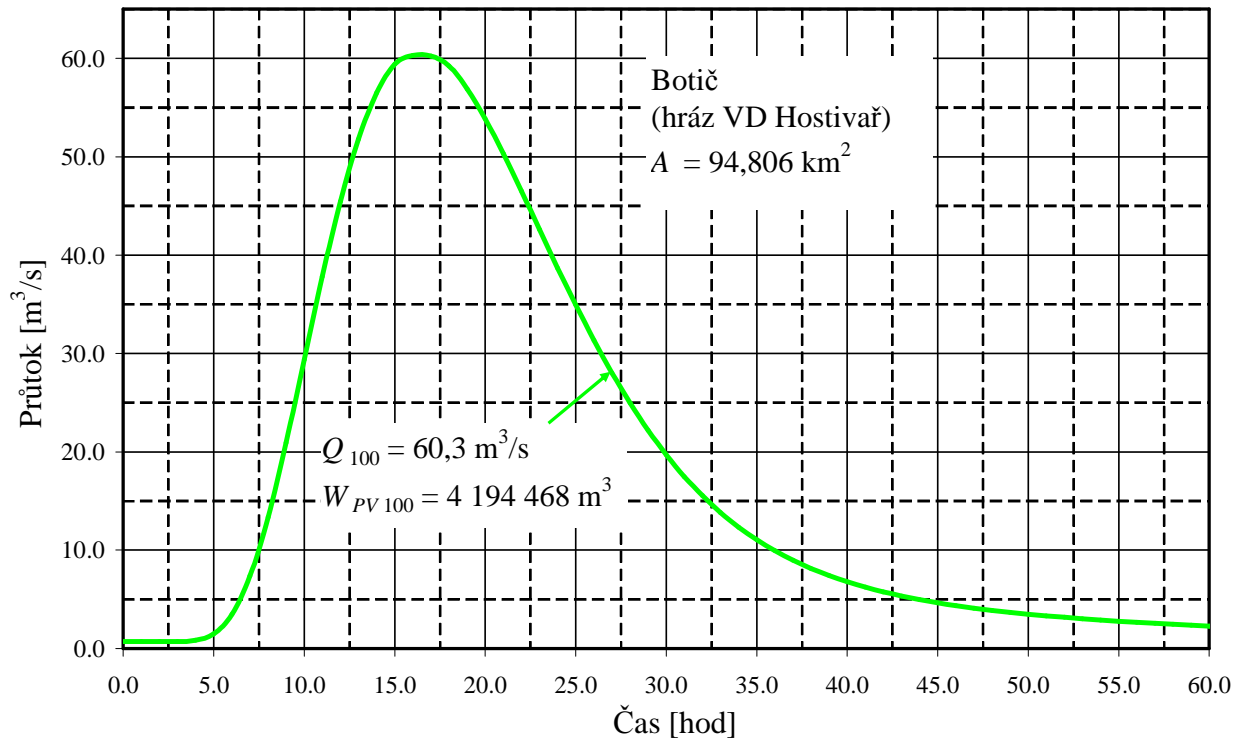
**Tab. 5.1 Číselné charakteristiky  $N$ -letých průtoků a teoretických povodňových vln**

Tok	Místo	Rok	Podklad	Průtoky dosažené nebo překročené jednou za							
				1	2	5	10	20	50	100	
				roků [m <sup>3</sup> /s]							
Botič	Hráz VD Hostivař	2009	[11], [24], [26]	4,8	9,5	18,0	26,0	35,0	48,9	60,3	
Botič	Hráz VD Hostivař	2009	[11], [24] *)								4 060
Botič	Ústí	1973	[10]	5,0	9,0	16,0	26,0	39,0	58,0	78,0	
Botič	Jez Petrovice		[12]	3,8	6,9	13,1	19,5	27,6	41,0	53,0	
Botič	Průhonice		[12]	2,4	4,3	8,1	12,1	17,1	25,5	33,4	
Botič	Kocanda		[12]	1,1	2,1	3,9	5,87	8,2	12,2	16,0	
Chomutovický potok	Modletice		[12]	0,8	1,4	2,7	4,0	5,7	8,5	11,1	
Dobřejovický potok	Dobřejovice		[12]	0,6	1,2	2,2	3,3	4,6	6,9	9,0	
Dobřejovický potok	Modletice		[12]	1,2	1,9	3,6	5,9	8,6	13,3	16,6	
Jesenický potok	Jesenice		[12]	0,5	1,0	1,8	2,7	3,8	5,7	7,5	
Pitkovický potok	Kuří		[12]	1,8	3,2	6,1	9,1	12,8	19,1	25,0	
Pitkovický potok	Benice		[12]	1,3	2,5	4,6	6,9	9,7	14,5	19,0	
Hájecký potok	Ústí	1994	[11], [25]	0,3	0,6	1,2	1,7	2,5	3,7	4,8	
Milíčovský potok	Ústí	1994	[11], [25]	0,5	0,9	1,6	2,4	3,4	5,0	6,6	
Dobrá voda	Ústí	1994	[11], [25]	0,5	0,9	1,8	2,6	3,7	5,5	7,2	

\*) objem  $W_N$  [tis. m<sup>3</sup>]

**Tab. 5.2 Číselné charakteristiky  $m$ -denních průtoků**

Tok	Místo	Rok	Podklad	Průtoky překročené průměrně jednou za												
				30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	355	364
				dní [l/s]												
Botič	Ústí	1973	[10]	960		520			200					120	80	50
Botič	Hráz VD Hostivař	2009	[11], [24]	782	560	442	363	304	257	216	181	148	117	84	49	22
Hájecký potok	Ústí	1994	[11], [25]	8,5	6	5	4	3,5	3	2,5	2	1,5	1,5	1	0,5	0
Milíčovský potok	Ústí	1994	[11], [25]	24,5	17,5	14	11,5	9,5	8	7	5,5	4,5	3,5	2,5	1,5	0,5
Dobrá voda	Ústí	1994	[11], [25]	17	12	9,5	8	6,5	5,5	4,5	4	3	2,5	2	1	0,5



Obr. 5.1 Teoretický průběh stoleté povodňové vlny v profilu hráze VD Hostivař [11], [26]

## 5.2 Směrodatné průtoky

**Minimální zůstatkový průtok v toku pod hrází VD Hostivař** je stanoven na  $Q_{\min} = 0,084 \text{ m}^3/\text{s}$  [11].

**Neškodný průtok v toku pod hrází VD Hostivař** je stanoven na  $10 \text{ m}^3/\text{s}$  [11]. Tato hodnota je podmíněna sklopením jezu Marcela na Botiči v Záběhlicích. Jez Marcela musí být sklopen při odtoku z nádrže  $5 \text{ m}^3/\text{s}$ . Rovněž musí být při odtoku z nádrže  $5 \text{ m}^3/\text{s}$  vyhrazena propust v Záběhlickém jezu.

**Maximální odtok z nádrže je ovlivňován** [11]:

- velikostí přítoku do nádrže (včetně časového rozložení, tj. tvaru hydrogramu),
- aktuální úrovní hladiny vody v nádrži (letní a zimní provozní hladina),
- prováděním manipulací (předpouštění, manipulace v průběhu povodně, apod.).

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

## 6. MANIPULACE NA VD

V následujícím textu jsou uvedeny hlavní zásady manipulace, které mají přímý vztah k předmětu řešení, kterým je rekonstrukce průběhu povodně v červenci roku 2013. Jedná se tedy o manipulaci v ochranném prostoru nádrže a manipulaci za povodní při letním provozu. Podrobně jsou všechny zásady manipulace uvedeny v [11]. Na VD Hostivař jsou dva režimy



řízení, a to při letním a zimním provozu, které vycházejí z rozdílné provozní hladiny. Pro letní provoz se jedná o hladinu na kótě 246,60 m n. m., pro zimní provoz se jedná o hladinu na kótě 245,10 m n. m. Povodeň na přelomu května a června 2013 spadá do období letního provozu.

**Obecné pokyny** při manipulaci v ochranném (retenčním) prostoru nádrže a manipulaci za povodní dle [11]:

1. Všeobecné povinnosti orgánů, organizací a občanů při ochraně před povodněmi jsou stanoveny zejména v platném vodním zákoně a v souvisejících zákonných předpisech.
2. Manipulacemi na funkčních objektech nesmí docházet k umělému zvětšování povodňové vlny.
3. Po celou dobu trvání povodňové situace sleduje obsluha situaci na hladině (zejména v okolí bezpečnostního přelivu) a neprodleně odstraňuje nežádoucí předměty, které by mohly omezit kapacitu přelivu, nebo ohrozit provádění manipulací s hrazením přelivu.
4. Veškeré důležité provozní údaje (tj. záznamy o poloze hladiny v nádrži, časový sled a rozsah manipulací, pokyny od povodňových komisí, výskyt anomálií, nepříznivých jevů, apod.) zapisuje obsluha ve vhodných časových intervalech do manipulačního deníku VD Hostivař, případně dokumentuje situaci jiným vhodným způsobem (fotografie, videozáznam).
5. Odtok z nádrže při povodních je určen manipulací na funkčních objektech. Vzhledem k maximální průtočné kapacitě funkčních objektů se při extrémních průtocích předpokládá vybřežování vody z koryta pod nádrží.

#### **Manipulace v ochranném prostoru při letním provozu nádrže** [11]:

1. K zachycení povodňové vlny při letním režimu manipulace (období 20. 4. až 20. 9.) se využije retenčního prostoru vymezeného mezi kótami 246,60 a 247,60 m n. m. (objem cca 0,375 mil. m<sup>3</sup>). Je-li zajištěna nepřetržitá povodňová služba u mostku přes Botič v Petrovicích, lze pro zachycení povodně využít prostor vymezený kótami 246,60 až 248,00 m n. m.
2. Obsluha díla se při udržování hladiny řídí vývojem a předpovědí hydrometeorologické situace. Před očekávaným příchodem povodně je možné snížit hladinu vody v nádrži až o 0,3 m. Při předvypouštění letního provozního prostoru nesmí být překročena hodnota odtoku z nádrže 5 m<sup>3</sup>/s.
3. Předvypouštění letního provozního prostoru je správce díla povinen oznámit ostatním uživatelům nádrže, jejichž zájmy budou snížením letní provozní hladiny dotčeny (provozovatel koupaliště a tobogánu). Časového předstihu před příchodem povodně lze využít ke kontrole břehů nádrže, při které budou odstraněny nežádoucí předměty, které by mohly být při povodni splaveny do nádrže a následně způsobit omezení kapacity přelivu, nebo ohrožení provádění manipulací s hrazením přelivu.
4. Při rostoucích přítocích do nádrže stoupá hladina vody v nádrži a část průtoku automaticky přepadá přes horní hranu uzavřených stavidel bezpečnostního přelivu. Obsluha průběžně kontroluje průtočnost přelivu a neodkladně odstraňuje z prostoru před přelivem nežádoucí předměty. Od kóty 247,00 m n. m. obsluha začíná manipulovat s výpustí DN 500 a vyhrazuje 2 stavidla bezpečnostního přelivu o 0,2 m.
5. Pokyny pro provádění manipulací za povodně (včetně podrobného postupu a očekávaných hodnot průtoku) jsou přehledně uvedeny v tabulce 6.1. Nad kótou 246,60 m n. m. voda automaticky přepadá přes horní hranu stavidel a poté, když hladina vystoupí na kótu 247,00 m n. m., je přepadové množství až 3,8 m<sup>3</sup>/s. Do této kóty nejsou žádné manipulace s funkčními objekty nutné.

6. Při hladině 247,00 m n. m. obsluha otevře potrubí DN 500 v úrovni 237,66 m n. m. na 60% (odpovídá cca 1,15 m<sup>3</sup>/s). Celkový odtok je tedy 4,95 m<sup>3</sup>/s (včetně přepadu přes stavidla bezpečnostního přelivu).
7. Při dalším vzestupu přítoku do nádrže v rozmezí hladin 247,00 až 247,60 m n. m. dojde k postupnému vyhrázování stavidel 2 polí bezpečnostního přelivu maximálně o 0,2 m (4,10 m<sup>3</sup>/s) a obsluha manipuluje s potrubím DN 500 v úrovni 237,66 m n. m. až na 100% (2,0 m<sup>3</sup>/s), aby byl odtok z nádrže maximálně roven velikosti neškodného průtoku pod VD ( $Q_{neš}=10$  m<sup>3</sup>/s). Celkový odtok při uvedených manipulacích je 9,9 m<sup>3</sup>/s (včetně přepadu přes 2 stavidla bezpečnostního přelivu).
8. Nejpozději při dosažení hladiny v nádrži v úrovni 247,60 m n. m. musí být nad mostkem přes Botič v Petrovicích přítomna nepřetržitá povodňová hlídka (včetně vybavení potřebnou mechanizací), která bude zabezpečovat průtočnost koryta pod mostem. Nejpozději při dosažení hladiny vody v nádrži v úrovni 247,60 m n. m, musí být rovněž provedena případná nouzová opatření v oblasti Petrovic. Nebude-li zajištěna přítomnost výše uvedené povodňové hlídky nebo nebudou-li provedena případná nouzová opatření, nesmí být při manipulaci na VD Hostivař překročena kóta hladiny 247,60 m n. m.
9. V rozmezí hladin 247,60 až 247,95 m n. m. dochází k přiškrcování potrubí DN 500 v úrovni 237,66 m n. m. až na 60% tak, aby nedošlo k překročení neškodného odtoku pod VD ( $Q_{neš} = 10$  m<sup>3</sup>/s).
10. V rozmezí hladin 247,95 až 248,00 m n. m. (těsně před dosažením kóty maximální hladiny 248,00 m n. m.) jsou veškeré manipulace prováděny za účelem nepřekročit kótu maximální hladiny. Obsluha otevírá všechny výpusti a postupně vyhrazuje stavidla bezpečnostního přelivu. Uvedenou manipulaci lze do odtoku z nádrže cca 70 m<sup>3</sup>/s ještě udržet úroveň maximální hladiny vody v nádrži 248,00 m n. m.
11. Stoupá-li po plném vyhrázení přelivu nadále hladina v nádrži, je vyčerpána kapacita přelivu (resp. obtokové odpadní štol) a manipulací již nelze ovlivňovat úroveň hladiny vody v nádrži. Začíná nekontrolovatelné plnění nádrže nad kótou maximální hladiny.
12. Po průchodu kulminace povodně začíná provádění manipulací pro prázdňení retenčního prostoru nádrže.
13. Prázdňení části retenčního prostoru v rozmezí úrovní hladin 248,00 až 247,60 m n. m, probíhá rychle - maximálně však na 90% hodnoty odtoku, který byl dosažen při převádění kulminace povodně. Po poklesu hladiny na kótu 247,60 m n. m. může být odvolána povodňová hlídka u mostku přes Botič v Petrovicích.
14. Další manipulací se za postupného snižování odtoku z nádrže (postupné uzavírání stavidel přelivu) udržuje kóta hladiny 247,60 m n. m. do okamžiku dosažení odtoku z nádrže 10 m<sup>3</sup>/s. Tato hodnota odtoku bude dosažena při hladině na kótě 247,60 m n. m. otevřením výpusti DN 500 v úrovni 237,66 m n. m. na 60% a vyhrázením dvou polí stavidel o 0,2 m.
15. V rozmezí hladin na kótách 247,60 až 246,60 m n. m. probíhá prázdňení retenčního prostoru nádrže nejvýše odtokem 10 m<sup>3</sup>/s. Potřebné manipulace se provádí otevíráním DN 500 v úrovni 237,66 m n. m. a manipulací na přelivu.
16. Hrozí-li výskyt další povodňové vlny v nejbližších dnech (v časovém odstupu max. 4 až 5 dní) lze po dohodě s povodňovou komisí prázdňit retenční prostor (v rozmezí kót 247,60 až 246,60 m n. m.) odtokem vyšším než 10 m<sup>3</sup>/s, odtok z nádrže při prázdňení však nesmí přesahovat 75% maximálního odtoku z nádrže dosaženého při převádění povodně.
17. Neumožňuje-li aktuální stav funkčních objektů provádění manipulací podle tabulky 6.2, manipuluje obsluha ve smyslu uvedeného příkladu tak, aby byl zajištěn odpovídající celkový odtok z nádrže.
18. Po dosažení úrovně hladiny na kótě 246,60 m n. m. začíná z vodohospodářského hlediska běžný letní provoz nádrže.

**Tab. 6. 1 Manipulace při nástupu povodně - bez předvypouštění (letní režim) [11]**

Kóta hladiny (B.p.v.)	Průtok funkčními objekty					Popis situace
	přeliv	DN 700	DN 500 (239,95)	DN 500 (237,66)	CELKEM	
[m n. m.]	[m <sup>3</sup> /s]	[m <sup>3</sup> /s]	[m <sup>3</sup> /s]	[m <sup>3</sup> /s]	[m <sup>3</sup> /s]	
246,60	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	letní provozní hladina
246,60 až 247,00	3,8	0,0	0,0	0,0	3,8	průtoky jsou převáděny přes horní hranu stavidel
247,00	3,8	0,0	0,0	1,15 (60%)	4,95	přepad přes stavidla přelivu, otevírá se potrubí DN 500 až na 60%
247,00 až 247,60	8,0	0,0	0,0	1,95 (100%)	9,95	otevření dvou stavidel o 0,2 m, přepad přes 2 stavidla přelivu a plné otevření DN500
247,60 až 247,95 hladina stoupá	8,8	0,0	0,0	1,2 (60%)	10,0	otevření dvou stavidel o 0,2 m, přepad přes 2 stavidla přelivu a částečné přivírání DN 500
247,95 až 248,00	vyhrazování přelivu	4,0 (100%)	1,8 (100%)	2,0 (100%)	dle MK bez přelivu	při stoupající hladině vody v nádrži probíhá postupné vyhrazování přelivu, plné otevření všech potrubí
248,00	vyhrazen	4,1	1,8	2	70	vyčerpána kapacita přelivu (odpadní stoly) při plném vyhrazení stavidel
248,00 až 249,60	vyhrazen	4,2	1,9	2,1	viz vpravo	nekontrolovatelné plnění nádrže nad úrovní $H_{max}$

**Tab. 6. 2 Manipulace při nástupu povodně - předvypouštění pomocí manipulace se stavidly (letní režim) [11]**

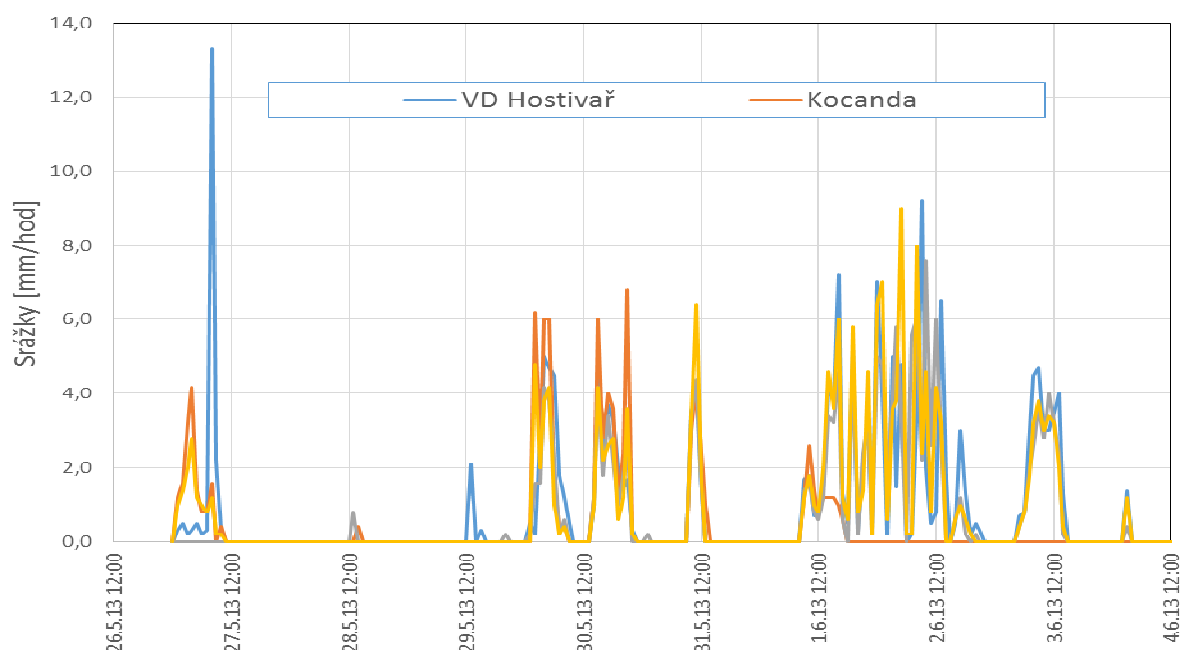
Kóta hladiny Bpv	Průtok funkčními objekty					Popis situace
	přeliv	DN 700	DN 500 (239,95)	DN 500 (237,66)	CELKEM	
[m n.m.]	[m <sup>3</sup> /s]	[m <sup>3</sup> /s]	[m <sup>3</sup> /s]	[m <sup>3</sup> /s]	[m <sup>3</sup> /s]	
246,60 až 246,30	4,1	0,0	0,0	0,0	4,1	před příchodem povodně lze snížit hladinu vody v nádrži až o 0,3 m otevřením dvou stavidel o 0,2 m, odtok nádrže nesmí překročit 5,0 m <sup>3</sup> /s
246,6	4,1	0,0	0,0	0,0	4,1	otevření dvou stavidel o 0,2 m, odtok z nádrže nesmí překročit 5,0 m <sup>3</sup> /s
246,60 až 247,00	6,3	0,0	0,0	0,0	6,3	otevření dvou stavidel o 0,2 m a dochází k přepadu přes 2 stavidla přelivu (přepad 0 až 1,9 m <sup>3</sup> /s)
247,00	6,3	0,0	1,7 (100%)	1,9 (100%)	9,9	otevření dvou stavidel o 0,2 m, přepad přes 2 stavidla přelivu a otevření obou potrubí DN 500
247,00 až 247,60	8,0	0,0	0,0	1,95 (100%)	9,95	otevření dvou stavidel o 0,2 m, přepad přes 2 stavidla přelivu a postupné uzavírání 1 uzávěru DN 500
247,60 až 247,95	8,75	0,0	0,0	1,2 (60%)	9,95	otevření dvou stavidel o 0,2 m, přepad přes 2 stavidla přelivu a postupné přivírání uzávěru DN 500 až na 60%
247,95 až 248,00	vyhrazování přelivu	4,0 (100%)	1,8 (100%)	2,0 (100%)	dle MK bez přelivu	při stoupající hladině vody v nádrži probíhá postupné vyhrazování přelivu, plné otevření všech potrubí
248,00	vyhrazen	4,1	1,8	2,0	70	vyčerpána kapacita přelivu (odpadní stoly) při plném vyhrazení stav
248,00 až 249,60	vyhrazen	4,2	1,9	2,1	viz vpravo	nekontrolovatelné plnění nádrže nad úrovní 248,00 m n. m.

## 7. PRŮBĚH POVODNĚ V ČERVNU 2013

### 7.1 Srážkové a odtokové poměry

Jak je patrné z průběhu srážek zaznamenaných v jednotlivých srážkoměrných stanicích (Obr. 7.1), docházelo v období od 27. 5. do 31. 5. 2013 k ojedinělým srážkovým událostem, jejichž srážkové úhrny až na výjimku (Hostivař 27. 5. 2013) nepřekročily 7 mm za 1 hod. V nočních hodinách mezi 1. a 2. 6. 2013 byla předmětná lokalita zasažena nadprůměrnými srážkovými úhrny, které místně dosáhly až 57,7 mm/24 hod (VD Hostivař), 66,4 mm/24hod (Jesenice), 58,2 mm/hod (Dobřejovice). Dešťoměr v profilu Kocanda byl ucpan, jeho hodnoty jsou zkrácené a nelze je pro další práci použít (Obr. 7.1, Tab. 7.1). Údaje o srážkách v Hostivaři jsou uváděny pro stav po překalibraci srážkoměru.

Pro úplnost je třeba uvést, že předpovědní služba ČHMÚ dne 1. 6. 2013 v 9:19 hod. prognózovala, že v dané lokalitě do ranních hodin následujícího dne nemá dojít k překročení srážkového úhrnu 20 mm. Toto množství bylo v průběhu 2. 6. 2013 ve skutečnosti překročeno cca trojnásobně.



Pozn. Kocanda – nefungovala, Hostivař po překalibraci srážkoměru

**Obr. 7.1 Průběh srážek ve srážkoměrných stanicích**

**Tab. 7.1 Denní úhrny v limnigrafických stanicích povodí VD Hostivař [15]**

Datum a čas	VD Hostivař	LS Kocanda (Botič)	LS Dobřejovice (Dobřejovický p.)	LS Jesenice (Jesenický p.)
	Srážkový úhrn za 24 hod. [mm]			
28. 5. 13 7.00	15,8	2,0	0,0	1,6
29. 5. 13 7.00	0,0	0,4	0,8	0,0
30. 5. 13 7.00	21,9	22,8	14,0	16,0
31. 5. 13 7.00	22,0	28,6	19,0	18,8
1. 6. 13 7.00	9,0	10,6	9,2	11,4
2. 6. 13 7.00	57,7	11,2	58,2	66,4
3. 6. 13 7.00	34,3	0,0	32,6	28,6
4. 6. 13 7.00	25,4	0,0	19,2	20,2

## 7.2 Vyhodnocení extremity průtoků

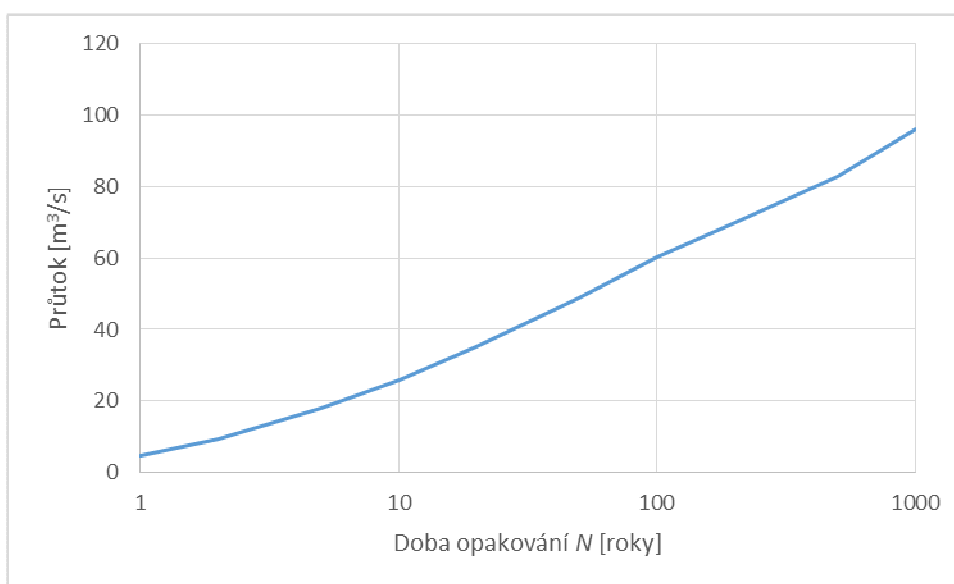
Pro představu o extremitě průtoků do nádrže VD Hostivař bylo provedeno vyhodnocení doby opakování kulminačních průtoků a odvozeny maximální specifické odtoky odpovídající kulminačním průtokům. V tabulce 7.2 jsou uvedeny  $N$ -leté průtoky v jednotlivých lokalitách (stanicích), kulminační průtok při povodni v červnu 2013 ( $Q_{2013}$ ), plocha povodí ( $A$ ) a max. specifický odtok ( $q_{2013}$ ).

**Tab. 7.2 Vyhodnocení extremity kulminačních průtoků v jednotlivých stanicích**

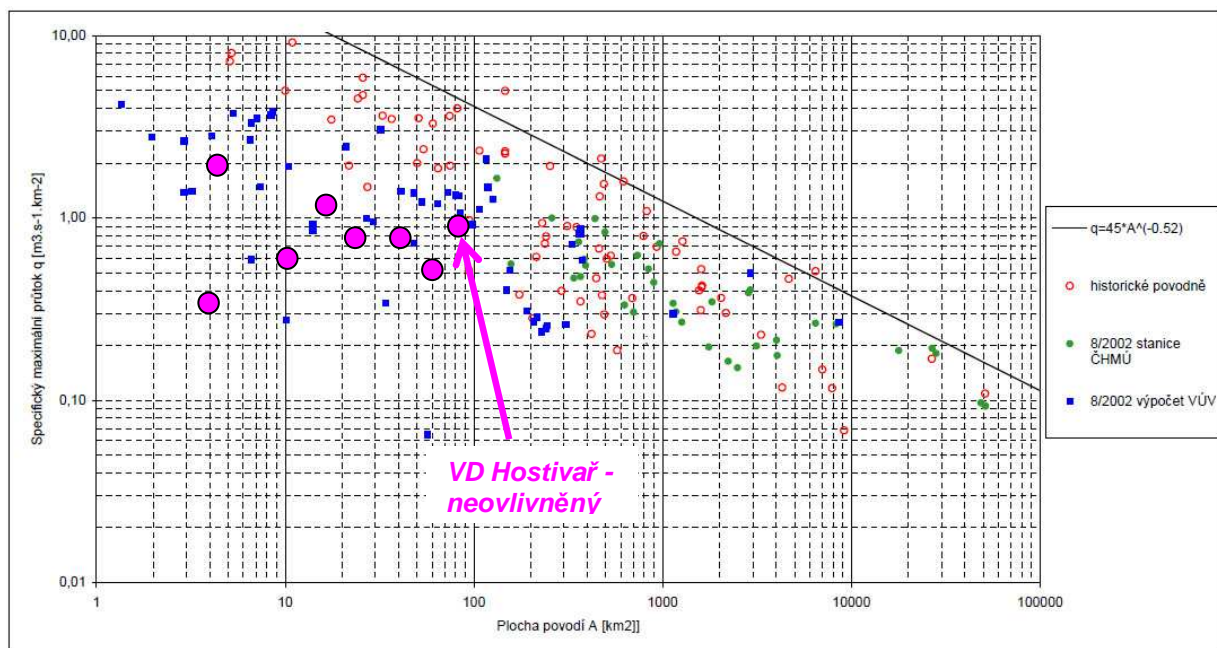
profil / $Q_N$	$Q_1$	$Q_2$	$Q_5$	$Q_{10}$	$Q_{20}$	$Q_{50}$	$Q_{100}$	$Q_{2013}$	$N_{2013}$	$A$	$q_{2013}$
	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s	Roky	km <sup>2</sup>	m <sup>3</sup> /s/km <sup>2</sup>
Pod VD Hostivař Botič	4,8	9,5	18,0	26,0	35,0	48,9	60,3	74,48*)	> 200	94,8	0,79
Průhonice Botič	2,40	4,30	8,10	12,10	17,10	25,50	33,40	33,62	≈ 100	41,9	0,80
Modletice Chomutovický p.	0,80	1,40	2,70	4,00	5,70	8,50	11,10	8,26	≈ 50	4,4	1,88
Dobřejovice Dobřejovický p.	0,60	1,20	2,20	3,30	4,60	6,90	9,00	6,41	≈ 50	10,8	0,59
Jesenice Jesenický p.	0,50	1,00	1,80	2,70	3,80	5,70	7,50	1,42	2 – 5	4,05	0,35
Kuří Pitkovický p.	1,80	3,20	6,10	9,10	12,80	19,10	25,00	21,05	≈ 100	17,7	1,19
Benice Pitkovický p.	1,30	2,50	4,60	6,90	9,70	14,50	19,00	20,52	≈ 100	25,06	0,82

\*) Jde o průtok ovlivněný VD Hostivař. Neovlivněný průtok byl stanoven (viz níže) na cca 84 m<sup>3</sup>/s, což odpovídá době opakování cca 500 let (Obr. 7.2).

Z tabulky 7.2 je zřejmé, že největší extremitu měla stanice pod VD Hostivař (i po započtení transformačního účinku nádrže!), dále pak stanice na Pitkovickém potoce a severněji ležící stanice Průhonice. To naznačuje srážky s vyššími úhrny v severní části povodí VD Hostivař (Kuří, Benice) a také VD Hostivař. Porovnání specifických odtoků s historickými daty je uvedeno na Obr. 7.3.



**Obr. 7.2 Doby opakování neovlivněných kulminačních průtoků v profilu VD Hostivař**



Obr. 7.3 Porovnání specifických odtoků s historickými daty

### 7.3 Manipulace na VD Hostivař

Postup manipulace při povodni v roce 2013 ve vazbě na přítoky do nádrže a odtoky z ní a na okamžitou polohu hladiny uvádíme přehledně v časové ose v tabulce 7.3. Časové údaje jsou uváděny v SEČ. Údaje v podkladu [16] jsou uváděny v SELČ (středoevropský letní čas). Platí, že SELČ = SEČ + 1 hodina. Souhrnné hodnocení manipulace je uvedeno v kapitole 8.6.

Tab. 7.3 Průběh manipulace na VD Hostivař v časové ose (čas v SEČ)

Datum	Hodina	Hydrologická situace, manipulace, poznámka	Odtok z nádrže [m³/s]	Podklad
27. 5. 2013	0.00–7.00	Hodinové srážkové úhrny jsou do 1 mm. Hladina na VD na kótě cca 246,60 m n. m. (246,66–246,69 m n. m.). Spodní výpusti, odběrné potrubí uzavřeny a stavidla přelivu zahrazena (v souladu s MŘ [11]). V 6.30 hod. bylo otevřeno odběrné potrubí („horní“ DN 500) na 50% (spodní výpusti jsou uzavřeny a stavidla přelivu zahrazena). V souladu s [11] nebylo ani nutné potrubí otevřít: „nad kótou 246,60 m n. m. voda automaticky přepadá přes horní hranu stavidel, při hladině 247,00 m n. m. přepadá až 3,8 m³/s. Do této kóty hladiny nejsou žádné manipulace s funkčními objekty nutné.“ Dle [11] „za normálních průtokových a provozních situací v období letního provozu nesmí hladina v nádrži zaklesnout pod 246,60 m n. m.“	Do 1 m³/s	[15], [16]
27. 5. 2013	7.00–9.00	Max. hodinový srážkový úhrn dle [15] dosáhl v době 7.00–8.00 hod. na VD Hostivař 26,6 mm (odhad provozovatele VD naznačuje cca poloviční úhrn), max. odtok z VD byl 1,56 m³/s, hladina dosáhla 246,69 m n. m. Odběrné potrubí otevřeno na 50%.	Max. 1,56 m³/s	[15], [16]
27. 5. 2013	9.00–24.00	Téměř bez srážek (max. hodinový úhrn do 0,6 mm), hladina na VD klesá na 246,67 m n. m. Odběrné potrubí stále otevřeno na 50%.	1,00 – 1,44 m³/s	[15], [16]
28. 5. 2013	0.00–24.00	Téměř bez srážek (hodinový úhrn do 0,8 mm), hladina na VD klesá na 246,62 m n. m. Výstraha ČHMU PVI 2013/40 (výstraha pro	0,30–1,85 m³/s	[15], [16],



Datum	Hodina	Hydrologická situace, manipulace, poznámka	Odtok z nádrže [m <sup>3</sup> /s]	Podklad
		<i>Prahu na silné bouřky s nízkým stupněm nebezpečí.</i> V 6.30 otevřeno odběrné potrubí z 50% na 100% (výpusti jsou uzavřeny a stavidla přelivu zahrazena). V 9.15 hod odběrné potrubí uzavřeno na 40%.		[33]
29. 5. 2013	0.00–24.00	Téměř bez srážek (max. hod. úhrn do 4,2 mm), hladina na VD kolísá v rozmezí 246,60–246,64 m n. m. <i>Výstraha ČHMU PVI 2013/41 pro Prahu pro jevy „povodňová pohotovost“, „vydatný déšť“, „povodňová bdělost“ nespécifikovala žádnou nebezpečí.</i> V 7.00 bylo otevřeno odběrné potrubí ze 40% na 100% (spodní výpusti jsou uzavřeny a stavidla přelivu zahrazena). Následně v 9.00 bylo odběrné potrubí uzavřeno.	0,25–1,63 m <sup>3</sup> /s	[15], [16], [33]
30. 5. 2013	0.00–3.00	Hodinové srážkové úhrny jsou do 6,2 mm. Hladina na VD udržována na kótě 246,64–246,65 m n. m. Odběrné potrubí a spodní výpusti uzavřeny a stavidla přelivu zahrazena.	0,41–0,48 m <sup>3</sup> /s	[15], [16]
30. 5. 2013	3.00–9.00	Hodinové srážkové úhrny do 10 mm. Hladina na VD udržována na 246,65–246,67 m n. m. V 7.15 otevřeno odběrné potrubí na 100% (spodní výpusti uzavřeny a stavidla přelivu zahrazena).	0,41–2,36 m <sup>3</sup> /s	[15], [16]
30. 5. 2013	9.00–13.00	Beze srážek. Hladina na VD udržována na 246,67 – 246,68 m n. m. <i>Výstraha ČHMU PVI 2013/42, která pro Prahu nespécifikovala žádnou výstrahu. Uváděla: „Vzestupy s dosažením nižších SPA je možno očekávat i na přítocích horního Labe, horní Vltavy a Berounky.“</i> V 9.20 hod. odběrné potrubí přiškrceno ze 100% na 70% (spodní výpusti uzavřeny a stavidla přelivu zahrazena).	1,63–1,78 m <sup>3</sup> /s	[15], [16], [33]
30. 5. 2013	13.00–24.00	Hodinové srážkové úhrny do 9,6 mm. Hladina na VD stoupá z 246,67 na 246,77 m n. m. Odběrné potrubí otevřeno na 70% (spodní výpusti jsou uzavřeny a stavidla přelivu zahrazena).	1,56–2,85 m <sup>3</sup> /s	[15], [16]
31. 5. 2013	0.00–9.00	Beze srážek. Hladina na VD stoupá z 246,77 na 246,88 m n. m. V 6.30 sklopen jez Marcela, což zvýšilo hodnotu neškodného odtoku z 5 m <sup>3</sup> /s na 10 m <sup>3</sup> /s. Současně v 6.30 bylo odběrné potrubí otevřeno ze 70% na 100% (spodní výpusti uzavřeny a stavidla přelivu zahrazena – voda přepadala přes uzavřená stavidla).	2,55–5,99 m <sup>3</sup> /s	[15], [16], [27]
31. 5. 2013	9.00–12.00	Hodinové srážkové úhrny do 8,2 mm. Hladina v nádrži udržována na 246,86–246,87 m n. m. <i>Výstraha ČHMU PVI 2013/43 specifikovala pro Středočeský kraj výstrahu na jev vydatný déšť s nízkým stupněm nebezpečí. Dále uváděla: „Vzestupy s dosažením nižších SPA je možno očekávat i na přítocích horního Labe, horní Vltavy a Berounky.“</i> Odběrné potrubí otevřeno na 100%.	5,52–5,83 m <sup>3</sup> /s	[15], [16], [33]
31. 5. 2013	12.00–24.00	Téměř bez srážek (max. hod. úhrn do 1,0 mm), hladina kolísá v rozmezí 246,86–246,89 m n. m. Odběrné potrubí otevřeno na 100%.	5,52–5,99 m <sup>3</sup> /s	[15], [16]
1. 6. 2013	0.00–8.00	Beze srážek. Hladina na VD klesá z 246,88 na 246,81 m n. m. Odběrné potrubí otevřeno na 100%. Na VD díle, které nemá trvalou obsluhu, se vzhledem k prognózám ČHMÚ nemanipulovalo.	4,37–5,67 m <sup>3</sup> /s	[15], [16]
1. 6. 2013	8.00–24.00	Hodinové srážkové úhrny jsou do 14,4 mm. Hladina klesá na 246,78 m n. m. (12.30–15.00 hod.), pak stoupá na 247,00 m n. m. (ve 24.00 hod.) vlivem srážek. <i>Výstraha ČHMU PVI 2013/46: „V povodí horní Vltavy předpokládáme dosažení 2. SPA.“</i> Otevřeno odběrné potrubí („horní“ DN500) na 100%.	3,74–7,63 m <sup>3</sup> /s	[15], [16], [27], [33]
2. 6. 2013	0.00–1.00	Hodinový srážkový úhrn do 8 mm. Hladina stoupá, v 1.00 hod. dosahuje kóty 247,07 m n. m. K plně otevřenému odběrnému potrubí se v 0.00 hod. otevírá na 100% spodní výpust DN500. <i>Výstraha ČHMU PVI 2013/47 uvádí pro Středočeský kraj povodňové ohrožení - extrémní stupeň nebezpečí - velmi vydatný déšť vysoký studeň nebezpečí. Pro Prahu uvádí pro povodňovou bdělost a vydatný déšť nízké stupně nebezpečí. Výstraha uvádí:</i>	7,41–8,65 m <sup>3</sup> /s	[15], [16], [27], [33]

Datum	Hodina	Hydrologická situace, manipulace, poznámka	Odtok z nádrže [m <sup>3</sup> /s]	Podklad
		<i>„Vzhledem k srážkovým úhrnům, které spadly na povodněmi zasažené území, a srážkám, které ještě spadnou v následujících hodinách očekáváme i nadále výrazné vzestupy s četným dosažením 3. SPA zejména na tocích v povodí ..., horní Vltavy, ... a na tocích odvodňujících severní a severozápadní pohraniční hory.“</i>		
2. 6. 2013	1.00–5.00	Hodinový srážkový úhrn je do 10,0 mm. Hladina stále stoupá. Ve 4.00 odtok dosahuje 10 m <sup>3</sup> /s při hladině 247,34 m n. m. pod VD je tak překročen neškodný průtok. V 5.00 je hladina na kótě 247,61 m n. m. Hladina rychle stoupá.	8,65–11,71 m <sup>3</sup> /s	[15], [16]
2. 6. 2013	5.00–7.00	Nad ránem (5.00–7.00) srážky téměř ustaly. V 5.00 je hladina na kótě 247,61 m n. m. a za další hodinu na kótě 247,96 m n. m. V 7.00 hod dosahuje hladina 248,34 m n. m. a dále stoupá.	11,71–14,58 m <sup>3</sup> /s	[15], [16]
2. 6. 2013	5.40	Kulminace Pitkovického potoka na LS Benice (20,52 m <sup>3</sup> /s)		[15]
2. 6. 2013	7.00–8.30	Začíná opět pršet. Hladina stoupla z 248,34 na 248,79 m n. m. V 7.30 se otevírá 1. stavidlo na 10 cm a 4. stavidlo na 20 cm (dále je úplně otevřeno odběrné potrubí DN500 a spodní výpust DN500). V 7.43 hod. se otevírá 1. stavidlo na 50 cm a 4. stavidlo na 50 cm (dále je úplně otevřeno odběrné potrubí DN500 a spodní výpust DN500). V 8.02 hod. se otevírá 1. a 4. stavidlo na 80 cm a 2. a 3. stavidlo na 10 cm (úplně je otevřeno odběrné potrubí DN500 a spodní výpust DN500). V 8.30 se otevírá 1. a 4. stavidlo na 100 cm a 2. a 3. stavidlo na 40 cm (úplně je otevřen odběr DN500 a spodní výpust DN500).	14,58 – 52,79 m <sup>3</sup> /s	[15], [16]
2. 6. 2013	8.30–10.30	Hladina stále stoupá z 248,79 m n. m. (8.30 hod.) až na 248,84 m n. m. (10.30 hod). V 8.54 hod. se otevírají všechna stavidla na 100 cm a dále je úplně otevřeno odběrné potrubí DN500 a spodní výpust DN500.	52,79 – 71,62 m <sup>3</sup> /s	[15], [16]
2. 6. 2013	10.30–16.00	Hodinový srážkový úhrn je do 13,0 mm. Hladina je v rozmezí 248,84–248,96 m n. m. V 10.30 hod. jsou otevřena všechna stavidla na 100 cm a dále je úplně otevřeno odběrné potrubí DN500 a obě spodní výpusti DN500 a DN700).	71,62 – 74,49 m <sup>3</sup> /s	[15], [16]
2. 6. 2013	11.05	Kulminace Botiče na LS Průhonice (33,62 m <sup>3</sup> /s).		[15]
2. 6. 2013	13.00	Vzhledem k neustále stoupající úrovni hladiny byly na VD přivezeny pytle s pískem a vystavěna hrázka v levém zavázání hráze pro případ přelévání koruny.	74,49 m <sup>3</sup> /s	[27]
2. 6. 2013	13.20–14:30 (14:20-15:30 SEČL)	Kulminace odtoku z VD Hostivař a kulminace hladiny v nádrži dle [15] na kótě 248,96 m n. m. (po korekci na základě [31] se zohledněním zaměření po povodni a ručních záznamů [42] kulminace hladiny odpovídá cca úrovni 249,01 m n. m.).	74,49 m <sup>3</sup> /s	[15], [31], [42]
2. 6. 2013	16.00–24.00	Srážky ustávají (po 22.00 hod. úplně). Hladina klesá a ve 21.40 dosahuje 248,00 m n. m.	43,26 – 71,62	[15], [16]
2. 6. 2013	22.45	Uzavírá se 4. stavidlo (kóta hladiny cca 247,75 m n. m.).	cca 59,5 m <sup>3</sup> /s	[15], [16]
3. 6. 2013	0.00	Uzavírá se 1. stavidlo (kóta hladiny cca 247,59 m n. m.).	cca 43,3 m <sup>3</sup> /s	[15], [16]
3. 6. 2013	1.05	Uzavírá se 2. stavidlo (kóta hladiny cca 247,53 m n. m.).	cca 34,6 m <sup>3</sup> /s	[15], [16]
3. 6. 2013	3.45	Uzavírá se 3. stavidlo na 50 cm (kóta hladiny 247,48 m n. m.).	cca 29,3 m <sup>3</sup> /s	[15], [16]
3. 6. 2013	8.35	Otevírá se 3. stavidlo na 70 cm (kóta hladiny 247,40 m n. m.).	cca 24,7 m <sup>3</sup> /s	[15], [16]

Pozn. Hladiny v nádrži uvedené v tabulce odpovídají podkladu [15] s tím, že byly zvýšeny o 4 cm. Rozdíly mezi automatickým a manuálním měřením nepřekračují jednotlivé centimetry (vliv vln, viditelnost, ...).

## 8. VLASTNÍ ŘEŠENÍ

Modelová rekonstrukce přítoku vody do nádrže VD Hostivař při povodni v červnu 2013 byla provedena s využitím srážkoodtokového modelu (kapitola 8.1) a kontrolně též zpětným vyhodnocením odtoků z nádrže a pohybu hladiny vody v nádrži (kapitola 8.2). Kulminační průtok odvozený srážkoodtokovým modelem byl kalibrován s využitím výsledků hydraulického modelování ve vybraných LS a v profilu mostu ul. Novopetrovická (kapitola 8.3).

### 8.1 Sestavení srážkoodtokového modelu

Při předběžném rozboru srážko-odtokové situace nad nádrží VD Hostivař bylo provedeno vykreslení časového průběhu srážek (Obr. 7.1) a také hydrogramů z limnigrafických stanic (LS) nad VD Hostivař (Příloha 4) dle [15]. Vynesením součtového hydrogramu LS Benice a Průhonice (Přílohy 2 a 4) byl podchycen odtok z cca 2/3 plochy povodí nad nádrží. Z kvalitativního hlediska je zřejmé, že hydrogram přítoku do nádrže představuje dvě vlny, kdy první z nich má dva vrcholy dané postupnými dobami doběhu vody z jednotlivých dílčích podpovodí ve vazbě na průběh srážek v těchto podpovodích.

#### 8.1.1 Vstupní podklady a předpoklady

K řešení rekonstrukce povodňové události v roce 2013 na vodním díle Hostivař byly zadavatelem poskytnuty podklady [11], [15]. Zde byly využity zejména měřené průběhy průtoků na toku Botič v limnigrafických stanicích pod vodním dílem Hostivař, nad VD v LS Dobřejovice a Průhonice, na toku Pitkovický potok ve stanicích Benice a Kuří, na toku Jesenický potok ve stanici Jesenice, na Dobřejovickém potoce ve stanici Dobřejovice a na Chomutovickém potoce ve stanici Modletice, výsledky měření hladiny na vodním díle Hostivař v průběhu povodňové situace a měření srážek na vodním díle a ve stanicích Průhonice, Dobřejovice a Jesenice. Dalšími podklady využitými pro rekonstrukci povodňové epizody byly ZABAGED vrstevnice 3D [17], mapy BPEJ [37] a mapy CORINE [38].

Pro rekonstrukci přítoku do nádrže Hostivař byl použit srážkoodtokový model využívající programového souboru HEC-HMS [30], [34] a nadstavba prostředí GIS GeoHMS [35] vyvinuté v US Army Corps of Engineers. Jedná se o deterministický srážko-odtokový model, který je široce využíván v hydrologické praxi k odvozování hydrologických podkladů pro potřeby navrhování a posuzování vodohospodářských děl. Umožňuje simulovat odezvu povodí na příčinnou srážku. Dovoluje také posoudit transformační účinek nádrže. Podrobný teoretický popis na tomto místě neuvádíme, pro podrobnější studium odkazujeme na rozsáhlé manuály [30], [34] a [35].

Srážkoodtokový software HEC-HMS umožňuje modelovat tvar návrhového hydrogramu povodně ze vstupních veličin (srážky a fyzicko-geografické vlastnosti povodí). Metod pro modelování odtoku (stanovení tvaru hydrogramu) je v tomto programu prostředí celá řada. Zjednodušeně je možné základní procesy podílející se na tvorbě odtoku v prostředí HEC-HMS rozdělit následovně:

- Výběr vstupní srážky (tvorba meteorologického modelu), v našem případě se jedná o měřený průběh srážek ze srážkoměrných stanic v povodí (Hostivař, Jesenice, Dobřejovice).
- Hydrologická transformace odtoku (separace hydrologických ztrát - hydrologický model) a modelování průběhu přímého odtoku.
- Hydraulická transformace odtoku (řešení postupného utváření odtoku a jeho postup sítí vodních toků a transformace nádrží Hostivař - hydraulický model)

Popis dílčích modelů a zjednodušujících předpokladů zavedených do řešení je stručně uveden v následujícím textu. Modelování bylo na základě dohody se zadavatelem omezeno především na klíčové období (z hlediska velikosti průtoků) od 1.6.2013 12.00 hod. do 3.6.2013 8.00 hod.

- **Meteorologický model** – pro potřeby řešení byly jako vstupní srážky uvažovány průběhy naměřených srážek v období povodně ve srážkoměrných stanicích Hostivař, Jesenice a Dobřejovice. Jejich rozdělení na příslušné plochy mezipovodí vycházelo z polohy stanic v rámci řešeného povodí.
- **Hydrologický model** - základním zjednodušením bylo to, že nebyl uvažován podzemní, resp. základní odtok z povodí. V době příchodu povodně se zde vyskytují převážně velmi nízké průtoky. Dalším zjednodušením pro potřeby modelování přímého odtoku bylo využití dvou metod separace hydrologických ztrát. První byla metoda CN-čísel popsaná v [30], druhou exponenciální metoda popsaná rovněž v [30]. K tvorbě průběhu přímého odtoku vytvářeného efektivním hyetografem (vstupní hyetograf po separaci hydrologických ztrát) byly využity metoda Clark Unit Hydrograph [30]. Důvodem uvedených zjednodušení byla skutečnost, že vstupní data byla značně omezena. Zejména u srážek se jednalo o bodová měření bez znalosti jejich plošného rozdělení. S tím souvisí i stav nasycení půdního profilu. Rovněž není možné postihnout přesný stav plošného rozdělení vegetačního pokryvu.
- **Hydraulický model** - pro vlastní generování odtoku říční sítí a průchod povodně VD Hostivař byly v rámci výpočtu využity dvě možnosti. První bylo generování odtoku metodou Muskingum [34]. Jedná se o metodu, kterou je simulován postup povodňové vlny v úsecích toku. Je založená na aproximaci kombinace rovnice kontinuity a difúzní formy momentové rovnice [30]. K výhodám této metody patří, že:
  - parametry modelu mají fyzikální základ,
  - model dává dobré výsledky v porovnání s modely s plně aplikovanými rovnicemi neustáleného proudění, řešení nezávisí na zadaném výpočetním intervalu.

K nevýhodám naopak patří, že:

- nepočítá se zpětným vzduším,
- neuvažuje transformaci povodně inundací,
- diverguje za situace prudkého vzestupu vlny a relativně malého sklonu koryta.

Metoda vychází z jednoduché bilance přítoku a odtoku v rámci říčního úseku počítané podle vztahu:

$$S = K \cdot [X \cdot I + (1 - X) \cdot O], \quad (8.1)$$

kde  $S$  je zadržovaný objem vody v říčním úseku v  $[m^3]$ ,  $O$  průměrný odtok z říčního úseku v  $[m^3/s]$ ,  $I$  průměrný přítok do říčního úseku  $[m^3/s]$ ,  $K$  čas postupu vlny daným říčním úsekem v  $[s]$ ,  $X$  je transformační faktor (bezrozměrné číslo, nabývá hodnot 0 až 0,5). Odhad parametru  $K$  vyžaduje odhad rychlosti postupu vlny v řešeném říčním úseku. Zpravidla ji volíme v intervalu 1 až 2 m/s.

Druhou metodou je metoda Muskingum-Cunge, která umožňuje zahrnout vliv inundací. Její podrobnější popis je uveden v [30].

Vzhledem ke skutečnosti, že pro simulaci odtoku srážkoodtokovým modelem nejsou k dispozici podrobnější srážková data pro celé povodí a také nebylo k dispozici zaměření vodních toků v horní části povodí, bylo rozhodnuto modelování srážkoodtokového procesu bude omezeno limnigrafickými stanicemi Benice a Průhonice, kde předpokládáme „správný“ vstupní tvar hydrogramu povodně. Věrohodnost namodelovaných kulminačních odtoků z povodí byla ověřena hydraulickým výpočtem kulminačního průtoku v LS Benice, Průhonice, Hostivař a také v profilu mostu ul. Novopetrovická.

### 8.1.2 Postup řešení

Postup spočíval v simulování průběhu průtoku na přítoku do VD Hostivař a průchodu povodňové vlny nádrží VD srážkootokovým modulem HEC-HMS. Průběh transformace VD byl simulován za předpokladu dodržení parametrů odtoku (velikost průtoku) měřených pod VD. Nádrž tak modelově vypouštěla předepsaný průtok (měřený pod VD). Současně byl sledován průběh pohybu hladiny vody v nádrži. Kalibrace srážkootokového modelu spočívala v porovnání naměřených kulminací hladiny s hydraulicky ověřenými hodnotami a také posouzení shody naměřeného průběhu pohybu hladiny v nádrži s modelovaným. Za nejvhodnější průběh vypočtených odtoků byla považována varianta, kdy došlo k přibližné shodě modelovaných a měřených průběhů hladiny.

Uvedené povodí VD bylo omezeno měrnými profily Benice a Průhonice, kde byly k dispozici naměřené průběhy průtoků. Tyto průběhy byly okrajovou podmínkou v rámci řešení (známé přítoky do systému). Z celkové plochy povodí, která činí 94,81 km<sup>2</sup>, tak probíhalo vlastní řešení srážko-odtokovým modelem na cca 28,27 km<sup>2</sup>. Tato skutečnost má podstatný vliv na další průběh kalibrace a simulace, do určité míry zjednoduší úlohu a zpřesní dosažené výsledky.

Pro takto vymezenou plochu byla provedena aproximace skutečného povodí se sítí vodních toků a systémem ploch a kanálů, kterou využívá program HEC-HMS. K aproximaci bylo využito prostředí GIS s nadstavbou HEC-GeoHMS. Aproximace zahrnovala 13 dílčích ploch a 9 kanálů (Obr. 8.1). Parametry ploch a kanálů byly rovněž odhadnuty v prostředí GIS GeoHMS. Jednalo se o hydrologické, geografické a hydraulické charakteristiky, jako jsou např. délky toku a jejich sklon, sklon povodí, doba koncentrace, průměrné CN-číslo, dále pak celá řada faktorů pro jednotlivé metody hydrologické a hydraulické transformace vycházející z hydrologických a geografických charakteristik využívaných jednotlivými metodami v programu HEC-HMS (např. počáteční retence, doba doběhu, apod.). Dělení oblasti vycházelo z konfigurace říční sítě a respektovalo hlavní toky s významnými přítoky dle [14], [28].

Pro vytvořenou aproximaci povodí byl sestaven srážkoodtokový model v programu HEC-HMS, který zahrnoval část *Basin Models*, v níž jsou uvedena dílčí povodí (13 dílčích povodí), kanály (9 kanálů), prvky soutoku (soutok Pitkovického potoka a Botiče), zdroje (limnigrafy Benice a Průhonice) a nádrž (VD Hostivař). U všech prvků schematizace byly zadány parametry ovlivňující způsob výpočtu využívaný při řešení srážkoodtokového procesu. Další část - *Meteorologic Models* obsahovala přiřazení průběhů srážek jednotlivým povodím (Hostivař, Jesenice, Dobřejovice). V části *Control Specifications* bylo vymezeno řešené období a krok výpočtu. Část *Time-Series Data* obsahovala údaje pro srážkoměrné a limnigrafické stanice (srážky a průtoky) a v poslední části *Paried Data* byly zadány podklady pro řešení transformace VD Hostivař (balygrafická čára zatopených ploch) a schematické příčné profily pro kanály, které umožnily zahrnout vliv inundace v metodě Muskingum-Cunge.

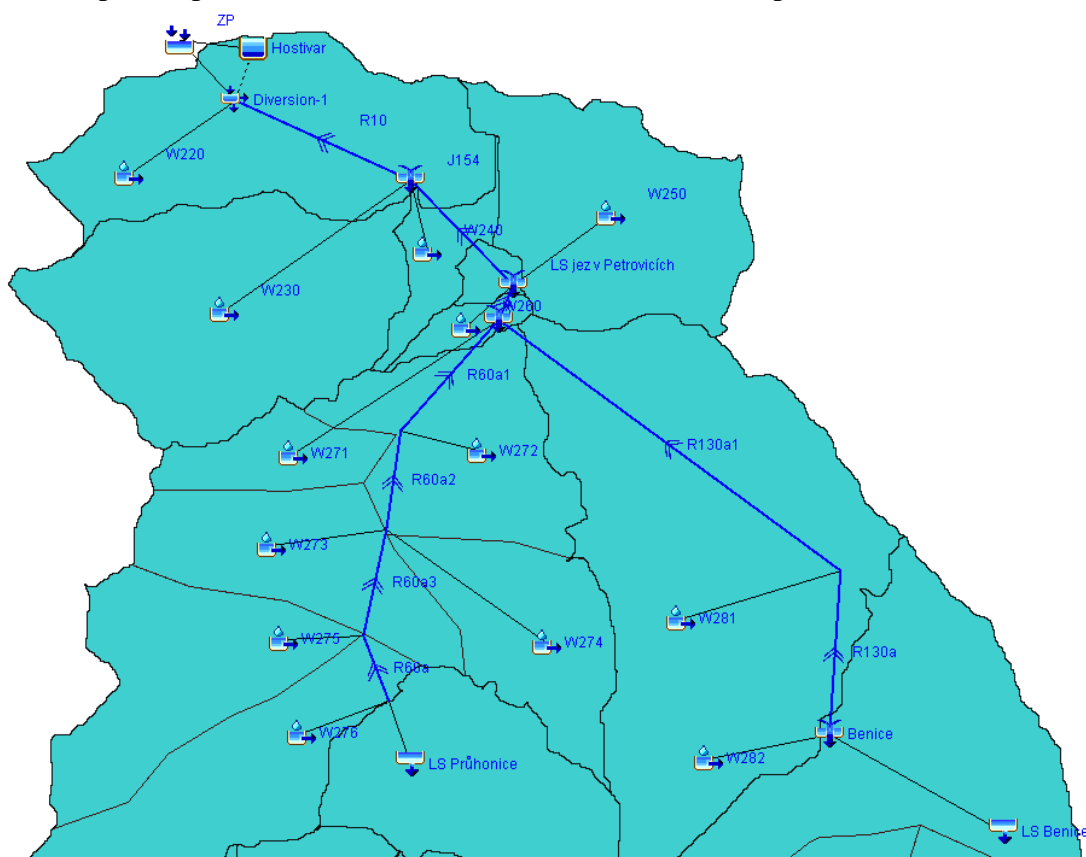
### 8.1.3 Kalibrace modelu

Kalibrace modelu zahrnovala následující kroky:

- Hydraulické ověření měrných křivek průtoku ve vybraných LS s využitím práce [40].
- Hydraulické odvození kulminačních průtoků při povodni v 6/2013 ve vybraných profilech
- Kalibrace srážkoodtokového modelu s využitím kulminačních hodnot získaných hydraulickým výpočtem.

První dva body spolu po věcné stránce souvisí, výsledky řešení jsou uvedeny v kapitole 8.3.

Kalibrace modelu představovala řešení srážkoodtokového procesu a sledování shody kulminačních průtoků první povodňové vlny s hodnotami odvozenými hydraulickým výpočtem (kapitola 8.3). Současně byla prováděna kontrola průběhu hladiny simulované modelem HEC-HMS a měřené na VD. Hlavní zásadou kalibrace bylo ponechat měřený průběh srážek a ovlivňovat pouze možnosti hydrologické transformace parametry (počáteční retence, apod.) a ponechat parametry dílčích povodí tak, jak byly odhadnuty z digitálního modelu terénu a z podkladů (plocha povodí, sklon, doba koncentrace, CN-číslo, apod.).



**Obr. 8.1 Schematizace povodí – HEC-HMS**

Postupně byl v řadě variant spouštěn výpočet s postupnou úpravou parametrů hydraulické a hydrologické transformace při sledování jejich vlivu na hodnoty odvozených kulminací v profilech Benice, Průhonice, Petrovice a Hostivař a také výsledný průběh hladiny v nádrži.

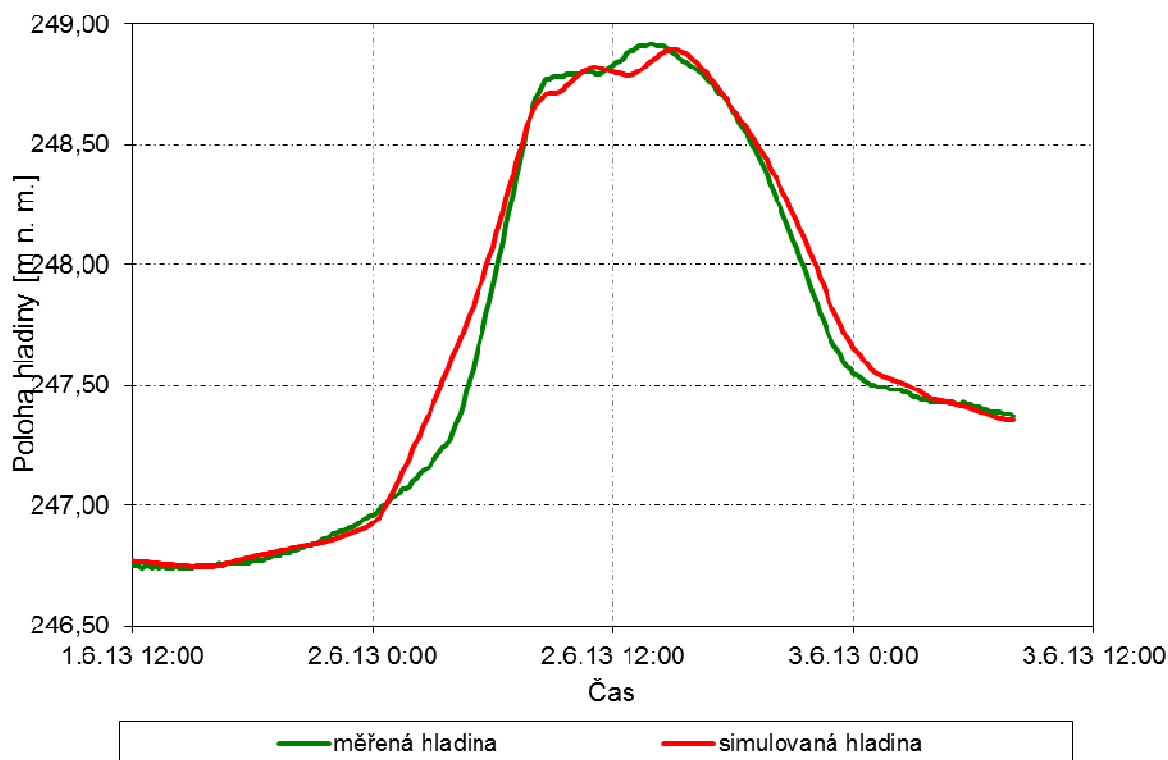
V rámci kalibrace bylo též provedeno porovnání kulminace průtoku dosažené při první povodňové vlně (2. 6. 2013) v profilu mostu pod ulicí Novopetrovická. Porovnání se týkalo kulminace povodňové vlny určené srážkoodtokovým modelem a hydraulickým propočtem průtoku vody mostním profilem, kde byla po povodni zaměřena dosažená maximální hladina vody v Botiči. Výsledky porovnání jsou uvedeny v kapitole 8.3.

Při řešení variant se ukázalo jako nejvhodnější využít pro separaci hydrologických ztrát metodu exponenciální a pro hydraulickou transformaci metodu Muskingum-Cunge, která zahrnovala vliv inundací. Vzhledem k malé podrobnosti dělení byl skutečný profil nahrazen průměrným, který vycházel z poskytnutých příčných profilů pro toky Botič a Pitkovický potok [14], [28]. Značný vliv na kalibraci měla počáteční retence povodí a drsnost v inundačním území.

Postupnou úpravou parametrů bylo dosaženo přibližné shody průběhu hladiny uvedené na obrázku 8.2. Z obrázku je patrný určitý nesoulad v počátečním průběhu hladiny, který je ovlivněn



simulací bez uvažování základního odtoku. Další nesoulad je v posunu kulminace, který je ovlivněn zejména zjednodušením průběhu srážek nad jednotlivými povodími (nebyla k dispozici podrobnější data) a zjednodušenou aproximací skutečného povodí. Kalibrací modelu bylo nicméně dosaženo relativně dobré shody zejména v době kulminace hladiny v nádrži a v době kulminace povodně. Důležitou skutečností je také shoda v objemu první povodňové vlny.



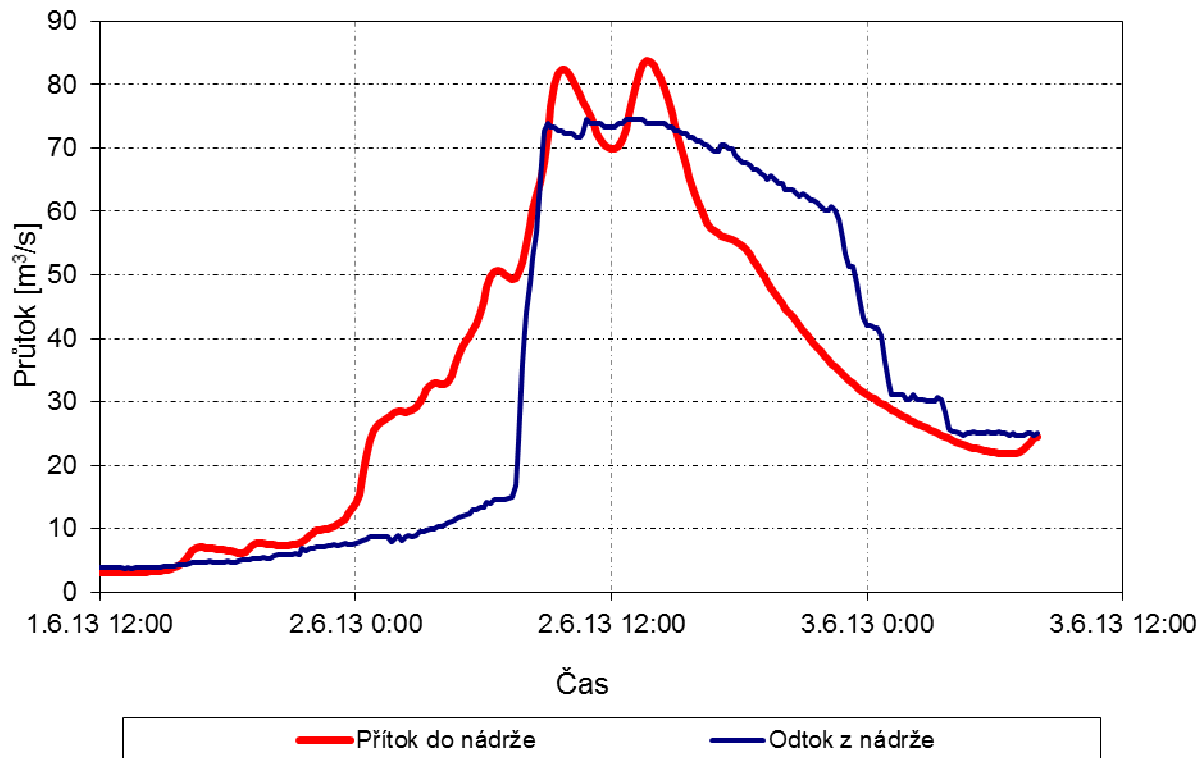
**Obr. 8.2 Míra shody časového průběhu hladiny v nádrži dle [15]**

#### 8.1.4 Modelová rekonstrukce přítoku do nádrže

Na nakalibrovaném modelu bylo provedeno vyhodnocení první vlny povodňové epizody v na přelomu května a června 2013. Pro hydraulickou simulaci byla zvolena zásada ponechat odhadnuté základní parametry povodí a toků vycházející z analýzy digitálního modelu terénu (délky toků, sklon) a ponechat drsnost toku a inundačního území dle výsledků kalibrace modelu.

Modelová rekonstrukce přítoku do VD Hostivař srážkoodtokovým modelem ukázala na dvě kulminace průtoku vzájemně posunutě o cca 4 hodiny. Velikost maximálního kulminačního průtoku dosáhla na cca 83,5 m<sup>3</sup>/s. Průběh přítoku odpovídá průběhu srážek, kdy byly pozorovány také dva vrcholy. Vzhledem k metodě kalibrace a zavedeným zjednodušením lze považovat výsledek za přijatelný a odpovídající možnostem limitovaným rozsahem a přesností vstupních dat.

Průběh přítoku do nádrže je uveden na obrázku 8.3.



Obr. 8.3 Odvozený průběh přítoku vody do nádrže

## 8.2 Odvození přítoku do nádrže bilanční metodou

Druhým postupem bylo zpětné odvození přítoku do nádrže metodou vodohospodářské bilance s využitím odtoků z nádrže a vodních stavů v nádrži.

Při řešení se vychází z následujících vztahů:

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

$$A_s(H(t)) \frac{dH(t)}{dt} = Q_{in}(t) - Q_{out}(t), \quad Q_{out}(t) = Q(H(t)), \quad (8.2)$$

kde  $Q_{in}(t)$  je přítok vody do nádrže,  $Q_{out}(t)$  je odtok vody z nádrže (spodní výpustí a bezpečnostním objektem),  $dV(t)/dt$  je okamžitá změna objemu vody v nádrži,  $A_s(H(t))$  je zatopená plocha a  $dH(t)/dt$  je okamžitá změna polohy vody v nádrži. Řešení bylo provedeno s využitím programového vybavení [8], ve kterém byla pro přibližnou numerickou integraci rovnice (5) použita jednokroková metoda.

Podkladem byly výstupy automatického monitoringu [15] poskytnuté zadavatelem práce. Odvozený hydrogram je doložen na Obr. 8.4 a v Příloze 5.

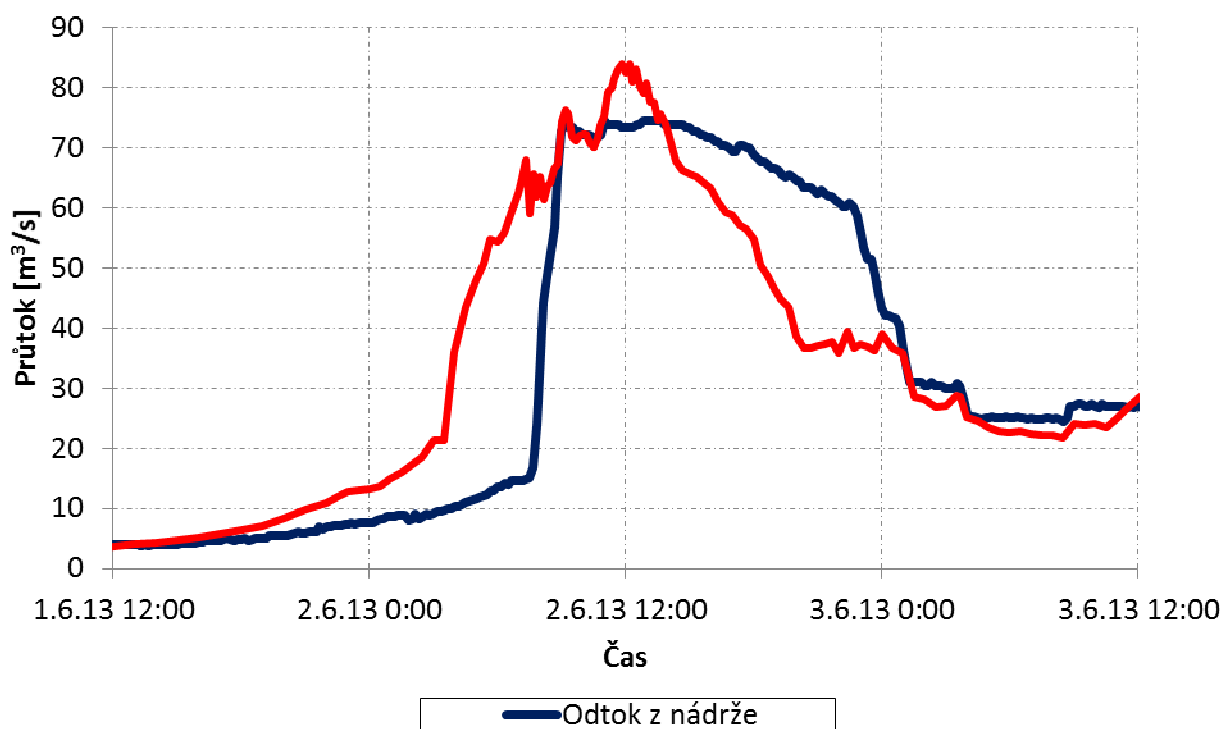
Je zřejmé, že povodňová epizoda probíhala ve dvou vlnách, kdy kulminační přítok první vlny byl cca dvojnásobný než v případě druhé vlny. Druhou, výrazně menší povodňovou vlnu pro lepší přehlednost graficky nedokládáme.

Z připojeného hydrogramu (Obr. 8.4) je při první povodňové vlně patrný prudký nárůst přítoků do nádrže v nočních hodinách z 1. 6. na 2. 6. 2013, kdy přítok stoupl z cca 10 m<sup>3</sup>/s (neškodný odtok) v 22:00 hod dne 1. 6. 2013 na cca 68 m<sup>3</sup>/s v 7:20 hod dne 2. 6. 2013. Za tímto vrcholem následovaly další dílčí vrcholy (kulminace přítoku) se zvyšující se tendencí na přítoku

do nádrže. Povodňová vlna má na přítoku do nádrže jeden podružný vrchol na vzestupné větvi, dva znatelné vrcholy při kulminaci povodňové vlny. První vrchol kulminace na přítoku do nádrže měl cca 75,6 m<sup>3</sup>/s v 2. 6. 2013 v 9.20 hod, druhý vrchol pak kulminaci cca 84 m<sup>3</sup>/s v 11:50 hod. Uvedené dva vrcholy se propagují z Botiče a jeho přítoku Pitkovického potoka (viz též Přílohu 4, kap. 8.1). Po první povodňové vlně došlo k dílčímu opadnutí průtoků až pod 22 m<sup>3</sup>/s s následným nárůstem na cca 44 m<sup>3</sup>/s dne 3. 6. v 17:30 hod.

Objem proteklé vody od chvíle monotónního nárůstu hladiny vody v nádrži 1. 6. 2013 v 15:00 hod do kulminace odtoku 2. 6. 2013 v cca 12:00 hod. činil cca 2,7 mil. m<sup>3</sup>, do konce první povodňové vlny 3. 6. 2013 v 12:20 hod. činil cca 6,3 mil. m<sup>3</sup> a do konce záznamu dle [15] 4. 6. 2013 v 14:50 hod. činil cca 8,9 mil. m<sup>3</sup>. Objem povodňové vlny tak výrazně (cca dvojnásobně) překročil objem teoretické vlny s dobou opakování 100 let (Obr. 5.1). Časy jsou uváděny v SEČ.

Závěrem je třeba poznamenat, že v důsledku nepřesnosti v určení polohy hladiny vody v nádrži při povodni docházelo k oscilacím při odvození rekonstruovaného hydrogramu přítoku. Ty byly proto při výpočtu „vyhlazeny“ úpravou batygrafických křivek (podle [12], [17] a [41]). Další komentáře k nejistotám uvádíme v kapitole 9.4.



Obr. 8.4 Odvozený průběh přítoku vody do nádrže bilanční metodou

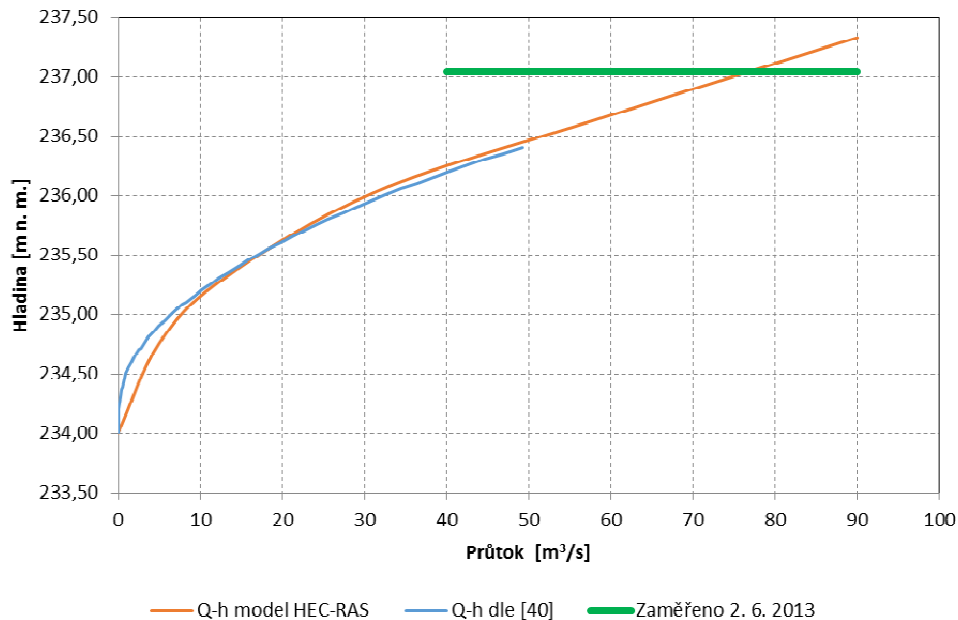
### 8.3 Hydraulické odvození přítoku do nádrže

Předstupněm kalibrace srážkoodtokového modelu bylo hydraulické ověření měrných křivek průtoků ve vybraných LS s využitím práce [40] a odvození kulminačních průtoků při povodni v 6/2013 ve vybraných profilech s využitím zaměřených hodnot dosažené polohy hladiny po povodni dle [28]. Šlo o limnigrafické stanice Hostivař, Benice, Průhonice a Petrovice (jez) a také profil mostu na ulici Novopetrovická nad nádrží Hostivař.

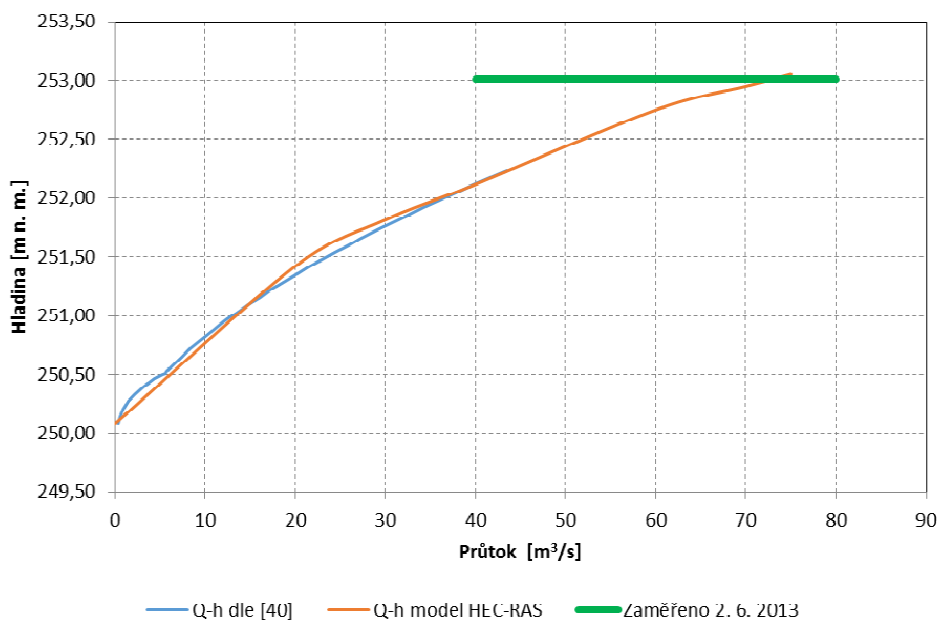
### 8.3.1 Hydraulické řešení ve stanicích Hostivař, Benice, Průhonice a Petrovice

Hydraulické řešení bylo provedeno s využitím zaměřených příčných profilů toků v rámci dokumentů [12], [14], [28], [29], [40] a s využitím poznatků z místního šetření [31]. Výpočty byly provedeny za předpokladu kvaziustálého nerovnoměrného proudění se zohledněním objektů na tocích (jezy, stupně, mosty) v programovém prostředí HEC-RAS [39].

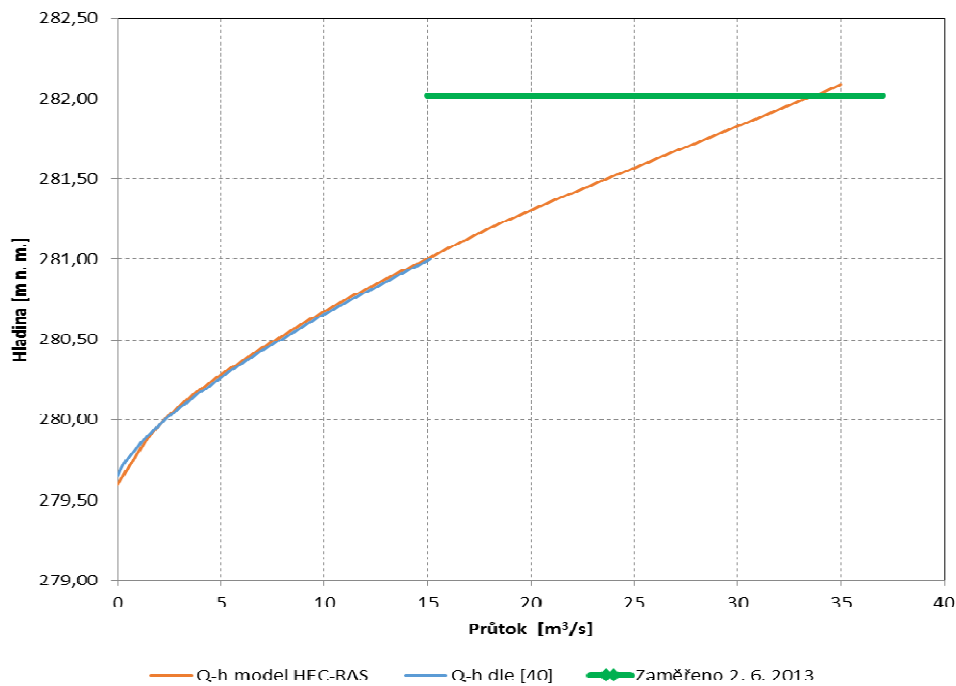
Na obrázcích 8.5 až 8.8 jsou uvedeny měrné křivky LS stanovené v práci [40], vypočtené křivky a také úroveň odpovídající zaměřené hladině vody při kulminaci povodně v 6/2013.



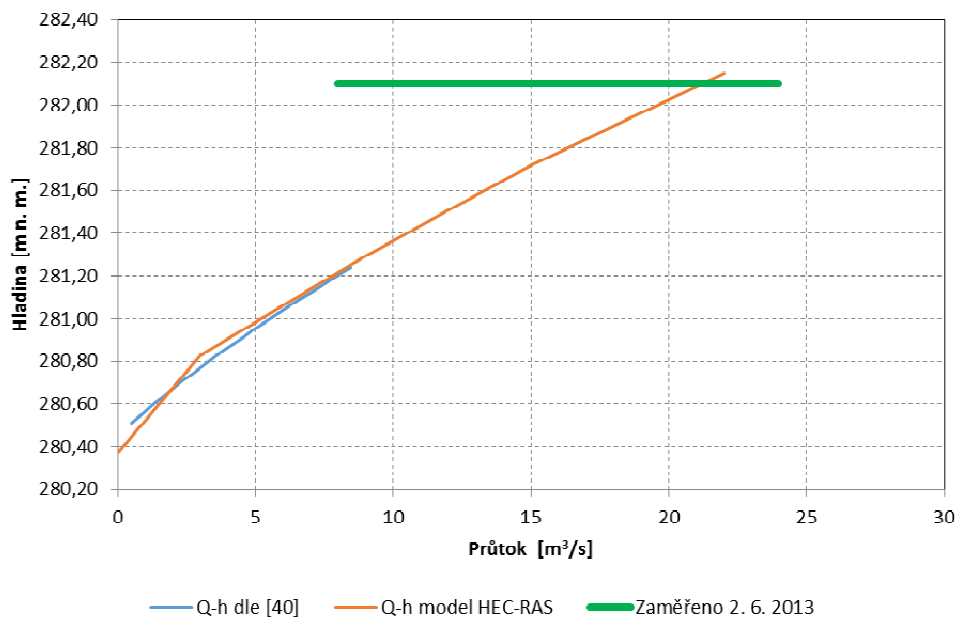
Obr. 8.5 Měrná křivka průtoku ve stanici Hostivař odvozená dle [40] a hydraulicky vypočtená



Obr. 8.6 Měrná křivka průtoku ve stanici Petrovice odvozená dle [40] a hydraulicky vypočtená



**Obr. 8.7 Měrná křivka průtoku ve stanici Průhonice odvozená dle [40] a hydraulicky vypočtená**



**Obr. 8.8 Měrná křivka průtoku ve stanici Benice odvozená dle [40] a hydraulicky vypočtená**

V následující tabulce 8.1 jsou uvedeny kulminační průtoky odečtené ze záznamů limnigrafů při povodni v 6/2013 ve srovnání s hydraulicky vypočtenými hodnotami odečtenými z grafů na obrázcích 8.5 až 8.8. Z porovnání odečtených a vypočtených hodnot je zřejmé, že bylo dosaženo přijatelné shody v hodnotách kulminačních průtoků, kdy maximální relativní odchylka ani u jedné ze stanic nepřesáhla 10 %. Tato chyba koresponduje s nejistotami ve výsledcích hydrometrování a také hydraulického modelu (viz též kapitola 9.4).

**Tab. 8.1 Porovnání zaznamenaných a vypočtených hodnot kulminačních průtoků**

Limnigrafická stanice	Zaznamenaný průtok [m <sup>3</sup> /s]	Vypočtený průtok [m <sup>3</sup> /s]
Hostivař	74	76
Petrovice	-	73
Průhonice	33,62	37
Benice	20,50	22,5

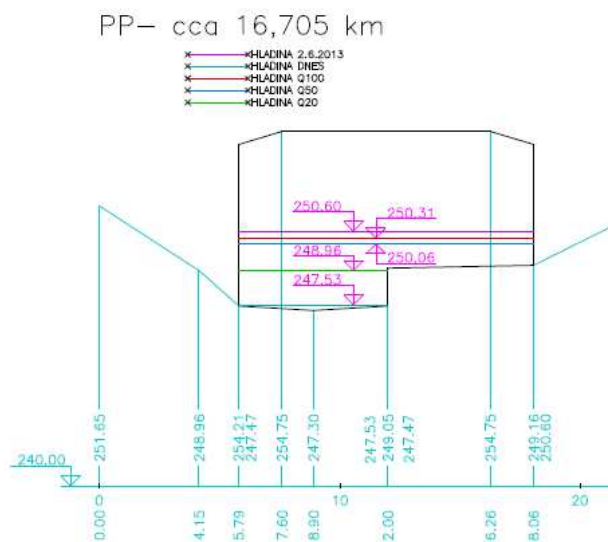
### 8.3.2 Hydraulické ověření podmínek v profilu pod ulicí Novopetrovická

Hydraulické ověření obsahovalo porovnání:

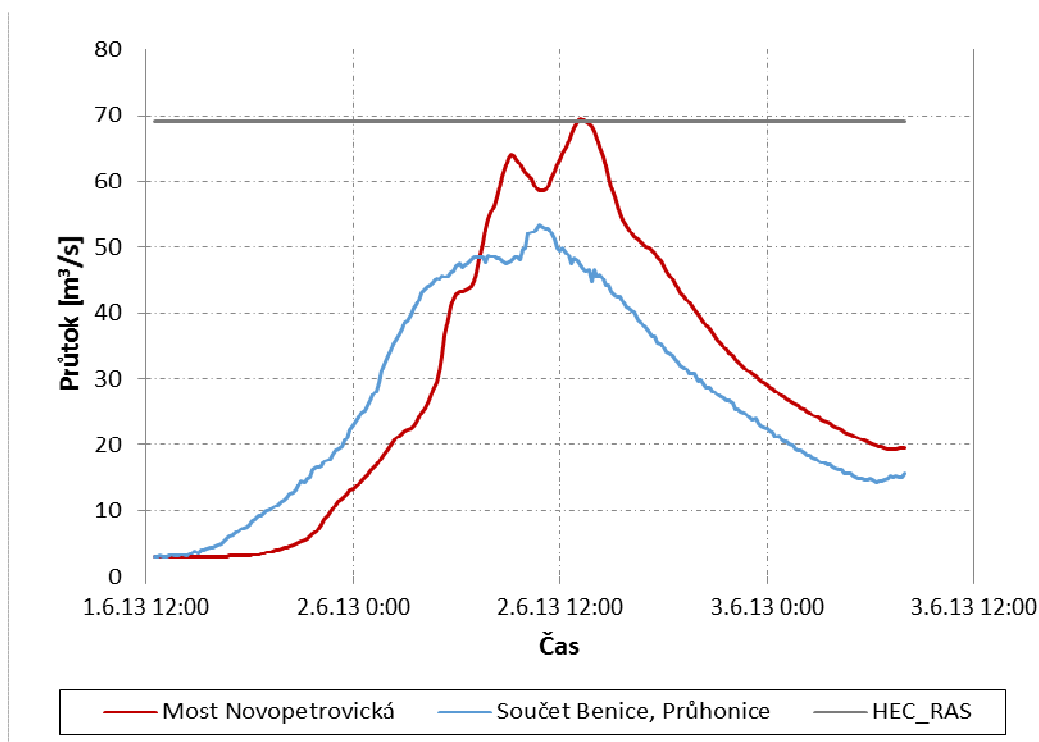
- kulminace povodňové vlny v profilu mostu na ulici Novopetrovická určené srážkoodtokovým modelem,
- hydraulického propočtu průtoku vody profilem mostu pod ulicí Novopetrovická, kde byla po povodni zaměřena dosažená maximální hladina vody v Botiči,
- orientačním porovnáním součtového hydrogramu stanic Průhonice a Benice.

Hydraulický výpočet proudění v mostním profilu a související části Botiče byl proveden v programovém prostředí HEC RAS [39] za předpokladu ustáleného nerovnoměrného proudění v okamžiku kulminace povodňové vlny. Cílem výpočtu bylo odvodit průtok odpovídající zaměřené značce na mostním profilu (na kótě 250,60 m n. m.), viz obrázky 8.9.

Průběh povodňové vlny určené srážkoodtokovým modelem (kapitola 8.1) ve srovnání s výsledky hydraulického výpočtu a se součtovým hydrogramem stanic Průhonice a Benice na Botiči a Pitkovickém potoce je znázorněn na obrázku 8.10.



**Obr. 8.9 Zaměřená povodňová hladina na mostě pod ulicí Novopetrovická**

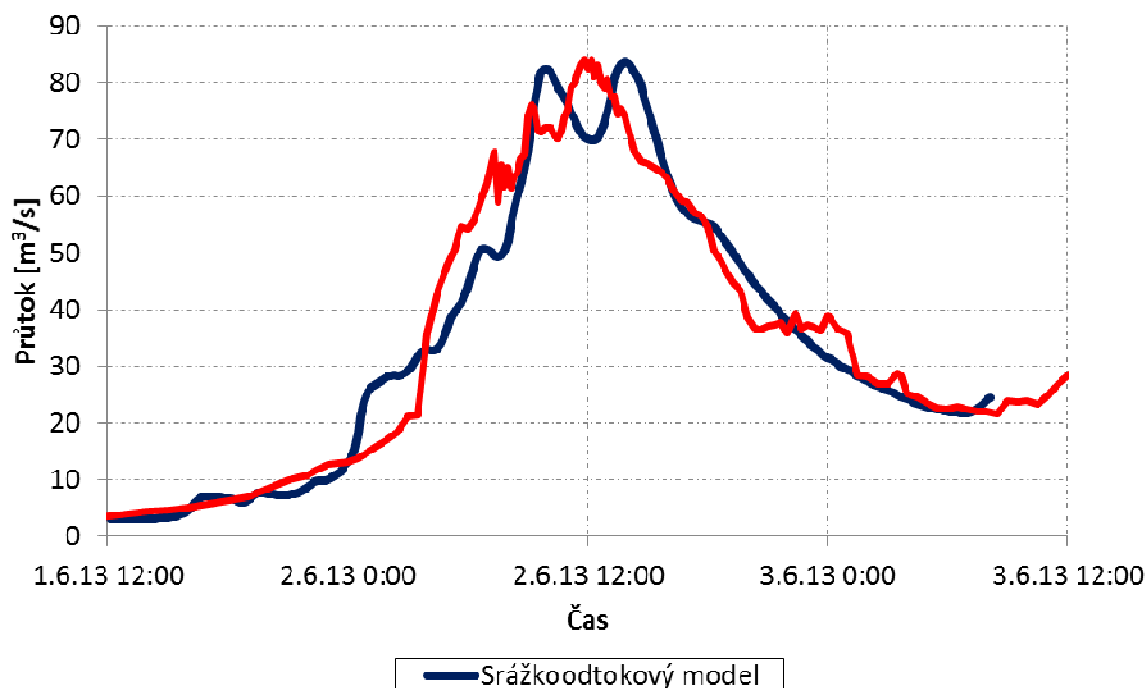


**Obr. 8.10 Porovnání průtoků v prostoru pod soutokem Botiče a Pitkovického potoka**

Srovnání výsledku hydraulického výpočtu s kulminací odvozenou v rámci srážkoodtokového modelování ukázalo na velmi dobrou shodu v kulminačním průtoku  $Q \approx 70 \text{ m}^3/\text{s}$  v profilu mostu pod ulicí Novopetrovickou. Tento údaj i odvozený tvar hydrogramu poměrně dobře koresponduje s dříve odvozeným hydrogramem celkového přítoku do nádrže VD Hostivař s kulminací cca  $Q \approx 84 \text{ m}^3/\text{s}$  a také se skresleným součtovým hydrogramem limnigrafických stanic Průhonice a Benice s kulminací cca  $Q \approx 52,3 \text{ m}^3/\text{s}$ . Dobrá shoda je patrná také s průtokem  $Q \approx 73 \text{ m}^3/\text{s}$  odvozeným pro jez Petrovice (Tab. 8.1, Obr. 8.6). Časový posun cca 2 až 3 hodiny mezi kulminací v stanicích Průhonice a Benice a mostním profilem Novopetrovická odpovídá zhruba době doběhu povodňové vlny na vzdálenosti cca 5 km, posun cca 20 až 30 minut mezi profilem mostu Novopetrovická a nádrží VD Hostivař koresponduje s rychlostmi proudu pod soutokem Botiče, a Pitkovického potoka na vzdálenosti necelého 1 km.

#### **8.4 Porovnání dosažených výsledků**

Porovnání výsledných hydrogramů na přítoku získaných různými modelovými postupy je uvedeno na obrázku 8.11. Porovnání ukazuje na poměrně dobrou kvalitativní shodu v průběhu odvozených hydrogramů přítoku vody do nádrže. Rovněž velmi dobrá je kvantitativní shoda ve velikosti kulminace přítoku do nádrže  $Q \approx 84 \text{ m}^3/\text{s}$  a také v celkovém objemu povodňové vlny. Z pohledu kvantitativního se na obou hydrogramech projeví nepřesnosti plynoucí z nejistot ve vstupních podkladech. Ty jsou diskutovány v předchozích kapitolách 8.1 a 8.2 a také v kapitole 9.4. Na základě rozboru nejistot, podrobnosti a spolehlivosti vstupních dat považujeme za realitě bližší hydrogram odvozený metodou vodohospodářské bilance. Pro něj bylo také provedeno porovnání manipulací na VD (kap. 8.6).



**Obr. 8.11** Porovnání výsledků průtoku získaných srážkoodtokovým modelem a bilanční metodou

## 8.5 Komentář k hydraulickým charakteristikám objektů VD Hostivař

V rámci této studie bylo provedeno také zhodnocení hydraulických charakteristik jednotlivých objektů VD Hostivař. Cílem bylo ověřit správnost a věrohodnost podkladů (měrných křivek spodních výpustí, odběrného potrubí a bezpečnostního objektu) pro manipulaci uvedených v manipulačním řádu [11]. Ověření bylo provedeno vlastním hydraulickým výpočtem jednotlivých objektů.

### 8.5.1 Spodní výpust DN 500 na kótě 237,645 m n. m.

Měrná křivka plně otevřené spodní výpusti DN500 (označované také jako „dolní DN500“) je zobrazena na Obr. 8.12 (červená). Vzhledem k nedostatku podkladů se uvažuje neovlivnění výtoku množství dolní vodou v obtokové štole. Součinitel výtoku nabývá velikosti cca  $m = 0,716$ .

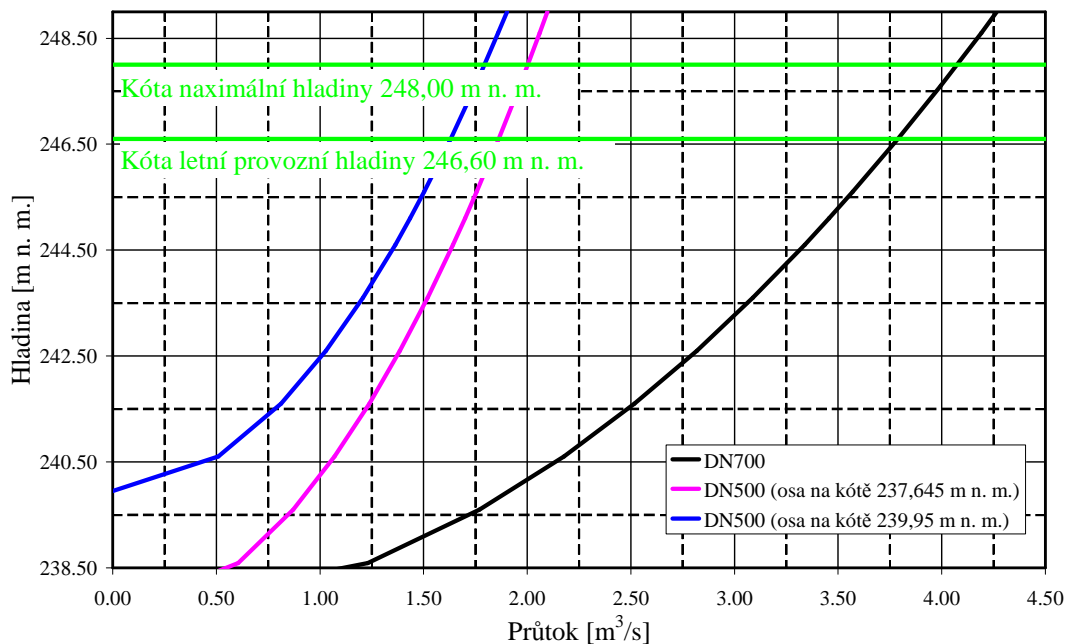
### 8.5.2 Spodní výpust DN 700 na kótě 237,645 m n. m.

Měrná křivka plně otevřené spodní výpusti DN700 je zobrazena na Obr. 8.12 (černá). Přitom opět není uvažován vliv dolní vody v obtokové štole při vyšších průtocích. Součinitel výtoku nabývá velikosti cca  $m = 0,743$ .

### 8.5.3 Odběrné potrubí DN500 – 239,95 m n. m.

Měrná křivka plně otevřeného odběrného potrubí DN500 (označované jako „horní DN500“) je zobrazena na Obr. 8.12 (modrá). Vzhledem k nedostatku podkladů se uvažuje neovlivnění výtoku množství dolní vodou v obtokové štole při vysokých průtocích. Součinitel výtoku nabývá velikosti cca  $m = 0,727$ .



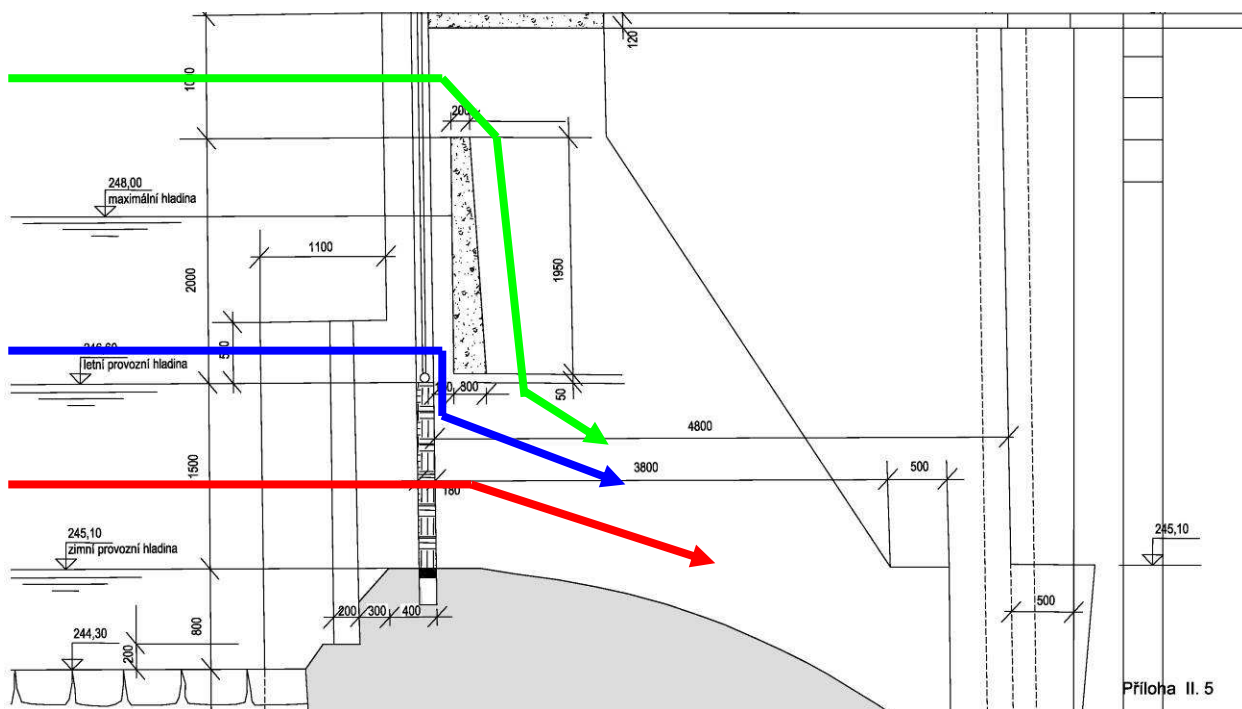


**Obr. 8.12 Měrné křivky spodních výpustí (DN700 a DN500 s osou na kótě 237,645 m n. m.) a odběrným potrubím (DN500 s osou na kótě 239,95 m n. m.)**

### 8.5.4 Bezpečnostní objekt

Proudění v bezpečnostním objektu je poměrně komplikované (Obr. 8.13) v závislosti na míře vyhrazení stavidel čtyřpolového přelivného objektu a poloze hladiny v nádrži VD Hostivař. Vzávislosti na míře vyhrazení stavidel a poloze hladiny na VD Hostivař lze rozeznat (Obr. 8.13):

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

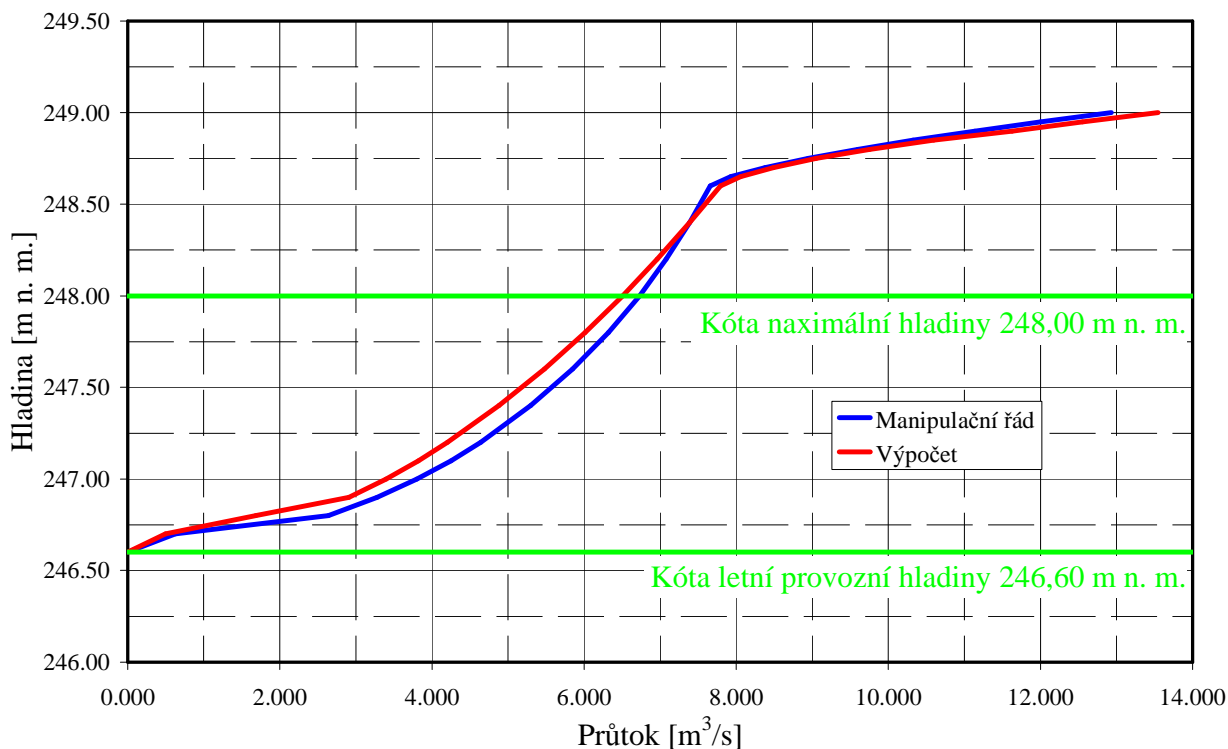


**Obr. 8.13 Schéma proudění v bezpečnostním objektu VD Hostivař [11]**

Na obrázku 8.14 je uvedena měrná křivka zcela zahrazeného bezpečnostního přelivu. Ostatní výše uvedené provozní stavy byly pouze namátkově hydraulicky propočteny a porovnány s údaji a křivkami dle [11].

### 8.5.5 Souhrnné zhodnocení

Celkově lze konstatovat, že měrné křivky jednotlivých objektů uvedené v [11] jsou správně stanovené. Dílčí rozdíly mezi našimi propočty a výsledky dle [11] nepřekračují běžné tolerance dané do značné míry subjektivní volbou výtokových a přepadových součinitelů pro jednotlivá zařízení (Obr. 8.10). Některá doporučení jsou uvedena v závěru v kapitole 10.2.



Obr. 8.14 Měrná křivka zcela zahrazeného bezpečnostního přelivu

## 8.6 Porovnání manipulace při povodni s MŘ

### 8.6.1 Tabelární porovnání

Porovnání manipulace při povodni v roce 2013 s požadavky a pokyny manipulačního řádu [11] je provedeno přehledně v tabulce 8.2. Časové údaje uvádíme v SEČ. Přitom jsou uvedeny a diskutovány zejména ty požadavky, které se váží k letnímu režimu manipulace při povodni se zaměřením na hydraulické, hydrologické a obecně vodohospodářské aspekty manipulace. Předmětem hodnocení byla extrémní první vlna povodně.

**Tab. 8.2 Porovnání manipulace při povodni v roce 2013 s požadavky manipulačního řádu**

<b>Obecné pokyny při manipulaci v ochranném (retenčním) prostoru nádrže</b>			
Č. dle kap. 6	Pokyny dle [11]	Skutečná manipulace	Soulad / nesoulad s [11]
2	Manipulací na objektech nesmí docházet k umělému zvětšování povodňové vlny.	V průběhu povodně se manipulovalo tak, že nedošlo ke zvětšení povodňové vlny. K jejímu zvětšení by došlo zcela jistě v případě porušení hráze, nebo poruchy uzávěrů.	Požadavky [11] splněny.
4	Provozní údaje zapisuje obsluha ve vhodných časových intervalech do manipulačního deníku VD Hostivař, případně dokumentuje jiným vhodným způsobem.	K dispozici je záznam z manipulačního deníku [16], do kterého obsluha zaznamenávala datum a čas manipulace, dosaženou hladinu a vlastní manipulaci s uzávěry, příp. další poznámky (v SELČ).	Požadavky [11] splněny.
5	Odtok z nádrže při povodních je určen manipulací na funkčních objektech. Při extrémních průtocích se předpokládá vyběžování vody z koryta pod nádrží.	Manipulovalo se s uzávěry na odběrném potrubí DN500, spodních výpustech DN500 a DN700 a se stavidly bezpečnostního přelivu.	Požadavky [11] splněny.
<b>Manipulace v ochranném prostoru při letním provozu nádrže</b>			
1	K zachycení povodňové vlny při letním režimu se využije retenčního prostoru vymezeného kótami 246,60 a 247,60 m n.m. Je-li zajištěna nepřetržitá povodňová služba u mostku přes Botič v Petrovicích, lze pro zachycení povodně využít prostor vymezený kótami 246,60 až 248,00 m n. m	Manipulací byl efektivně využit ochranný prostor nádrže. V nádrži byla dosažena hladina 248,96 m n. m. [15]. Maximální hladina byla překročena o 0,96 cm. Mezní bezpečná hladina uvedená v MŘ [11] – 249,30 m n. m. nebyla dosažena.	Manipulace při povodni s dobou opakování $N = 500$ let zajistila nepřekročení MBH. Manipulace nad rámec [11].
2	Obsluha díla se při udržování hladiny řídí vývojem a předpovědí hydrometeorologické situace. Před očekávaným příchodem povodně je možné snížit hladinu vody v nádrži až o 0,3 m. Při předvypouštění letního provozního prostoru nesmí být překročena hodnota odtoku z nádrže $5 \text{ m}^3/\text{s}$ .	Vývoj hydrologické situace byl obtížně predikovatelný. Výstrahy poskytované ČHMÚ na počátku povodňové situace byly nespolehlivé a rychle se měnily. V nádrži bylo po předchozích srážkách od 31. 5. 2013 odpouštěno množství kolem $5 \text{ m}^3/\text{s}$ . Přitom byla snížena hladina v nádrži o cca 0,11 m.	Požadavky [11] splněny.
4	Při rostoucích přítocích stoupá hladina vody v nádrži a část průtoku automaticky přepadá přes horní hranu uzavřených stavidel přelivu. Od kóty 247,00 m n. m. obsluha začíná manipulovat s výpustí DN 500 a vyhrazuje 2 stavidla bezpečnostního přelivu o 0,2 m.	Obsluha manipulovala s odběrným potrubím DN500 již od kóty hladiny 246,64 m n. m. Při zvyšující se hladině se při povodni otevřela dále spodní výpust DN500, poté se začalo manipulovat se stavidly bezpečnostního přelivu.	Manipulace probíhala na rozdíl od [11] spodními výpustmi ve snaze zajistit provozně bezpečný stav. Motivem byla měnící se hydrometeorologická předpověď.
5	Nad kótou 246,60 m n. m. voda automaticky přepadá přes horní hranu stavidel a poté, když hladina vystoupí na kótu 247,00 m n. m., je přepadové množství až $3,8 \text{ m}^3/\text{s}$ . Do této kóty nejsou žádné manipulace s funkčními objekty nutné.	Odběrným potrubím se manipulovalo od hladiny v nádrži 246,68 m n. m. Při hladině 247,00 se k plně otevřenému odběrnému potrubí plně otevřela spodní výpust DN500. Voda dále přepadala přes stavidla bezpečnostního přelivu. Odtok činil cca $8 \text{ m}^3/\text{s}$ , tedy do $10 \text{ m}^3/\text{s}$ po spuštění jezu Marcela.	Zvýšeného odtoku se dosáhlo manipulací se spodní výpustí. Obsluha mírně předbíhala požadavky [11]. Výstraha ČHMÚ již v této chvíli jasně prognózovala povodňovou situaci.
6	Při hladině 247,00 m n. m. obsluha otevře potrubí DN 500 v úrovni 237,66 m n. m. na $60\%$ (odpovídá cca $1,15 \text{ m}^3/\text{s}$ ). Celkový odtok je tedy $4,95 \text{ m}^3/\text{s}$ (včetně přepadu přes stavidla	Odběrným potrubím se manipulovalo od hladiny v nádrži 246,68 m n. m., při hladině 247,00 se k plně otevřenému odběrnému potrubí plně otevřela spodní výpust DN500. Voda dále přepadala	Viz předchozí komentář.

	bezpečnostního přelivu).	přes stavidla bezpečnostního přelivu.	
7	Při dalším vzestupu přítoku - mezi hladinami 247,00 až 247,60 m n. m. - postupně vyhrázování 2 polí bezpečnostního přelivu max. o 0,2 m (4,10 m <sup>3</sup> /s) a manipulaci s potrubím DN 500 v úrovni 237,66 m n. m. až na 100% (2,0 m <sup>3</sup> /s), aby byl odtok maximálně roven neškodnému průtoku pod VD ( $Q_{nes}=10$ m <sup>3</sup> /s). Celkový odtok při uvedených manipulacích je 9,9 m <sup>3</sup> /s (včetně přepadu přes 2 stavidla bezpečnostního přelivu).	Kóta 247,00 m n. m. byla dosažena 1. 6. 2013 ve 23:50 hod. a hladina 247,60 pak v cca 5:00 následujícího dne (2. 6. 2013). V uvedených časech se manipulovalo s odběrným potrubím a spodní výpustí DN500. Se stavidly bezpečnostního přelivu se nemanipulovalo. Celkový odtok se v uvedeném nočním období plynule zvyšoval z 8,1 m <sup>3</sup> /s na 11,9 m <sup>3</sup> /s.	Manipulace s objekty neodpovídala striktně [11]. Z hlediska postupného zvyšování průtoků v nočních hodinách byla manipulace na VD vhodná. Manipulace s odběrným potrubím a spodními výpustmi je z provozního hlediska vhodnější než pootevření stavidel, kde hrozí jejich zablokování plávim.
9	V rozmezí hladin 247,60 až 247,95 m n. m. dochází k přiškrcování potrubí DN 500 v úrovni 237,66 m n. m. až na 60% tak, aby nedošlo k překročení neškodného odtoku pod VD ( $Q_{nes}=10$ m <sup>3</sup> /s).	Hladina 247,60 byla dosažena 2. 6. 2013 v 5.00 a hladina 247,95 pak o necelou hodinu později. Po celou dobu bylo plně otevřené odběrné potrubí a spodní výpust DN 500.	Nedocházelo k přiškrcování DN500, vzhledem k rychlému nárůstu hladiny bylo snahou udržet maximální hladinu
10	Těsně před dosažením max. hladiny 248,00 m n. m. jsou manipulace prováděny za účelem nepřekročit kótu max. hladiny. Obsluha otevírá všechny výpusti a vyhrazuje stavidla přelivu. Touto manipulací lze do odtoku z nádrže cca 70 m <sup>3</sup> /s udržet úroveň max. hladiny 248,00 m n. m.	Při dosažení hladiny 248,00 (v cca 6:10) bylo plně otevřeno odběrné potrubí a spodní výpust DN500. Od této chvíle byla s ohledem na stále rostoucí hladinu postupně vyhrázována stavidla. Jejich vyhrázování – otevření na 2/3 se podařilo v 8:54 hod (SEČ) při hladině 248,81 m n. m. Hladina tak překročila kótu maximální hladiny 248,00 m n. m., ale nepřekročila mezní bezpečnou hladinu.	Otevírání stavidel bylo vzhledem k rychle rostoucí hladině v nádrži prováděno s mírným zpožděním oproti [11], přelivy nebyly úplně vyhrázovány, ale hladina nepřekročila mezní bezpečnou hladinu.
11	Stoupá-li po úplném vyhrázování stavidel hladina vody v nádrži, je vyčerpána kapacita přelivu a manipulací již nelze ovlivnit úroveň hladiny v nádrži. Začíná nekontrolovatelné plnění nádrže nad kótu maximální hladiny.	Došlo k plnění nádrže. Vzhledem ke kapacitě vyhrazených stavidel na 2/3 a úplně otevřených uzávěrech potrubí spodních výpustí nebyla překročena MBH na kótě 249,30 m n. m.	Požadavky [11] splněny tak, že nebyla překročena MBH.
12	Po průchodu kulminace povodně začíná provádění manipulací pro prázdnění retenčního prostoru nádrže.	Po průchodu kulminace první povodňové vlny se podařilo snížit hladinu v nádrži na kótu 247,31 m n. m.	Požadavky [11] splněny
13	Prázdnění části retenčního prostoru v rozmezí úrovní hladin 248,00 až 247,60 m n. m. probíhá rychle, max. však na 90% hodnoty odtoku, který byl dosažen při převádění kulminace povodně.	Nádrž tak byla připravena na příchod další povodňové vlny, tentokrát již s menší extremitou.	

Z uvedeného přehledu vyplývá, že manipulace nebyla prováděna zcela přesně podle manipulačního řádu [11]. Jednotlivé odchylky vyplývají z těchto skutečností:

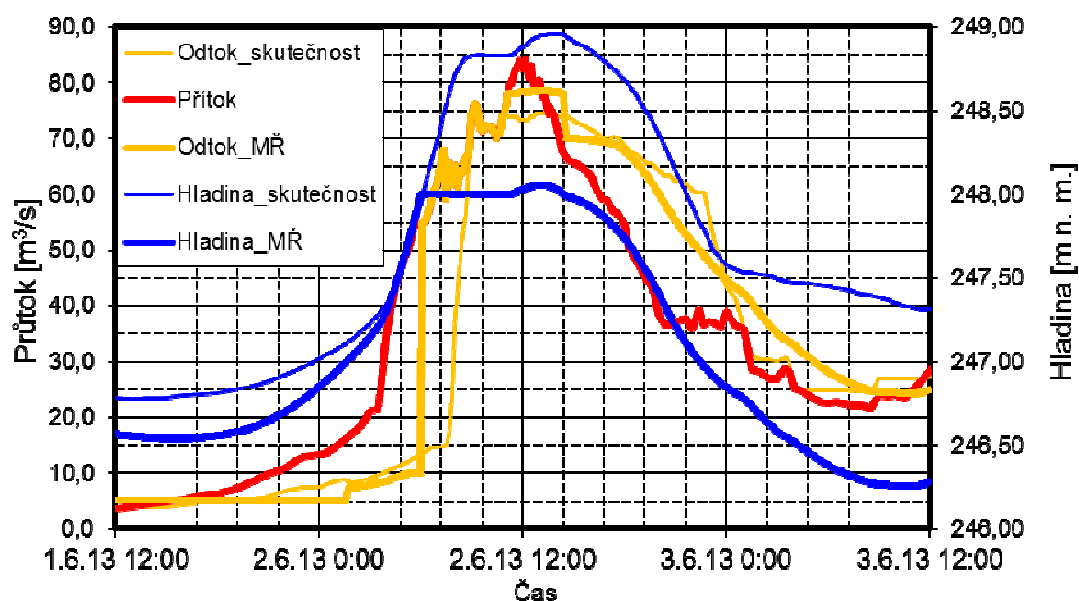
- prognózy a výstrahy ČHMÚ se často měnily v čase, byly mnohdy časově opožděné a obtížně interpretovatelné na povodí Botiče nad VD Hostivař,
- na vodním díle není trvalá obsluha, manipulace byla zahájena až ve chvíli věrohodnější výstrahy ČHMÚ a na základě situace na vodním díle,
- manipulace sledovala provozně bezpečnější ovládání jednotlivých zařízení, kdy byla zprvu prováděna manipulace s uzávěry odběrného potrubí a spodních výpustí,
- snahou bylo zprvu co nejdéle udržet odtok blízký neškodnému průtoku pod VD,
- následně po dosažení maximální hladiny bylo snahou nepřekročit mezní bezpečnou hladinu,

- překročení maximální hladiny se nebylo možné s ohledem na extremitu povodně vyhnout.

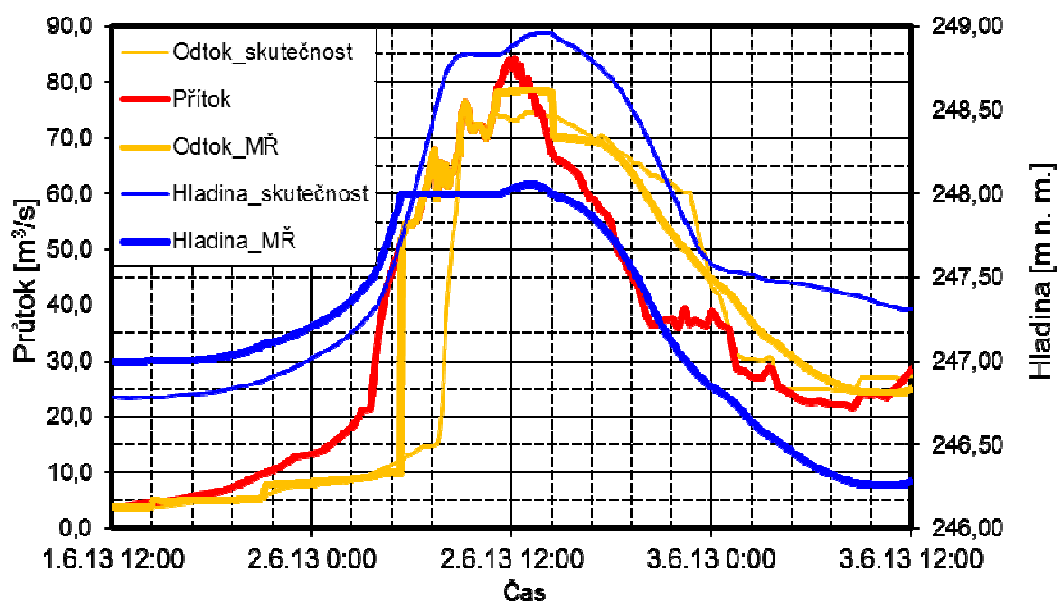
### 8.6.2 Porovnání odtoků z nádrže při povodni v 6/2013 s manipulací dle MŘ

Pro kvantitativní porovnání účinku manipulace dle [11] se skutečnou manipulací bylo provedeno modelové vyhodnocení transformace hydrogramu přítoku získaného bilanční metodou (kapitola 8.2). Při výpočtu byly použity shodné vstupní podklady jako při bilančních výpočtech (batygrafie nádrže, hydraulické charakteristiky objektů, apod.). Manipulace byla modelově prováděna v souladu dle [11], viz též kapitolu 6.

Srovnání hydrogramů odtoku při manipulaci z června 2013 a manipulace dle [11] je uvedeno pro variantu s předvypouštěním a bez něj na obrázcích 8.11. a 8.12. a pro variantu bez předvypouštění v Příloze 6.



Obr. 8.11 Srovnání hydrogramů odtoku při manipulaci z června 2013 a manipulace dle MŘ [11] – s předvypouštěním o 0,30 m



## Obr. 8.12 Srovnání hydrogramů odtoku při manipulaci z června 2013 a manipulace dle MŘ [11] – bez předvypouštění

Výsledky řešení ukázaly na několik skutečností týkajících se manipulace na VD Hostivař při povodni v roce 2013:

- Snaha [11] nepřekročit maximální hladinu následně vyvolá nulový účinek manipulace (včetně předvypouštění nádrže) před příchodem povodně a dosažením maximální hladiny. Snaha udržet hladinu na úrovni maximální vede k manipulaci „přítok = odtok“.
- Skutečná manipulace v prostoru mezi maximální hladinou a MBH umožnila zlepšit transformační účinek nádrže snížením kulminace na odtoku o cca 4 m<sup>3</sup>/s oproti manipulaci dle [11]. Maximální odtok při manipulaci dle [11] by byl cca 78,5 m<sup>3</sup>/s místo skutečných cca 74,5 m<sup>3</sup>/s.
- Při obou manipulacích by došlo v důsledku extremity povodně k překročení maximální hladiny, podle [11] o 6 cm, ve skutečnost o cca 1 m.
- Mezní bezpečná hladina nebyla překročena, i při skutečné manipulaci mělo vodní dílo ještě rezervu v kapacitě výpustných zařízení.
- Skutečná manipulace dokázala až do 7:30 hod dne 2. 6. 2013 udržet odtok do 15 m<sup>3</sup>/s (I. SPA Botiče), který je pouze mírně vyšší než neškodný odtok 10 m<sup>3</sup>/s. Při manipulaci podle [11] by došlo k náhlému zvýšení odtoku z nádrže již před 6:00 hod.
- Při manipulaci dle [11] by došlo ke strmějšímu (rychlejšímu) nárůstu odtoku. Skutečná manipulace s uzávěry neumožňuje prakticky okamžité vyhrazení všech uzávěrů tak, aby nebyla překročena maximální hladina. Reálné podmínky manipulace tak způsobily posunutí začátku rychlého odpouštění vody z nádrže oproti [11] o cca 1,5 hodiny. Samotný nástup odtoku byl z cca 20 minut dle [11] rozložen na cca 1 a čtvrt hodiny.
- Větší zadržovaný objem vody při první povodňové vlně logicky představuje pomalejší vyprazdňování nádrže před druhou povodňovou vlnou.

### 8.6.3 Souhrnné hodnocení způsobu manipulace

Souhrnně lze konstatovat, že manipulace probíhala s určitým zpožděním, což mělo za následek vytvoření větší časové rezervy a posunutí kulminace odtoku do dopoledních hodin, dále pak bylo dosaženo lepšího transformačního účinku než by bylo dosaženo při manipulaci dle [11]. Kvantifikace tohoto účinku je provedena v kapitole 8.6.2.

Při manipulaci byly dodrženy obecné požadavky (obsažené též v [11]):

- byl co nejdéle zachován neškodný odtok z VD,
- bylo dosaženo provozně bezpečného stavu (manipulace s výpustmi), který by spolehlivě umožnil snížení odtoku v případě nesprávné prognózy ČHMÚ,
- odtok na vzestupné větvi hydrogramu v žádnou chvíli nepřevýšil přítok do nádrže,
- oproti [11] bylo dosaženo lepšího transformačního účinku nádrže, kdy došlo ke snížení kulminace na přítoku  $Q_{pmax} = 84 \text{ m}^3/\text{s}$  na odtok  $Q_{omax} = 74,5 \text{ m}^3/\text{s}$  (tj. o 9 m<sup>3</sup>/s); manipulací nad rámec [11] využívající zkušenosti obsluhy díla bylo dosaženo mírně lepšího transformačního účinku – o cca 4 m<sup>3</sup>/s,
- nebylo dosaženo mezní bezpečné hladiny, přitom překročení maximální hladiny bylo možné očekávat při extremitě povodně s obou opakování cca  $N = 500$  let.

Analýza provedená v této studii ukázala, že obsluha vodního díla zvládla úspěšně kritickou extrémní povodňovou situaci. Podařilo se jí maximálně využít retenční kapacity díla aniž by došlo k ohrožení samotné hráze přehrady.

## 9. SOUHRNNÉ STANOVISKO, ZÁVĚR

### 9.1 Rekonstrukce přítoku do VD Hostivař

Výsledky modelových řešení ukázaly, že kulminační průtok na přítoku do nádrže dosáhl:

- v první povodňové vlně cca 84 m<sup>3</sup>/s, což odpovídá době opakování cca  $N = 500$  roků,
- v druhé povodňové vlně cca 40 m<sup>3</sup>/s, což odpovídá době opakování  $N < 50$  roků.

Celkový objem proteklé vody od chvíle monotónního nárůstu hladiny vody v nádrži 1. 6. 2013 v 15:00 hod do:

- kulminace odtoku 2. 6. 2013 v 12:00 hod. činil cca 2,6 mil. m<sup>3</sup>,
- konce první povodňové vlny 3. 6. 2013 v 12:20 hod. činil cca 6,3 mil. m<sup>3</sup>,
- konce záznamu dle [15] 4. 6. 2013 v 14:50 hod. činil cca 8,9 mil. m<sup>3</sup>.

Ve srovnání s tímto objemem je retenční objem nádrže (cca 0,53 mil. m<sup>3</sup>) málo významný.

### 9.2 Transformace povodňové vlny VD Hostivař

Část objemu první povodňové vlny zadržena nádrží byla cca 0,90 mil. m<sup>3</sup>.

Část objemu druhé povodňové vlny zadržena nádrží byla cca 0,19 mil. m<sup>3</sup>.

Z poměru objemu povodňové vlny a zadrženo objemu je zřejmé, že zejména v případě první vlny nebyla výraznější transformace odtoku možná. Přesto se manipulací na vodní díle, kdy do nádrže přitékal průtok s kulminací vyšší než cca  $Q_{500}$  podařilo i za cenu výraznějšího překročení maximální hladiny (s tím lze s ohledem na extremitu povodně počítat, mezní bezpečná hladina překročena nebyla) snížit kulminační průtok (cca 84 m<sup>3</sup>/s) do nádrže na odtok 74,50 m<sup>3</sup>/s, tedy o cca 9,5 m<sup>3</sup>/s.

Pokud by se manipulovalo striktně podle manipulačního řádu [11], byl by maximální transformovaný odtok cca 78,50 m<sup>3</sup>/s. Výsledky srovnání transformačního účinku povodňové vlny nádrží VD Hostivař (bez předvypouštění) jsou patrné z Přílohy 6.

### 9.3 Rekonstrukce průtoku pod VD Hostivař a manipulace na díle

Manipulace probíhala s určitým zpožděním oproti platnému manipulačnímu řádu [11]. To mělo za následek vytvoření větší časové rezervy a posunutí nástupu průtoku v první vlně odtoku o cca 3 hodiny. Současně bylo dosaženo lepšího transformačního účinku než by bylo dosaženo při manipulaci dle [11]. Kvantifikace tohoto účinku je provedena v kapitole 8.6.2.

Při manipulaci byly dodrženy obecné požadavky obsažené v [11] a uvedené v kapitole 8.6.3. Přitom nebyla ohrožena bezpečnost vodního díla, před dosažením MBH byla v kapacitě vypustných zařízení ještě dostatečná rezerva.

### 9.4 Rozbor nejistot

Provedené hydrologické, hydraulické a vodohospodářské výpočty ale také k samotná manipulace na vodním díle v průběhu povodňové situace je zatížena řadou nejistot. V této kapitole se pokusíme o jejich stručný výčet a v některých případech také o jejich kvantifikaci. Je nicméně zřejmé, že hlubší analýza nejistot je vědeckou prací přesahující rámec tohoto posudku. Přitom se zaměřujeme především na vyjádření nejistot v provedených výpočtech s uvedením jejich dopadu na přesnost výsledků řešení.

Nejistoty se obecně týkají jednak vstupních dat, dále pak výpočetních postupů a předpokladů přijatých při řešení. Ty mohou ovšem vyplývat z nedostatku a omezené přesnosti vstupních dat.

#### 9.4.1 Nejistoty ve vstupních datech

Vstupními daty při řešení byly:

- geodetické podklady zahrnující:
  - základní mapy 1:10000,
  - ZABAGED,
  - geodetické zaměření profilů na toku, LS, objektů na toku,
  - zaměření dna nádrže – batygrafie,
- údaje o vodních tocích a objektech, jejich morfologii, hydraulických charakteristikách,
- údaje o vodním díle,
- údaje ze srážkoměrných stanic,
- údaje z limnigrafických stanic,
  - výsledky hydrometrických měření,
  - zaměřené polohy hladiny,
  - odvozené průtoky,
- údaje ze zaměření kulminace odtoku 2. 6. 2013 ve vybraných profilech,
- údaje z ručních odečtů vodních stavů v nádrži v průběhu povodně,

Mapové podklady trpí značnou nepřesností, kdy úrovně odvozené z vrstevnic se mohou od skutečnosti lišit až v metrech. Jejich použití pro výpočty je omezené, slouží zejména k orientaci v povodí a získání povšechných informací. ZABAGED může mít chybu v desítkách centimetrů až kolem metru, jeho použití je možné pro řešení srážkoodtokového procesu. Nejpřesnější je geodetické zaměření. Jeho slabinou je omezená hustota zaměřených profilů, která u meandrujícího toku jako je Botič může dominantně ovlivnit výsledky řešení. Chyby ve vystižení polohy a rozměrů toku mohou dosahovat u dynamicky se vyvíjejícího toku až desítky metrů. Chyby ve stanoveném průtoku mohou přesáhnout 10%.

Údaje o vodních tocích a objektech zahrnují kromě rozměrových charakteristik také drsnostní, kontrakční a přepadové součinitele, které jsou obvykle subjektivně voleny dle zkušenosti řešitele. Odchytky ve volbě mohou dosahovat řádově kolem 10 až 20% s přímým ovlivněním výsledných průtočných množství.

Údaje o vodním díle jsou poměrně spolehlivé, vychází ze zaměření jednotlivých prvků zapracovaného do zpětné dokumentace, manipulačních řádů, apod. Hydraulické charakteristiky a z nich odvozené měrné křivky průtoku jednotlivými funkčními zařízeními jsou v případě VD Hostivař v řadě případů odvozeny z hydraulického modelového výzkumu. Chyba ve stanovení průtoku objekty dosahuje v řádu několika procent. Významné jsou také údaje o batygrafii nádrže, kde může odchylka v objemu nádrže činit kolem 1 % (Tab. 4.1).

Velmi důležité je stanovení nejistot u srážkoměrů a limnigrafických stanic [43]. Jde zejména o nejistoty v měření (srážky a průtoky). Spolehlivost údajů ze srážkoměrných stanic je odvislá od spolehlivosti kalibrace zařízení. Chyba dobře nakalibrovaného a provozovaného srážkoměru může dosahovat jednotlivých procent v objemu srážky. Významným problémem je omezená hustota srážkoměrných stanic a časoprostorová interpolace, resp. extrapolace měřených hodnot v zájmovém území. Obecně se jedná o nejistoty typu A a B. První nejistotou A je nejistota stanovená z opakovaného měření (tu lze vyčíslit), druhá nejistota B vychází z možných vlivů na vlastní měření. Mohou to být např. vliv prostředí, vliv metody měření, vliv volby přístroje, obsluhy a další vlivy. Zde je již značně složité odhadnout míru nejistoty B. U LS se nejistoty týkají [43]:



- měření vodních stavů (chyba 1 – 5 cm),
- průměrování vodních stavů (chyba 1 – 10 cm),
- měření šířek, hloubek a rychlostí a výpočet průtoků (2 – 10 %),
- konstrukce měrné křivky (chyba 5 – 25 %).

U měření průtoků se kombinovaná nejistota typu A a B pohybuje v intervalu 10 – 16 %. Stanovení nejistot v měření je v současné době aktuální úlohou a není možné jednoznačně určit jejich hodnoty, zejména u nejistoty typu B. Přesnost zaměření hladiny při kulminaci odtoku 2. 6. 2013 ve vybraných profilech je cca 5 – 10 cm. Údaje z ručních odečtů vodních stavů v nádrži v průběhu povodně mají nepřesnost  $\pm 5$  cm s ohledem na přesnost zaměření vodočetné lati, vlnění hladiny v nádrži apod.

#### 9.4.2 Nejistoty v modelových postupech

V této kapitole stručně komentujeme spolehlivost jednotlivých použitých postupů:

- srážkoodtokového modelu,
- vodohospodářské bilance,
- hydraulických výpočtů.

##### Srážkoodtokový model:

Okrajovou podmínkou při rekonstrukci přítoku vody do vodního díla Hostivař byly naměřené vodní stavy a z nich odvozené průtoky ve stanicích Benice a Průhonice. Důvodem tohoto postupu je snaha o eliminaci značných chyb vyplývajících z nedostatku vstupních podkladů, zejména absencí měření srážek ve značné části povodí, zejména východní části. Dalším problémem byla absence zaměření horních částí vodních toků, modelování dynamiky odtoku v tocích tak bylo prakticky nemožné. Modelování celého povodí by tak vnášelo již na počátku řešení do modelování značné nejistoty vyplývající z velmi omezeného vystižení skutečné srážkové události. Dalším důvodem je eliminace nejistot při modelování SOP v této části povodí na nejistoty pouze měření průtoků v limnigrafických stanicích (kapitola 9.4.1).

Při sestavování modelu a jeho kalibraci byly známé nejistoty typu B brány v úvahu (např. korekce srážek ve stanici Hostivař, korekce průběhu měření hladin na VD, apod.). Dále se jedná o nejistoty v odhadu vstupních parametrů modelu, které se podílejí na hydrologické a hydraulické transformaci. Opět se jedná o složitou úlohu při jejich odhadování.

Parametry, které jsou předmětem kalibrace, vycházely z analýzy vstupních údajů. Jejich počet byl volen co možná nejmenší, aby proces kalibrace byl přehledný a proveditelný. V našem byla vybrána pouze hodnota potenciální retence pro hydrologickou transformaci a Manningův součinitel drsnosti v inundacích, což zjednodušilo úlohu kalibrace. Změnou parametrů modelu se ovlivňoval průběh přítoku a tím i průběh hladiny. Shoda byla vyhodnocena jednak subjektivně, dále pak objektivním kritériem (např. relativní chybou odhadu - RMSE nebo kritériem Nash-Sutcliff – NS). Obě kritéria ukazují velmi dobrou shodu.  $RMSE=0,092$ ,  $SE=0,99$ . Vlastní kalibrace byla provedena manuálně.

Spolehlivost výsledků srážkoodtokového modelu odhadujeme následovně:

- odhad kulminace průtoku až  $\pm 20\%$ ,
- odhad časového průběhu až  $\pm 50$  min.

##### Vodohospodářské bilance

Spolehlivost vodohospodářské bilance je dána především spolehlivostí měření polohy hladiny, přesností batygrafických křivek a nejistotami ve stanovení odtoku. Zde je třeba upozornit na to,

že oscilace zaměřených hodnot polohy hladiny mohou způsobit značné nepřesnosti (oscilace) ve vypočtených přítocích do nádrže. Jeden centimetr v horních partiích nádrže představuje cca 6500 m<sup>3</sup> vody. To v desetiminutovém časovém kroku představuje možnou chybu ve stanovení průtoků více než 10 m<sup>3</sup>/s. Dvoucentimetrová odchylka v hladině pak vyvolá výpočetní odchylku cca 20 m<sup>3</sup>/s, apod. Z uvedeného důvodu byly jak hladina, tak čára ploch pro výpočet „vyhlazeny“. Je zřejmé, že výpočet kulminačního přítoku musí být „očištěn“ od uvedených výpočetních fluktuací.

#### Hydraulické výpočty

Praxe ukazuje, že v případě spolehlivých vstupních dat lze dosáhnout poměrně vysoké spolehlivosti ve výsledcích hydraulického modelování. V případě zájmových lokalit řešených v kapitole 8.3 byla největším problémem malá hustota zaměřených profilů a absence aktuálního zaměření (některé úseky toku podléhají výrazným morfologickým změnám). Odchylka ve vypočtených hladinách tak může dosáhnout v řádu až  $\pm 20$  cm, u průtoků pak cca 10 až 15 %.

#### **9.4.3 Souhrnné hodnocení**

Obecně nejspolehlivějším způsobem jak snížit nejistoty v případě omezeně spolehlivých vstupních dat je pečlivá kalibrace modelů a výpočetních postupů, popř. srovnání a sblížení výsledků různých nezávislých modelových řešení. V našem případě bylo řešení provedeno s využitím 3 nezávislých postupů – srážkoodtokového modelu, vodohospodářské bilance a hydraulických výpočtů proudění vody v tocích. Lze konstatovat, že odchylky v odvozených kulminačních průtocích v jednotlivých profilech nepřekračují  $\pm 10$  %. Spolehlivost časových údajů o přítocích vody do nádrže při zohlednění kumulace všech vstupujících nejistot odpovídá toleranci cca 40 minut.

## **10. NĚKTERÁ DOPORUČENÍ**

System pozorování a měření a také manipulace na vodním díle a v jeho povodí jsou poznamenány historickým vývojem, hlavním účelem nádrže, konstrukčním řešením funkčních zařízení vodního díla, dispozičními možnostmi umístění míst měření a pozorování a také metodami odečtu a jejich vyhodnocení. Níže uvedená doporučení se týkají zejména okolností vedoucích k účinnému zvládnutí možných budoucích povodňových situací na vodním díle.

### **10.1 *Limnigrafické stanice***

Rozmístění limnigrafických stanic a jejich četnost považujeme za poměrně vhodnou. Zkušenost získaná při povodni v 6/2013 ukazuje, že v řadě případů nejsou LS v detailu vhodně umístěny, dochází k zanášení propojovacího potrubí a také k dílčím morfologickým změnám koryta (nánosy) v místě stanice, popř. pod ní (např. Petrovice).

V případě průchodu vyšších průtoků je přesnost a spolehlivost měření některých stanic diskutabilní. Pokud dojde k vybřežení vody v místě stanice, postihuje kalibrovaná měrná křivka průtoků náhlou změnu průtočné plochy pouze omezeně (měl by na ní být patrný lom) a odvozené průtoky mohou být poněkud podhodnoceny. Provedené hydraulické výpočty nicméně ukázaly, že v případě málo rozsáhlého vybřežení s několikacentimetrovou hloubkou vody je chyba ve stanovení průtoků velmi malá.

Doporučujeme ve vazbě na [12], [40]:

- Provést revizi funkce limnigrafických stanic včetně doplnění jejich zaměření (doměření) včetně příčného profilu, inundačního území a souvisejících úseků toku. Přitom je třeba se zaměřit s ohledem na zkušenosti z jejich provozu na možné zanášení koryta v místě LS, popř. ucpávání propojovacího potrubí.
- Provést extrapolaci měrné křivky průtoku i nad břehovou hranu do výšky přesahující úroveň dosaženou při povodni v červnu 2013.
- Provést návrhy a realizaci stabilizace koryt toků v místě LS.

## **10.2 Manipulační řád**

Zkušenost z extrémní povodňové situace ukázala, že manipulační řád VD Hostivař nereflktuje zcela provozní podmínky a požadavky správce díla. Doporučujeme proto jeho revizi s přihlédnutím k následujícím skutečnostem:

- Pokyny k manipulaci doporučujeme zjednodušit a přizpůsobit manipulovatelnosti s jednotlivými zařízeními a také provozním zkušenostem správce díla.
- Z hlediska bezpečnosti a spolehlivosti manipulace se provozovateli osvědčilo manipulovat při povodni (ale i obecně) primárně se spodními výpustmi a odběrem. Otvírání stavidel s sebou přináší určité problémy při jejich následném zavírání do průtoku (vibrace) a také potíže s jejich dovíráním v případě nečistot a zachycených předmětů v prostoru dosedacího prahu, popř. v případě vzpříčení plávi mezi stavidlem a betonovou stěnou. Tomu doporučujeme přizpůsobit pokyny k manipulaci.
- Je třeba ověřit skutečné rozměry stavidel a výtokových otvorů při jejich otevření a pro ně ověřit výpočty kapacity bezpečnostního objektu. Současně doporučujeme kontrolu kapacity stavidel a jejich měrných křivek provozními testy se srovnáním průtočných množství v LS pod VD Hostivař.
- Manipulaci na VD při povodni doporučujeme vázat jak na polohu hladiny vody v nádrži, tak na pohyb hladiny v automatických LS v povodí nad nádrží. Praxe ukazuje (Příloha 4), že doby doběhu kulminace povodňové vlny z nejbzdálenějších stanic (Jesenice, Modletice, Kuří) do nádrže VD Hostivař přesahují 6 až 10 hodin.
- Doporučujeme provést důslednou revizi batygrafických čar na základě současného zaměření prostoru nádrže, a to až nad úroveň koruny hráze VD Hostivař. Čára objemů by měla být v souladu s čarou ploch.
- Doporučujeme do manipulačního řádu zapracovat nové poznatky z průběhu povodně v roce 2013, popř. dalších povodní.
- Doporučujeme používat důsledně výškový systém Balt po vyrovnání (Bpv) s uvedením odchylky mezi systémem Bpv a Jadran. Uvádění výšek v systému Jadran u batygrafických čar může být matoucí zejména ve stresových situacích povodňové události.

## **10.3 Provozní podmínky**

Provozovateli by v napjatých chvílích povodňové události mohly situaci usnadnit jednotné záznamy času (automatika odečítá v SEČ), manipulace probíhá v reálných podmínkách (letní, zimní čas).

Doporučujeme kvantifikovat a písemně dokumentovat jednotlivé odchylky a nepřesnosti v jednotlivých měřicích zařízeních a odečítaných hodnotách s uvedením jejich referenčního čtení (vodočetná latě, automatické snímání hladiny, atd.). Současně doporučujeme provést revizi míst jednotlivých měření a odečtů s ohledem na přístupnost zařízení, na přesnost a vypovídací

schopnost získaných hodnot (např. umístění vodočetné lati v rozsahu čáry snížení, v místech vlnění hladiny vody a na obtížně přístupných místech není vhodné).

Doporučujeme provést revizi vyhlášení jednotlivých SPA se zaměřením především na dosažení příslušných vodních stavů.

## 11. POUŽITÉ PODKLADY

- [1] TNV 75 2935 Posuzování bezpečnosti vodního díla při povodních.
- [2] Vyhláška č. 471/2001 Sb. o technickobezpečnostním dohledu nad vodními díly.
- [3] Vyhláška č. 367/2005 Sb., o technických požadavcích pro vodní díla (pův. 590/2002 Sb.).
- [4] ČSN 75 2310 Sypané hráze.
- [5] ČSN 75 0255 Výpočet účinků vln na stavby na vodních nádržích a zdržích.
- [6] ČSN 75 2405 Vodohospodářská řešení vodních nádrží.
- [7] BOOR, B. – KUNŠTÁTSKÝ, J. – PATOČKA, C. 1968. Hydraulika pro vodohospodářské stavby, SNTL Praha.
- [8] JANDORA, J. Programový produkt NADRZ, 2006 - 2009.
- [9] JANDORA, J. – ŘÍHA, J. Porušení sypaných hrází v důsledku přelití. Práce a studie Ústavu vodních staveb FAST VUT Brno, Sešit 1, ECON publishing, 11/2002, 188 s.
- [10] Hydrologické poměry ČSR. III. díl. ČHMÚ, 1973.
- [11] Manipulační a provozní řád pro VD Hostivař. VD TBD a.s. Praha. 10/2009.
- [12] Provozní manuál sítě limnigrafických stanic v povodí Botiče, CIŽP, Ateliér životního prostředí (Ing. Cyril Mikyška), Praha, 12/2008.
- [13] Základní vodohospodářské mapy 1 : 50 000 (12-24, 12-42, 13-31).
- [14] Stanovení záplavového území vodního toku Botiče a jeho přítoků na území hl. m. Prahy. Hydroprojekt a.s., Praha, 3/2006. <http://www.lesypraha.cz/?cat=30711>.
- [15] Hydrogramy a průběhy srážek ve vybraných stanicích v období 27.5 – 4.6.2013, LČR, a.s., 7/2013.
- [16] Průběh manipulace s funkčním zařízením VD Hostivař při povodni v roce 2013. Výpis.
- [17] Data ZABAGED, ČUZK Praha, 2012.
- [18] BROŽA, V. a kol. Přehrady Čech, Moravy a Slezska. Knihy 555, Liberec, 2009, 256 s.
- [19] Vodní nádrž Hostivař. Wikipedie (Otevřená encyklopedie). Dostupné na [http://cs.wikipedia.org/wiki/Vodn%C3%AD\\_n%C3%A1dr%C5%BE\\_Hostiva%C5%99](http://cs.wikipedia.org/wiki/Vodn%C3%AD_n%C3%A1dr%C5%BE_Hostiva%C5%99) (24. 7. 2013).
- [20] Hostivařská přehrada. Dostupné na <http://www.hostivarskaprehrada.cz/o-prehrade> (24. 7. 2013).
- [21] Odbahnění a revitalizace VD Hostivař. Lesy hl. m. Prahy. Dostupné na <http://www.lesypraha.cz/?cat=303&aid=744> (24. 7. 2013).
- [22] Hostivařská nádrž se po důkladném odbahnění opět naplňuje vodou. Praha.eu (portál hl. m. Prahy). Dostupné na [http://www.praha.eu/jnp/cz/home/magistrat/tiskovy\\_servis/tiskove\\_zpravy/hostivarska\\_nadrz\\_se\\_po\\_dukladnem.html](http://www.praha.eu/jnp/cz/home/magistrat/tiskovy_servis/tiskove_zpravy/hostivarska_nadrz_se_po_dukladnem.html) (24. 7. 2013).
- [23] Ortofotomapa Praha. Dostupné na <http://www.mapy.cz/#!x=14.540123&y=50.037973&z=14&l=15&c=2-3-8-15-25-H> (24. 7. 2013).
- [24] Základní hydrologické údaje pro tok Botič v profilu hráze VD Hostivař a pravděpodobný teoretický průběh stoleté povodňové vlny v profilu hráze VD Hostivař (ČHP 1-12-01-020). ČHMÚ 2009 (19. 5. 2009).
- [25] Základní hydrologické údaje pro toky Hájecký potok, Milíčovský potok a Dobrá vody, vždy v profilu ústí. ČHMÚ 1994 (29. 6. 1994).
- [26] Evidenční list hlásného profilu č. 210 (kategorie B). Tok Botič, stanice VD Hostivař (aktualizace leden 2006). Dostupné na [http://hydro.chmi.cz/hpps/hpps\\_bklist.php?srt=](http://hydro.chmi.cz/hpps/hpps_bklist.php?srt=)

&fkraj=&fpob=&fucpov=&kat=&fkat=&sort=&sort\_type=&startpos=200&recnum=50  
(25. 7. 2013)

- [27] Zpráva z povodňové události z 31. 5. - 2. 6. 2013 na vodním toku Botič v profilu VD Hostivař, Pracovní verze 1 a 2, Lesy hl. m. Prahy, 6/2013.
- [28] Zaměření skutečného stavu údočných profilů a zpracování s vynesemím Q100, Q50, Q20 a současné hladiny po povodních 6/2013– Botič. V. Eidlpez, 7/2013.
- [29] Zaměření limnigrafů. Geodetické zaměření skutečného provedení stavby. V. Eidlpez, 7/2013.
- [30] HEC-HMS. Hydrologic Modelling system. Technical reference manual, EM 1110-2-1417. USACE, Washington, DC 20314-1000, 2000.
- [31] Místní šetření provedené dne 9. 8. 2013.
- [32] Předběžná informace o hydrometeorologických aspektech povodní v červnu 2013. ČHMÚ. Dostupné na [http://www.chmi.cz/files/portal/docs/hydro/Povoden\\_6\\_2013-predbezna\\_informace.pdf](http://www.chmi.cz/files/portal/docs/hydro/Povoden_6_2013-predbezna_informace.pdf) (30. 7. 2013)
- [33] Výstrahy ČHMU PVI 2013.
- [34] HEC-HMS, Hydrologic Modelling system. User's Manual. USACE, Washington, DC 20314-1000, 2006.
- [35] HEC-GeoHMS Geospatial Hydrologic Modeling Extension, User's Manual. USACE, 2000.
- [36] ŠERCL, P. Vliv fyzicko-geografických faktorů na charakteristiky teoretických návrhových povodňových vln, sborník prací ČHMÚ Praha, svazek 54. 2009.
- [37] Digitalizovaná mapa BPEJ, VÚMOP Praha.
- [38] CORINE Land Cover. Databáze krajinného pokryvu. 2006.
- [39] HEC-RAS 4.1, Hydraulic Reference Manual, USACE, CPD-69, Washington, 2010.
- [40] SKLENÁŘ, P. Stanovení měrných křivek profilů limnigrafických stanic na tocích v povodí Botiče. Lesy hl. m. Prahy, 2010.
- [41] Situace hráze a nádrže VD Hostivař. Digitální model terénu. Lesy hl. m. Prahy, 2010.
- [42] Záznamy z odečtů hladin při povodňové situaci 2. 6. 2013 poskytnuté správcem díla.
- [43] KULASOVÁ, B, KAŠPÁREK, L. Podklad pro řešení grantového projektu GaČR 103/03/Z003 (zak.č. 03143), Praha 2003.

## 12. SEZNAM ZKRATEK

Bpv	Balt po vyrovnání
ČR	Česká republika
LS	limnigrafická stanice
MBH	mezní bezpečná hladina
MHMP	Magistrát Hlavního města Prahy
MŘ	manipulační řád
MZe	Ministerstvo zemědělství
SEČ	středoevropský čas
SELČ	středoevropský letní čas = SEČ + 1 hodina
SO	stavební objekt
TBD	technickobezpečnostní dohled
VD	vodní dílo

## **13. SEZNAM PŘÍLOH**

1. Umístění VD Hostivař
2. Mapa povodí VD Hostivař (dle [11])
3. Čáry zatopených ploch a objemů VD Hostivař
4. Hydrogramy v limnigrafických stanicích nad nádrží VD Hostivař
5. Hydrogramy na přítoku do nádrže VD Hostivař
6. Transformace povodně VD Hostivař – srovnání manipulací
7. Doklady

V Brně, září 2013

Prof. Ing. Jaromír Říha, CSc.