

---

## Studie rekonstrukce VD Harcov

---

*Alice Bohatá, Fakulta stavební ČVUT, bohata.alice@gmail.com*

### **Anotace**

Pro vodní dílo Harcov byl v roce 2006 zpracován nevyhovující posudek podle TNV 752935 *Posuzování bezpečnosti vodních děl při povodních*. Z toho popudu je plánovaná rekonstrukce vodního díla. Pro ověření vhodnosti úprav a jejich kombinací byl na Fakultě stavební ČVUT v roce 2017 zhotoven fyzikální hydraulický model.

### **Klíčová slova**

Přehrada, bezpečnostní přeliv, extrémní povodeň, navýšení kapacity, fyzikální hydraulický model

### **Abstract**

In 2006 the flood risk assessment for dam Harcov was made according to TNV 752935 "Flood risk assessment". While solving the transformation of ten-thousand-year water in the tank it was obvious from the results that it is not possible to transform the flood waves that could occur in the protection area of the tank and that the overtopping of the dam will happen in all cases.

For the assessment of suitable modifications, a hydraulic model was developed at the 1:17 scale in the water services laboratory of the Faculty of Civil Engineering. Subsequently, a series of design flows were tested ( $Q_1$ - $Q_{10.000}$ ).

This report deals with a brief description of the dam and its parts. It describes the model and the way the measurements are made. Here are the proposed construction works on the dam and its components. Above all, it deals with the measured velocity at the end of the reconstruction and their evaluation. Based on these measurements, it is possible to select the most appropriate combination of modifications, from the point of view of optimization of hydrodynamic effect.

## 1 ÚVOD

Vodní dílo Harcov, ležící v Severních Čechách, patří do soustavy přehrad pro regulaci odtokových poměrů v povodí Lužické Nisy. Podnětem k výstavbě přehrady byly katastrofální povodně na konci 19. století, zejména povodeň z 30. července 1897, kdy byl zjištěn nejvyšší průtok Harcovským potokem v Liberci  $20 \text{ m}^3/\text{s}$ .

V roce 2006 byl zpracován posudek bezpečnosti VD za povodní. Posudek byl vypracován podle TNV 752935 „Posuzování bezpečnosti vodních děl při povodních“. Hydrologickým podkladem byly hydrogramy teoretických povodňových vln pro pravděpodobnost překročení kulminačního průtoku  $p_Q = 0,0001$ , stanovené v rámci studie ČHMÚ. V rámci studie byly odvozeny dvě teoretické povodňové vlny PV 10000, odvozené z 1 a 2 denní srážky. Při řešení úlohy transformace PV v nádrži bylo z výsledků patrné, že obě teoretické povodňové vlny nelze v ochranném prostoru nádrže ztransformovat a ve všech řešených případech dojde k přelití koruny hráze. Z toho vyplývá, že VD Harcov nesplňuje požadavek na bezpečné převedení desetitisícileté povodně, který náleží vodnímu dílu II. kategorie a je nutné přejít k rekonstrukci, která zajistí navýšení kapacity.

Za tímto účelem je ve vodohospodářské laboratoři ČVUT zhotoven fyzikální hydraulický model, na kterém jsou měřeny a sledovány jednotlivé varianty rekonstrukce. Na základě těchto měření bude po projednání s projektanty rekonstrukce zvoleno nejvhodnější řešení.

## 2 HISTORIE A POPIS VD

Vodní dílo Harcov bylo postaveno v bezprostřední blízkosti města Liberec v letech 1902 až 1904 podle projektu Dr. Ing. Otto Intze. Přirozeným rozvojem města se stalo městskou přehradou. Tato zděná, gravitační, půdorysně zakřivená přehrada o výšce 19 m se nachází na Harcovském potoce v říčním km 1,68.

### 2.1 Účely vodního díla

Hlavními účely vodního díla jsou podle platného manipulačního řádu (MŘ):

- 1) Zmírnění velkých vod a částečná ochrana území ležícího pod nádrží a dalšího povodí Lužické Nisy před velkými vodami.
- 2) Zajištění minimálního zůstatkového průtoku pod nádrží.
- 3) Zajištění odběru pro průmyslovou spotřebu.
- 4) Energetické využití odtoku z nádrže k výrobě elektrické energie v průběžné vodní elektrárně, která je součástí vodního díla.
- 5) Nadlepšení průtoku při havarijním znečištění vody v toku pod nádrží nebo jeho přítocích.
- 6) Individuální rekreace a sportovní rybaření.

## 2.2 Rozdělení prostoru nádrže

Vyčleněný prostor	Kóta hladiny [m n. m. (Bpv)]	Objem [tis. m <sup>3</sup> ]	Zatopená plocha [tis. m <sup>2</sup> ]
Prostor stálého nadržení	364,9	48,50	34,324
Zásobní prostor nádrže	370,5	350,42	101,249
Celkový ovladatelný prostor	372,9	630,00	133,860
Ochranný neovladatelný prostor	373,4	56,89	140,654
Celkový prostor	373,4	686,89	140,654

Tabulka 1 - Rozdělení prostoru nádrže

## 2.3 Popis vodního díla

VD Harcov se skládá z těchto základních objektů:

- 1) vzdouvací objekt (zděná hráz z lomového kamene, gravitační, půdorysně zakřivená)
- 2) spodní výpusti (2x DN 800)
- 3) malá vodní elektrárna
- 4) odběrné potrubí (z nádrže DN 400, z náhonu DN 800)
- 5) bezpečnostní přeliv (korunový, volný)

### 2.3.1 Hráz

Vzdouvací objekt tvoří gravitační hráz zděná z lomového kamene, půdorysně zakřivená ( $R = 120$  m v hraně vzdušního líce).

Hrázové zdivo je založeno na skalním podkladě (hrubozrnná liberecká žula). Jedná se o porfyrickou biotonickou žulu. Zdravá skála byla nalezena v hloubce 4 až 6 m pod terénem. Utěsnění na základové spáře hráze nebo v jejím podloží se neprovádělo. Injekční práce v dnešním pojetí ještě nebyly v té době používány. Určité těsnící účinky mají úpravy u návodní paty hráze a návodní předsyp. Těsnění podloží nebylo provedeno ani v dalším provozu VD.

### Současné parametry hráze

Kóta koruny hráze	373,90 m n. m.
Délka koruny hráze	157 m
Šířka koruny hráze	4,5 m
Šířka hráze v patě	16,1 m
Maximální výška hráze nad terénem	cca 13,0 m
Maximální výška hráze nad zákl. spárou	19,0 m
Sklon návodního líce	1:0,125, od kóty 362,90 m n. m. přechází ke dnu mírným obloukem až do sklonu 1:0,5

Sklon vzdušního líce 1:0,4 plynule se mění směrem ke dnu až do sklonu 1:0,75

Na návodní straně před zděnou částí hráze je ochranný předsyp krytý kamenným násypem s urovnaným povrchem ve sklonu 1:2 vyvedeným do kóty 368,60 m n. m.

### Materiál hráze

Zdivo hráze je z místního lomového kamene (žula) zděné na maltu cementotrasovou (objemově 1:1). Složení malt: cementová 1:3, trasová (1,5 dílu trasu, 1 dílu vápna, 1,75 dílu písku). Jednotlivé kameny byly před uložením do zdiva očištěny drátěnými kartáči a proudem vody o tlaku min. 2 atm. Měrná váha zdiva je cca 2300 kg/ m<sup>3</sup>.

### 2.3.2 Bezpečnostní přeliv

Korunový volný přeliv je situovaný na levé straně hráze. Má 5 polí šířky cca 5 m – celková šířka přelivu je 25 m. Světlá šířka přelivů se zmenšuje na vzdušné straně o 0,16 m v důsledku příčného zakřivení hráze. Kóta přelivné hrany korunového přelivu je 372,90 m n. m. Jednotlivá pole přelivu jsou překlenuta, klenbové oblouky mají patky ve výši 0,3 m (373,20 m n. m.) a záklenby ve výši 0,7 m (373,60 m n. m.).

Kóta hladiny [m n. m.]	1 pole [m <sup>3</sup> /s]	5 polí [m <sup>3</sup> /s]
373,3	2,32	11,58
373,4	3,26	16,31

Tabulka 2 - Kapacita přelivu

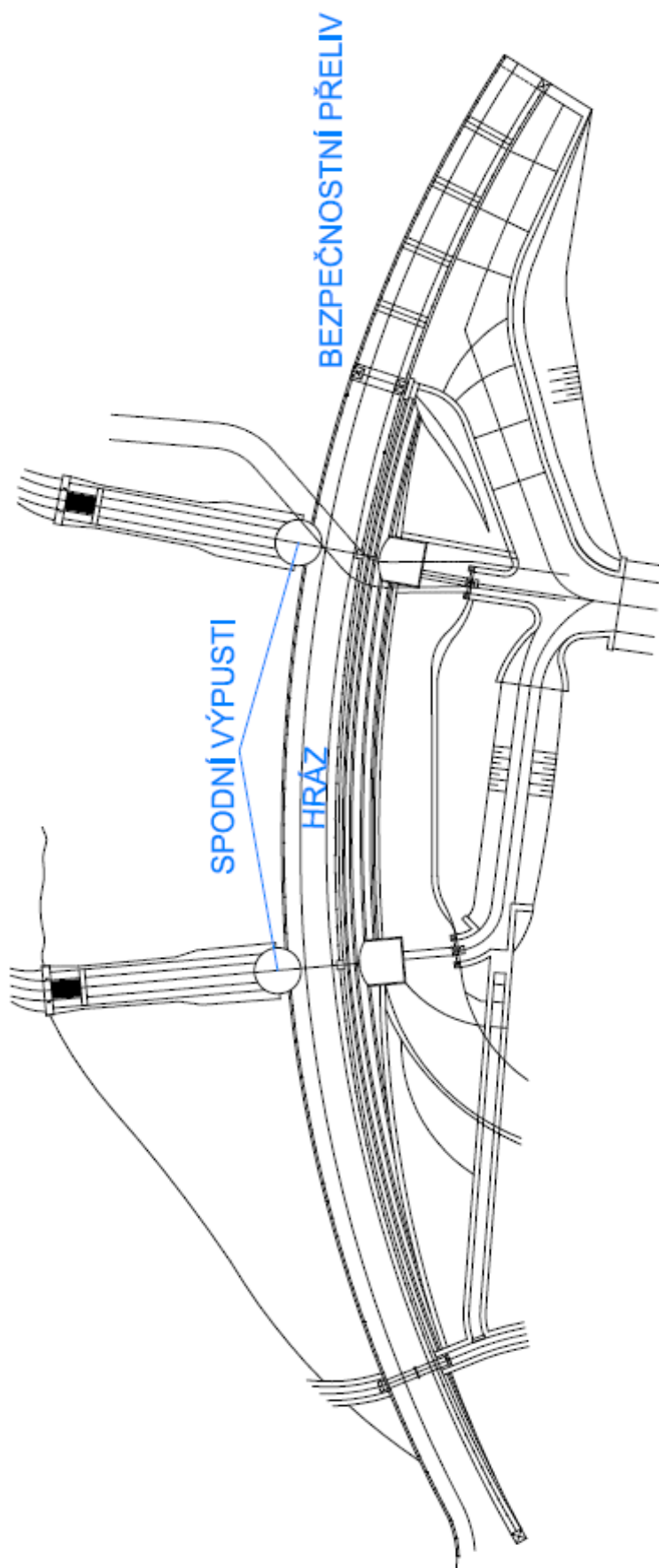
Za přelivem je kaskáda sestávající se ze 7 stupňů vysokých 0,6 – 2,1 m.

### 2.3.3 Spodní výpusti

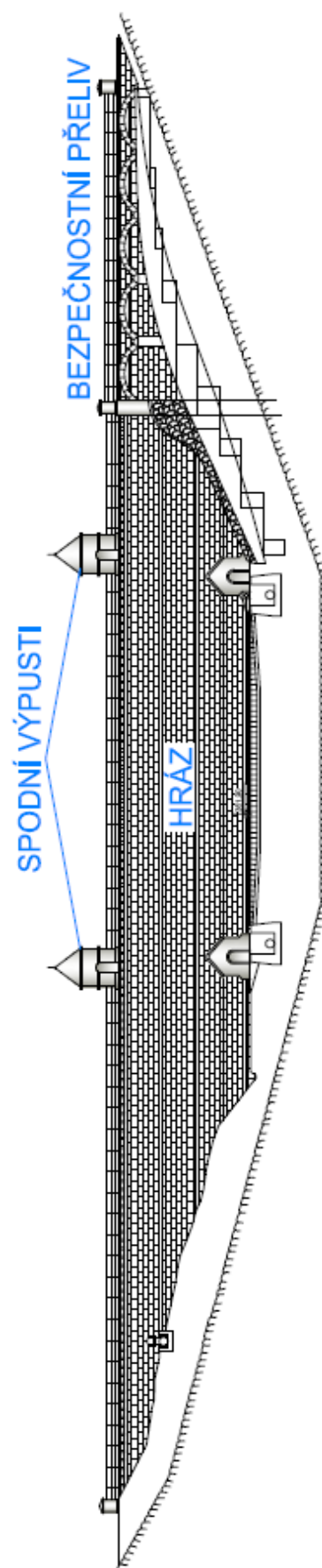
Spodní výpusti jsou trubní DN 800 mm, délky cca 18 m. Obě výpusti jsou opatřeny na návodní straně ocelovými stavidly a na vzdušné straně litinovými klínovými šoupátky. Ke spodním výpustem přísluší pod předsypem přívodní klenuté štol, opatřené na vtoku česlemi a drážkami na provizorní hrazení. Zátky štol na protivodní straně potrubí jsou ze tří vrstev kabřincového zdiva ve tvaru komolého kužele.

Hladina v nádrži [m n. m.]	364,90	370,50	372,90
Kapacita jedné spodní výpusti [m <sup>3</sup> /s]	3,50	5,40	6,10

Tabulka 3 - Kapacita spodní výpusti



Obr. 1 - Půdorys hráze



Obr. 2 - Pohled na hráz ze vzdušného líce

## 2.4 Hydrologické údaje

Pro účely hydraulického výzkumu jednotlivých variant rekonstrukce byly použity N-leté průtoky získané od ČHMÚ z roku 2016.

N [roky]	1	2	5	10	20	50	100	10.000
$Q_N$ [ $m^3/s$ ]	4,0	7,3	13,6	20,2	27,4	42,2	55,1	88,9

Tabulka 4 – N-leté průtoky ČHMÚ 2016

## 3 HYDRAULICKÝ MODEL

Na základě požadavku na posouzení výše zmíněného vodního díla z hlediska kapacity a bezpečného převedení extrémních povodní, byl ve vodohospodářské laboratoři ČVUT zhotoven v průběhu roku 2017 fyzikální hydraulický model výseku tohoto vodního díla. Konkrétně se jedná o bezpečnostní přeliv s kaskádovým skluzem, spodní výpusti, vývar a část odpadního koryta. Měřítko modelu je 1:17. Volba měřítka se odvíjí od průměru navrhovaných rekonstruovaných spodních výpustí a od laboratorních možností tak, aby na modelu nedocházelo ke zkreslení pozorovaných hydrodynamických jevů. Celkové rozměry modelu jsou cca 3,5 x 1,5 x 1,2 m.

Měřítko pro rychlost, průtok a časový průběh jsou odvozena od délkového měřítka modelu na základě vzorců:

$$M_v = M_l^{1/2} \quad M_v = 4,1$$

$$M_Q = M_l^{5/2} \quad M_Q = 1192$$

$$M_t = M_l^{1/2} \quad M_t = 4,1$$

Aplikací měřítka průtoků na N-leté průtoky jsme získali velikosti průtoků používaných během měření všech zkoumaných variant. N-leté průtoky jsme doplnili o 4 doplňkové tak, aby došlo k zahuštění měřených údajů.

	$Q_1$	$Q_2$	$Q_5$	$Q_{10}$	$Q_{20}$	$Q_A$	$Q_{50}$	$Q_B$	$Q_{100}$	$Q_C$	$Q_D$	$Q_{10.000}$
Skutečnost [ $m^3/s$ ]	4,0	7,3	13,6	20,2	27,4	34,8	42,2	48,7	55,1	66,8	78,5	88,9
Model [l/s]	3,4	6,1	11,4	17,0	23,0	29,2	35,4	40,9	46,2	56,1	65,9	74,6

Tabulka 5- Přehled skutečných a přepočtených průtoků používaných na modelu

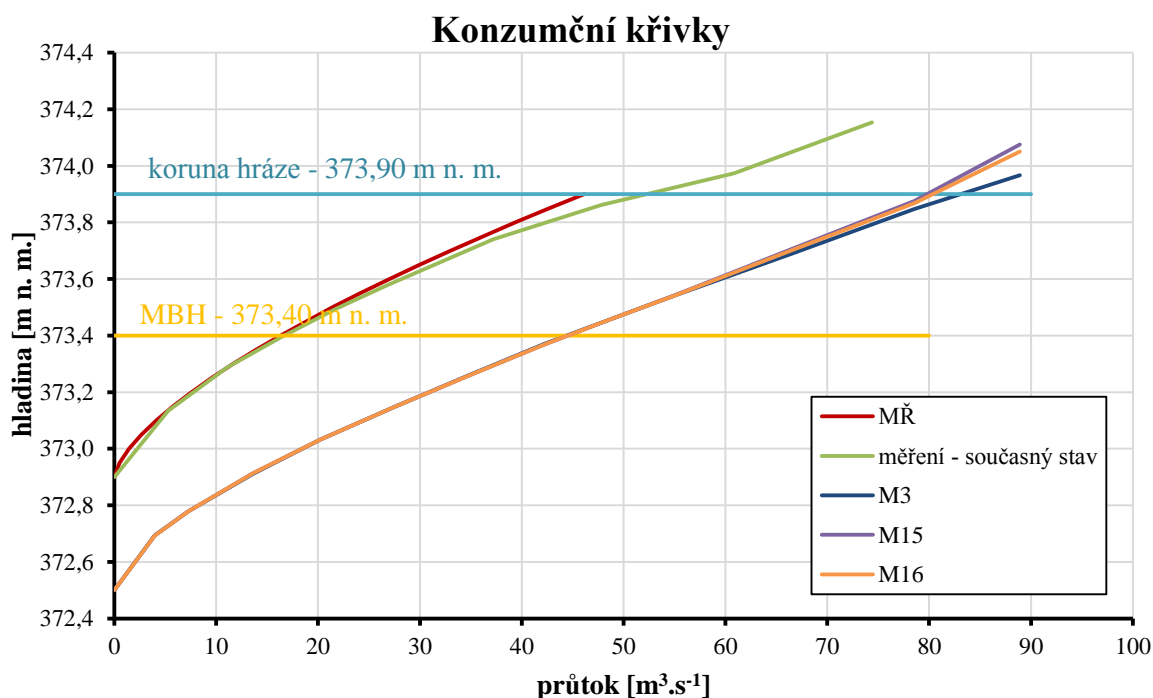
## 4 VARIANTY ÚPRAV - MĚŘENÍ

Za účelem navýšení kapacity VD byly navrženy tyto úpravy:

- Snížení přelivné hrany bezpečnostního přelivu
- Změna tvaru přelivné plochy bezpečnostního přelivu
- Umístění měrného jízku na konec úpravy
- Výstavba usměrňovacího žebra v kaskádovém skluzu
- Další navýšení usměrňovacího žebra
- Prohloubení vývaru
- Snížení části levé zdi podél kaskádového přelivu
- Odstranění klenby z polí bezpečnostního přelivu

Všechny tyto varianty byly měřeny v různých vzájemných kombinacích. Celkem bylo provedeno 16 měření.

Měřená byla výška hladiny v nádrži stejně jako hladiny na jednotlivých stupních kaskádového přelivu. Z těchto údajů byly stanoveny konzumční křivky.



Graf 1- Porovnání některých konzumčních křivek

Dále byly měřeny rychlosti u dna na konci úpravy. Měření probíhalo pro každý z průtoků ve třech profilech. Uprostřed toku a při obou březích, tím byl optimálně pokryt profil toku.

### Spodní výpusti:

	M1	M2	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M12	M13	M14
Q <sub>1/4</sub>	1,20	0,70	1,07	0,82	1,20	0,29	0,91	0,95	0,37	0,95	0,82
	0,82	0,87	0,87	0,74	1,11	0,78	0,62	1,11	0,87	0,62	0,99
	0,45	0,70	0,70	0,62	0,95	0,82	0,74	1,15	0,91	0,74	0,99
Q <sub>1/2</sub>	1,77	0,95	1,24	1,15	1,48	0,37	1,15	0,82	0,49	0,95	0,74
	0,99	0,99	0,74	1,07	1,28	0,95	0,82	1,07	1,03	0,82	1,15
	0,25	0,82	0,49	0,87	0,78	0,91	1,11	1,03	0,91	1,03	1,03
Q <sub>3/4</sub>	1,90	1,28	1,44	1,32	0,74	0,58	1,20	0,66	0,37	0,99	0,82
	1,15	1,20	0,54	1,20	1,07	1,03	0,95	0,78	0,87	0,99	0,99
	0,45	0,95	0,41	0,95	1,65	0,66	1,15	1,20	0,82	1,24	1,28
Q <sub>max</sub>	4,87	1,65	0,82	1,61	0,37	1,15	0,82	0,37	0,45	0,74	0,54
	1,28	1,44	0,41	1,36	0,58	0,45	1,11	0,41	0,66	0,99	0,58
	1,65	1,07	0,70	0,95	1,32	0,99	1,15	1,03	1,15	1,20	0,91

Tabulka 6- Přehled rychlostí u dna, při průtoku pouze spodními výpustmi [m/s]

- M1: levá SV - rychlostní profil na konci úpravy
- M2: pravá SV - rychlostní profil na konci úpravy
- M4: levá SV- rychlostní profil posunut 4 m za úpravu
- M5: pravá SV - rychlostní profil posunut 4 m za úpravu
- M6: obě SV - rychlostní profil posunut 4 m za úpravu
- M7: levá SV - rychlostní profil posunut 4 m za úpravu, měrný jízek
- M8: pravá SV - rychlostní profil posunut 4 m za úpravu, měrný jízek
- M9: obě SV - rychlostní profil posunut 4 m za úpravu, měrný jízek
- M12: levá SV - rychlostní profil posunut 4 m za úpravu, měrný jízek, prohloubený vývar
- M13: pravá SV - rychlostní profil posunut 4 m za úpravu, měrný jízek, prohloubený vývar
- M14: obě SV - rychlostní profil posunut 4 m za úpravu, měrný jízek, prohloubený vývar

### Bezpečnostní přeliv:

- M3: návrhový stav, konzumční křivka přelivu - rychlostní profil na konci úpravy
- M10: návrhový stav, bezpečnostní přeliv - rychlostní profil posunut 4 m za úpravu, měrný jízek
- M11: návrhový stav, bezpečnostní přeliv - rychlostní profil posunut 4 m za úpravu, měrný jízek, navýšení usměrňovacího žebra ve skluzu
- M15: návrhový stav, konzumční křivka přelivu - rychlostní profil posunut 4 m za úpravu, měrný jízek, navýšení usměrňovacího žebra ve skluzu, prohloubení vývaru, klenby nad přelivy



- M16: návrhový stav, konzumční křivka přelivu - rychlostní profil posunut 4 m za úpravu, měrný jízek, navýšení usměrňovacího žebra ve skluzu, prohloubení vývaru, klenby nad přelivy, snížení levé zdi o 0,25 m

	<b>M3</b>	<b>M10</b>	<b>M11</b>	<b>M15</b>	<b>M16</b>
Q <sub>1</sub>	0,95	0,91	0,91	0,66	0,66
	1,07	0,66	0,66	0,66	0,66
	1,11	0,95	0,95	0,91	0,91
Q <sub>2</sub>	0,99	1,03	1,03	0,99	0,99
	1,15	1,15	1,15	0,99	0,99
	1,32	1,40	1,40	1,24	1,24
Q <sub>5</sub>	1,28	1,07	1,07	0,99	0,99
	1,32	1,24	1,24	1,24	1,24
	1,32	1,36	1,36	1,40	1,40
Q <sub>10</sub>	0,70	0,58	0,49	0,66	0,66
	1,11	0,82	0,62	0,87	0,87
	1,20	0,95	0,87	0,82	0,82
Q <sub>20</sub>	0,41	0,37	0,33	0,41	0,41
	0,91	0,87	0,95	0,74	0,74
	1,53	0,87	0,70	0,74	0,74
Q <sub>A</sub>	0,54	0,54	0,62	0,49	0,49
	1,03	1,11	0,95	1,03	1,03
	2,31	1,32	1,07	1,03	1,03
Q <sub>50</sub>	0,45	0,66	0,82	0,70	0,70
	1,15	1,40	1,44	1,36	1,36
	2,52	1,40	1,65	1,53	1,53
Q <sub>B</sub>	0,66	0,82	0,91	0,87	0,87
	1,65	1,69	1,57	1,44	1,44
	3,01	1,69	1,65	1,48	1,48
Q <sub>100</sub>	0,70	0,91	0,87	1,28	1,20
	1,77	1,73	1,65	1,69	1,61
	3,22	1,86	1,69	1,44	1,48
Q <sub>C</sub>	1,11	1,40	1,11	1,44	1,40
	2,14	1,90	1,81	1,69	1,73
	3,38	2,10	1,90	1,65	1,81
Q <sub>D</sub>	1,48	1,44	1,48	1,57	1,65
	2,56	2,19	1,98	2,02	2,10
	3,92	2,35	2,23	2,14	2,19
Q <sub>10.000</sub>	1,77	1,61	1,61	1,86	1,94
	2,84	2,43	2,27	2,39	2,39
	4,00	2,76	2,35	2,68	2,60

Tabulka 7-Přehled rychlostí u dna při průtoku pouze BP [m/s]

## 5 VYHODNOCENÍ MĚŘENÍ

Při porovnání výsledků z jednotlivých variant lze vyzorovat, že největší snížení rychlostí je patrné mezi výchozí první variantou (snížení přelivné hrany a optimalizace tvaru přelivné plochy) a variantou jedenáct, kde k úpravám bezpečnostního přelivu přibýly měrný jízek na konci úpravy a navýšené usměrňovací žebro v kaskádovém skluzu.

Z pohledu hladin v nádrži, je nejvýhodnější varianta 3, ve které je kromě snížení přelivné hrany a změny jejího tvaru odstraněna také klenba podpírající mostovku přes přelivná pole bezpečnostního přelivu. Při ponechání klenby může při extrémních průtocích docházet i k přelivu koruny hráze.

Také bylo vyzorováno, že při maximálních průtocích spodními výpustmi vývar neplní svou funkci a nedochází tam k tlumení energie. Proto je doporučeno ho prohloubit alespoň o 0,25m, kde jak se potvrdilo, svou funkci již plní.



Obrázek 1- Pohled na nefunkční vývar při maximálním průtoku levou spodní výpustí (M4)



Obrázek 2- Pohled na kaskádový skluz při průtoku  $Q_{10.000}$  (M15)

*Tento příspěvek byl napsán za finančního přispění grantu SGS17/066/OHK1/1T/11 „Výzkum hydraulicky komplikovaného proudění vody na hydrotechnických stavbách“.*

## 6 BIBLIOGRAFIE

**Richtr, David a Klemša, Tomáš.** *VD HARC OV: Studie opatření k zajištění bezpečnosti vodního díla při povodních.* Praha : Povodí Labe, 2008.

**Havlík, Vladimír a Marešová, Ivana.** *HYDRAULIKA Příklady.* Praha : Vydavatelství ČVUT, 1997. ISBN 80-01-01586.

**Kolář, Václav, Patočka, Cyril a Bém, Jiří.** *Hydraulika.* Praha : SNTL, 1983.

**Broža, Vojtěch.** *Přehrady.* Praha : SNTL, 1987.

**Půbal, Ondřej.** *Diplomová práce - VD Harcov: Ověření kapacity bezpečnostního přelivu.* Praha ČVUT, 2009