



SLOVENSKÝ  
VODOHOSPODÁRSKY  
PODNIK, štátny podnik



# XXXVI. PRIEHRADNÉ DNI 2018

24. - 26. október 2018, Bratislava

ZBORNÍK PRÍSPEVKOV

Slovenský vodohospodársky podnik, štátny podnik, Odštepny závod Bratislava  
Slovenský priehradný výbor

# **XXXVI. PRIEHRADNÉ DNI 2018**

**24. - 26. október 2018**

**Bratislava**

**Zborník príspevkov**

Medzinárodná konferencia XXXVI. Priehradné dni 2018  
24. – 26. október 2018, Bratislava

Odborné témy konferencie:

1. Starnutie priehrad
2. Bezpečnosť priehrad a riziková analýza
3. Priehrady a geológia
4. Malé vodné nádrže
5. Vodné nádrže a extrémne hydrologické javy

*Editor:* prof. Ing. Emília Bednárová, PhD.  
*Názov diela:* XXXVI. Priehradné dni 2018 – Zborník príspevkov  
*Recenzenti:* prof. Ing. Emília Bednárová, PhD.  
prof. Ing. Andrej Šoltész, PhD.  
doc. Ing. Ladislav Satrapa, Ph.D.  
*Vydalo:* SLOVNENSKÝ VODOHOSPODÁRSKY PODNIK, štátny podnik  
*Spracoval:* Slovenský vodohospodársky podnik, štátny podnik, Odštepny závod Bratislava  
*Kontaktná adresa:* Karloveská 2, 842 17 Bratislava  
*Tel.:* 02 / 602 92 111  
*Počet strán:* 325  
*Poradie vydania:* 1.  
*Poznámka:* Zborník neprešiel jazykovou korektúrou.

ISBN: 978-80-570-0381-6

**OBSAH**

<b>I. STARNUTIE PRIEHRAD .....</b>	<b>6</b>
VODNÉ DIELO KUNOV TECHNICKÉ OPATRENIA POČAS 50 ROKOV PREVÁDZKY Zuzana Čulenová .....	7
VODÁRENSKÁ NÁDRŽ HRIŇOVÁ - 50 ROKOV PREVÁDZKY VODNEJ STAVBY Tomáš Ič, Rudolf Sýkora .....	24
SKÚSENOSTI A POZNATKY Z PREVÁDZKY VODNEJ STAVBY VEĽKÁ DOMAŠA PO 50-TICH ROKOCH Eva Kolesárová.....	32
STÁRNUTÍ PŘEHRAD, TECHNICKÝ I LEGISLATIVNÍ POHLED Richard Kučera .....	38
VEĽKÝ RYBNÍK NA VRCHLICI – REKONSTRUKCE HISTORICKÉHO VODNÍHO DÍLA Pavel Svatoš, Pavel Křivka .....	46
VODNÍ DÍLO BŘEZOVÁ – OPRAVA CHODNÍKŮ NA KORUNĚ HRÁZE Jan Svejkovský, Petra Suchopárková.....	56
60. ROKOV PREVÁDZKY VS NOSICE Dušan Fejer.....	61
<b>II. BEZPEČNOSŤ PRIEHRAD A RIZIKOVÁ ANALÝZA .....</b>	<b>68</b>
NAMÁHÁNÍ KONSTRUKCÍ ŠACHTOVÝCH PŘELIVŮ VYVOZENÉ AXIÁLNÍM A SPIRÁLNÍM PROUDĚNÍ Miroslav Brouček, Martin Králík, Ladislav Satrapa .....	69
PVE ŠTĚCHOVICE II – INSTALACE VZTLAKOMĚRNÝCH VRTŮ NA HRÁZI AKUMULAČNÍ NÁDRŽE HOMOLE Michal Grossmann, Jiří Šulc .....	70
HYDRAULICKÝ MODEL VD HARCOV Martin Horský, Martin Králík, Ladislav Satrapa .....	78
OPRAVY POČAS VYPUSTENIA HORNEJ NÁDRŽE PVE ČIERNY VÁH V ROKU 2017 Branislav Ježík .....	87
30 ROKOV VODNEJ STAVBY VEĽKÉ KOZMÁLOVCE Juraj Jurica, Jarmila Michalková, Peter Ivan..	106
BEZPEČNOSŤ PRIEHRAD A ŠPECIFICKÉ RIZIKOVÉ FAKTORY Andrej Kasana, Peter Magula .....	126
HYDRAULICKÝ MODEL VD TĚŠETICE Martin Králík, Ladislav Satrapa .....	132
PREVÁDZKOVANIE VODNÝCH NÁDRŽÍ Z POHĽADU ZMIEN OD ICH UVEDENIA DO PREVÁDZKY Dušan Mydla, Božena Písečná, Lubomír Uhorščák .....	140
OPRAVA ASFALTOVEJ PEČATE NA SVAHOCH PRÍVODNÉHO KANÁLA VODNÉHO DIELA GABČÍKOVO Rastislav Rajniak .....	146
VD TATROVICE – REKONSTRUKCE SPODNÍ VÝPUSTI A BEZPEČNOSTNÍHO PŘELIVU Tomáš Rudolf.....	150
HODNOCENÍ BEZPEČNOSTI PŘEHRAD V PRŮBĚHU JEJICH REKONSTRUKCE Jaromír Říha, Miroslav Špano .....	160
EXPERTNÝ KONTROLNÝ SYSTÉM PLAVEBNEJ PREVÁDZKY VODNÉHO DIELA GABČÍKOVO Peter Šulek , Ľudovít Možiešik, Tomáš Kinczer.....	170
TECHNOLÓGIE A SKÚSENOSTI S MONITOROVANÍM SEDIMENTOV NA OCHRANU TURBÍN PROTI ABRÁZII Agrawal, Slade, Pottsmith, Dana .....	184
<b>III. PRIEHRADY A GEOLÓGIA .....</b>	<b>195</b>
NÁVRH MONITORINGU ZOSUVNÝCH ÚZEMÍ NA VS TVRDOŠÍN Miloslav Kopecký, Martin Ondrášik, Martin Brček .....	196
VODNÍ DÍLO KADAŇ – ZAJIŠTĚNÍ STABILITY HRÁZE Petra Suchopárková, Jan Svejkovský .....	197

POSÚDENIE VPLYVU NAVRHOVANÝCH TESNIACICH STIEN NA REŽIM PODZEMNÝCH VÔD PRIĽAHLEJ OBLASTI OCHRANNÝCH HRÁDZÍ TOKOV MALÝ DUNAJ, VÁH A PRELOŽKA NITRY Andrej Šille .....	202
ANALÝZA DOSTUPNÝCH METÓD PRE URČOVANIE KOEFICIENTU FILTRÁCIE Juraj Škvarka..	203

<b>IV. MALÉ VODNÉ NÁDRŽE, VODNÉ NÁDRŽE A EXTRÉMNE HYDROLOGICKÉ JAVY .....</b>	<b>209</b>
PŘÍPRAVA SUCHÉ RETENČNÍ NÁDRŽE MĚLČANY Pavel Fošumpaur, Tomáš Kašpar, Martin Králík, Milan Zukal, Petr Holý, Pavel Řehák.....	210
PREHODNOTENIE KAPACITY BEZPEČNOSTNÝCH PRIEPADOV VODNÝCH NÁDRŽÍ VYŠNÁ RYBNICA A BUKOVEC POMOCOU HYDRAULICKÉHO FYZIKÁLNEHO MODELOVANIA Marek Čomaj, Filip Rebenda.....	212
VODNÁ NÁDRŽ BREZOVÁ POD BRADLOM – REKONŠTRUKCIA TESNENIA HRÁDZE Pavel Frankovský.....	222
VÝZNAM VODNÝCH NÁDRŽÍ V KONTEXTE PREBIEHAJÚCICH ZMIEN INUNDÁCIE RIEKY VÁH Ladislav Glinda .....	228
PREVÁDZKA VODNEJ NÁDRŽE TEPLÝ VRCH PRED A PO POVODNI 2010 Tomáš Ič .....	242
VD ŠANCE – TBD PŘI ZMĚNĚ STAVBY Tomáš Kantor, Jiří Hodák.....	252
REKONŠTRUKCIA VODOHOSPODÁRSKÝCH OBJEKTOV. PROTIPOŽIARNE NÁDRŽE NA ŽELEZNEJ STUDIENKE č. 3 A 4 Michaela Macková. ....	263
REKONSTRUKCE VODNÍHO DÍLA ŠANCE Lumír Peterek .....	275
RIEŠENIE PROTIPOVODŇOVEJ OCHRANY OBCÍ V RÔZNYCH HYDROLOGICKÝCH PODMIENKACH Andrej Šoltész, Lea Čubanová, Adam Janík, Dana Baroková .....	284
ZHODNOTENIE VYBRANÝCH OPATRENÍ NA PREVENCIU PRED POVODŇAMI A SUCHOM V POVODÍ HORNEJ NITRY Marián Jursa.....	294
VD KLABAVA – ZABEZPEČENÍ PŘED ÚČINKY EXTRÉMŇÍCH POVODŇÍ A MOŽNOSTI EFEKTIVNĚJŠÍHO VYUŽÍVÁNÍ RETENČNÍHO PROSTORU NÁDRŽE Petr Vicenda, Ondřej Hrazdira .....	309



## **I. STARNUTIE PRIEHRAD**

# VODNÉ DIELO KUNOV TECHNICKÉ OPATRENIA POČAS 50 ROKOV PREVÁDZKY

## HYDRAULIC STRUCTURE KUNOV TECHNICAL MEASURES FOR 50 YEARS OF OPERATION

*Zuzana Čulenová*

**Abstrakt:** VN Kunov je jedna z dvoch vodných nádrží II. kategórie, ktoré sú v správe SVP š.p., OZ Bratislava, Správa povodia Moravy. V roku 2015 uplynulo 50 rokov od uvedenia vodnej stavby do prevádzky. Počas doterajšej prevádzky bola v zmysle platnej legislatívy na vodnej stavbe vykonaná dvakrát revízia pri úplnom vypustení vodnej nádrže. Za 50 rokov prevádzky sa zmenil hlavný účel vodnej nádrže, začali sa prejavovať prvky starnutia vodného diela. Cieľom príspevku je zhrnúť technické opatrenia, ktoré boli na vodnom diele Kunov vykonané za účelom zvýšenia bezpečnosti a spoľahlivosti pre ďalšie roky prevádzky.

**Kľúčové slová:** VN Kunov, technické opatrenia, bezpečnosť a prevádzka vodného diela

**Abstract:** Water reservoir Kunov is one of two water reservoirs II. category, which are managed by SVP š.p., OZ Bratislava, Morava river basin. In 2015, 50 years have elapsed since the operationalization of the hydraulic structure. During the current operation, according to the valid legislation on the hydraulic structure, a revision was carried out twice upon the complete discharge of the water reservoir. In 50 years of operation the main purpose of the reservoir has changed; the elements of ageing of the hydraulic structure began to appear. The goal of the paper is to summarize the technical measures that have been taken on the Kunov hydraulic structure in order to increase the safety and reliability of the construction for the next years of operation.

**Keywords:** Water reservoir Kunov, technical measure, safety and operation of the water structure

### 1. ÚVOD

Vodná nádrž Kunov sa nachádza sa cca 5 km nad mestom Senica, medzi obcami Sobotište a Kunov v okrese Senica. Je situovaná v km 8,6 rieky Teplica. Stavebné práce na budovaní priehrady začali v roku 1959. Hlavným účelom bola akumulácia vody pre priemysel - Slovenský hodváb Senica. V období od januára 1965 do decembra 1967 bola vodná stavba v overovacej prevádzke, v januári 1968 bola zahájená trvalá prevádzka. Od roku 2009 sa priemyselný odber nerealizuje. V súčasnosti je jediný odber z nádrže pre MVE, ktorá je umiestnená pod hrádzou. Hlavné účely sa počas doterajšej prevádzky menili a v súčasnosti sú to najmä: akumulácia vody a nadlepšovanie prietokov v období sucha, zachytenie povodňových prietokov, rekreácia, extenzívny chov rýb a energetické využitie (MVE).

## 2. ZÁKLADNÉ ÚDAJE STAVBY

Hlavné objekty stavby:

- zemná hrádza s komunikáciou
- združený funkčný objekt
- vodná nádrž
- odvodňovací systém hrádze
- malá vodná elektrárň (MVE)

Základné parametre vodnej stavby [1]:

- dĺžka hrádze v korune	567,0 m	
- šírka koruny hrádze	6,0 m	
- max. výška hrádze nad terénom	11,31 m	- kóta koruny hrádze 229,70 m n.m.
- minimálny zostatkový prietok	$Q_{355} = 0,027 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	(SHMÚ r. 2012)
- storočný prietok	$Q_{100} = 79 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	(SHMÚ, r. 2012)
- kapacita upraveného koryta pod nádržou	$52,2 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1}$	(projekt)
- kapacita bezpečnostného priepadu	$Q_{100} = 50 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	(po rekonštrukcii v r. 1990-1992)
- dnový výpust – 2x potrubie DN 1000,	max. prietoková kapacita 2 x $9,4 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	

## 3. TECHNICKÉ OPATRENIA POČAS PREVÁDZKY VODNEJ STAVBY

Cieľom opatrení vykonaných na VN Kunov bolo nielen zlepšiť bezpečnosť a spoľahlivosť stavby, ale aj kvalitu vody. Väčšina opatrení sa vykonala v čase revízie pri úplnom vypustení nádrže, t.j. v rokoch 1990-1992 a 2015-2017. Okrem toho sa na požiadanie CHKO Záhorie vytvoril v nádrži priestor pre zabezpečenie hniezdzenia vybraných druhov vtáctva – vtáčí ostrov.

### 3.1 Zvýšenie koruny bezpečnostného priepadu a vybudovanie vlnolamu

Už počas prvých rokov prevádzky vodného diela sa začalo uvažovať o zvýšení akumulácie vodnej nádrže. V projektovej úlohe „Zvýšenie akumulácie vodní nádrže na Vrbovčiance u Kunova“ bolo zväčšenie akumulácie nádrže navrhnuté zvýšením priepadovej hrany pomocou pohyblivých hradiacich konštrukcií – vakový uzáver alebo klapka [2]. Toto opatrenie sa však nerealizovalo. K zvýšeniu priepadovej hrany sa pristúpilo v rokoch 1990-1992, kedy sa pôvodná priepadová hrana s kótou 228,15 m n.m. zvýšila nadbetónovaním na kótu 228,45 m n.m.. Tvar priepadovej hrany je v súčasnosti bezpodtlakový. Priepadová výška pre  $Q_{100} = 50 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  je 0,62m; pre  $Q_{1000} = 120 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  je výška priepadového lúča 1,05 m a max. hladina 229,07 m n.m. [1]. Zmeny objemov vodného diela po zvýšení priepadovej hrany sú uvedené v tab. 1.



Tabuľka č.1 Porovnanie rozdelenie objemu nádrže [1, 3]

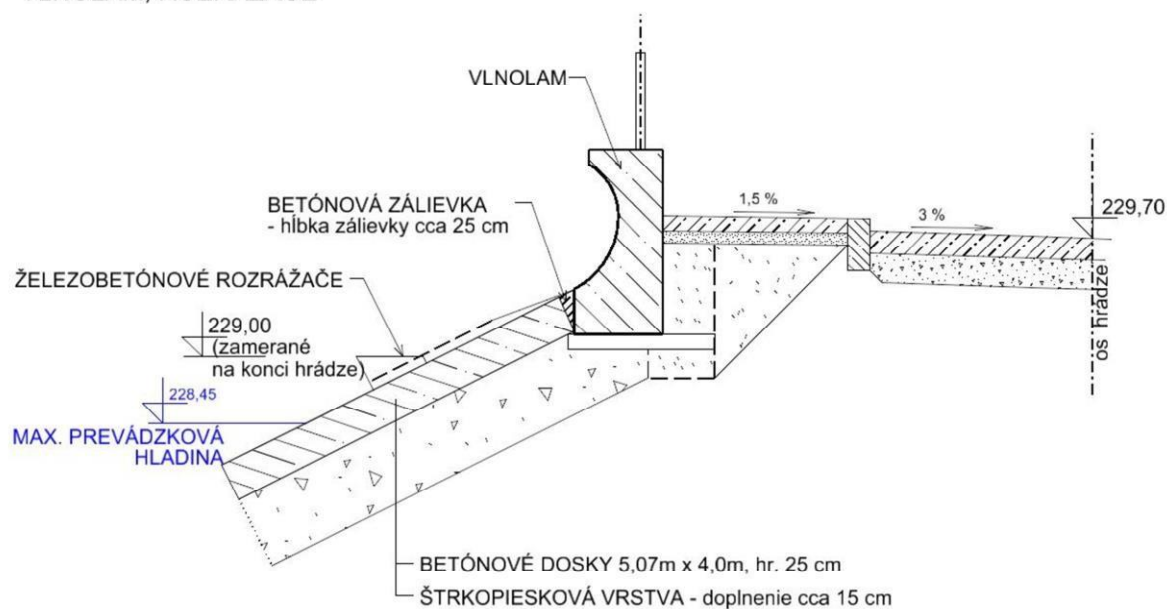
Priestor nádrže	1965-1992		1992-2017	
	Kóty hladiny [m n.m.]	Objem [m <sup>3</sup> ]	Kóty hladiny [m n.m.]	Objem [m <sup>3</sup> ]
Stály priestor	218,39 – 223,50	530 000	218,39 – 223,50	530 000
Zásobný priestor	223,50 – 227,75	1 760 000	223,50 – 228,45	2 170 000
Ochranný priestor	227,75 – 229,00	760 000	228,45 – 229,07	440 000
Celkom	229,00	3 050 000	229,07	3 140 000

Zvýšenie koruny bezpečnostného priepadu vyvolalo nutnosť stavebných úprav na korune hrádze. Keďže po zvýšení koruny priepadu by mohlo vlnobitie (prevládajúci severný vietor) dosahovať až k pôvodnému múriku, bolo nevyhnutné vybudovať na korune hrádze vlnolam (monolitická konštrukcia z prostého betónu). Okrem toho v hornej časti návodného svahu hrádze boli osadené rozrážače na zmiernenie výbehu vln. Rozrážače sú zavesené na „závesoch“ z betonárskej výstuže, ktoré sú ukotvené do betónovej zálievky medzi vlnolamom a betónovým opevnením.

Umiestnenie vlnolamu a rozrážačov znázorňuje obr. 1.

VN KUNOV

VLNOLAM, ROZRÁŽAČE



Obr. 1 VN Kunov – Vzorový priečny profil – vlnolam a rozrážače

Zdroj: SVP š.p., Správa povodia Moravy

### 3.2 Oprava odvodňovacieho systému

Odvodňovací systém podložia hrádze pozostáva z radu pôvodných 22 vrtaných drenážnych studní priemeru 30 cm (označenie I. – XXII.), ktoré sú vybudované vo vzájomnej vzdialenosti 20 m a 9 dobudovaných (r. 1993) studní s označením „A“. Sú napojené na spoločné zvodné potrubie z betónových rúr DN 200 a DN 300 a vyústené do šachty, ďalej sa priesakové vody odvádzajú do koryta Teplice. Studne sú vrtané až po nepriepustné podložie [1]

Poruchy odvodňovacieho systému na pôvodných vetvách spôsoboval najmä koreňový systém rastlín, v dôsledku čoho sa vetvy upchávali a odvádzanie priesakových vôd bolo obmedzené, drenážny systém sa zahlcoval. Okrem toho bolo pozorované podmáčanie vzdušnej päty hrádze. V roku 1985 bol vypracovaný projekt „Vodná nádrž Kunov – oprava drénov“, za účelom zachytenia svahových vôd. Vo vzdialenosti 45,0 m od zberného drénu bolo uložené potrubie z tvrdého PVC profilu 400 mm (drenáž D III), ktoré odvádzá vody z ľavostranného svahu cez šachty Š III, Š II a Š I priamo do toku Teplice. Od zaústenia do Teplice ide drenáž v sklone 6,46 ‰ do šachty Š I v km 0,244. Dĺžka drenáže je 226 m. Spád drenáže medzi zbernými šachtami Š I a Š II je 4,27 ‰, dĺžka 234,0 m. Od šachty Š II po šachtu Š III v km 0,515 má drenáž spád 66,47 ‰, dĺžka drenáže je 34,0 m. Na vyústení cca 70 m od osi hrádze je vybudovaný Thomsonov merný prepad o rozmeroch 70 x 120 cm s kovovou hradiacou stenou (145 x 100 cm) s trojuholníkovým výrezom. [4].

V rokoch 1990-1992, počas revízie pri vypustenej nádrži, sa existujúci drenážny systém prečistil (studne I - XXIV) a pôvodný drenážny systém rozšíril o paralelný zvodný drén D-3', D-5' a D7' vo vzdialenosti 15 m od pôvodného tak, aby bolo možné merať priesakové množstvá objemovými meradlami. [1]. Nový drén DN 300 má celkovú dĺžku 360 m so sklonom 3,4 – 4,2 ‰. Do nových revíznych šacht (A', B', C') sú priečnymi drénmi DN 200 dĺžky 15,0 m zvedené priesaky z pôvodného zberného drénu. Cez zbernú šachtu Z' sú priesaky odvedené drenážnym potrubím D 16 do toku. Prepojovacie potrubie z pôvodných šacht do nových je riešené ako zdvojené (DN 200), čo umožňuje merať zvlášť priesakové množstvá z jednotlivých úsekov vnútorného a zberného drénu. [4]

Za účelom eliminovať zamokrenie päty hrádze pri ľavostrannom zaviazaní hrádze sa v roku 2016 drenážny systém rozšíril o vetvu D-IIID, ktorá začína šachtou Š1 a je zaústená do šachty Š-II.

V rámci odvodňovacieho systému podložia hrádze sa doplnili aj piezometrické sondy (pôvodne 24 ks sond). Dôvodom na doplnenie systému sond bola nefunkčnosť niektorých pôvodných piezometrických sond a skutočnosť, že pôvodné sondy nevyhovovali požiadavkám na vykonávanie geofyzikálneho merania - malý priemer pažníc.

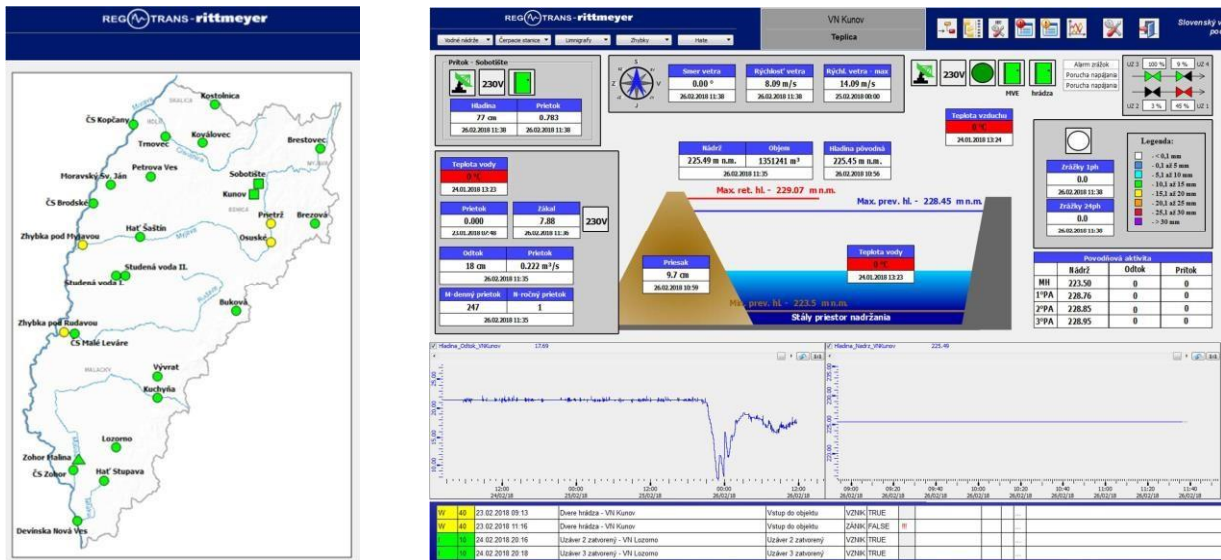
Počas revízie vodnej stavby v rokoch 2015-2017 boli na základe vyjadrenia hlavného zamestnanca dohľadu štátnej organizácie poverenej dohľadom (Vodohospodárska výstavba, š.p.) zrušené pôvodné vrty PT-5, PT 27, PT 28 a PT 29. Nefunkčné pôvodné sondy sa zasypali zeminou a ukončili sa betónom na hrúbku cca 0,5 m (betónový „štupel“). Drenážny systém s pôvodnými aj novými zariadeniami je znázornený na priloženej situácii, obr. č.2.



### 3.3 Automatizovaný systém zberu a prenosu dát

Povodie Dunaja, podnik pre správu tokov delimitoval v roku 1994 majetok Štátnej melioračnej správy – malé vodné nádrže a iný majetok. V tomto roku sa pri postupnej oprave a modernizácii týchto objektov začal budovať systém automatizovaného zberu a prenosu dát. VD Kunov bolo do tohto systému zaradené v roku 1996. Celý systém pracoval pod operačným systémom QNX, firmy SAE-Control Žilina. V rámci stanice VN Kunov bola vybudovaná stanica Sobotište, ktorej účelom bolo poskytovať obsluhu údaje o prítoku do nádrže. Je situovaná v rkm 12,000 toku Teplica (cca 3,5 km nad nádržou). Pomocou GSM signálu sa všetky údaje prenášali na lokálny dispečing v dome hrádzneho a na dispečing v Malackách v intervale 1 x za deň. V prípade potreby bolo možné získať informáciu o situácii na vodnom diele i častejšie. Na technickom stave a funkčnosti stanice VN Kunov sa podpísal nedostatok finančných prostriedkov, stanica Sobotište na prítoku bola nefunkčná, celý systém sa stal morálne aj technicky zastaralým.

Prvým krokom pre obnovu a modernizáciu systému bolo realizovanie projektu „Automatizácia výmeny krízových dát v hydrologickej oblasti povodia Moravy a Dyje“ v spolupráci s Povodím Moravy Brno, s.p., ktorý bol ukončený v roku 2015. V rámci tohto projektu sa riešila modernizácia softvérového riešenia - pôvodný programový systém ReFlex sa nahradil SCADA riešením, ktoré je postavené na softvérovom produkte WinCC. Okrem toho sa zmodernizoval dispečing na OZ Bratislava a Správe povodia Moravy v Malackách. Keďže tento projekt neriešil technický stav jednotlivých staníc, pristúpilo sa v roku 2017 k druhému kroku – modernizácii vybraných staníc, do ktorých bola zaradená aj VN Kunov. V rámci modernizácie bola sfunkčnená stanica Sobotište, čím má obsluha opäť k dispozícii informácie o prítoku do nádrže. V súčasnosti sa na stanici Kunov zaznamenávajú tieto údaje: 2 x hladina v nádrži (tlaková sonda, meranie ultrazvukom), zrážky, okamžitá rýchlosť vetra, zákal, priesaky. Alarmové hlásenia ako napr. narušenie objektov vodnej stavby (vstup do štôlne, MVE) sú formou SMS zasielané obsluhu VS. Všetky merané údaje má obsluha vodnej stavby, dispečing v Bratislave a Malackách k dispozícii online – interval zaznamenaných údajov je max. 10 minút. Funkčný a spoľahlivý automatizovaný zber a prenos dát je nenahraditeľným systémom, ktorý zabezpečuje správcovi diela prehľad o stave na spravovaných objektoch, umožňuje operatívne aj dlhodobé plánovanie pri hospodárení s vodou (vznik, priebeh a vyhodnocovanie mimoriadnych udalostí, ako sú napr. povodňová situácia alebo obdobie sucha).



Obr. 3 Automatizovaný zber a prenos údajov, SCADA

Zdroj: SVP š.p., Správa povodia Moravy

### 3.4 Oprava betónových konštrukcií funkčného objektu

Betónové konštrukcie funkčného objektu boli vplyvom pôsobenia vody poškodené, počas prevádzky boli pozorované priesaky cez praskliny, dilatačné a pracovné škáry funkčného objektu. V roku 2017 sa pri vypustenej nádrži opravili tieto objekty: manipulačná veža s vtokovým objektom, bezpečnostný priepad – spádisko a sklz, strop v komunikačnej štôlni. Ďalej sa realizovali opravy a dotesnenie pracovných a dilatačných škár, opravy prasklín na združenom funkčnom objekte, vrátane škár a prasklín v komunikačnej štôlni.

Všetky betónové plochy sa pred začiatkom prác očistili otryskovaním, celková plocha opravy betónových plôch bola 1 422,10 m<sup>2</sup>. [5] Na sanáciu betónových plôch, kavern a hniezd vzniknutých po otryskovaní sa použila minerálna vysprávková malta INDUCRET. Utesnenie trhlín, plošných netesností na stenách a dne priepadu sa zabezpečilo pomocou AQUAFIN. V miestach, kde bola obnažená výstuž (strop komunikačnej štôlne, časť konštrukcie FO), sa táto výstuž ošetrila pred nanosením sanačnej malty antikoróznym náterom a prechodovým mostíkom. Po oprave všetkých betónových konštrukcií sa celý funkčný objekt ošetril pružnou dvojzložkovou minerálnou hydroizolačnou stierkou AQUAFIN-2K. [6]

Okrem betónových plôch sa na FO opravili a utesnili praskliny, dilatačné a pracovné škáry. Celkovo sa predpokladalo ošetriť a opraviť cca 308,3 m prasklín a škár. Vzhľadom na nadmerné priesaky dilatačných a pracovných škár bolo potrebné vykonať tri a viac reinjektáží.

Dilatačné škáry sa vyplnili ochrannými povrazcami a tesniacou páskou DICHTBAND 2000, obr. 4a, b, c.



Obr. 4 a, Vtláčanie ochranného povrazca do DŠ na vnútornej strane BP b, Lepenie a tvarovanie „Omega“ tesniacej pásky DICHTBAND 2000 c, Opravená dilatačná škára vo vnútri bezpečnostného priepadu Zdroj: SVP š.p., Správa povodia Moravy

### 3.5 Oprava betónového opevnenia návodného svahu hrádze

Návodné betónové opevnenie na VN Kunov tvoria 3 rady betónových dosiek rozmerov 5,07m x 4,0m, hrúbka opevnenia je 25 cm. Betónové dosky sú oddelené vodorovnými a zvislými škárami hr. 5 mm. Pôvodné opevnenie bolo betónované na mieste.

Po vypustení nádrže v roku 2015 sa zistilo výrazné poškodenie opevnenia a praskliny betónových dosiek. Oprava opevnenia bola rozdelená na 2 etapy.

#### I. etapa - rok 2017

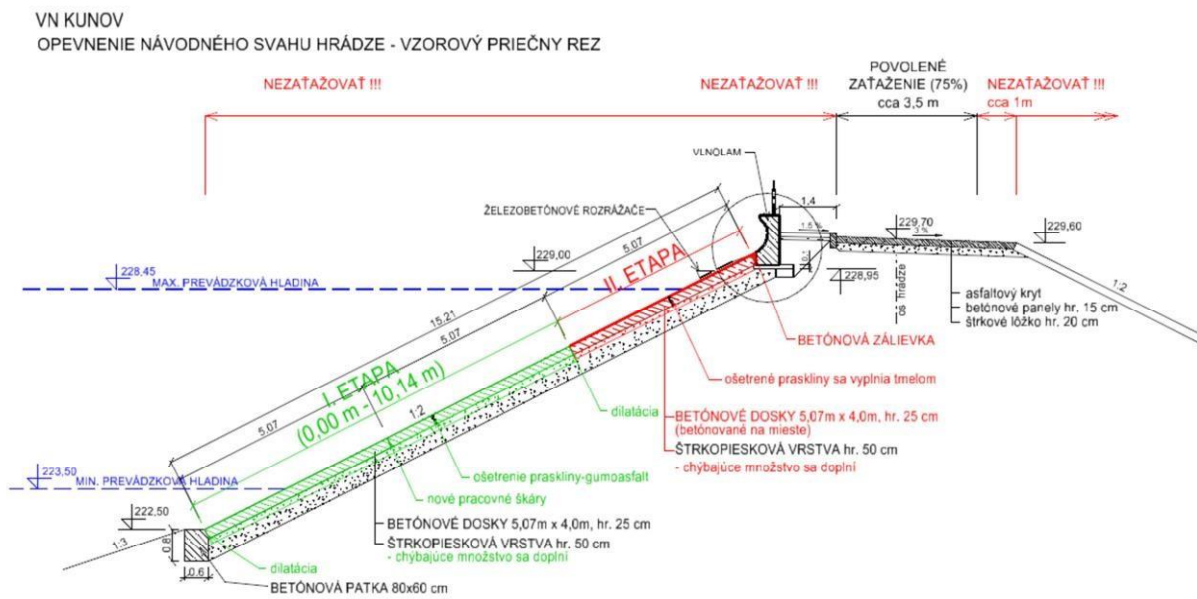
V rámci tejto etapy sa opravili spodné 2 rady opevnenia. Veľmi poškodené opevnenie sa odstránilo a nahradilo sa novým opevnením, ktoré bolo betónované na mieste, pri použití vodostavebného betónu C25/30. Drobné praskliny na opevnení sa po vyrezaní na hĺbku 5 cm a vyčistení vyplnili gumoasfaltom. V tejto etape sa novým betónom nahradilo opevnenie na ploche 580,35 m<sup>2</sup>, gumoasfaltom sa ošetrilo 216,00 m prasklín a škár. Po ukončení tejto etapy sa v októbri 2017 začalo s čiastočným napúšťaním nádrže po hladinu 224,77 m n.m..

#### II. etapa – rok 2018

Pri oprave betónového opevnenia v I. rade (pri korune hrádze), bola vodná nádrž čiastočne naplnená, hladina v nádrži počas prác sa stanovila na kóte 224,77 m m.m., čo predstavuje cca 2,3 m vody v nádrži pri návodnom svahu hrádze. Vhodným technickým opatrením bolo potrebné zabezpečiť, aby neprišlo k zošmyknutiu pracovníkov do nádrže, aby sa stavebný materiál a odpad nedostal do nádrže. V rámci tejto etapy opravy návodného opevnenia sa nevyhovujúca časť opevnenia vybúrara a nahradila novým opevnením na ploche cca 935 m<sup>2</sup>, čo predstavuje výmenu cca 46 ks panelov. Opevnenie sa betónovalo na mieste vodostavebným betónom triedy C 25/30 s max. priesakom 50mm (STN EN 12390-8). Pri betónovaní sa opäť vytvorili betónové dosky 5,07m x 4,0m x 0,25m. Dilatačné škáry hr. 5 mm boli vytvorené rezaním a vyplnili sa polyuretánovým tmelom SOUDAFLEX 40FC, pod ktorý sa v zmysle

technologického postupu aplikoval penetračný náter PRIMER 100 a tesniaci povrazec na vymedzenie hĺbky tmelenia. Odstránený betón sa rozdrvil a bol použitý na opevnenie zemnej hrádzky v zadnej časti nádrže. Praskliny sa po vyčistení vyplnili polyuretánovým tmelom SOUDAFLEX 40FC. Celková dĺžka opravených prasklín bola cca 230 m.

Na spoji vlnolam-opevnenie je na celej dĺžke hrádzky betónová zálievka, v ktorej sú ukotvené oceľové tiahla na uchytenie betónových rozrážačov. Betónová zálievka bola na mnohých miestach v nevyhovujúcom stave, preto sa na dĺžke cca 192 m vybúrala a nahradila novou zálievkou z betónu C 25/30. Horná aj dolná škára pri zálievke sa vyplnila polyuretánovým tmelom. Vzorový priečný rez opevnením je na obr. 5.

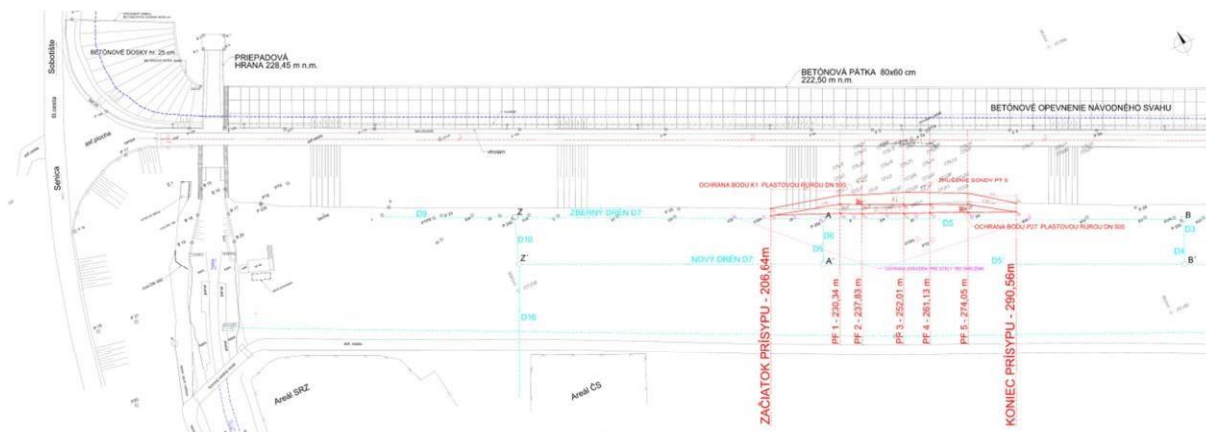


Obr. 5 VN Kunov – oprava návdného betónového opevnenia, I. a II. etapa

Zdroj: SVP š.p., Správa povodia Moravy [5]

### 3.6 Sanácia vzdušného svahu hrádzky – prísyp

Na vzdušnom svahu hrádzky v oblasti pôvodného koryta toku Teplica (Vrbovčianka) boli obsluhou VS spozorované zmeny. Na ich sledovanie sa osadili kontrolné výškové body K1 (svah hrádzky) a K2 (päta hrádzky). Aby sa vzdušný svah zastabilizoval, bol v úseku 210,34294,06 m staničenia hrádzky navrhnutý stabilizačný prísyp. Koruna prísypu je na kóte 221,50 m n.m., výška prísypu je 1,5 m nad pôvodný terén. Keďže sa v mieste prísypu nachádza bod P27 a kontrolný výškový bod K1, osadila sa okolo bodov plastová rúra DN500/SN4 s hrdlom a zátkou, aby bolo možné meranie bodov aj po vybudovaní prísypu. Situácia prísypu je na obr. 6.



Obr. 6 VN Kunov - stabilizačný prísyp vzdušného svahu hrádze  
Zdroj: SVP š.p., Správa povodia Moravy[5]

### 3.7 Oprava dnových uzáverov a kovových konštrukcií FO

#### 3.7.1 Oprava dnových uzáverov

Dnové výpusty tvoria dve paralelné oceľové potrubia o svetlosti DN 1000 mm osadené v štólne vedenej kolmo na os priehrady. Prietok v každom potrubí je samostatne regulovateľný dvojicou regulačných klinových uzáverov. Pred vtokom do dnových výpustov sú osadené hrablice a je zaistená možnosť odstavenia každého z výpustov provizórnym hradením. Celková kapacita dnových výpustov je  $Q = 18,8 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  ( $2 \times 9,4 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ) pri max. prevádzkovej hladine v nádrži na kóte 228,45 m n.m. Celková dĺžka potrubí je 58 m.

Zariadenie dnových výpustov tvorí: pevné hrablice, vtokový prechodový kus, dnový uzáver, potrubie DN 1000, dilatačná vložka, regulačný uzáver a výtoková časť potrubia, ktorá ústí do výpustnej štólne. Pre vypúšťanie minimálnych prietokov slúži odvodňovacie potrubie DN 400, ktoré je napojené na pravý dnový výpusť za dnovým uzáverom. Toto potrubie je opatrené regulačným uzáverom s elektropohonom. [5]

Vzhľadom na zlý technický stav dnových uzáverov sa počas revízie v rokoch 1990-1992 vymenili za nové uzávery vrátane elektropohonu.

#### 3.7.2 Oprava kovových konštrukcií FO

Do opravy kovových konštrukcií pri vypustenej nádrži v roku 2017 boli zahrnuté:

- drážky provizórneho hradenia (U profil č. 24)
- drážky pre hrablicový rám (U profil č. 20)
- pevné hrablice pred dnovými výpustami
- pohyblivý hrablicový rám pred odberným potrubím
- rebríky, hrablicový rošt nad odberným potrubím, odberné koše
- prechodový kus potrubia priemer 1,370-1,0 m
- rovné potrubie a výtokový kus DN 1000
- hrablicový rošt nad sacími košmi vodovodného potrubia



Všetky kovové konštrukcie sa očistili otryskovaním na požadovaný štandard Sa 2,5 s profilom 75 µm. Povrch sa odmastil vhodným čističom (Belzona 9121). Prechodový kus a rovné potrubie dnových výpustov sa ošetrili prípravkom Belzona 5831, ktorý bol nanesený v dvoch vrstvách. Na ošetrovanie ostatných konštrukcií sa použil základný náter SikaCor Zinc R. Vrchný náter sa aplikoval SikaCor EG1 a SikaCor EG5 (RAL 5017) – modrá farba. Celková plocha náterov bola cca 68,15 m<sup>2</sup>. [5]

### 3.8 Prístrešok na funkčnom objekte

V strope manipulačnej veže sa nachádza výstupný otvor na plochú strechu veže a manipulačné otvory s oceľovými poklopmi. Netesnosťou poklopov sa najmä pri výdatnejších zrážkach voda dostávala do priestorov veže. Z dôvodu eliminovať zatekanie vody do manipulačnej veže sa v roku 2016 vybudoval nad týmto objektom oceľový prístrešok. Povrch strechy veže sa upravil tenkou vrstvou vysokopevnostného poteru, ktorý je zvonka obvodu prístrešku v spáde od prístrešku ku rímse v hr. 50-30 mm. Dažďová voda je púšťaná bez žľabov na betónovú plochu strechy veže a odtiaľ do VN Kunov. Obvodový plášť prístrešku a zastrešenie je z obojstranné poplastovaného trapézového profilu Lindab Rova T50, s opatrením na zamedzenie vniknutia vtáctva a väčšieho hmyzu bol do dutín trapézových profilov (navrhnutý výplňový penový profil). Pre vetranie pod strechou je pozdĺž dlhších stien umiestnený prevzdušňovací pás z ťahokovu, materiál nerez. [7]



*Obr. 7 VN Kunov – prístrešok na funkčnom objekte*

*Zdroj: SVP š.p., Správa povodia Moravy*

Okrem konštrukcie prístrešku boli na objekte manipulačnej veže vykonané nižšie uvedené úpravy:

rozšírenie prielezného otvoru na streche vyrezaním betónovej dosky rozmeru 600x300x120 mm, osadenie nového rámu s odklopným roštom

všetky kovové konštrukcie (zábradlie, rebríky s košom zvonka a zvnútra veže, rám obslužnej plošiny) boli nahradené novými

### 3.9 Odtáženie nánosov, sedimentačná prednádrž a meandre na vtoku do nádrže

#### 3.9.1 Odtáženie nánosov

Odstránenie nánosov a obnovenie veľkosti akumuláčného priestoru je jedno zo základných technických opatrení počas revízie pri vypustenej nádrži. VN Kunov bola v zmysle platnej legislatívy počas doterajšej prevádzky vypustená 2x - v rokoch 1990-1992 a 2015-2017. Vzhľadom k nedostatku finančných prostriedkov nebolo možné ani pri jednej z týchto revízií odstrániť nánosy v takom rozsahu, aby bol dosiahnutý pôvodný akumuláčny objem nádrže. Počas revízie v rokoch 1990-1992 sa odstránilo 122 000 m<sup>3</sup> sedimentov [1], v rokoch 2015-2017 sa plánovalo odstrániť cca 76 600 m<sup>3</sup> nánosov, z toho cca 14 030 m<sup>3</sup> zo sedimentačnej nádrže. Nánosy sa odstraňovali najmä v zadnej časti nádrže (úsek pláž-koniec vzdutia) a v okolí monobloku.



Obr. 8 VN Kunov – odstránenie nánosov r. 2016, situácia

Zdroj: SVP š.p., Správa povodia Moravy[5]

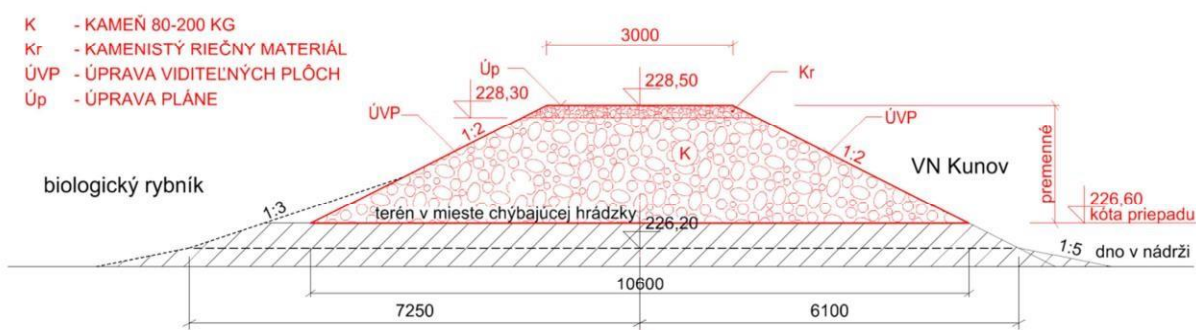
#### 3.9.2 Sedimentačná prednádrž a meandre na vtoku do nádrže

Tok Teplica nad nádržou preteká územím, ktoré je náchylné na eróziu. Erózy materiál s množstvom biogénnych prvkov sa dostával do nádrže, čo spôsobovalo zhoršenie kvality vody a zanášanie nádrže. Aby sa eliminovali nežiaduce javy ako zanášanie nádrže a eutrofizácia, ktoré mali vplyv na kvalitu vody z hľadiska jej priemyselného a rekreačného využitia, hľadali sa riešenia, ako zlepšiť kvalitu vody v nádrži. Preto sa na konci vzdutia vybudovali meandre a sedimentačná prednádrž so zemnou hrádzkou, ktorá oddeľuje prednádrž od nádrže. Vytvorením 3 meandrov a sedimentačnej prednádrže sa spomaľuje rýchlosť pritekajúcej vody, nastáva tak ukladanie sedimentov a biochemických prvkov práve v tejto oblasti nádrže. Účinnosť tohto opatrenia potvrdil aj odbor vodohospodárskych laboratórií, ktorý v rokoch 1998-1999 odoberal v určených odberných miestach (Teplica Sobotište-prítok; sedimentačná prednádrž, VN Kunov pod prednádržou-stred a VN Kunov odtok z nádrže-pri priehradnom múre) vzorky vody vo vegetačnom období v pravidelných intervaloch (1-2 mesačných). Na základe vyhodnotenia

výsledkov bolo skonštatované, že prednádrž s meandrami plní svoj účel – zabezpečuje znižovanie obsahu nerozpustených látok vo vode na prítoku čím sa výrazne znižuje aj koncentrácia celkového fosforu na prítoku [8]. Na oddelenie sedimentačnej prednádrže a nádrže bola vybudovaná zemná hrádzka dl. 435m s priepadom šírky 44 m. Kóta koruny hrádzky je 228,50 m n.m.. Vplyvom vlnobitia bola časť zemnej hrádzky pri priepade odplavená. Počas revízie v rokoch 2015-2017 bola zemná hrádzka doplnená kameňom do 80 kg podľa pôvodne projektovaných parametrov, obr. 10. Vzorový priečný profil a situácia opravy hrádzky je na obr. 9 a 11.

#### VN KUNOV - VZOROVÝ PRIEČNY PROFIL HRÁDZKY

M 1:100/100



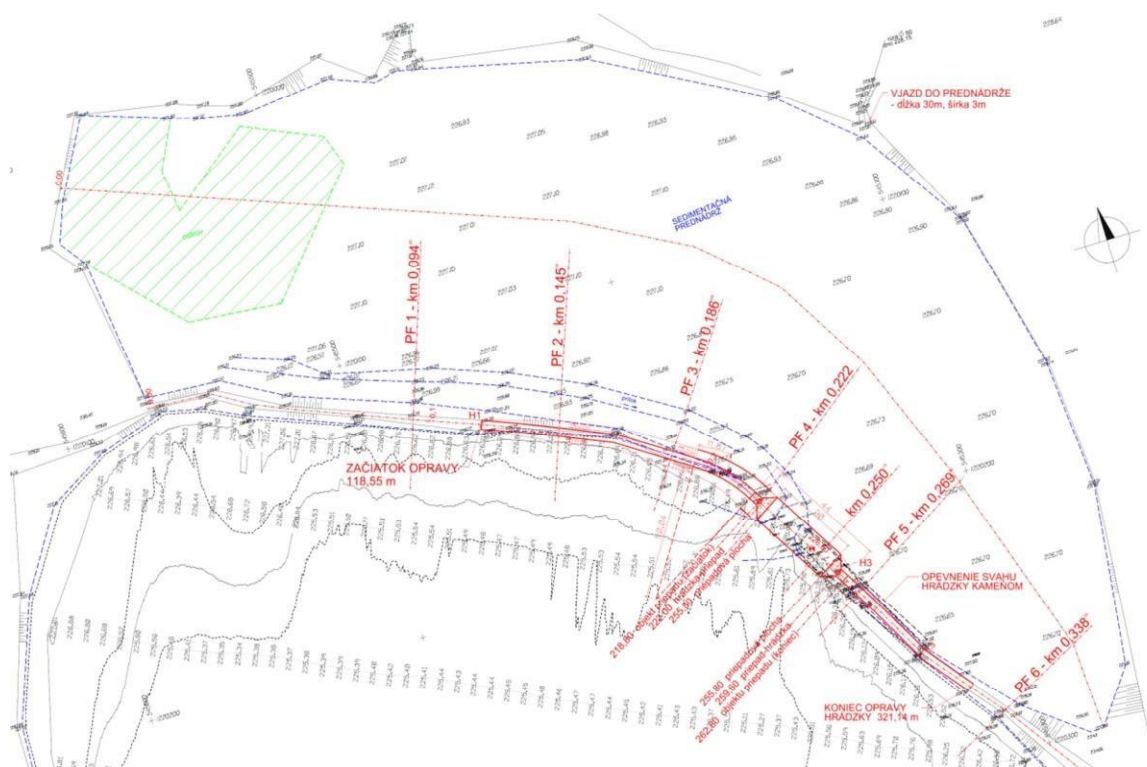
Obr. 9 VN Kunov – Vzorový priečný profil hrádzky

Zdroj: SVP š.p., Správa povodia Moravy[5]



Obr. 10 VN Kunov – oprava zemnej hrádzky kameňom

Zdroj: SVP š.p., Správa povodia Moravy



Obr. 11 VN Kunov – oprava zemnej hrádzky, situácia  
Zdroj: SVP š.p., Správa povodia Moravy[5]

### 3.10 Oprava komunikácie na korune hrádze

Šírka koruny hrádze na VN Kunov je 6,0 m; z toho vozovku šírky 4,0 m tvoria betónové panely hr. 15 cm uložené na štrkovom podsype. Na povrchu vozovky bol liaty asfalt hrúbky 4 cm. V úseku medzi sondami X a XII bola na vozovke prasklina dĺžky cca 19 m, hĺbka praskliny 10 cm. Práce, ktoré súviseli s opravou FO a návodného betónového opevnenia hrádze zhoršili technický stav komunikácie na korune hrádze nielen na tomto úseku. Preto sa po ukončení všetkých prác pristúpilo k oprave komunikácie na celej korune hrádze. Frézovaním sa odstránil liaty asfalt hr. 4 cm a 6 cm z hrúbky betónových panelov na celej ploche vozovky (cca 2 963m<sup>2</sup>). Vo vybraných úsekoch (plocha cca 479 m<sup>2</sup>), kde bol betón vozovky nevyhovujúci, sa odstránili betónové panely na celú hrúbku a nahradili novým cementovo-betónovým krytom hr. 15 cm. Podkladovú vrstvu pod asfaltový koberec tvorí asfaltový betón AC L16, 50/70 hr. 60 mm. Vrchná vrstva vozovky je z asfaltového betónu AC 11 0:PMB 45/80-75 hr. 40 mm. Jednotlivé vrstvy sú spojené spojovacím asfaltovým náterom.

### 3.11 Malá vodná elektrárň

Energetické využitie vypúšťanej vody z nádrže zabezpečuje MVE, ktorá je situovaná pod hrádzou, na pravom brehu toku Teplica. Pôvodne boli inštalované 2 ks turbín BĀNKI; turbína B30/20 ( $Q_{\max}=212 \text{ l.s}^{-1}$ , čistý spád  $H=10,0\text{m}$ ; výkon  $P_{T\max}=15 \text{ kW}$ ) a turbína B30/35 ( $Q_{\max}=300 \text{ l.s}^{-1}$ ,  $H=8,8 \text{ m}$ ;  $P_{T\max}=18,66 \text{ kW}$ ). Neskôr bola inštalovaná ešte jedna turbína, a to B30/10 ( $Q=62 \text{ l.s}^{-1}$ ,  $H=10,85\text{m}$ ,  $P=4,9 \text{ kW}$ ), ktorá je navrhnutá na využívanie zaručeného minimálneho prietoku, ktorý v čase budovania MVE bol  $62 \text{ l.s}^{-1}$ . Obsluha MVE je ručná, s

automatickým vypnutím pri poruche generátora, strate napätia alebo odbere výkonu zo siete.[4] V súčasnosti sa pripravuje rekonštrukcia MVE, v rámci ktorej bude MVE pripojená na existujúci riadiaci systém na lokálnom dispečingu VN Kunov a zapojená do nového systému automatizácie zberu a prenosu dát SCADA.

### 3.12 Vtáčí ostrov

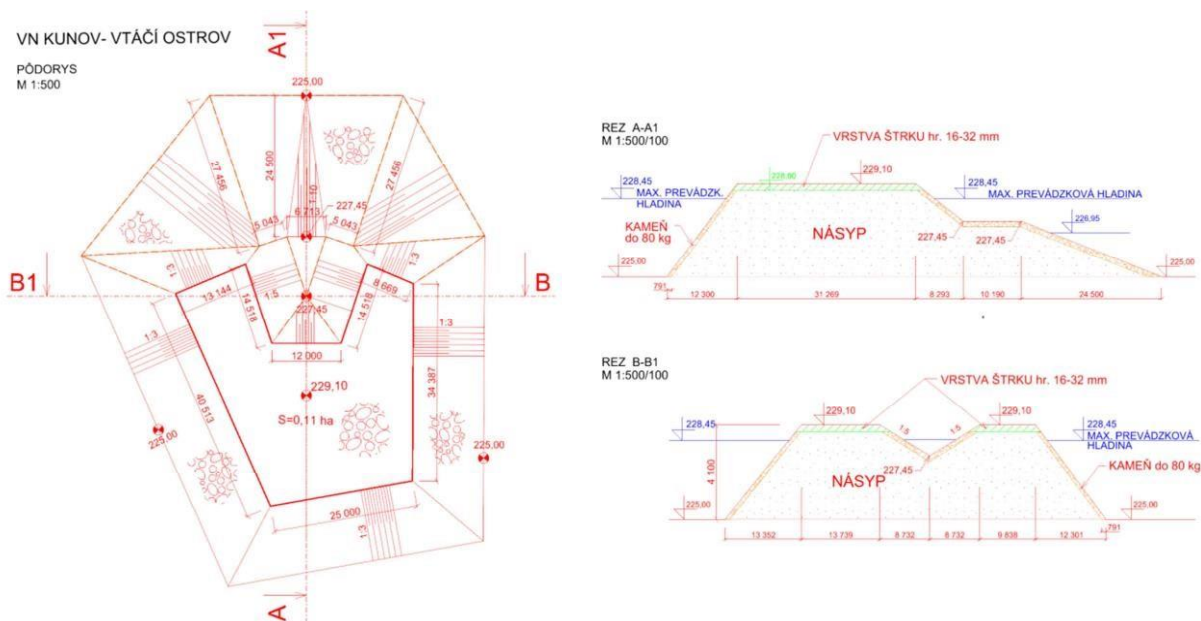
Na základe požiadavky CHKO Záhorie sa počas vypustenia nádrže v roku 2017 vybudoval v zadnej časti nádrže vtáčí ostrov. Ostrov bol vybudovaný bez vegetácie s predpokladom, že postupne zarastie náletovou vegetáciou. Prevádzkovateľom ostrova bude Štátna ochrana prírody SR, Správa CHKO Záhorie.

Základ ostrova tvorí násyp zeminy, ktorá je po kótu 228,80 m n.m.. Povrch ostrova tvorí 30 cm vrstva kameňa s malou frakciou, 16-32 mm. Niveleta ostrova je na kóte 229,10 m n.m., čo je cca 65 cm nad max. prevádzkovou hladinou, aby pri mimoriadnych situáciách neprišlo k prepláchnutiu hniezd. Svahy ostrova sú opevnené kameňom do 80 kg. [9]



Obr. 12 Vtáčí ostrov na VS Kunov – pohľad

Zdroj: SVP š.p., Správa povodia Moravy



Obr. 13 Vtáčí ostrov na VS Kunov – pôdorys, rezy

Zdroj: SVP š.p., Správa povodia Moravy [9]

#### 4. ZÁVER

Technické opatrenia zlepšujú bezpečnosť a spoľahlivosť diela nielen pri bežnej prevádzke, ale najmä počas mimoriadnych udalostí k akým patria povodne, ale aj obdobia sucha. Vzhľadom k prebiehajúcim klimatickým zmenám vystupuje do popredia aj otázka technických opatrení a hospodárenia s vodou najmä v tomto období. Častejším výskytom extrémnych hydrologických udalostí, postupným starnutím nádrže sa rozsah technických opatrení bude v budúcnosti zväčšovať. Pri ich plánovaní a realizácii je však potrebná súčinnosť všetkých zainteresovaných subjektov.

#### ZOZNAM LITERATÚRY:

- [1] Vodohospodárska výstavba š.p. Bratislava, úsek technicko-bezpečnostného dohľadu, odbor bezpečnosti priehrad : Vodná nádrž Kunov. Súhrnná etapová správa o dohľade za celé predchádzajúce obdobie existencie VS; Bratislava, jún 2014, 86 s, 47 príl.
- [2] Povodie Dunaja, podnik pre správu tokov: Prečistenie nádrže VD Kunov, projektová dokumentácia-kolaudačný elaborát, Bratislava, máj 1990
- [3] Vodohospodárska výstavba š.p. Bratislava, odbor technicko-bezpečnostného dohľadu, Šamorín:  
Vodné dielo Kunov. Etapová správa o dohľade za rok 1988 a 1989, Čilistov, február 1990, 19 s, 9 graf. príloh, 1 text. príloha
- [4] ŠPAZIER, J.: Manipulačný poriadok pre vodnú stavbu Vodná nádrž Kunov, SVP š.p., 2013
- [5] Slovenský vodohospodársky podnik š.p., OZ Bratislava, Správa povodia Moravy: Revízia VS Kunov, projektová dokumentácia, Malacky, december 2015
- [6] FERRMONT spol. s r.o., Bratislava: Revízia VS Kunov SO 02 Oprava betónových konštrukcií funkčného objektu, dokumentácia k odovzdaniu a prevzatíu diela, október 2017

- [7] *STADING spol. s r.o., Bratislava: VN Kunov – Prístrešok na funkčnom objekte, projekt pre stavebné povolenie a realizáciu, Bratislava, december 2015*
- [8] *Slovenský vodohospodársky podnik š.p., OZ Povodie Dunaja Bratislava, Valúchová M.: Zhodnotenie vplyvu prednádržky na zníženie obsahu biogénnych prvkov v Kunovskej vodnej nádrži; Bratislava, február 2000, 4 s, 6 príl.*
- [9] *Slovenský vodohospodársky podnik š.p., OZ Bratislava, Správa povodia Moravy: Vtáčí ostrov na VS Kunov, projektová dokumentácia, Malacky, apríl 2017*

**Autor:**

Ing. Zuzana Čulenová

SLOVENSKÝ VODOHOSPODÁRSKY PODNIK, štátny podnik, Odštepny závod

Bratislava, Správa povodia Moravy, Pri Maline 1, 901 01 Malacky

zuzana.culenova@svp.sk

# VODÁRENSKÁ NÁDRŽ HRIŇOVÁ - 50 ROKOV PREVÁDZKY VODNEJ STAVBY

## WATER RESERVOIR HRIŇOVÁ – 50 YEARS OF OPERATION

*Tomáš Ič, Rudolf Sýkora*

**Abstrakt:** O výstavbe Vodárenskej nádrže Hriňová sa rozhodlo už v roku 1956 ako o veľkokapacitnom povrchovom zdroji vody na zásobovanie obyvateľstva pitnou vodou južných okresov stredného Slovenska. S výstavbou sa začalo v roku 1960 a do prevádzky bola stavba odovzdaná v roku 1965. Výstavba priniesla množstvo organizačných a technických problémov, ktoré sa odzrkadlili na kvalite stavebných prác hlavne po prvom naplnení nádrže. Tieto nedostatky z výstavby nebolo možné čiastkovými opatreniami vyriešiť, preto muselo dôjsť ku generálnej oprave hrádze, ktorá trvala 2,5 roka. Od toho času je nádrž bezpečná, spoľahlivá a plní všetky vodohospodárske funkcie. VN Hriňová patrí do sústavy 3 vodárenských nádrží na území stredného Slovenska, ktoré spolu tvoria silnú stredoslovenskú vodárenskú sústavu.

**Kľúčové slová:** VN Hriňová, výstavba, prevádzka, poruchy, rekonštrukcia

**Abstract:** The decision to construct water reservoir Hriňová was made in 1956, considering it to be a high capacity surface water reservoir for supplying southern districts of central Slovakia with potable water. The construction started in 1960 and reservoir was operational in 1965. The construction works had brought a number of organizational and technical issues, which were reflected in the quality of construction work, what shows up mainly after first filling of the reservoir. These discrepancies could not be resolved by any partial repairs, therefore the dam had to undergo an overhaul that lasted 2.5 years. Since that time the reservoir is safe, reliable and provides all water management functions. Water reservoir Hriňová currently belongs to the system of three water reservoirs on the territory of central Slovakia, which together form a strong central-Slovakian water system.

### 1. ÚVOD

Hospodársky rozmach Slovenska po druhej svetovej vojne vyvolal potrebu výstavby povrchových zdrojov pitnej vody hlavne na strednom, severnom a východnom Slovensku.

Vodný potenciál v okolí Hriňovej inšpiroval vtedajších vodohospodárov, ale aj príslušníkov jednotlivých štátnych orgánov k jeho racionálnejšiemu využitiu. Rozhodnutím Vlády ČSR č. 1206 zo dňa 04. 05. 1956 bola schválená investičná úloha výstavby vodárenskej nádrže Hriňová, ktorá bude zásobovať deficitné oblasti južných častí stredného Slovenska pitnou vodou. Predbežné náklady na stavbu boli v tom čase vyčíslené sumou 125 000 000 Kčs. Konečná suma, za ktorú bolo vodné dielo postavené, je 96 745 565 Kčs.

Generálnym projektantom stavby bol Hydroprojekt Bratislava, dodávateľom stavby Doprastav n. p. Bratislava. Prevádzkovateľom vodárenskej nádrže je SVP, š. p., Odštepny závod Banská Bystrica, Správa povodia horného Hrona so sídlom vo Zvolene.



## 2. PRÍPRAVA VÝSTAVBY VODNÉHO DIELA

Vo fáze prípravy stavby sa zvažovali najmä tri hľadiská: konštrukcia a jej statické pôsobenie na podložie, hlavný stavebný materiál a technológia výstavby. V prípravných fázach projektu sa dôraz kládol najmä na geologický prieskum lokality. Ten projektantom umožnil výber z viacerých alternatívnych typov priehrad.

Po dôkladnej analýze bol vybratý typ sypanej kamennej hrádze. Pri výbere hrádze tohto typu zohral dôležitú úlohu aj fakt, že v blízkosti stavby do 2 km bolo možné ťažiť dostatočné množstvá kameňa v dvoch kameňolomoch Hukava a Výbošťok.

Okrem typu priehrad bolo potrebné rozhodnúť sa aj pre vhodné tesnenie. Na základe dokázania dostatočného množstva hlin v okruhu 20 km od stavby a dostatočnej kvality skúmaných vzoriek, bolo zvolené jadrové ílové tesnenie.

V projektovanom riešení na reálnom časovom rade mesačných prietokov za obdobie 1931 - 1950 ( $Q_a = 0,905$ ,  $C = 0,441$ ) resp. 1931 - 1960 ( $Q_a = 0,94$ ,  $C = 0,38$ ), bol zhodne stanovený pre skôr určený hrubý nadlepšený prietok zásobný objem  $V_z = 7,7$  mil.  $m^3$ . Celkový objem nádrže bol stanovený hodnotou  $V_c = 8,2$  mil.  $m^3$  s prihliadnutím na to, že nádrž nemá retenčný priestor. Z porovnania parametrov nádrže a hydrologických pomerov vyplýva, že nádrž využíva potenciál toku Slatiny iba čiastočne, čo možno vyjadriť súčiniteľom nadlepšenia  $\alpha = 0,44$  a pomerným zásobným objemom  $\beta = 0,46$ . Z toho vyplývajú minimálne nároky na viacročnú zložku nádrže, teda ide o nádrž s ročným regulovaním.

Vodárenská nádrž patrí do stredoslovenskej vodárenskej sústavy a je vybudovaná na toku Slatina v r.km 47,850. Nádrž sa rozprestiera na ploche  $0,55$   $km^2$  a svojím celkovým objemom plní nasledovné funkcie [1]:

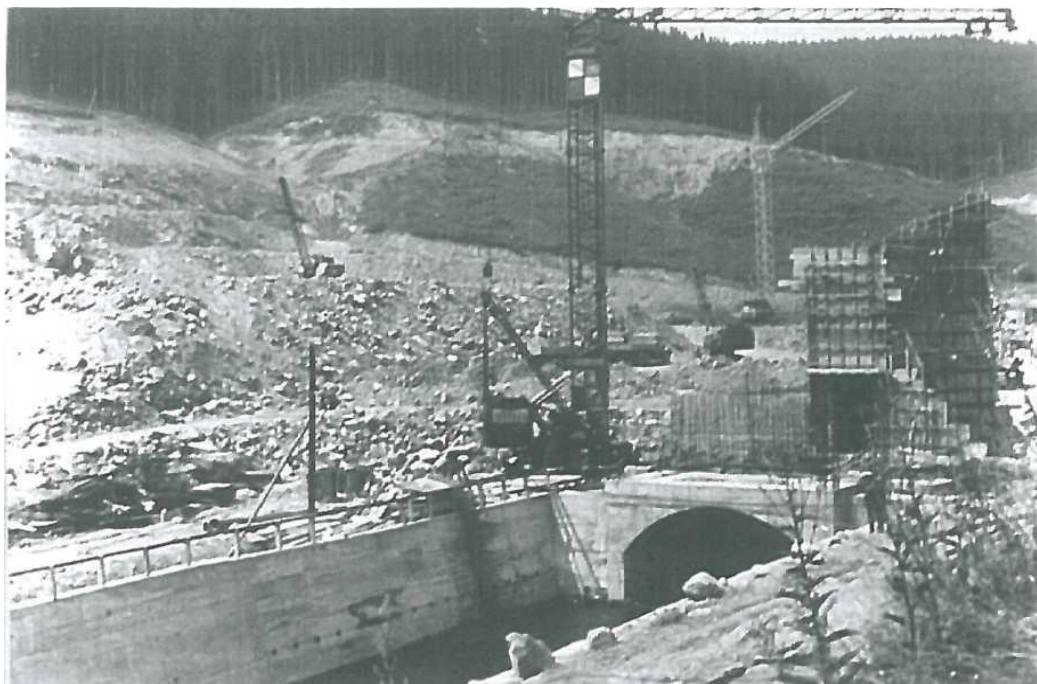
- a/ zabezpečuje dodávku pitnej vody cez skupinový vodovod HLF (Hriňová, Lučenec, Fiľakovo),
- b/ zabezpečuje minimálny zostatkový prietok pod nádržou  $Q_{355} = 121$   $l \cdot s^{-1}$ ,
- c/ hydroenergetický potenciál vody VN je využívaný malými vodnými elektrárnami MVE I a MVE II,
- d/ zlepšenie kvality vody cez biologický systém nádrže účelovou rybnou obsádkou.

### 2.1 Hlavné parametre vodnej stavby a hladiny

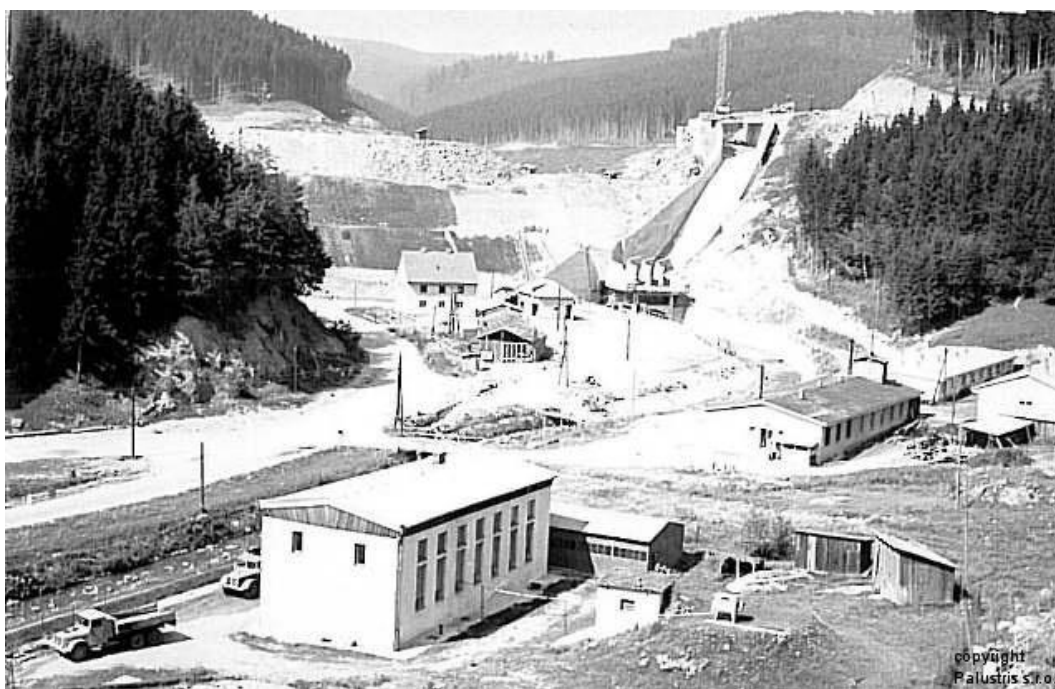
Dĺžka hrádze v korune	242,80 m
Výška hrádze nad terénom	41,50 m
<b>Plocha povodia</b>	<b>70,82 <math>km^2</math></b>
Celkový objem z toho:	
- stály	517 340 $m^3$
- zásobný	7 682 660 $m^3$
Min. prevádzková hladina	539,60 m n. m.
Max. prevádzková hladina	565,20 m n. m.
Max. dovolená hladina	565,40 m n. m.



postupu prác sa hrádza sypala veľmi nerovnomerne - najmä v rokoch 1963 - 1965. V poslednom roku výstavby /1965/ sa zasypala prejazdová „brána“ pri ľavom brehu bočného priepadu, pričom sa nevytvorili predpoklady pre vznik klenbového účinku sypaniny. Nasvedčovali tomu veľké poklesy koruny a veľké priesaky na styku medzi betónovým objektom a násypom pri prvom plnení nádrže v apríli 1966. Počas prevádzky vodárenskej nádrže došlo v troch prípadoch k havarijnému zvýšeniu priesakov [4], [5].



*Obr. 2 Výstavba VN r. 1963*



*Obr. 3 Výstavba VN r. 1965*

#### 4. SKÚSENOSTI Z PREVÁDZKY

Obdobie doterajšej viac ako 50 ročnej prevádzky môžeme rozdeliť na niekoľko etáp:

- obdobie rokov 1965 až 1971 obdobie prvého plnenia a úzko súvisiace poruchy,
- obdobie rokov 1971 až 1988 je obdobie prevádzky pri trvale zníženej hladine,
- obdobie 1989 až 1992 obdobie sanácie porúch, rekonštrukcia hrádze,
- obdobie 1994 až 1997 obdobie overovacej prevádzky po rekonštrukcii,
- obdobie 1997 až 2018 obdobie štandardnej prevádzky pri max. prev. hladine.

Po dokončení čiastkových prác na jednotlivých objektoch stavby sa začalo v mesiaci november roku 1965 s postupným napúšťaním nádrže. Hydrologické pomery hlavných prítokov boli natoľko priaznivé, že sa plnilo rýchlosťou 50 cm/24 hod. Z denníkov sa dozvedáme, že prírastky v plnení boli niekedy aj 2 metre/24. Po naplnení nádrže na kótu 540 m n. m. bolo plnenie zastavené a na tejto kóte sa udržiavalo počas jedného mesiaca. Počas tohto času boli prevedené jednotlivé merania, ktoré nesignalizovali žiadne deformácie. S plnením sa pokračovalo ďalej aj s prestávkami. Keď hladina v nádrži dosiahla kótu 563,32 m n. m., začali sa objavovať zvýšené priesaky, ktoré mali stúpajúcu tendenciu a prerástli až na havarijný stav.

**Prvá havária** sa začala prejavovať dňa 01. 4. 1966, keď priesak pod sklzom vystúpil na hodnotu  $5,5 \text{ l.s}^{-1}$  a priesaková voda sa zakalila. Dňa 02. 04. 1966 sa priesak zväčšil na  $10 \text{ l.s}^{-1}$  a mal stúpajúcu tendenciu. Kritický deň bol 04. 04. 1966, keď sa o 02. °° hod. objavil priesak zakalenej vody aj na vzdušnom svahu hrádze medzi schodiskom a sklzom a o 04. °° hod došlo na lavičke na kóte 548,00 m n. m. k lokálnemu zosuvu na ploche cca  $150 \text{ m}^2$ . O 08. °° hod sa už priesak nedal merať a bol odhadovaný na  $100 \text{ l. s}^{-1}$ . V dobe poruchy bola hladina prudko znižovaná až na kótu 548,50 m n. m. tak, že bola prekročená kapacita koryta Slatiny pod VN, voda sa z koryta vyliala a spôsobila v meste Hriňová povodňový stav. Následne boli vykonané malé opravy a bol sanovaný aj zosuv na vzdušnej strane hrádze. Nepriaznivý vplyv na prevádzku priehrady mali prieskumné vrty vykonané v ľavom svahu, čím bolo spôsobené vytečenie hliny z jadra spolu s filtrom o objeme cca  $6 \text{ m}^3$ . Po vykonaných sanačných prácach, aj keď príčiny neboli jednoznačne objasnené, začalo sa s postupným zvyšovaním hladiny rýchlosťou 5 cm/24 hod.

**Druhá havária** nastala 15. 05. 1968, keď sa priesak pod sklzom začal zvyšovať z  $2,9 \text{ l.s}^{-1}$  na  $4,0 \text{ l.s}^{-1}$  a za ďalšiu hodinu sa zvýšil na hodnotu  $10 \text{ l.s}^{-1}$ . Priesaková voda bola silno zakalená. Kritický stav nastal dňa 16. 05. 1968 o 22. °° hod, keď priesak dosiahol hodnotu  $90 \text{ l.s}^{-1}$  -  $150 \text{ l.s}^{-1}$ . Výver vody sa objavil aj na vzdušnej strane hrádze vľavo pod lavičkou na kóte 548,00 m n. m.. Kedy prevádzkovateľ vodného diela opäť začal s prudkým vypúšťaním nádrže, priesaky úmerne klesali a ich hodnoty sa ustáli na kóte 553 m n. m. Erozívna ryha, ktorá vznikla nad dilatačnou škárou medzi opornou stenou klapky priepadu a injekčnou štôľňou mala šírku 6 - 8 m. Priesak vody k dilatačnej škáre umožnili jednak ťahové trhliny v jadre, jednak rozpukaná hornina podložia na ktorej bolo uložené jadro. Táto cesta vody bola sanovaná ílovocementovou zmesou. Opätovne sa vykonal rad prác, ktoré mali zlepšiť stav hrádze. Mimo iné to bola

pripojovacia injektáž a 36 odľahčovacích vrtov. Znovu sa začalo s pozvoľným napúšťaním, max. hladina však vydržala v nádrži do ďalšej havárie len 8 dní.

**Tretia havária** nastala 10. 06. 1971 večer po výdatných zrážkach, keď sa po prekročení max. hladiny objavil priesak pod sklzom, ktorý behom niekoľko hodín vzrástol na  $17 \text{ l.s}^{-1}$  a dňa 11.06. 1971 kulminoval pri hodnote  $110 - 120 \text{ l.s}^{-1}$ . Objavil sa aj priesak vo vstupnej štôlni, ktorý mal dovedty nulovú hodnotu. Ráno o 7 hodine bolo zahájené znižovanie hladiny rýchlosťou  $1 \text{ m}/24 \text{ hod}$ . Hladina bola znížená na kótu  $552,40 \text{ m n. m.}$ , no napriek tomu sa priesak pod sklzom držal na hodnote  $70-80 \text{ l.s}^{-1}$ . Akútne nebezpečenstvo pominulo 30. augusta 1971, keď priesak pod sklzom prudko klesol a dosiahol hodnotu  $6,0 \text{ l.s}^{-1}$  s klesajúcou tendenciou. Havárii opäť predchádzal pokles tlaku na vztlakomernom vrte 3A.

**Vyšetovanie príčin všetkých troch havárií bolo zabezpečované komisiou, ktorú zriadilo Ministerstvo lesného a vodného hospodárstva SR. Komisia riadila a vyhodnocovala vývoj vodného diela a dávala pokyny na všetky zabezpečovacie a prieskumné práce.**

Od roku 1971 až do roku 1988 bola nádrž prevádzkovaná pri trvalo zníženej hladine na kóte  $554,00 - 559,00 \text{ m n. m.}$  Po druhej poruche sa realizovali rozsiahle prieskumné práce, ktoré mali objasniť príčiny havárií. Medzi rozsiahlejšie a originálne prieskumné práce patrila "prieskumná ryha" hĺbená vo filtri v piatich  $5 \text{ m}$  sekciách na kontakte filter - tesniace jadro po celej výške zvislej časti jadra [6], [7].

Popri vizuálnych pozorovaniach realizovala Katedra geotechniky Stavebnej fakulty STU Bratislava rozsiahle laboratórne skúšky na vzorkách odobratých z tesnenia. Bol objavený chúlостivý detail napojenia tesnenia na betónovú stenu sklzu, sadanie koruny, trhliny v tesnení a ďalšie anomálie. Súčasne sa realizovali čiastkové sanačné zákroky - ventilovanie drenážneho systému priehrady, dotestovanie podložia ako aj zapieskovanie návodného svahu hrádze. Tieto opatrenia však nezaručovali požadovanú spoľahlivosť a preto bola nádrž viac ako 20 rokov prevádzkovaná pri zníženej hladine na kóte  $556,00 - 559,00 \text{ m n. m.}$ , čo predstavuje zníženie hladiny  $11,60$ , resp.  $8,60 \text{ m}$ , ako aj zníženie jej disponibilného zásobného objemu z  $7,7 \text{ mil. m}^3$  na  $3,5$  až  $5,0 \text{ mil. m}^3$ . Tým sa znížila aj spoľahlivosť zdroja - nádrže a potreba jej zapojenia do vodohospodárskej sústavy [8], [9].

## 5. REKONŠTRUKCIA HRÁDZE

Neistota z technického stavu stavby ako aj narastajúce nároky na dodávku pitnej vody viedli správcu k potrebe uskutočnenia generálnej opravy hrádze, ktorá prebiehala v rokoch 1989 až 1992.

Pre definitívnu sanáciu priehrady Hriňová boli vypracované viaceré alternatívne riešenia vychádzajúce v zásade z dvoch koncepcií:

1. Rekonštrukciou priehrady zvýšiť pôvodnú kapacitu nádrže zo  $7,7 \text{ mil. m}^3$  na  $9,78 \text{ mil. m}^3$  (pri zvýšení hrádze o  $3,7 \text{ m}$ ), resp. na  $14,25 \text{ mil. m}^3$  (pri zvýšení hrádze o cca  $10,0 \text{ m}$ ),
2. Rekonštruovať hrádzu pri zachovaní jej pôvodnej výšky a veľkosti nádrže.

Prvá koncepcia predpokladala dočasné vypustenie nádrže, zatiaľ čo druhá koncepcia predpokladala rekonštrukciu počas prevádzky, pri zníženej hladine na úroveň  $557,00 - 559,00 \text{ m n. m.}$ .

Nakoniec bola vybratá druhá varianta a v roku 1989 sa začali rekonštrukčné práce počas prevádzky nádrže.

Sanácia bola riešená vybudovaním tesniacej ílovocementovej podzemnej steny, konsolidačnej injektáže tesniaceho jadra v okolí injekčnej clony, injekčných vrtov do vzdušného filtra z koruny hrádze, vybudovaním nových vztlakomerných vrtov na návodnej a vzdušnej strane injekčnej chodby.

## **6. OVEROVACIA A TRVALÁ PREVÁDZKA**

Overovacia prevádzka nastala od dosiahnutia a zhodnotenia maximálneho zaťažovacieho stavu vodnej stavby, t.j. od februára 1994 a trvala do 31. 12. 1997. Odbornou organizáciou VV, š. p., Bratislava odborom TBD bol vypracovaný „Program dohľadu“ nad VS počas overovacej prevádzky s určením medzných a kritických meraných hodnôt a po jej ukončení bola vypracovaná súhrnná správa o dohľade počas overovacej prevádzky. Predmetná správa vo svojom závere konštatuje, že overovacia prevádzka prebehla bez závad. Počas OP sa nevyskytli žiadne mimoriadne javy, ktoré by bránili uvedeniu diela do trvalej prevádzky. Bolo doporučené uviesť vodné dielo do trvalej prevádzky bez obmedzení [10].

Trvalá prevádzka nastala 01.01.1998. Potvrdila správnosť navrhnutých a s vysokou presnosťou realizovaných rekonštrukčných prác. Rozhodujúce merané veličiny vykazujú ustálené hodnoty, nie ako to bolo pred rekonštrukciou pri trvale zníženej hladine. Na stavbe sa prirodzene objavuje ďalší fenomén a to je starnutie priehrady. V roku 2009 bolo nutné vymeniť nespoľahlivý rozstrekovací uzáver, v roku 2012 boli sanované betónové konštrukcie bezpečnostného priepadu – obnažené armovacie prvky. V roku 2013 bol nameraný nadmerný korozívny úbytok na oceľových potrubíach (v roku 2018 potvrdený pokračujúci trend korózie) – výmena potrubí si vyžadovalo zložité technické riešenia. Nemožno ponechať nepovšimnutý ani svah nad sklzom pod štátnou cestou. Tento svah možno charakterizovať ako zosuvné územie, o čom hovorí aj zachovaná historická dokumentácia. Pozorovaná priemerná rýchlosť zosuvu je 3,05 mm/ rok, svah je priebežne monitorovaný.

## **7. ZÁVER**

Poruchy vodných stavieb väčšinou spôsobujú rozhodujúce faktory ako je kvalita projektovej dokumentácie, kvalita realizácie stavby a technologické postupy, prevádzkové zaťaženia, starostlivosť a údržba vykonávaná prevádzkovateľom. Pod havarijné stavy VN Hriňová sa podpísali všetky tri subjekty zainteresované na príprave, realizácii a prevádzkovaní stavby: projektant, dodávateľ ako aj prevádzkovateľ stavby. V mnohých prípadoch snaha o čo najúspornejšie riešenie znamená zníženie kvality pod únosnú mieru, ktorá sa skôr či neskôr prejaví vo zvýšených nákladoch pri opravách a rekonštrukčných prácach. Aj toto potvrdzuje, že šetriť na nesprávnom mieste sa obyčajne neoplatí.

## ZOZNAM LITERATÚRY

- [1] *HYDROCONSULT BRATISLAVA, Manipulačný poriadok pre vodnú stavbu VN Hriňová 2009 17 s.*
- [2] *TECHNICKÝ PASPORT VODNÉHO DIELA HRIŇOVÁ, 1967. 55s.*
- [3] *ABAFY, D., LUKÁČ, M. Priehrady a nádrže na Slovensku. I. vyd. Bratislava: ALFA, 1991. 143 s.*
- [4] *BEDNÁROVÁ, E. ET. AL. Priehradné staviteľstvo na Slovensku. 1. vyd. Bratislava: KUSKUS, 2010. 207 s.*
- [5] *GEOLOGICKÝ PRIESKUM ŽILINA. VD Hriňová – injekčný prieskum I., II., III. etapa, 1963*
- [6] *HYDROCONSULT BRATISLAVA. Sanácia priehrady - štúdiá, 1972*
- [7] *VERFEL, J. Posudok porúch hlinitého tesniaceho jadra v miestach veľkých priesakov na priehrade Hriňová v rokoch 1966, 1968, 1971, 1985*
- [8] *HRAŠKO, J. ET.AL. Posudok k technickému riešeniu sanácie hrádze, 1985*
- [9] *FERENČÍK, J. Projekt postupu opravy hrádze -Hydroconsult Bratislava, 1988*
- [10] *VODOHOSPODÁRSKA VÝSTAVBA BRATISLAVA. Etapová správa o TBD VN Hriňová za rok 1986 a 2013*

## AUTOR

Ing. Tomáš Ič

SVP, š. p., OZ Banská Bystrica, Partizánska cesta 69, 974 98 Banská Bystrica

e-mail: tomas.ic@svp.sk

Ing. Rudolf Sýkora, PhD.

SVP, š. p., OZ Banská Bystrica, Partizánska cesta 69, 974 98 Banská Bystrica

e-mail: rudolf.sykora@svp.sk

# SKÚSENOSTI A POZNATKY Z PREVÁDZKY VODNEJ STAVBY VELKÁ DOMAŠA PO 50-TICH ROKOCH

## EXPERIENCES AND KNOWLEDGES GAINED FROM OPERATION OF THE WATER RESERVOIR VELKÁ DOMAŠA AFTER 50 YEARS

*Eva Kolesárová*

**Abstrakt:** Príspevok je venovaný 50-temu výročiu uvedenia do prevádzky vodnej stavby Veľká Domaša. Opisuje históriu výstavby, účel využitia a predovšetkým skúsenosti a poznatky z prevádzky tejto vodnej stavby s poukázaním potrieb na zabezpečenie jej ďalšej bezpečnej prevádzky.

**Abstract:** This contribution is devoted to the 50th anniversary of launching the operation of the water reservoir Veľká Domaša. It describes the history of dam construction, its purpose and the experiences and knowledges gained from the operation of this water reservoir focused to ensure its further safe operation.

### 1. ÚVOD

Päťdesiat rokov prevádzky vodnej stavby Veľká Domaša je v histórii slovenského priehradného staviteľstva významným medzníkom a zároveň aj dôvodom pripomenúť si úsilie našich vodohospodárov, ktorí pred viac, ako 50-timi rokmi stáli pri zrode myšlienky, tvorbe koncepcie a pri samotnej realizácii výstavby tohto vodného diela. Vodohospodársky význam vodnej stavby Veľká Domaša, ako nádrže s viacročným vyrovnaním prietokov, spočíva vo vyrovnávaní prietokov v dolnom toku, zabezpečení rovnomernej dodávky povrchovej vody pre priemyselné a v minulosti aj pre závlahové účely, ochrane územia pred povodňami transformáciou povodňovej vlny, zabezpečení hydroenergetického využitia výrobou špičkovej elektrickej energie, športového a rekreačného využitia. Vodná stavba je situovaná severne od mesta Vranov nad Topľou v depresii Ondavskej vrchoviny, v povodí Bodrogu na toku Ondava v rkm 71,565.

### 2. HISTÓRIA VÝSTAVBY

Vodná stavba Veľká Domaša bola vybudovaná v rokoch 1962-1967 v súčinnosti s realizáciou vodohospodárskych úprav na Východoslovenskej nížine. Príprava výstavby vodnej stavby bola schválená vládym uznesením č. 472 zo dňa 3. 5. 1957. Projekt vodnej stavby vypracoval Hydroprojekt Bratislava a generálnym dodávateľom stavby bol Váhostav Žilina. S výstavbou vodnej nádrže sa začalo vo februári v roku 1962, zakladanie injekčnej štôlne bolo realizované v auguste 1963, odvedenie prietoku Ondavy do komunikačnej štôlne bolo v júni 1964, sypanie vlastného telesa hrádze bolo ukončené v septembri 1966 (v tom čase sa už nádrž napúšťala od 1.11.1965), zároveň bola ukončená aj výstavba vyrovnávacej nádrže, výstavba vodnej elektrárne bola ukončená v decembri 1966 a o rok neskôr v decembri 1967 bola ukončená výstavba celého vodného diela. Výstavba vodného diela prechádzala zložitými etapami,



v ktorých sa prejavovali problémy so zakladaním jednotlivých objektov ako aj so samotným sypaním hrádze. Stavebné práce zhoršovali, nepriaznivé geologické pomery, ako aj početné zosuvy, ktoré sú v záujmovom území tejto stavby aktívne dodnes. Výstavba nádrže si vyžiadala vybudovanie aj niekoľkých vyvolaných investícií. Okrem presídlenia obcí Veľká Domaša, Dobrá, Trepec, Kelča, Valkov, Petejovce a čiastočne Bžany a Turany to bola aj preložka štátnej cesty II. tr. č. 557 z Vranov do Stropkova a aj pozdĺž nej vedúcich elektrických a telefónnych vedení. Na ochranu pamiatkovo cenných kostolov v obciach Kelča a Bžany, ktoré sa nachádzajú pod úrovňou max. prevádzkovej hladiny sa vybuďovali ochranné hrádze.

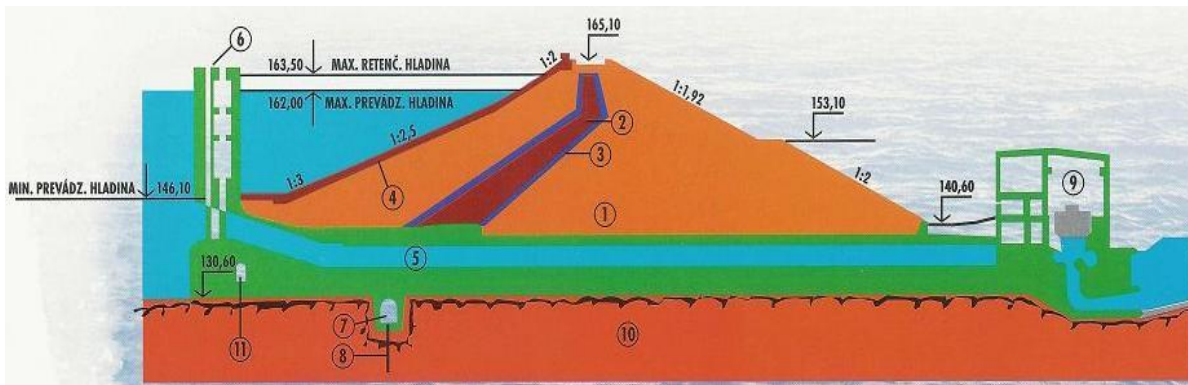


*Obr. 1 Výstavba priehradného múra a funkčných objektov vodnej stavby*

*Obr. 2 Prívodné potrubia k turbínám TG1 a TG2 vodnej elektrárne*

### 3. ZÁKLADNÉ PARAMETRE A CHARAKTERISTIKY VODNEJ STAVBY

Vybudovaním priehrady sa zaplavila plocha o rozlohe 1 510 ha, plocha povodia je 827 km<sup>2</sup>, celkový objem nádrže je 187,5 mil.m<sup>3</sup>, z toho zásobný objem predstavuje 148,5 mil.m<sup>3</sup>, retenčný objem 21,0 mil.m<sup>3</sup>, priemerná hĺbka 18 m, max. hĺbka 33,5 m, dĺžka nádrže 17,5 km, šírka nádrže v najširšej časti je 2,6 km, obvod nádrže 31,1 km. Nádrž je vytvorená zemnou heterogénnou sypanou priehradou so šikmým vnútorným hlinitým tesnením. Nosná časť hrádze je sypaná z priepustných aluviálnych štrkopieskov. Vnútorné tesniace jadro je vybudované z piesčitých hĺn. Šírka koruny tesniaceho jadra je 1,5 m, kóta koruny jadra bola projektovaná na úroveň kóty 163,60 m n. m. Smerom nadol sa jadro rozširuje a na úrovni kóty 158,20 m n. m. sa lomí šikmo proti vode. Jadro je z obidvoch strán chránené jednostupňovým filtrom so šírkou 1,0 m. Koruna hrádze je široká 7,0 m a na návodnej strane je opatrená betónovým vlnolamom. Projektovaná výška koruny hrádze je 165,10 m n. m. Dĺžka v korune hrádze je 350 m.



Obr. 3 – schéma priečného profilu priehrady VS Domaša

1-teleso hrádze, 2-tesniace jadro, 3-filter, 4-kamenné opevnenie, 5- privádzač, 6-odberný objekt, 7-injekčná štôľňa, 8-injekčná clona, 9-hydrocentrála, 10-skálny podklad, 11-revízna chodba

Charakteristické údaje hladín v nádrži sú nasledovné :

- maximálna retenčná hladina	163,50 m n. m.
- maximálna prevádzková hladina	162,00 m n. m.
- minimálna prevádzková hladina	146,20 m n. m.

Súčasťou vodnej stavby je aj vyrovnávací nádrž Malá Domaša o celkovom objeme 1,03 mil. m<sup>3</sup>. Hlavné objekty Veľkej Domaše sú heterogénna sypaná hrádza akumuláčnej nádrže so združeným vtokovým objektom, bočným bezpečnostným priepadom a vodnou elektrárnou, ako aj vlastná nádrž. Hlavným objektom vyrovnávacej nádrže Malá Domaša je dvojpoľová betónová hať, so segmentami, na ktoré po oboch stranách nadväzuje zemná hrádza.

#### 4. PREVÁDZKOVÉ PROBLÉMY A ICH RIEŠENIA

Podľa kritérií technicko-bezpečnostného dohľadu, ktorým sa sleduje technický stav vodného diela z hľadiska jeho bezpečnosti a stability, je priehrada Veľkej Domaše zaradená do I. kategórie. Merania vykonávané v rámci dohľadu sú zamerané na sledovanie posunov a deformácie hrádze a betónových objektov a na sledovanie priesakového režimu v telese hrádze, podloží a priľahlom teréne. Výsledky meraní deformácií a posunov svedčia o ukončenej konsolidácii a dobrej stabilite jednotlivých objektov. Výsledky sledovania a merania priesakových pomerov svedčia o dobrej účinnosti tesniacich prvkov, ale aj o kvalite betónov a tesnosti dilatačných škár. Zvýšená pozornosť je však venovaná meraniam priesakových pomerov v zaviazaniach hrádze. Z dôvodu nevhodnej geologickej stavby podložia je problematické ľavostranné zaviazanie hrádze. Na základe geofyzikálnych meraní v rokoch 1969 – 1971 bola zistená priesaková zóna v injekčnej clone ľavostranného zaviazania a stúpajúca tendencia filtračných rýchlostí. Následkom toho bola realizovaná injektáž ľavostranného zaviazania a podložia bezpečnostného priepadu trojradovou clonou do hĺbky 60 m. Tomuto úseku je venovaná stála pozornosť. Pravidelne sa vykonávajú merania filtračných rýchlostí, každé dva roky STU v Bratislave spracúva analýzu filtračného režimu v telese a podloží priehrady. Výsledky týchto meraní potvrdzujú, že protipriesakové opatrenia

vybudované v telese i podloží priehrady si v súčasnosti plnia svoju funkciu spoľahlivo a prevádzka vodnej stavby z hľadiska filtračnej stability je bezpečná.

Bezpečnosť priehrady, funkčnosť technologického zariadenia a prevádzkyschopnosť všetkých objektov vodného diela boli dostatočne preverené pri zvýšených záťažových stavoch počas povodňových situácií v období rokov 2004, 2006 a 2010. Z pohľadu hladinového režimu akumuláčnej nádrže je zaujímavý rok 2004, v ktorom došlo k extrémnemu hydrologickému javu dosiahnutím minimálnej a maximálnej hladiny v časovom rozpätí 5 mesiacov. Historické maximum vodnej hladiny bolo dosiahnuté dňa 5.6.2010 na kóte 163,11 m n. m. V roku 2000 sa realizovala oprava elektrických silových rozvodov v dopravnej štôlni a oprava hydrotechnických zariadení dnovej výpuste. Avšak po povodňovej situácii v roku 2004 pri prehliadke dnového výpustu boli zistené netesnosti a poškodenia vedenia rýchlozáveru, čo si vyžiadalo diagnostiku a opravu provizórneho hradenia a dnového výpustu. Na základe výsledku diagnostiky sa v roku 2006 vykonala oprava dnovej výpuste. Predmetné práce boli realizované v dvoch etapách. V prvej etape bola prevedená oprava tabuľového uzáveru a v druhej etape oprava rozstrekovacieho uzáveru. V rámci opravy tabuľového uzáveru bola prevedená oprava servoalca a prevodoviek, výmena valivých ložísk, montáž a zoradenie kolies tabuľového uzáveru, výmena tesnenia, opieskovanie a náter tabule, oprava ohnutých ťahiel a revízných plošín, oprava a nastavenie zdvíhacieho mechanizmu. V druhej etape boli prevedené práce na rozstrekovacom uzávère pozostávajúce z opieskovania, náteru uzáveru a opancierovanej výtokovej komory, výmeny dosadacej tesniacej lišty, rýchlozáveru a výmeny tesnení. Realizáciu predmetnej údržby značne skomplikovala aj povodňová situácia v letných mesiacoch a preto museli byť práce načas prerušené. Po ukončení prác a vykonaní komplexných skúšok sa výrazne zvýšila bezpečnosť a funkčnosť dnového výpustu.



*Obr. 4 – Oprava rýchlozáveru dnovej výpuste a rozstrekovacieho ventilu*

*Obr. 5 – Realizácia vrtov prúdovej injektáže*

V rámci zvýšenia bezpečnosti priehradného múra vodnej stavby Domaša sa v roku 2007 realizovala investičná akcia zameraná na zvýšenie úrovne tesniaceho jadra. Projektovaná výška koruny tesnenia hrádze bola na kóte 163,60 m n. m., čo bolo len 10 cm nad projektovanou úrovňou max. retenčnej hladiny. Pokles koruny tesniaceho jadra od projektovanej úrovne 163,60 m n. m. sa pohyboval od 18 cm do 51 cm, pričom pokles narastal z ľavej strany hrádze (bočného priepadu) k pravej strane hrádze. To znamenalo, že za určitých okolností mohol nastať stav, kedy hladina vody v nádrži pri povodňových prietokoch by prekročila túto úroveň.

Z hľadiska TBD a bezpečnosti hrádze bol takýto stav neprípustný a súčasne nezodpovedal požiadavkám normy STN 736850 o bezpečnom prevýšení tesniaceho jadra. Z uvedených dôvodov sa pristúpilo k vybudovaniu pilierovej podzemnej tesniacej steny bezotrasovou metódou stĺpom prúdovej injektáže. Na VS Veľká Domaša sa pilierová podzemná tesniaca stena realizovala z koruny hrádze v dĺžke 335 m a pozostávala z 335 ks navzájom prepojených stĺpov prúdovej injektáže s priemerom DN 1,20 m s osovou vzdialenosťou medzi jednotlivými stĺpmi 1,0 m. Parametre technológie prúdovej zmesi stanovil dodávateľ s ohľadom na druh zemín a požadované vlastnosti (nepriepustnosť  $k < 5 \cdot 10^{-8} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ , min. šírka tesniacej steny). Po povodni v roku 2010 musel prevádzkovateľ z dôvodu častej poruchovosti zabezpečiť aj výmenu čerpadiel v injekčnej štôlni. V roku 2012 sa vykonali stavebné opravy vstupného objektu do injekčnej štôlne a zároveň sa začalo s postupnými opravami objektov na vyrovnávacej nádrži Malá Domaša. Ešte v tomto roku sa zrealizovala oprava provizórneho hradenia a v rokoch 2012-2014 sa vykonala oprava obidvoch segmentov, stavebných častí a elektroinštalácie v strojovniach na vodnej nádrži Malá Domaša. Po zvýšených priesakoch v revíznej chodbe musel prevádzkovateľ v roku 2015 zabezpečiť opravu dilatácií na obidvoch privádzačoch k turbínam hydrocentrály. V roku 2017 sa zrealizovala rekonštrukcia pozorovacích sond v telese a okolí priehrady a oprava elektrotechnickej a strojnotechnologickej časti malých čerpacích staníc na prečerpávanie priesakových vôd pri historických objektoch – kostolov v Kelči a Bžanoch. V tomto roku sa realizuje oprava prístavu – pontóna a nástupnej lávky.



*Obr. 6 - Oprava segmentov vyrovnávacej nádrže Malá Domaša*



*Obr. 7 - Oprava objektov strojovní vyrovnávacej nádrže Malá Domaša*

V posledných rokoch prudkým rozvojom výpočtovej techniky sa vniesla značná kvalita do monitorovacieho systému, riadenia a modernizácie dispečingu, vybudoval sa autonómny systém varovania a vyznutenia, na ktorom participuje 8 obcí pod vodnou stavbou Veľká Domaša a zabezpečilo sa diaľkové ovládanie segmentov. Pre zvýšenie bezpečnosti a ochrany majetku vodného diela v súvislosti so sprístupnením hrádze pre peších turistov a cyklistov sa vybudoval monitorovací systém a poplachový systém narušenia.

## 5. ÚLOHY NA OCHRANU A ZLEPŠENIE PREVÁDZKY VODNEJ STAVBY

Štúdia Výskumného ústavu vodného hospodárstva v Bratislave „Prehodnotenie kapacity bezpečnostného priepadu VN Veľká Domaša“ na základe výsledkov spracovaného fyzikálneho modelu preukázala, že pôvodne projektované transformačné účinky nádrže nie je možné v prevádzke skutočne dosiahnuť. Prietok  $Q_{100} = 615 \text{ m}^3/\text{s}$  má byť transformovaný na  $Q_{100\text{transf}} = 327 \text{ m}^3/\text{s}$  (kóta hladiny 163,33, m n. m). Prietok  $Q_{1000} = 930 \text{ m}^3/\text{s}$  má byť podľa projektu transformovaný na  $Q_{1000\text{transf}} = 474 \text{ m}^3/\text{s}$  (kóta hladiny 163,77 m n. m). Výsledok modelového výskumu preukázal, že podľa súčasného reálneho stavu bezpečnostného priepadu, stanovený prietok  $Q_{100\text{trans}} = 327 \text{ m}^3/\text{s}$  sa prevedie pri hladine 163,41 m n. m. a extrémny transformovaný povodňový prietok  $Q_{1000\text{transf}} = 474 \text{ m}^3/\text{s}$  sa prevedie pri hladine 163,97 m n. m. Z uvedených skutočností vyplýva, že je potrebné v budúcnosti zabezpečiť opravu koruny bočného bezpečnostného priepadu jej zvýšením a úpravou prepadovej hrany.

Starnutie priehrad je čoraz častejšie skloňovaným výrazom v priehradnom stavitelstve. V našich klimatických podmienkach sa zub času podpísal hlavne na betónových konštrukciách vodnej stavby. Združený funkčný objekt si už vyžaduje opravu (reprofiláciu) zvislých betónových konštrukcií.

## 6. ZÁVER

Vodná stavba Veľká Domaša už takmer 51 rokov spoľahlivo plní svoju vodohospodársku a spoločenskú funkciu v regióne Východného Slovenska a preto je nevyhnutné, aby aj naďalej sa jej venovala náležitá pozornosť a dostatok finančných prostriedkov na skvalitnenie a zlepšenie jej ďalšej bezpečnej prevádzky.

### ZOZNAM LITERATÚRY :

- /1/ Ing. Garan Jozef – GARA Bratislava – VD Domaša – Manipulačný poriadok
- /2/ Hydroconsult Bratislava – VD Veľká Domaša – zvýšenie tesniaceho jadra, projekt stavby, 8/2004
- /3/ KELLER špeciálne zakladanie s.r.o. Bratislava – VD Veľká Domaša – zvýšenie tesniaceho jadra, dokumentácia skutočného vyhotovenia stavby, 11/2007
- /4/ Michal Lukáč, Emília Bednárová – Navrhovanie a prevádzka vodných stavieb, 2006
- /5/ VÚVH Bratislava – štúdia – Posúdenie kapacity bezpečnostného priepadu

### AUTOR

Ing. Eva Kolesárová

Slovenský vodohospodársky podnik, š. p. Odštepny závod Košice

Správa povodia Bodrogu, Trebišov

M. R. Štefánika 25

075 01 Trebišov

eva.kolesarova@svp.sk

# STÁRNUTÍ PŘEHRAD, TECHNICKÝ I LEGISLATIVNÍ POHLED

## AGING OF DAMS, TECHNICAL AND LEGISLATIVE PERSPECTIVE

*Richard Kučera*

**Abstrakt:** Výstavba přehrad má ve světě tisíciletou historii. Příspěvek porovnává důležitá období budování vodních nádrží v České republice a ve světě. Zabývá se problematikou fyzického opotřebení přehrad a jejich dílčích konstrukcí a uvádí příklady jejich oprav. Druhým důležitým pohledem v péči o vodní díla je jejich stárnutí z pohledu zvyšování legislativních požadavků, zejména na jejich bezpečnost. S tím souvisí i změny hydrologických poměrů od období jejich projektování a výstavby. V takových případech je nezbytné přistoupit k rekonstrukci vodních děl nebo jejich částí, bez ohledu na jejich technický stav.

**Abstract:** The construction of dams has the millennial history. The contribution compares the important periods of the building of the water reservoirs in the Czech Republic and in the world. It deals with the problems of the physical wear and tear of the dams and their partial structure and mentions the examples of its repairs. The second important insight into the care of the water works is their „moral aging“, from the point of view of the growing legislative requirements, in particular to their safety. With that are connected the changes of the hydrological situation since the time of the design and the construction of the dams. In such cases it is necessary to proceed reconstruction of the water works and its parts, no matter to their technical condition.

**Klíčová slova:** rekonstrukce, stárnutí, životnost, vodní dílo, bezpečnost

### 1. ÚVOD

Třebaže výstavba vodních děl tvořící umělé vodní nádrže má v České republice staletou, a ve světě tisíciletou historii, vznik významného počtu existujících a provozovaných velkých vodních děl spadá zejména do minulého století. Zvláště období padesátých až sedmdesátých let 20. století bylo na výstavbu přehrad bohaté, a to jak u nás, tak jinde v Evropě. Stáří řady významných přehrad tedy postupně dosahuje 50 a více let, výjimkou nejsou vodní díla více než stoletá. Častá otázka zní, jak je to s životností či předpokládanou dobou provozu vodního díla. Je třeba si uvědomit, že na rozdíl od mnoha jiných typů staveb, jsou přehrady unikátní tím, že účelem jejich výstavby je vytvořit vodní nádrž, jejíž existence ovlivňuje území mnohonásobně větší, než je objekt vlastního přehradního tělesa. A tedy i požadavky na zachování jejich existence v dlouhodobém horizontu a bez přerušení požadovaných funkcí přesahují limity mnoha jiných staveb.

Naše planeta je velmi bohatá na vodu, ale z celkového objemu je uváděno pouze 2,5% jako sladkovodní, a z tohoto množství je většina vázána v ledovcích, sněhové pokrývce a horninách. Pouze nepatrný zlomek světových zásob vody připadá na vodu v řekách a jezerech, a jen malou část hydrologických cyklů lze ovlivnit činností člověka, tedy prostřednictvím vodních nádrží. K tomu přistupuje nerovnoměrné geografické rozložení těchto zdrojů a kolísání průtoků řek v čase. V okamžiku vývoje civilizace v oblastech, kde požadavky na vodu převýšily možnosti

přirozených zdrojů a zároveň kulturní i technická vyspělost obyvatel byla na dostatečné úrovni, začalo se s budováním staveb, jež měly zabezpečit akumulaci dostatečných objemů vody pro jejich následné průběžné využívání. Tento okamžik nastal podle různých pramenů řádově před 5 000 lety v oblastech nejstarších kultur, v oblastech s nedostatkem vody. Některé z těles přehrad, s více než tisíciletou historií jsou zachovány dodnes, a to i na evropském kontinentu. Jako příklad lze uvést druhou a třetí nejstarší dodnes funkční přehradu na světě, Proserpina a Cornalvo ve Španělsku, vybudované na počátku našeho letopočtu.



1) Přehrada Cornalvo ve Španělsku, přelom 1. a 2. století n.l.

2) Přehrada Proserpina ve Španělsku, přelom 1. a 2. století n.l.

## 2. HISTORIE VÝSTAVBY V ČR

Na území České republiky sahá historie budování umělých vodních nádrží do 13. století, za bohatou éru rybníkářství označujeme období 13. - 17. století. Opět platí, že řada těchto staveb a nádrží slouží dodnes. Na přelomu 18. a 19. století začalo budování nádrží pro potřeby hornictví, z nichž opět řada z nich, po potřebných úpravách je dodnes funkční, například jako vodárenské nádrže. Významným obdobím pro stavbu vodních děl s protipovodňovým účelem byl přelom 19. a 20. století, tedy léta po povodni 1890, a tyto stavby a nádrže především v Jizerských a Krušných horách jsou dodnes neodmyslitelnou součástí tamních vodohospodářských soustav.



3) VD Pílská v Brdech z roku 1853 prošla řadami rekonstrukcí, poslední velké v letech 1963, 1984 a 2012

4) VD Mlýnice z roku 1906, byla přelita při povodni v roce 2010

V úvodu bylo řečeno, že k nejintenzivnější výstavbě vodních děl došlo zhruba v polovině dvacátého století, v období po druhé světové válce. Statistika ICOLD uvádějí, že v současné době je ve světě více než 50 000 velkých přehrad, z nich polovina je starší 50 ti let, výjimkou nejsou přehrady mnohem starší. V České republice do této statistiky připadá více než 100 vodních děl, vzhledem k prudkému útlumu výstavby v osmdesátých letech minulého století je počet přehrad starších 50 ti let také vysoko nad polovinou z uváděného počtu. Přesto, že se dnes často uvádí, že rozmach přehradního stavitelství v tomto období ovlivňovalo naše tehdejší státní zřízení, v porovnání s vývojem v okolní Evropě lze snadno vysledovat, že podobný nárůst i útlum výstavby byl i v řadě okolních států.



5) Stavba VD Orlik na Vltavě, 1954-63



6) Stavba VD Hracholusky na Mži, 1959-64

### 3. STÁRNUTÍ A ÚDRŽBA VODNÍCH DĚL

V dokumentech ICOLD je stárnutí přehrad definováno jako „s časem souvisejícím zhoršováním a změnami vlastností materiálů, z kterých je stavba včetně základů vybudována. Za běžných provozních podmínek obvykle stárnutí ovlivní původní požadavky na chování konstrukcí a později i bezpečnost, pokud nejsou prováděna příslušná nápravná opatření“. Stojíme tedy, stejně jako okolní svět, před problémem stárnutí vodních děl, dalšího dlouhodobého udržení nebo navýšení jejich funkcí a především zajištění a zvýšení bezpečnosti po celé další období jejich existence. Sama existence vodní nádrže a s tím spojený proces přípravy území na zatopení a následné začleňování do života v okolním regionu, nedává většinou předpoklad možnosti hladkého návratu po desítkách let do původního stavu, odstranění vzdouvacího tělesa hráze nebo jeho kompletní nahrazení jinou stavbou, na jiném místě, tak je to možné u jiných typů staveb. A to ani v případě, že by prvotní funkce vodního díla zmizela, či byla potlačena. Vždyť i poměrně krátkodobé požadavky na snížení hladiny vody v nádržích nebo jejich úplné vypuštění z důvodů oprav přehradních těles nebo provedení nutných prací v zátopě dnes naráží na značná omezení, ať už ze strany uživatelů (odběry, plavba, energetika,..) nebo orgánů ochrany životního prostředí.



#### 4. FYZICKÉ OPOTŘEBENÍ VD

Prodlužování životnosti vodních děl má stránku technickoprovozní a stránku legislativní. Z technického a provozního hlediska samozřejmě tyto stavby stárnou. Některé jejich prvky stárnou rychleji, jejich životnost je předvídatelná a jejich oprava či rekonstrukce jsou poměrně snadno realizovatelné. Jedná se především o technologická zařízení včetně elektroinstalací, zařízení sloužící k monitoringu hrází, ale i samostatné jednotlivé stavební konstrukce, jako jsou jeřábové dráhy, mostní konstrukce, různé druhy těsnění, přelivy, a podobně. Opravy a rekonstrukce těchto objektů patří mezi běžně realizované akce, s předstihem plánované a většinou finančně únosné pro pokrytí z vlastních zdrojů podniků Povodí. Jako příklady z nedávné doby lze u Povodí Vltavy uvést výměnu nosníků jeřábové dráhy na Slapech a Orlíku, výměnu lávky hrubých česlí ve Vraném, výměnu mostovek na Lipně a Husinci, rekonstrukci konstrukce pro přepravu lodí na Orlíku nebo opravu těsnění na předivných polích na Slapech. Provozoschopnost se ale neváže jen na kondici tělesa hráze, ale úzce souvisí i se stavem nádrží, tedy s problematikou jejich zanášení sedimenty nebo abraze nestabilních břehů.



7) VD Husinec, výměna mostovky v roce 2014 po 75 letech provozu 8) VD Lipno, výměna mostovky v roce 2004 po 50 letech provozu

Stárnutí vlastních těles hrází lze eliminovat kvalitní průběžnou údržbou, počínaje jejich povrchy. U betonových přehrad se jedná o sanace betonů různého rozsahu, eliminaci průsaků, u zděných typů přehrad opravy spárování spojené s injektážemi. Údržba sypaných přehrad spočívá v péči o dobrý stav povrchu jejich líců a udržování koruny hráze z hlediska nerovností a správného odvodnění, údržba drenážních a těsnících prvků. Tento typ hrází je náchylnější na vnější vlivy poškození vegetací a zvířaty.

Z dlouhodobého pohledu pak může nastat potřeba zásadní rekonstrukce hráze. Na rozdíl od jiných typů výrobků nebo konstrukcí je velmi obtížné, statisticky zpracovat potřebu a odhadnout četnost a rozsah takových zásahů. Každé vodní dílo je svým způsobem originál, ať už svým typem a velikostí, skladbou jednotlivých prvků, kvalitou podloží, morfologií přehradního profilu, dobou výstavby a technickými požadavky a znalostmi té doby, i kvalitou odvedené práce, ať již na projektu nebo při vlastní realizaci. Některé přehradní hráze se obejdou bez nutnosti zásadní rekonstrukce desítky let, jiné ji za stejné období mohou podstoupit opakovaně. U některých typů konstrukčních řešení je i možné předem předpokládat, že než dojde po desítkách let k jejich předpokládanému dožití, bude technické poznání na takové úrovni, která si s jejich zhoršujícím stavem poradí způsobem, který je v době výstavby složitý nebo neznámý. Jako příklady významných rekonstrukcí těles hrází lze u nás uvést celkovou

rekonstrukci VD Láz, včetně ražby nové odpadní štoly, celkovou sanaci přelivných polí či skluzů na Slapech, Lipně, Římově či Hracholuskách.



9, 10) VD Láz, rekonstrukce rybniční hráze z roku 1822 v roce 1993



11,12) VD Slapy, sanace přelivů a těsnění v roce 2003



13) VD Hracholusky, oprava opevnění odpadního koryta

14) VD Sedlice z roku 1928, zdivo je průběžně spárováno a injektováno

## 5. ZMĚNA VYUŽITÍ VD

Požadavky na změnu využití vodních děl jsou dalším důvodem k rozsáhlejším zásahům vedoucím ke zvýšení užitků vodního díla a tím prodloužení životnosti. V zahraničí nejsou výjimkou významné rekonstrukce spočívající ve zvyšování korun hrází a tím objemu vodních nádrží. Jedná se například o zvýšení nejvyšší rockfillové hráze se zemním těsněním výšky 155 m Goscheneralp Dam ve Švýcarsku o 8 m a tím zvětšení objemu o 15%, z důvodů zvýšení

energetického využití. Z historie zmiňme výstavbu betonové hráze Grande-Dixence rovněž ve Švýcarsku z let 1951-1965, výšky 285 m, která byla vybudována těsně pod menší historickou hrází z roku 1935. Ta byla zatopena právě nově vzniklou nádrží nové hráze. Při snížení vody v nádrži lze tuto původní hráz spatřit. Hydroenergetický systém několika přehrad, tunelů a elektráren, jehož je přehrada Grande-Dixence nejvýznamnější součástí, je průběžně posilován, např. v letech 1993-98 mj. „vyvrtáním“ nového vtokového objektu ve stávajícím betonovém tělese hráze.



15) Goscheneralp Dam- hráz před navýšením 2011

16) Grande-Dixence –nová i původní přehradní hráz 1998

## 6. ZVYŠOVÁNÍ BEZPEČNOSTI VD

V dnešní době je asi nejzásadnější, a to jak u nás tak ve světě, požadavek zvyšovat bezpečnost přehrad za extrémních povodní. Bez ohledu na skutečný technický stav vodních děl, řada z nich zestárla prostě proto, že požadované standardy uplatňované v době jejich výstavby jsou již dnes překonané a nedostačující z hlediska bezpečnosti. Tam kde dříve bylo požadováno bezpečně převést stoletou vodu, vyžaduje dnešní legislativa kapacitu na průtoky tisícileté či desetitisícileté. Změnily se hydrologické podklady, očekávané změny v klimatu dávají předpoklad další rozkolísanosti. Proměnu doznalo i osídlení a využití území podél vodních toků pod přehradami. Po zpracování aktuálních hydrologických studií pro dané lokality je posouzena schopnost bezpečně převést zvolenou kontrolní povodeň. Nápravná opatření pak spočívají především ve zvyšování kapacity bezpečnostních přelivů, budování dodatečných bezpečnostních přelivů, zvyšování koruny hrází, výstavbě vlnolamů, zvyšování stability. Zde se už jedná o velmi nákladné projekty, které přesahují běžné finanční možnosti provozovatelů vodních děl a v posledních letech jsou tyto akce financovány z dostupných dotačních titulů.



17)VD Suchomasty – zvýšení bezpečnosti, rozšíření bezpečnostního skluzu o bermu 2014 18)VD Klabava – zvýšení bezpečnosti, rozšíření bezpečnostního přelivu a skluzu 2018



19, 20) VD Římov - - zvýšení bezpečnosti, úpravy bezpečnostního přelivu a skluzu, model a realizace 2008

## 7. ZÁVĚR

V posledních dvaceti letech došlo v řadě zemí Evropy a Severní Ameriky k útlumu budování velkých vodních děl. Na rozdíl od zemí jako je Čína, Irák, Irán, Turecko a další. Je to dáno jednak existencí vodních děl ve vyspělých zemích již z minulosti, jednak současným pohledem, který nezdědka označuje budování přehrad za překonanou minulost a nejzazší variantu řešení a pokouší se hledat různé alternativní přístupy. Současný postoj k budování přehrad demonstruje často opakovaný televizní spot, ukazující řadu staveb jako důkaz lidského umu, zatímco vodní nádrž ukazuje jako příklad toho, co člověk dokáže zničit. Ani výskyt mimořádných povodní v letech 1997, 2002 a 2013 zatím nevedl k přehodnocení tohoto pohledu, na rozdíl od minulosti, kdy po podobných událostech nastával v oblasti přehradního stavitelství rozvoj. Důraznějším impulzem k zamyšlení zřejmě budou problémy se suchem, s kterým se setkáváme v několika posledních letech, a které plošně postihuje širší okruh obyvatelstva a hospodářství než povodně. Ovšem od změny myšlení k první realizaci bývá dlouhá doba. Za této situace je tedy třeba věnovat dostatečnou pozornost stavu již existujících vodních děl a řádnou údržbou i včasnými rekonstrukcemi tak zajistit jejich spolehlivou a bezpečnou funkci i pro následující generace v příštích desetiletích.

**SEZNAM LITERATURY:**

- *Přehrady Čech, Moravy a Slezska (Vojtěch Broža a kolektiv)*
- *Dams 2010 (Český přehradní výbor)*
- *Nejstarší přehrady doby předkřesťanské (Ladislav Votruba)*
- *Materiály z činnosti ICOLD*
- *Foto – archiv Povodí Vltavy, státní podnik a archiv autora*

**AUTOR**

Ing. Richard Kučera

Povodí Vltavy, státní podnik, Holečkova 3178/8, Praha 5 e-mail:

richard.kucera@pvl.cz

# VELKÝ RYBNÍK NA VRCHLICI – REKONSTRUKCE HISTORICKÉHO VODNÍHO DÍLA

## VELKÝ RYBNÍK – REHABILITATION OF THE HISTORICAL WATER STRUCTURE

*Pavel Svatoš, Pavel Krivka*

**Abstrakt:** Historické vodní dílo Velký rybník na říčce Vrchlici si v minulosti prodělalo řadu úprav a rekonstrukcí. Poslední z nich byla dokončena v červnu 2018 a jejím hlavním účelem je zprovoznění spodních výpustí, které nebyly funkční již od roku 1954. Velmi náročné bylo zejména zakládání nového manipulačního objektu spodních výpustí v prostoru návodní paty hráze bez možnosti vypuštění nádrže. Součástí rekonstrukce byla i úprava obou bezpečnostních přelivů a vyrovnání koruny hráze pro bezpečné převedení kontrolní povodně. Technické řešení objektů je popsáno v druhé části příspěvku.

**Abstract:** Historical pond Velký rybník (Large Pond), situated on the Vrchlice River, has undergone many modifications and reconstructions in the past. The last one was completed in June 2018. The main goal of the rehabilitation was the construction of the new bottom outlet structure. The historical outlets are out of function since 1954. Near the upstream dam toe was constructed the sheet pile building pit for the intake part and valve shaft of the new bottom outlet structure. From the technical point of view were construction works very demanding (full reservoir, diverse geology, bad access roads etc.). The reconstruction also included the modification of both the safety spillway and the levelling of the dam crest. The technical solution of the objects is described in the second part of the paper.

**Klíčová slova:** Velký rybník, spodní výpust, bezpečnost za povodní

### 1. ÚVOD

Velký Rybník se nachází na říčce Vrchlici asi 1,4 km pod klenbovou hrází přehrady Vrchlice nedaleko od historického města Kutná Hora. První záznam o přehrazení údolí Vrchlice přibližně v tomto profilu se podařilo dohledat na mapě J. Ch. Fischera z roku 1750, na které je zakreslena již protržená hráz Dolejšího královského rybníka nad Šimáčkovým mlýnem. Současných parametrů dostalo vodní dílo rekonstrukcí dokončenou kolem roku 1850, kterou iniciovalo sdružení majitelů vodních mlýnů a závodů využívajících vodní energii s názvem Obicko-rybniční společnost. Název si sdružení dalo podle Obického mlýna, který stával v zátopě rybníka, byl pro potřeby rekonstrukce vykoupen a po dokončení stavby zatopen. Podnětem pro založení společnosti byla snaha zabezpečit provoz vodních zařízení využívajících vodu Vrchlice i v období nízkých průtoků a vyrovnat se tak konkurenčním podnikům na Labi. V majetku Obicko-rybniční společnosti byl Velký rybník až do roku 1952, kdy byl celý majetek společnosti převeden na JZD Malešov. Následovalo několik dalších převodů různým organizacím a od roku 1959 je Velký rybník v majetku státu a jeho správu v současné době zajišťuje státní podnik Povodí Labe. V důsledku postupného rušení mlýnů

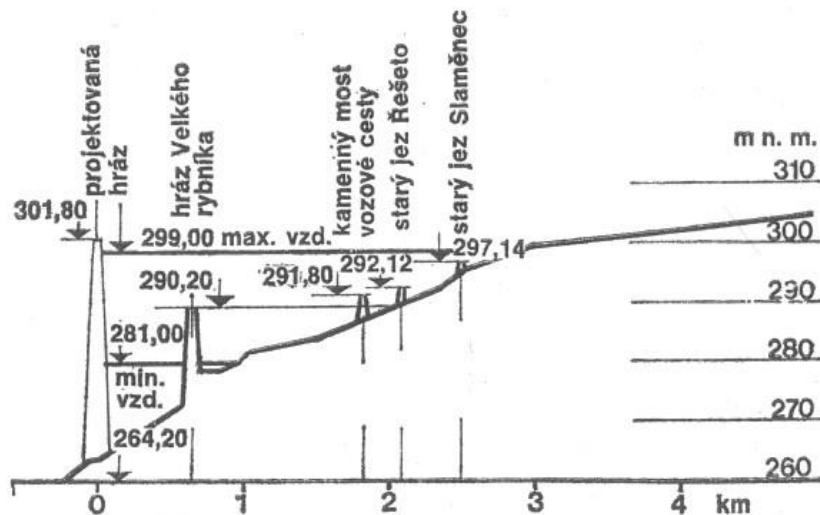
potřeba nadlepšování nízkých průtoků postupně pominula a v současné době rybník slouží výhradně k rekreaci a rybaření.

## 2. TECHNICKÉ PARAMETRY A HISTORICKÉ SOUVISLOSTI

Zemní sypaná homogenní hráz je situována v poměrně úzkém profilu ohraničeném z obou stran skalními výchozy. Hráz je při své výšce 14,7 m na terénu dlouhá v koruně jen 90 m. Při levém zavázání je hráz půdorysně zakřivena směrem proti vodě. V obou zavázáních byly vylámany do skalních výchozů 2 nehrazené bezpečnostní přelivy. Pravobřežní (tzv. „vandrovní“ nebo „poličanský“) přeliv o původní délce přelivné hrany 5,2 m, za kterou následuje z části ve skále vylámaný odpad délky cca 80 m. Odpad od přelivu je z levé strany výškově doplněn usměrňovací kamennou zdí. Levobřežní (tzv. „bylanský“) přeliv měl původní délku přelivné hrany 6,2 m. Za přelivem následoval krátký skalní skluz do stupňovitého přirozeného koryta, které dále pokračuje podél vzdušné paty hráze.

Původně měla hráz 2 spodní výpusti. Pravou výpust tvořilo litinové potrubí DN 500 s čepovým uzávěrem, ovládaným z manipulační věže, a dále navazující betonové potrubí zaústěné do zděné odpadní štolky. Na přelomu let 1927 a 1928 došlo k naklonění manipulační věže, krátce na to i k odlomení horní části věže a tedy k havárii výpusti. Následně byla tato výpust na konci betonového potrubí zazděna, zainjektována a tím definitivně vyřazena z provozu. Levá spodní výpust byla tvořena obetonovaným dřevěným potrubím profilu 50 x 50 cm, na návodní straně byla výpust osazena 2 uzávěry čepové a šoupátkové (DN 300). Dřevěné potrubí bylo zaústěno do odpadní štolky vylámané do skály (bez obezdívky). V zimním období 1953 – 1954 došlo vlivem ledových jevů k přetržení táhla čepového uzávěru a vyřazení i této výpusti z provozu. Po vyřazení obou výpustí z provozu byly na obou přelivech instalovány ocelové násosky DN 200, které sloužily zejména pro nadlepšení nízkých průtoků v korytě pod rybníkem i při hladině pod úrovní přelivné hrany.

K nejvýznamnější poruše díla došlo při povodni v noci z 12. na 13. července roku 1870, kdy v důsledku podemletí a zborcení levobřežní usměrňovací zdi „vandrovního“ přelivu byla proudící vodou postupně od vzdušné části rozebírána hráz, až se oslabená konstrukce hráze protrhla. Od havárie díla v roce 1870 proběhlo několik významných rekonstrukcí Velkého rybníka, které byly v poválečném období postupně pozastaveny jednak z důvodu rušení mlýnů na Vrchlici a zejména pak v souvislosti s připravovanou výstavbou nového vodního díla na Vrchlici pro zásobení kutnohorská pitnou vodou. Příprava stavby nového vodního díla na Vrchlici byla poprvé iniciována v roce 1903. Ve variantě stavby z r. 1946 se uvažovalo s profilem nové hráze pod Velkým rybníkem. Tím by došlo k zatopení velkého rybníka a odpadly by i náklady na jeho celkovou rekonstrukci. Ještě i technickoekonomická studie z roku 1962 uvažovala 2 možné profily hráze nového vodního díla (VD Vrchlice), z nichž jeden byl pod Velkým rybníkem ve skalní soutěsce nad Spáleným mlýnem.



**Obr. 1** - Podélný profil Vrchlice s projektovanou nádrží u Poličan a profilem hráze pod Velkým rybníkem (dle generálního projektu z roku 1946), 2.

### 3. REKONSTRUKCE DÍLA (2016 – 2018)

V letech 2016 - 2018 proběhla na vodním díle Velký rybník poslední zásadní rekonstrukce s názvem akce „VD Velký rybník – obnova spodních výpustí“. V rámci rekonstrukce byl, bez možnosti vypuštění nádrže, vybudován nový objekt spodních výpustí, zkapacitněny oba bezpečnostní přelivy, upraveno těleso hráze a vybudována nová přístupová komunikace vč. přemostění levobřežního přelivu a nová přípojka elektrické energie.

Základní údaje o akci

Projektant:	AQUATIS a.s.
Zhotovitel:	Porr a.s. – generální dodavatel, Zakládání staveb a.s. – zajištění stavební jímky
Doba realizace:	06/2016 až 06/2018
Celková cena díla:	30 010 500,- Kč
Způsob financování:	Program 129 260 – Podpora prevence před povodněmi III

#### 3.1 Přípravné a projekční práce

Jelikož v rámci stavebního řízení k rekonstrukci Velkého rybníka došlo ke změně zařazení díla z IV. do III. kategorie z hlediska TBD, bylo nutné v rámci projektu přehodnotit i bezpečnost díla na kontrolní povodňovou vlnu s dobou opakování 1000 let. Při zpracování projektu bylo komplexně revidováno vodohospodářské řešení nádrže včetně rozdělení prostorů nádrže.

**Tab. 1** Základní parametry VD Velký rybník (po rekonstrukci z roku 2018)

Tok:	Vrchlice
Typ hráze:	zemní sypaná homogenní
Výška hráze:	15,8 m (nad základovou spárou)
Délka hráze v koruně:	90 m



Kóta koruny hráze:	290,00 m n.m.
Objem prostoru stál. nadržení:	165 700 m <sup>3</sup> (do hl. 284,80 m n.m.)
Objem zásobního prostoru:	73 700 m <sup>3</sup> (284,80 až 285,80 m n.m.)
Celkový objem ovl. prostoru:	239 400 m <sup>3</sup> (do hl. 285,80 m n.m.)
Objem neovlad. prostoru:	389 200 m <sup>3</sup> (285,80 až 289,65 m n.m.)
Celkový objem nádrže (po H <sub>max</sub> ):	628 600 m <sup>3</sup> (do hl. 289,65 m n.m.)
Kapacita přelivů (při H <sub>max</sub> ):	155 m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> (tj. Q <sub>1000</sub> ) levobřežní 85 m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> , pravobřežní 70 m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup>
Kapacita výpustí (při H <sub>ovl.</sub> ):	2 x 2,6 m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> (5,2 m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> )
Plocha povodí k profilu hráze:	97,54 km <sup>2</sup>

Ověření základových poměrů pro založení některých stavebních objektů a stanovení parametrů jámky bylo provedeno geotechnickým průzkumem. Na základě sedmi svislých vrtů (J1-J7) byl definován průběh skalního podloží v oblasti nové spodní výpusti a jámky a také zhodnocen stav stávající hráze z hlediska geotechnických vlastností. Na základě dalších dvou vodorovných vrtů (J8-J9) byl ověřen stav a parametry opěrné zdi stabilizující vzdušnou patu hráze. Z podélného geologického řezu hrází vyplývá, že v místě hráze je údolí Vrchlice hluboké, se strmějším pravým svahem. V obou svazích vycházejí na povrch skalní horniny – ruly, svory a svorové ruly. Skalní masív má proměnlivý charakter, od stavu masivního přes slabě navětralý až po hustě rozpukanou strukturu, a v profilu hráze má výškově značně proměnlivý průběh.



Obr. 2 – Situace stavby s členěním na SO a PS, 5.

### 3.2 Zajištění stavební jámy objektu spodních výpustí

Zásadní skutečností pro realizaci nového objektu spodních výpustí byla nemožnost vypuštění nádrže a převádění vody po dobu stavby žádným technickým, a současně finančně přijatelným, způsobem. Proto byla projektantem z návodní strany hráze navržena jámka z ocelových štětovic pro zajištění stavební jámy bez snížení hladiny. Úroveň hladiny vzhledem k absenci





*Obr. 4 – Jímka objektu spodní výpusti realizovaná zhotovitelem stavby.*

### 3.3 Objekt spodních výpustí

#### Spodní stavba

Spodní stavba objektu základových výpustí sestává ze 4 dilatačních bloků vzájemně oddělených těsněnými dilatačními spárami:

Blok 1 - vtoková část a přívodní štola celkové délky 15,6 m,

Blok 2 - objekt základových výpustí celkové délky 7,8 m,

Blok 3 - odpadní štola celkové délky 14,8 m,

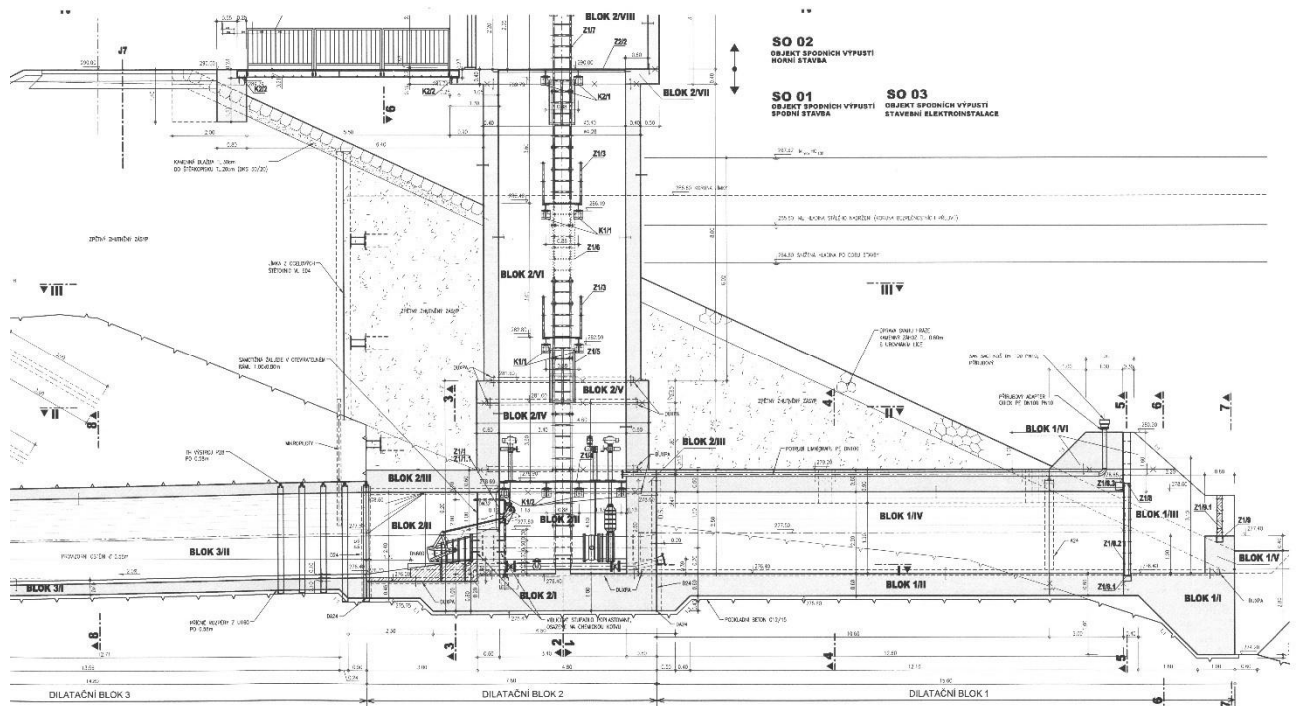
Blok 4 - výtokový objekt s portálem štoly celkové délky 4,0 m.

Základová spára objektu je v celé délce 42,2 m na skalním podloží. Vtokový portál je chráněn ocelovými česlemi. Na vtokovém prahu jsou také osazeny drážky z U profilů, ve kterých budou osazeny dřevěné dluže na výšku cca 1,0 m, jako ochrana před zanášením vtoku dnovými usazeninami. Navazující přívodní štola má délku 12,5 m, je železobetonová, vnitřní profil má šířku 3,0 m a výšku 2,8 m a je v horní části zaoblený. V železobetonové konstrukci stropu přívodní štoly je uloženo potrubí limnigrafu PE DN 100, které je v portálu vtoku vytaženo nad jeho úroveň a ukončené vtokovým košem. Dolní část věže, ve které je umístěna strojovna spodních výpustí, má vnitřní půdorysné rozměry 3,4 x 3,4 m a vnitřní světlou výšku 4,6 m. Na strojovnu navazuje kruhová ŽB komunikační věž o průměru 3,4 m, která je vybetonována až do úrovně koruny hráze. Ve spodní části věže jsou osazena dvě ocelová potrubí spodních výpustí DN 600 a potrubí DN 150 pro vypouštění minimálního hygienického průtoku.

Na spodní část věže navazuje odpadní štola, která se ve vzdálenosti asi 3,0 m napojuje na původní štolu, která byla upravena pro požadované rozměry. Štola je v celé délce upravena na vnitřní světlé rozměry – šířka ve dně 2,2 m, výška rovněž 2,2 m s válcovým zaklenutím v horní části. Dno štoly je provedeno ve tvaru symetrického lichoběžníku se sklonem svahů 1:10 a šířkou kynety 0,2 m. Po celém obvodu štoly je provedena železobetonová monolitická vyzdívka min. tloušťky 0,3 m. Dno štoly má podélný sklon 2%. Odpadní štola je ukončena výstupním betonovým portálem provedeným ve formě úhlové opěrné zdi. Na portál štoly navazuje odpadní koryto, které je zaústěno do koryta Vrchlice pod hrází.

### Horní stavba

Na dříku komunikační věže je zřízena kruhová provozní místnost s průměrem 4,6 m a výškou místnosti 3,6 m, zastropená betonovou deskou. Pro montáž technologie jsou pod stropem nad osou výpustí osazeny ocelové nosníky pro zavěšení ručního kladkostroje o nosnosti 3 200 kg. Pro přístup z koruny hráze je zřízena ocelová lávka z válcovaných nosných profilů s podlahou z pororoštů. Šířka lávky mezi zábradlím je 1,48 m. Délka lávky mezi opěrami je 5,5 m.



Obr.5 – Podélný řez novým objektem spodních výpustí, 5.

### Technologická část

Dvě spodní výpusti 2x DN 600 umístěné ve strojově spodních výpustích, jsou osazeny nožovými šoupátky DN 600, ovládanými elektropohonem (revizní uzávěry). Jako návodní provozní uzávěry jsou použity klapky DN 600, s elektropohonem. Jako hlavní provozní uzávěr je na vyústění potrubí v odpadní štole nainstalován segmentový uzávěr DN 600 ovládaný rovněž

elektropohonem. Každý elektropohon je osazen ovládací jednotkou, která umožňuje manipulace přímo z místa.

Pro převod malých průtoků je v objektu osazeno potrubí DN 150 s ručními šoupátky DN 150. Pro zavodnění potrubí mezi uzávěry slouží obtoky uzávěrů potrubí DN 80 s ručně ovládanými šoupátky DN 80. Pro odčerpání prosáklé vody je ve strojovně kalová jímka vybavená ponorným kalovým čerpadlem s plovákovým spínačem.

Dálkové ovládání nebylo správcem díla požadováno a manipulace na Velkém rybníku zajišťuje obsluha nedalekého VD Vrchlice.

### **3.4 Bezpečnostní přelivy**

Pro zajištění dostatečné celkové kapacity zařízení pro převod vody za povodňových stavů, musely být provedeny stavební úpravy obou bezpečnostních přelivů. Úpravy zahrnovaly vybudování nových těles přelivů, úpravu odpadních koryt a úpravu zídky na levém břehu odpadního koryta od pravého přelivu.

Nové železobetonové těleso levého bezpečnostního přelivu má proudnicový tvar složený ze dvou protisměrných válcových ploch o poloměru 2,0 m. Blok přelivu je osazen do rostlé skály. Koruna přelivu zůstala na kótě původního přelivu tj. 285,80 m n.m. Přelivná hrana je přímá a má délku 6,5 m. Přelivná hrana je proti dnu odpadního koryta převýšena o 0,8 m. Délka přelivného bloku je 3,5 m.

Železobetonové těleso pravého bezpečnostního přelivu je konstrukčně i výškově stejné jako u levého přelivu. Délka přelivné hrany je rovněž 6,5 m. Odpadní koryto navazující na levý přeliv vyhloubené v rostlé skále bylo v délce 14 m rozšířeno na jednotnou šířku 6,5 m ve dně, s podélným sklonem dna 8%. Navazující část odpadního koryta v délce 66 m byla prohloubena a rozšířena na 4,0 m ve dně, se sklonem dna 5%. Dělicí a usměrňující zeď odpadu od pravého bezpečnostního přelivu byla v délce 45 m nově provedena z netříděného lomového kamene (divočina) na cementovou maltu s vypárovaným povrchem a přikotvením do skalního podloží. V místě rozšířené koruny hráze je koruna zdi vodorovná upravená na kótu 290,00 m n.m. Vodorovná část zdi má délku 15 m. Dále směrem po proudu koruna zdi klesá ve sklonu 10% v celkové délce 30 m. Výška zdi v této části je cca 2,0 m.

### **3.5 Přemostění levého přelivu**

Původní přístup na korunu hráze byl přes lávku pro pěší nad levobřežním přelivem. Tato lávka byla snesena a nahrazena přemostěním o nosnosti 70 t, které umožňuje příjezd těžké mechanizace na hráz a k funkčním objektům. Mostní opěry jsou železobetonové, stabilizované zemními kotvami. Mostní konstrukce je trámová ocelová s horní mostovkou. Nosnou konstrukci mostu tvoří 4 trámy z válcovaných nosníků IPE 400. Mostovka je spřažená ocelobetonová konstrukce a umožňuje průjezd vozidla šířky 3 m.

### 3.6 Úprava koruny, vzdušného líce a paty hráze

V návaznosti na příjezdovou komunikaci a přemostění levého přelivu je provedeno zpevnění koruny hráze v celé její délce (tj. od mostu po pravobřežní bezpečnostní přeliv). Na koruně hráze je šterková vozovka v šířce 3,0 m s oboustrannými krajnicemi šířky 0,5 m navazujícími na návodní a vzdušní hranu koruny hráze. K zajištění otáčení i menších nákladních aut při dopravě technologického zařízení jsou zřízena dvě obratiště. Jedno je umístěno na koruně hráze vedle nového mostu přes levobřežní přeliv a z prostorových důvodů bylo na konci a po obou stranách doplněno opěrnou zdí. K zajištění otáčení osobních aut případně dodávkových vozidel je na konci zpevněné komunikace na koruně hráze druhé obratiště.

Původní kamenná stabilizační zeď na vzdušné patě hráze, která má délku 86 m a slouží jako opěrná zeď pro zemní těleso hráze, musela být pro zajištění stability sanována. Na základě prohlídky a kontrolních vrtů byly zjištěny lokální poruchy zdi (např. kaverny, povrchová poškození), které s ohledem na zajištění stability vzdušného líce byly sanovány. Především šlo o části zdi u vyústění původní levé štoly, která má výšku až 10 m. Zeď byla v celé délce sanována injektáží z vrtů s roztečí 1,25 m mírně ukloněných od svislice, sahajících min. 2 m do skalního podloží s tím, že do každého vrtu byl vložen ocelový výztužný prut. Vysoká zeď u vyústění levé štoly byla ještě navíc přikotvena šikmými celozávitovými kotevními tyčemi do skalního podloží tělesa hráze.

Vzdušný svah hráze byl zbaven náletových dřevin a pařezů a vyrovnán. Napojení svahu na opěrnou zeď bylo stabilizováno kamennou rovnatinou. Na vzdušném svahu hráze u pravého zavázání bylo vybudováno nové betonové schodiště šířky 1 m, které umožňuje přístup z podhrází na korunu hráze a naopak.

### 3.7 Příjezdová komunikace a přípojka elektro

Hráz nádrže byla propojena s veřejnou silniční sítí nezpevněnou cestou, která nesplňovala požadované parametry. K zajištění bezpečného přístupu na vodní dílo byla tato cesta upravena dle požadavků ČSN 736108 Lesní dopravní síť a ČSN 736109 Projektování polních cest. Došlo ke směrové, spádové i šířkové úpravě v komunikaci v celkové délce cca 350 m. Šířka vozovky je 4,0 m se zpevněním v šířce 3,0 m a oboustrannými krajnicemi šířky 0,5 m ze šterkodrti.

Napojení objektu spodních výpustí je provedeno ze stávající distribuční trafostanice ČEZ Distribuce. Kabel je veden v celé trase souběžně s příjezdnou komunikací k odběrnému objektu. Na mostě přes levobřežní přeliv a na lávce k věži objektu spodních výpustí je kabel veden v elektroinstalační ocelové trubce pod lávkami. Celková délka přípojky je 420 m.

## 4. ZÁVĚR

Vybudováním nového objektu spodních výpustí, úpravou parametrů tělesa hráze a zvýšením kapacity bezpečnostních přelivů došlo na Velkém rybníku k obnovení plné provozuschopnosti díla spolu se splněním všech požadavků kladených na bezpečnost vodních děl III. kategorie.

Stavba byla realizována ve složitých provozních i geologických podmínkách, které si vyžádaly i modifikaci postupu realizace a technického řešení stavební jímky. Všechny práce musely být prováděny při napuštěné nádrži a vzhledem ke složitosti přístupu ke staveništi byly beraníci práce prováděny z vodní hladiny. Rekonstrukce byla stavebně dokončena v červnu 2018.

#### **SEZNAM LITERATURY**

1. *BROŽA V. a kol.: Přehrady Čech, Moravy a Slezska. Nakladatelství Knihy 555 2005 (1. vydání), ISBN: 80-86660-11-7, 2005.*
2. *CHLUM A. a kol.: Vodní dílo Vrchlice, Státní zemědělské nakladatelství, 1977.*
3. *SAKAŘ K., POLÁČEK J.: Velký rybník na Vrchlici u Kutné Hory, Souhrnná zpráva o průzkumu, VODOHOSPODÁŘSKÝ ROZVOJ A VÝSTAVBA, i.p., červen 1971.*
4. *Velký rybník – posudek základových výpustí, VODOHOSPODÁŘSKÝ ROZVOJ A VÝSTAVBA, i.p., úsek TBD březen 1990*
5. *VD Velký rybník, obnova spodních výpustí, dokumentace pro provádění stavby, Aquatis a.s., září 2015.*

#### **AUTOR**

Ing. Pavel Svatoš

Ing. Pavel Křivka, Ph.D.

Povodí Labe, státní podnik, Víta Nejedlého 951, 500 03 Hradec Králové

email: svatosp@pla.cz, krivkap@pla.cz

# VODNÍ DÍLO BŘEZOVÁ – OPRAVA CHODNÍKŮ NA KORUNĚ HRÁZE

## BŘEZOVÁ DAM – RECONSTRUCTION OF THE PAVEMENTS ON THE DAM CREST

*Jan Svejkský, Petra Suchopárková*

**Abstrakt:** Vodní nádrž Březová s celkovým objemem 5,7 mil. m<sup>3</sup> slouží jako protipovodňová ochrana města Karlovy Vary. Betonová přehrada, první v České republice, byla vybudovaná v letech 1931 až 1934. Po koruně hráze délky 229 m vede komunikace I. třídy I/20 směr Plzeň - Karlovy Vary, která v místě pěti polí bezpečnostního přelivu vede po mostní konstrukci. Část chodníku je zároveň stropem návodních strojoven. V letech 1996 a 2004 byly z důvodu zatékání do strojoven a degradace betonových konstrukcí hráze provedeny opravy koruny hráze. V roce 2011 byl na prohlídce TBD konstatován zhoršující se stav chodníků a železobetonového zábradlí. Průzkumné práce potvrdily nevyhovující pevnosti betonů, prokázaly výskyt dutin v rozsahu 40 %, mrazovou degradaci, nadlimitní obsah chloridových iontů a lokální kontaminaci alkalicko-křemičitým gelem. V roce 2015 byla zpracována projektová dokumentace, stavba byla realizována od července 2016 do července 2017 ve dvou etapách za částečné uzavírky provozu. Oprava byla řešena kompletním vybouráním betonového zábradlí a chodníkových říms až na hydroizolaci vozovky. Současně byly modernizovány vstupy do šachet strojoven a osazeno venkovní osvětlení.

**Abstract:** The Březová reservoir with a total storage of 5.7 million m<sup>3</sup> has the main purpose of flood protection of Carlsbad. The dam, which is the first concrete dam in the Czech Republic, was built between 1931 and 1934. The 229 meters long dam crest carries a I/20 road. The road connects Pilsen and Carlsbad and is led over the 5 openings of the spillway. Part of the pavement covers also the control rooms on upstream side of the dam. In 1996 and 2004 the pavement was repaired due to the leakage to the control rooms and the degradation of the concrete dam structure. The state of the pavements and the concrete railings worsened significantly in 2011. Poor strength of concrete, 40 % of cavities on the surface, the excess of chloride ion content and local alkali-silica reaction confirmed the bad condition of concrete structures. The repair design was prepared in 2015 and the reconstruction was carried out from July 2016 to July 2017. Concrete railings and pavements were completely replaced down to the level of horizontal dam sealing. The entrances to the control rooms and the public lighting were renovated as well.

### 1. ÚVOD

Betonové konstrukce přehrad jsou vystavovány náročným podmínkám. Musí odolávat jak zatížení klimatickým vlivům, tak vlivům umělým. Jednou z nejvíce namáhaných konstrukcí je rozhodně koruna hráze, zejména pokud po ní vede silniční komunikace první třídy. Voda ji na jednu stranu sice trvale nesmáčí, nepodléhá pohybům hladiny vody v nádrži, nedolává proudící vodě, ale na druhou stranu je zatěžována občasným smáčením srážkovou vodou, velkým teplotním gradientem v různých ročních obdobích, mechanickému zatížení silniční dopravou a také chemickým rozmrazovacími látkami, které se používají k ošetření silničních



komunikací v zimním období. Těmto extrémním podmínkám musí odolávat i koruna hráze vodního díla Březová.

## 2. ZÁKLADNÍ ÚDAJE [1]

Vodní dílo Březová na řece Teplé bylo vystavěno v letech 1931 až 1934 jako protipovodňová ochrana Karlových Varů. Hráz má přímou, tížnou betonovou, s pěti bloky nehrazeného bezpečnostního přelivu a třemi spodními výpustmi. V pravé části hráze je dvojice spodních výpustí DN 1500 a v levé části hráze je spodní výpust DN 2100 s odbočkou na malou vodní elektrárnu.

### Hráz:

Maximální výška hráze nad terénem .....	24,95 m
Kóta koruny hráze .....	433,95 m n. m.
Délka koruny hráze .....	228,8 m
Šířka koruny hráze .....	8,4 m

### Nádrž:

Zásobní prostor .....	0,518 mil. m <sup>3</sup>
Ovladatelný ochranný prostor .....	3,134 mil. m <sup>3</sup>
Neovladatelný ochranný prostor .....	0,989 mil. m <sup>3</sup>
Celkový prostor .....	5,687 mil. m <sup>3</sup>

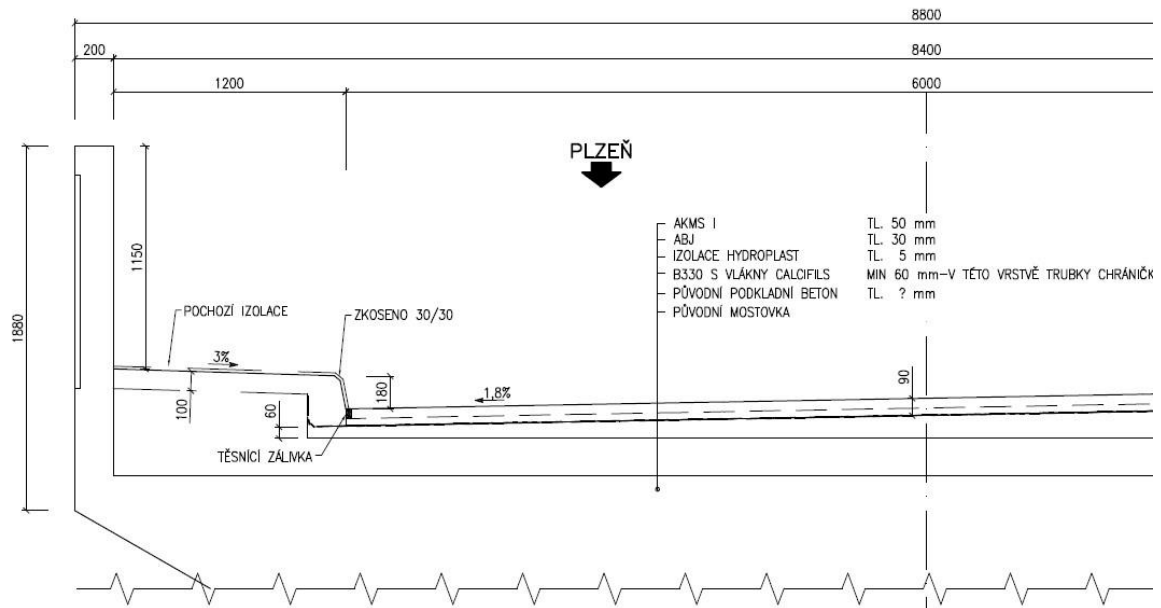
Hlavním účelem nádrže je ochrana města Karlovy Vary před povodněmi, zajištění minimálního průtoku v profilu limnigrafu Březová-odtok a zajištění periodických proplachů koryta pod hrází.

Vedlejším účelem nádrže je výroba elektrické energie, regulovaný chov pstruhových ryb, nadlepšování průtoků pod hrází VD Březová pro pořádání kanoistických závodů a výkon rybářského práva.

Minimální průtok pod hrází /MQ/ .....	220 l/s
Neškodný průtok pod VD /Oneš/ .....	90 m <sup>3</sup> /s

## 3. KORUNA HRÁZE – PŮVODNÍ STAV

Koruna hráze je tvořena silniční komunikací I/20 s asfaltobetonovou ložnou i obrusnou vrstvou. Silnice je lemována po obou stranách betonovými chodníky, které byly opatřeny pochozí hydroizolací – viz obr. 1.



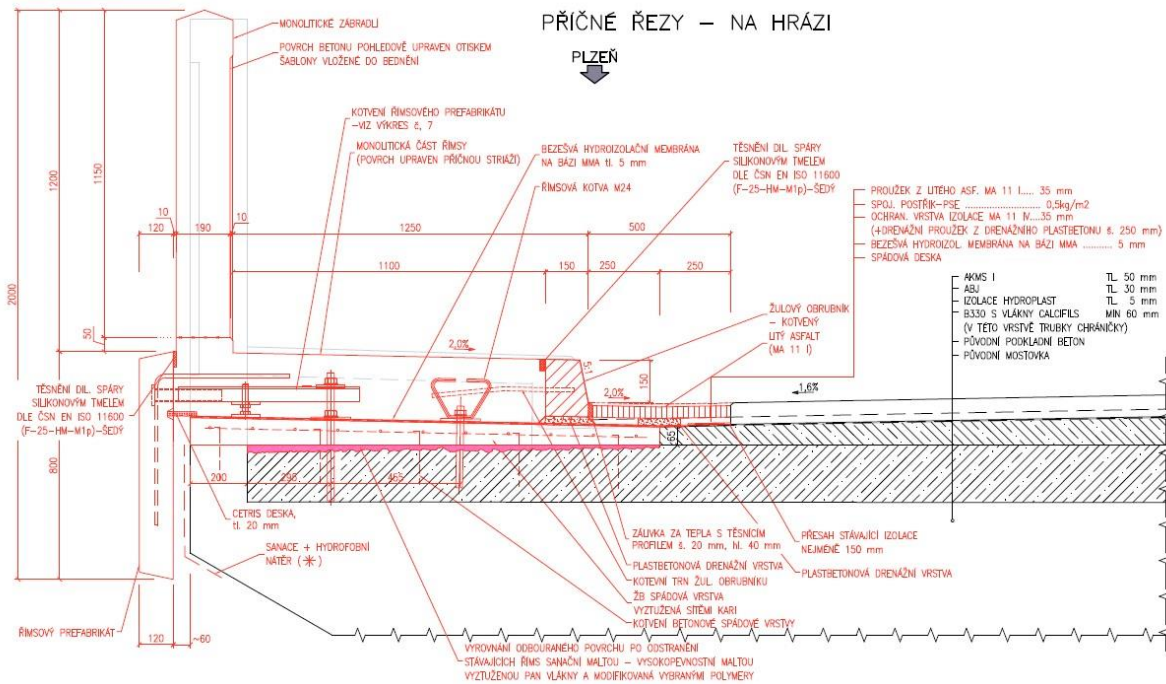
Obr. 1 Příčný řez – původní stav [2]

Tato situace byla v nedávné minulosti zhotovena v roce 2004 po předchozích nezdarech (1998) a po nepřijatelném zatékání srážkové vody do návodních strojoven uzávěrů spodních výpustí situovaných pod výklenky v chodnících. V roce 2011 se v betonových konstrukcích chodníků i původního železobetonového zábradlí projevily poruchy, které postupně vyústily v naprostou nesoudržnost betonových konstrukcí a k úplné degradaci materiálu. Beton, který bylo možné rozhrabat i koštětem, trpěl mimo jiné i alkalicko-křemičitou reakcí kameniva v betonu. Dalším faktorem, který během několika let způsobil degradaci betonu, byla i nevhodně zvolená nášlapná hydroizolace, která působila jako difuzní bariéra. Kombinací chybějícího vhodného drenážního prvku a nevhodného napojení hydroizolace chodníků a silniční komunikace se staly výše popsané chyby pro konstrukce chodníků i zábradlí likvidační.

#### 4. KORUNA HRÁZE – NÁVRHOVÝ STAV

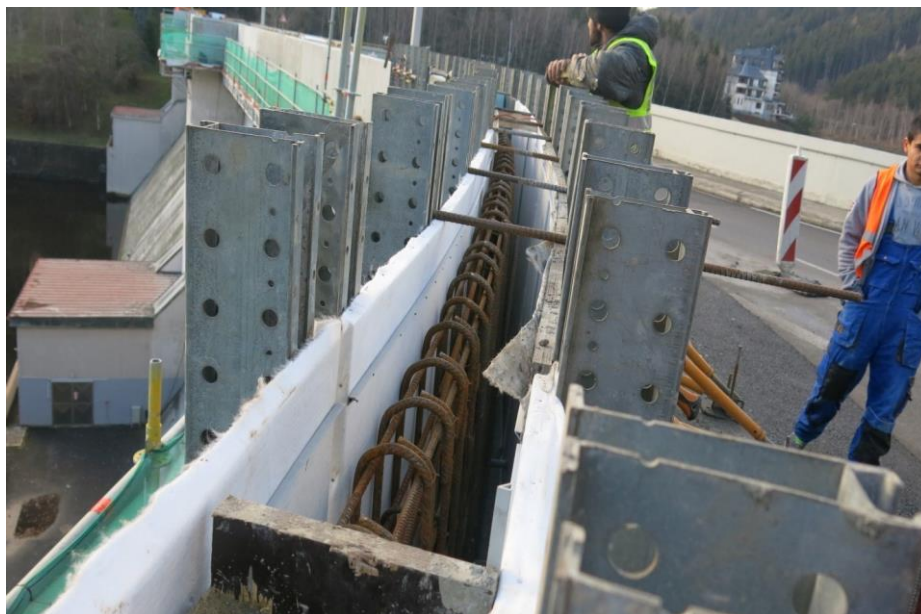
Vzhledem ke stavu konstrukcí a k zastižené alkalicko-křemičité reakci kameniva v betonu bylo nutné přistoupit k úplné výměně železobetonového zábradlí po celé délce hráze na obou lících a k náhradě původních destruovaných chodníků v tomtéž rozsahu.

Při projekčních pracích byla zapracována specifika jak vodního díla, tak i tradičních prvků používaných v silničním stavitelství, zejména z mostních konstrukcí. Mezi ně patří například kotevní prvky žulových obrubníků, kotvy římsových prefabrikátů zakrývajících vodorovné pracovní spáry mezi původním a novým betonem. Nejpodstatnějším krokem bylo napojení původní hydroizolace vozovky na nové hydroizolace chodníků uložené na spádovém betonu a kryté vlastním konstrukčním betonem chodníku. Pro toto spojení byla projektována stříkaná polyuretanová hydroizolace, která byla změnou na stavbě intervencí investora (Povodí Ohře, s. p.) ještě doplněna o asfaltový natavený pás.



Obr. 2 – Příčný řez – návrhový stav [2] 5. REALIZACE

Stavba byla rozdělena na dvě etapy z důvodu minimalizace omezení provozu na vozovce vedoucí po koruně hráze. V první etapě se realizovaly práce na vzdušné straně hráze. Po odbourání konstrukcí a dočištění všech podkladů byly nově zakotveny ocelové výztuže, kotvy, napojeny hydroizolace, připraveno bednění a byly zahájeny betonářské práce. Štíhlé betonové konstrukce zábradlí byly při betonování postiženy vznikem lunek v povrchových vrstvách. Situace byla opakovaně laděna s technologií betonu. Výsledkem bylo použití drenážních textilií upnutých do bednění. Za jejich pomoci již k tvorbě lunek nedocházelo.



Obr. 3 – Výztuž zábradlí v bednění opatřeném drenážní geotextilií [3]

Výstavbou stropů nad návodními strojovny uzávěrů spodních výpustí byly eliminovány i nepatrné průsaky z chodníků. Vstupní otvory jsou monoliticky zvýšeny a je tím znemožněno zatékání do vnitřních prostor nebo táním nahromaděného sněhu.

## 6. ZÁVĚR

Využitím osvědčených postupů a materiálů na stavbě rekonstrukce chodníků na koruně hráze VD Březová byly, jak i do budoucna očekáváme, na řadu desetiletí vyřešeny problémy se zatékáním do koruny hráze a poškozování železobetonových konstrukcí chodníků i zábradlí. Bylo zjištěno v minulosti nevhodné opatření konstrukcí povrchovou hydroizolací, která fungovala jako bariéra pro vodní páry a umožnila rychlejší destrukci betonů, zřejmě i rychlejší rozvoj alkalicko-křemičité reakce kameniva v betonu. Žulové obrubníky zakládají předpoklad dlouhodobé životnosti. Již nyní je patrný i preventivní účinek – kamiony nenajíždějí na poměrně ostrohranné řezané obrubníky z důvodu ochrany pneumatik proti proražení.

## LITERATURA

[1] [www.poh.cz](http://www.poh.cz)

[2] VD Březová – oprava chodníků, Projektová dokumentace - Valbek, s. r. o., pobočka Plzeň, 2016 [3] Prezentace, Ing. Kateřina Bařtipánová, Povodí Ohře, s. p., Karlovy Vary, 2017

## AUTOR

Ing. Jan Svejkovský

Povodí Ohře, státní podnik, Bezručova 4219, 430 03 Chomutov, Česká republika  
jsvejkovsky@poh.cz

Ing. Petra Suchopárková

Povodí Ohře, státní podnik, Bezručova 4219, 430 03 Chomutov, Česká republika  
suchoparkova@poh.cz

## 60. ROKOV PREVÁDZKY VS NOSICE

### 60th ANNIVERSARY OF THE OPERATION OF VS NOSICE

*Dušan Fejer*

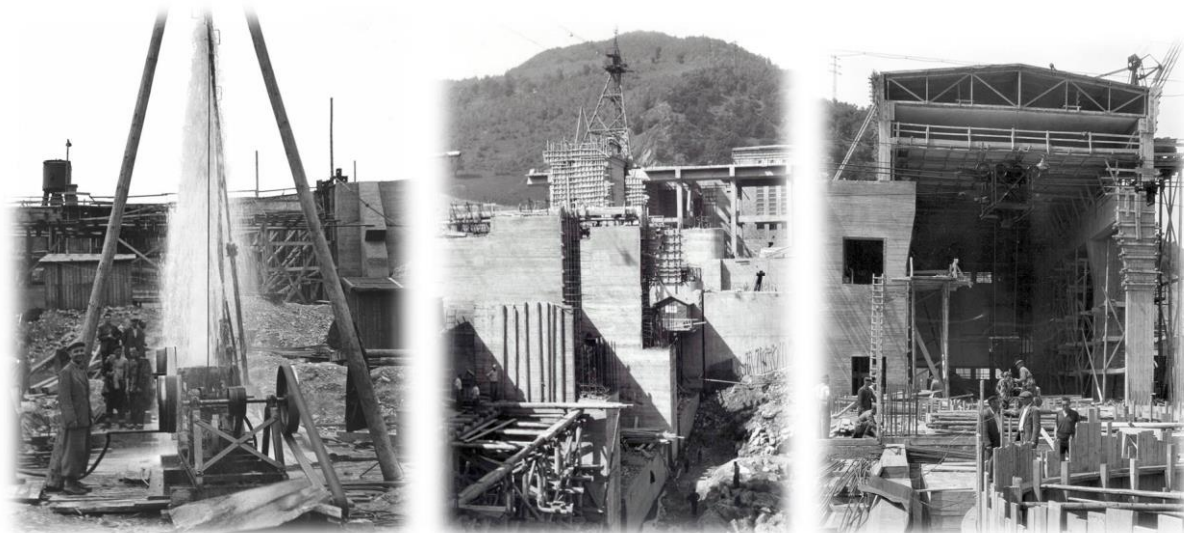
**Abstrakt:** VS Nosice patrí k významným vodným stavbám I. kategórie na rieke Váh, kde plní významnú úlohu vyrovnávacej nádrže pod Hričovskou energetickou kaskádou. Okrem hlavného energetického využitia plní aj protipovodňovú ochranu priľahlého územia. Samotná vodná stavba počas svojej prevádzky prešla viacerými technickými, majetkoprávnymi a vlastníckymi zmenami. Na vodnej stavbe sa realizuje pravidelná periodická údržba v zmysle prevádzkových poriadkov, prebiehajú pravidelné merania sond, náklonomerov, výškových bodov, vztlakov a nezabúda sa ani na modernizáciu a vybudovanie nových technologických zariadení. Po dobu prevádzkovania bolo na VS Nosice zmodernizované a vybudované diaľkové ovládanie výpustného zariadenia, vybuvovala sa MVE, zriadil sa ASVaV obyvateľstva, a veľa ďalších technologických a stavebných úprav, ktoré smerovali a smerujú k zvýšeniu bezpečnosti vodnej stavby a k uľahčeniu prevádzkovania VS Nosice. K dnešnému dňu môžeme skonštatovať, že vodná stavba bola a je v prevádzky schopnom a bezpečnom stave o čom hovoria aj závery správy technicko-bezpečnostného dohľadu, ktorý je vykonávaný nezávislou organizáciou.

**Kľúčové slová:** vodné stavby, vodná elektrárňa, priehrada, vodné dielo, periodická údržba

#### 1. HISTÓRIA VS NOSICE

Začiatok budovania veľkých priehrad a vodných nádrží v povodí Váhu spadá do 30-tych rokov 20. storočia. K podstatnému rozvoju výstavby vodných diel dochádza po 2. svetovej vojne. V rámci sústavného využitia Váhu sa začalo v roku 1950 s výstavbou vodného diela, ktorá bola uvedená do prevádzky v roku 1958.

Príprava, výstavba a samotná 60-ročná prevádzka VS Nosice priniesla viaceré priame i nepriame celospoločenské efekty. Stavba mala svoj vlastný model diela, na ktorom sa mohli skúšobne simulovať projektové situácie, účinky povodní a pod. Na stavbe bolo zriadené laboratórium pre technológiu betónu a zemných prác. Veľmi zložitá bola príprava a zakladanie priehrady. Napriek rozsiahlemu prieskumu, ktorý sa vykonal, objavilo sa počas stavby prekvapenie. Pri zakladaní výpustného zariadenia sa narazilo na minerálnu vodu s vysokým obsahom viazaného a voľného kysličníka uhličitého. Prameň minerálnej vody bol zachytený a ukázal sa nakoniec ako vítaný balneologický zdroj, ktorý je efektívne využívaný v priľahlých kúpeľoch Nimnica.



Nosická priehrada, nazývaná ako stavba mládeže bola veľkou školou najmä pre mladých ľudí a získané skúsenosti boli nápomocné pre mnohých pri výstavbe ďalších vodných diel na Váhu. VS Nosice patrí k významným vodným stavbám I. kategórie na rieke Váh, kde plní významnú úlohu vyrovnávacej nádrže pod Hričovskou energetickou kaskádou. Okrem hlavného energetického využitia plní aj protipovodňovú ochranu priľahlého územia. Samotná vodná stavba počas svojej prevádzky prešla viacerými technickými, majetkoprávnymi a vlastníckymi zmenami. Na vodnej stavbe sa realizuje pravidelná periodická údržba v zmysle prevádzkových poriadkov, prebiehajú pravidelné merania sond, náklonomerov, výškových bodov, vztlakov a nezabúda sa ani na modernizáciu a vybudovanie nových technologických zariadení. K dnešnému dňu môžeme skonštatovať, že vodná stavba bola a je v prevádzkyschopnom a bezpečnom stave, o čom hovoria aj závery správy technicko-bezpečnostného dohľadu, ktorý je vykonávaný nezávislou organizáciou.

### 1.1 Historické povodne

Rieku Váh nazývali v minulosti RAPAS - dravý, LUPUS – vlk.

Dobové záznamy pochádzajú z roku 1652, 1662, kedy bola povodeň taká veľká, že nemala pamätníkov. Najväčšia povodeň bola zaznamenaná v roku 1813, o čom sa dochovali informácie z kroník, v župnom archíve v Trenčíne a rozprávanie Františka Palackého, že Považie bolo spustošené spolu so sídliskami, dobytkom, hospodárskym imaním, ale najmä zahynulo množstvo ľudí. Podľa zachovaných značiek a dodatočného výpočtu dosahoval prietok v Bytči  $4.000\text{m}^3$  (súčasný  $Q_{1000} = 2.980\text{ m}^3/\text{s}$ ). V roku 1960, kedy už bola vybudovaná Oravská priehrada a VS Nosice dosiahla povodeň o  $1.000\text{m}^3/\text{s}$  menší prietok pod profilom Nosice, kde činil iba  $1.990\text{m}^3/\text{s}$ .

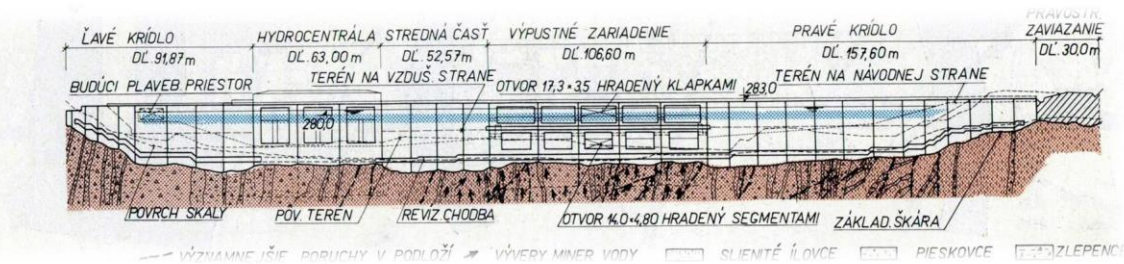
## 2. HLAVNÉ ČASTI VS NOSICE

Vodného dielo je členené na hlavné časti:

- Priehradný múr (PM)
- Nádrž (N)
- Vodná elektrárň (VE)
- Malá vodná elektrárň (MVE)
- Odpadový kanál (OK)
- Úprava koryta Váhu
- Ostatné objekty na VD

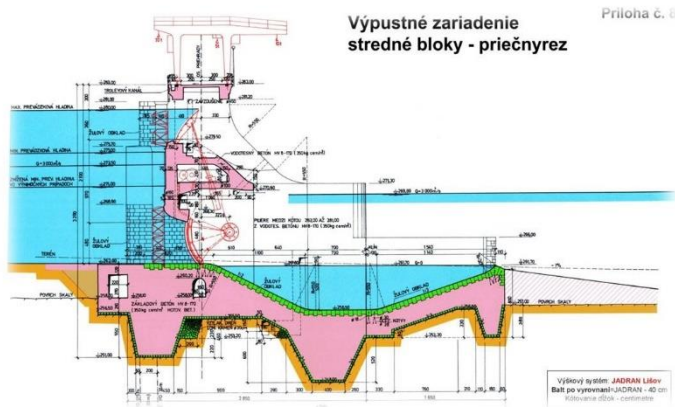
### 2.1 Priehradný múr

Priehradný múr je vybudovaný ako betónová gravitačná hrádza s úsporne navrhnutým profilom pri využití aktívneho zemného tlaku zásypu blokov na vzdušnej strane. Dilatačné škáry medzi blokmi sú tesnené na návodnej strane gumovým povrazcom tvaru „V“, chráneným železobetónovým klinom. Ďalšie tesnenie tvorí plochá guma 15 cm široká, uložená v drážke v osobitnej šachte. Cez celé priehradné teleso vedie revízná chodba, ktorá má aj funkciu injekčnej štôlne. V revíznej chodbe sú zabudované prístroje na meranie deformácii, vztlakov a priesakov. Z revíznej chodby podľa potreby možno dopĺňovať injekčnú clonu, ktorá je urobená pod celým priehradným telesom v návodnom líci do hĺbky asi 30m.



Výpustné zariadenie je situované v pôvodnom koryte Váhu. V 5-tich blokoch (č.12-16) PM je vybudované VZ má celkovú šírku 106,60 m. V smere toku bloky majú dĺžku 48,40 m a piliere 45,0 m. Vodu cez každý blok možno prepúšťať:

- Otvorom v dolnej časti bloku – s hradením segmentom. Každý segment, má šírku 14,0 m a výšku 4,80 m. Segmenty pri plnom otvorení a hladine na kóte v nádrži 279,60 m n.m. BpV prevedú prietok 3559 m<sup>3</sup>.s-1
- Otvorom nad strojovňou cez priepad s hradením klapkou. Priepadová výška klapiek k maximálnej hladine 279,60 mn.m. je 3,50 m, šírka 17,30 m. Klapky pri plnom otvorení a hladine na kóte 279,60 prevedú prietok 1070 m<sup>3</sup>.s-1.



Hlavné kóty	m n.m. Bpv
Maximálna prevádzková hladina (v nádrži)	279,60
Minimálna prevádzková hladina (v nádrži)	274,60
Koruna priehrady	282,60
Najhlbšie založenie blokov	241,60
Prepadové hrany klapiek	276,10
Dno spodných výpustí	261,60

## 2.2 Vodná elektráreň

Vodná elektráreň s prilahlou budovou je situovaná pri ľavom brehu. VE je vystrojená troma Kaplanovými turbínami s maximálnou hltnosťou po 130 m<sup>3</sup>/s. Turbíny majú zvislé osi a sú priamo spojené s generátormi na striedavý prúd s napätím 10,5 kV. Najvyšší využívaný spád je 22,5 m, najnižší 11,5 m. Každý generátor dáva výkon 22,5 MW. Pri celkovej inštalácii 67,5 MW, priemerná ročná výroba špičkovej a pološpičkovej elektrickej energie je okolo 165 mil. kWh.



## 2.3 Odpadový kanál

Odpadový kanál od VE je 2,65 km dlhý s lichobežníkovým profilom s kapacitou 400m<sup>3</sup>/s. Svahy kanála sú čiastočne opevnené betónovými dlaždicami 40 x 40 x 15 cm a v dosahu vlnobitia kamennou rovnatinou.

Dno kanála je v spáde 0,14 ‰, hĺbka vody pri normálnom prietoku sa je od 3,50 m, do 6,00 m.

## 2.4 Malá vodná elektráreň

Výstavba MVE sa realizovala v rokoch 1998-1999. Vtokový objekt pre MVE je riešený cez bývalú rybiu zdviž v bloku č.18. Na vtoku sú osadené v zvislých drážkach vedľa seba dve polia jemných hrabíc. Každé pole má šírku 2,5 m a výšku 4 m. Prívod vody je napojený cez samostatný ŽB objekt na dve tlakové odberné oceľové potrubia DN 1200 mm. Turbína (BANKI v úprave CINK), uzáver jalového odtoku, čelná prevodovka, generátor, elektromechanická regulácia, rozvážacie skrine NN s riadiacim systémom MVE a schodište. Prevádzkovaním



MVE je zabezpečený potrebný biologický prietok 3 m<sup>3</sup>/s do koryta Váhu pod VS Nosice. V roku 2005 bola vymenená prevodovka a v roku 2012 bola uskutočnená výmena generátora za účelom efektívnejšieho využitia turbíny.



### 3. PREVÁDZKA VS NOSICE

Po dobu prevádzkovania bolo na VS Nosice vybudované a zmodernizované diaľkové ovládanie výpustného zariadenia v roku 2000 (2017), ktoré zabezpečuje komfortné ovládanie výpustného zariadenia z miestnosti hatiara. Diaľkové ovládanie a monitoring sacích bazénov na čerpacej stanici v Orlovom prispieva k bezpečnosti odčerpávania priesakových vôd z Nosickej nádrže. V roku 2001 bol vybudovaný ASVaV obyvateľstva so 4 varovnými sirénami. Na systém sú napojené čidlá zo vztlakomerných vrto, náklonomerov a limnigrafov,



Súčasťou VS Nosice je aj ochranná hrádza pod priehradným múrom na ochranu mesta Púchov. Na predmetnej stavbe sú vybudované spätné klapky na bočných prítokoch. V roku 2001 bola uskutočnená oprava klapiek s výmenou gumového tesnenia a stavebnými opravami šácht.



V roku 2005 bola uskutočnená oprava provizórneho hradenia výpustného zariadenia, ktorá spočívala vo výmene gumových tesnení, opieskovaní a povrchovým náterom.



Pravidelná periodická údržba sa zameriava aj na opravu výpustného zariadenia, kedy sa vymieňajú tesniace gumi, opravujú rožrážače a realizuje sa oprava náterov. Periodicky sa každým rokom venujeme jednej klapke.



V roku 2006 bola uskutočnená montáž nového trolejového vedenia pre portálový žeriav, ktoré zodpovedá prísny bezpečnostným predpisom. Montáž trolejového vedenia bola uskutočnená v celkovej dĺžke 500 m.

V roku 2007 boli opravené a upravené česlá MVE, ktoré boli opatrené aj ochranným náterom proti lastúrnikom.



Do periodickej údržby sú zahrnuté aj natieračské a maliarske práce na technologických zariadeniach a objektoch vodnej stavby (strojný zariadenia, oceľové konštrukcie, komunikačná a revízna chodba, . . . )



Vodná stavba Nosice si zasluhuje pozornosť a neustálu realizáciu údržby a opráv, aby bola vždy pripravená na manipuláciu a bezpečné prevedenie povodňových prietokov.

Záverom spomeniem manipulácie cez VS Nosice:

1997	1.975 m <sup>3</sup> /s
2010	1.590 m <sup>3</sup> /s
2017	1.555 m <sup>3</sup> /s

Pri príležitosti 60-teho výročia VS Nosice mi dovoľte poďakovať všetkým pracovníkom, ktorí sa podieľali na príprave, výstavbe a doterajšom prevádzkovaní VS Nosice.

#### **AUTOR**

Ing. Dušan FEJER

SVP š.p., OZ Piešťany, SPSV I. Púchov [dusan.fejer@svp.sk](mailto:dusan.fejer@svp.sk)



## **II. BEZPEČNOSŤ PRIEHRAD A RIZIKOVÁ ANALÝZA**

## NAMÁHÁNÍ KONSTRUKCÍ ŠACHTOVÝCH PŘELIVŮ VYVOZENÉ AXIÁLNÍM A SPIRÁLNÍM PROUDĚNÍ

### LOADS ON SHAFT SPILLWAY STRUCTURES IMPOSED BY AXIAL AND SPIRAL FLOW

*Miroslav Brouček, Martin Králík, Ladislav Satrapa*

**Abstrakt:** Jednoznačné stanovení namáhání konstrukcí při různých zatěžovacích stavech je nutnou podmínkou spolehlivého návrhu a posouzení nejen vodohospodářských staveb. Zatížení konstrukcí představuje základní vstup do analýzy bez ohledu na následně použitou metodiku posuzování. Stanovení kóty mezní bezpečné hladiny, která je často využívána k prokázání bezpečnosti vodního díla za povodní, se nutně opírá o detailní statickou a ve vybraných případech i dynamickou analýzu konstrukcí stejně, jako moderní přístupy rizikové analýzy. V tomto kontextu představuje omezená znalost namáhání tlakovými pulzacemi šachtových přelivů značnou nejistotu se značným potenciálem k rozvoji poruch. Zejména u vysokých šachtových přelivů věžového typu, jejichž funkci či stabilitu nelze v průběhu povodňových situací jakkoli pozitivně ovlivňovat, jsou omezení závažná. Článek shrnuje výsledky studia namáhání šachtového přelivu tlakovými pulzacemi na fyzikálním modelu VD Jirkov při úpravách vtokových podmínek.

**Klíčová slova:** tlakové pulzace; šachtové přelivy; spirální proudění; axiální proudění

*Príspevok je uverejnený v časopise VODNÍ HOSPODÁŘSTVÍ.*

#### **AUTOR**

Ing. Miroslav Brouček, Ph.D.

Katedra hydrotechniky, Fakulta stavební, ČVUT v Praze

miroslav.broucek@fsv.cvut.cz

Ing. Martin Králík, Ph.D.

Katedra hydrotechniky, Fakulta stavební, ČVUT v Praze

kralik@fsv.cvut.cz

doc. Ing. Ladislav Satrapa, CSc.

Katedra hydrotechniky, Fakulta stavební, ČVUT v Praze

satrapa@fsv.cvut.cz

## PVE ŠTĚCHOVICE II – INSTALACE VZTLAKOMĚRNÝCH VRTŮ NA HRÁZI AKUMULAČNÍ NÁDRŽE HOMOLE

### HPP STECHOVICE II – EXECUTION OF BUOYANCY MEASURING WELLS TO DAM OF HOMOLE ACCUMULATION RESERVOIR

*Michal Grossmann, Jiří Šulc*

**Abstrakt:** Součástí objektu přečerpávací vodní elektrárny Štěchovice II na Vltavě je horní nádrž Homole, která zajišťuje akumulaci vody, jež je potřebná pro výrobu elektrické energie v období špičkových odběrů. Jako na všech vodních dílech je i zde prováděn technickobezpečnostní dohled (TBD), který spočívá jednak v měření deformací betonových bloků hráze a jednak v monitorování vztlakového a průsakového režimu v hrázi a jejím podloží. Nádrž byla vystavěna v průběhu 2. světové války, v provozu je od roku 1947. Se sledováním vztlakových poměrů na hrázi se začalo v roce 1966, takže některá měřicí zařízení jsou v provozu již přes 40 let. Proto byl pro zkvalitnění stávajícího systému měření a sledování TBD vypracován návrh na doplnění měřících bodů na objektu hráze a zřízení dvou vztlakoměrných vrtů v místě bezpečnostního přelivu hráze. Vlastní zřízení vrtů bylo náročné hned z několika důvodů – zejména požadovaným umístěním vývrtů, jejichž předepsanými parametry a z toho vyplývajícími technologiemi vrtání, množstvím předepsaných diagnostických měření, způsobem provedení vystrojení vrtů a v neposlední řadě nutností zřízení přístupových cest pro bezpečné provádění těchto činností.

**Abstract:** Upper reservoir Homole is part of pumped-storage power plant Štěchovice II on Vltava river and serves for accumulation of water needed for production of electrical power in peak periods. Similarly with other hydro structures also this one is subject to technical safety surveillance (TSS) comprising of measuring deformation of dam concrete blocks and measuring buoyancy and seepage behaviour of dam and its subsoil. Reservoir was constructed during WW2 and is in service since 1947. Measurements of buoyancy behaviour started in 1966 so some of measuring instruments are in service more than 40 years. In order to increase quality of current measuring system and observing TSS improvement plan was proposed to complete measuring points on dam structure and execution of two buoyancy measuring wells located in safety overflow spillway. Execution of wells was demanding from several reasons – especially by its location, by required parameters and from this resulting drilling technology, by number of required diagnostic measurements, by fitting up of wells and last but not least necessity to construct access courses for safe execution of these works.

**Klíčová slova:** technickobezpečnostní dohled, TBD, vztlakoměrný vrt, hloubkové vrtání, injektáž

## 1. ÚVOD

Významnou součástí provozování stavebních objektů vodních děl je provádění technickobezpečnostního dohledu (TBD) nad těmito díly. Jedná se o činnost, při které se provádí zjišťování technického stavu vodního díla, a to z hlediska bezpečnosti a stability a možných příčin poruch. Provádí se především pozorováním a prohlídkami vodního díla, měřením deformací, sledováním průsaků vod, jakož i hodnocením výsledků všech pozorování

a měření ve vztahu k předem určeným mezním nebo kritickým hodnotám. Součástí TBD je i vypracování návrhů opatření k odstranění zjištěných nedostatků. [1]

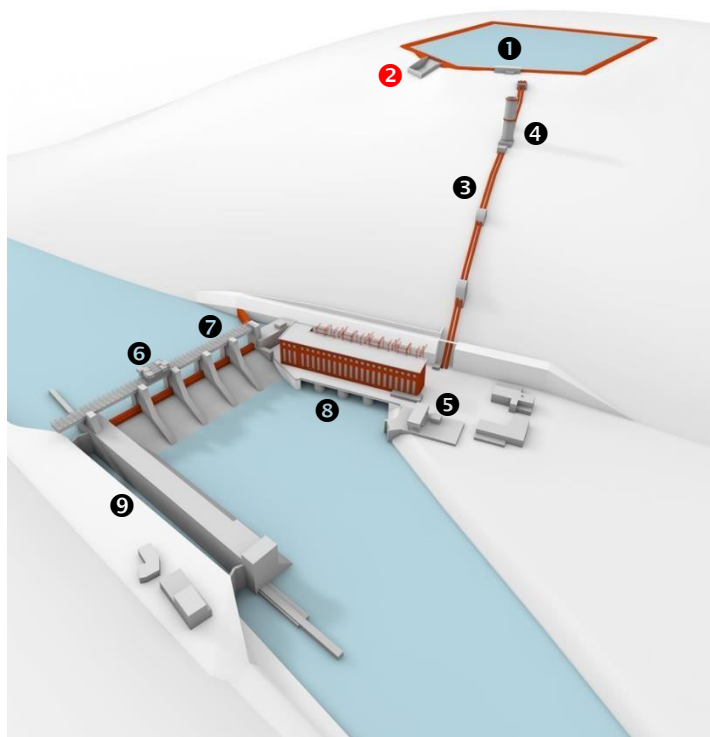
Každé vodní dílo je, s ohledem na potenciální nebezpečí, které představuje pro území na toku pod ním, zařazeno do kategorie I. – IV. S ohledem na tuto kategorizaci je také předepsán způsob výkonu TBD, ze kterého vyplývá typ a četnost prohlídek, souvisejících měření apod. Nejčastěji je předepsáno provádění měření deformací konstrukcí hrází, sledování průsakového režimu na jednotlivých konstrukcích díla a měření vztlakového režimu v podloží objektů vodního díla. Pro získávání údajů pro TBD jsou na hráze osazovány měřicí body, pro měření úrovně vody a sledování průsaků vod v podloží jsou zřizovány vztlakoměrné vrty pro osazení měřicích zařízení, např. hladinoměru (tzv. Rangova píšťala) nebo manometru. [1]

## 2. DOPLNĚNÍ TBD NÁDRŽE HOMOLE

V případě horní akumulční nádrže Homole, jenž je součástí PVE Štěchovice II, bylo nutné rozšířit stávající systém měření a sledování. Hráz nádrže je betonová a byla vystavěna souběžně s budováním VD Štěchovice na Vltavě v průběhu 2. světové války. Do provozu byla uvedena v roce 1947. Hráz Homole je klasifikována jako vodní dílo kategorie III.

Se sledováním vztlakových poměrů na hrázi se začalo v roce 1966, kdy ve vývřišti přelivného objektu bylo instalováno sedmáct sond – vztlakoměrných vrtů. Tato měřicí zařízení jsou v provozu již přes 40 let, ale jejich umístění neumožňuje provádět sledování přímo pod objektem hráze. Proto byl v roce 2010 vypracován návrh na doplnění měřicích bodů na objektu hráze a zřízení dvou vztlakoměrných vrtů v místě bezpečnostního přelivu.

Obr. č. 1 – Schéma VE Štěchovice I. a II.



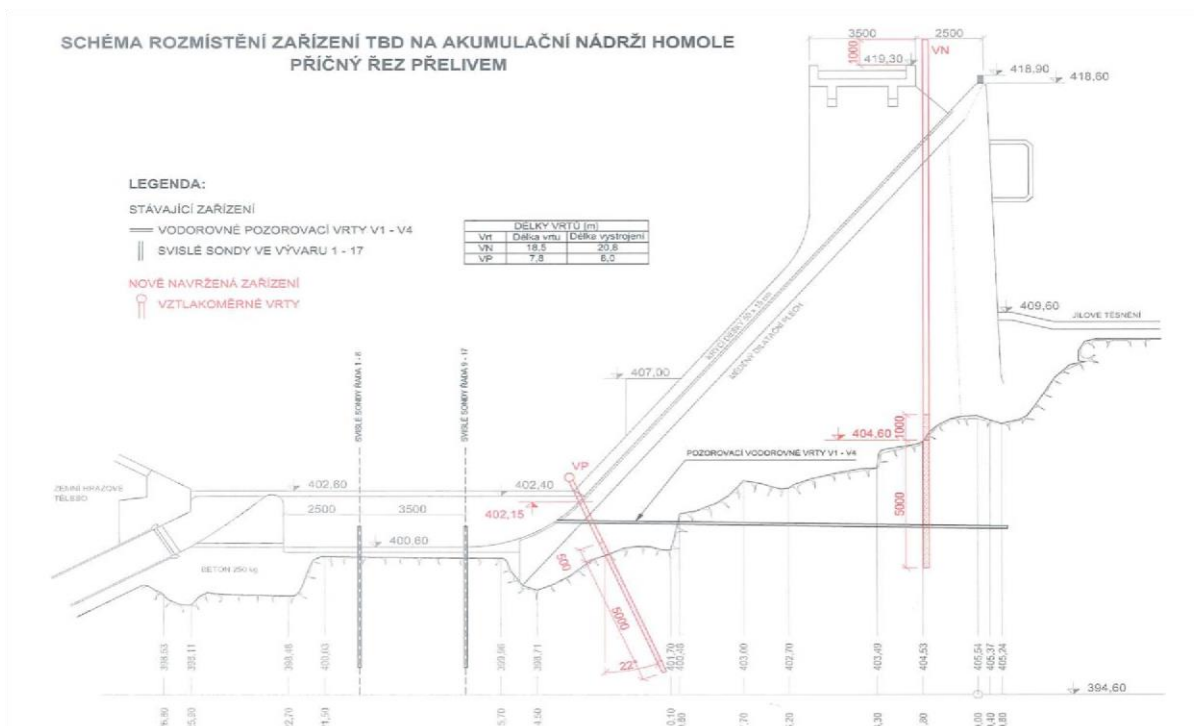
- ❶ Akumulační nádrž Homole – obsah nádrže 500 tis. m<sup>3</sup>, max. hloubka 10 m
  - ❷ Bezpečnostní přeliv hráze – místo instalace vztlakoměrných vrtů TBD
  - ❸ Potrubí přivaděčů vody ke strojovně PVE Štěchovice II.
  - ❹ Vyrovnávací komora přivaděčů
  - ❺ Strojovna přečerpávací vodní elektrárny Štěchovice II. – vybavena reverzní Francisovou turbínou s instalovaným výkonem 45 MW
  - ❻ Přehradní nádrž Štěchovice – obsahuje 11,2 mil. m<sup>3</sup> vody, vyrovnává kolísavý odtok z VE Slapy
  - ❼ Vtokový objekt průtočné elektrárny Štěchovice I.
  - ❽ Středotlaká průtočná elektrárna Štěchovice I. – vybavena dvěma Kaplanovými turbínami s instalovaným výkonem 2x11,25 MW
  - ❾ Plavební komora – překonává rozdíl mezi horní a spodní hladinou 19,10 m
- Zdroj: [4]

Cílem zřízení vztlakoměrných vrtů bylo získání reálnějších podkladů pro zahrnutí vztlaku do stabilitních výpočtů. Projekt stanovoval provedení vztlakoměrných vrtů na vzdušné straně hráze, a to až do oblasti podloží, do hloubky cca 5 m pod základovou spáru hráze. Svislý vrt VN o celkové délce 18,5 m byl navržen v blízkosti přelivné hrany, aby byl jednoduše dostupný z mostovky na koruně hráze. Šikmý vrt VP (22° od svislice) o celkové délce 8,0 m byl umístěn nad patu hráze ve vývaru bezpečnostního přelivu. Pozice obou vrtů byla uvažována v jedné rovině, tj. v rovině příčného řezu hrází. Vystrojení vrtů mělo být takové, aby plnilo v oblasti podloží tzv. jímací funkci, zároveň v tělese hráze mělo být mezikruží vrtu vyplněno.

### 3. REALIZACE VZTLAKOMĚRNÝCH VRTŮ

I když se v principu jednalo o jednoduché zadání, vlastní realizace byla poměrně náročná a zahrnovala množství jednotlivostí, které bylo potřeba vyřešit a zkoordinovat. Celou technologii provedení odvrtání a vystrojení vrtů tak výrazně ovlivnily tyto aspekty:

- požadované umístění vrtů v ploše bezpečnostního přelivu – to si vynutilo instalaci složité přístupové konstrukce ze systémového lešení, zavěšené na mostovce v koruně hráze a vytvoření přístupové plošiny v patě hráze;
- požadavky projektanta na provádění velkého množství měření, zkoušek a dokumentačních činností o stavu konstrukce hráze i podloží v průběhu provádění vrtacích prací – to znamenalo přizvat specializovanou firmu, vypracovat plán zkoušek a měření a tomu přizpůsobit organizaci vrtacích prací;
- projekt sice řešil způsob vystrojení vrtů, ale daným způsobem by vystrojení bylo poměrně těžko proveditelné – proto bylo navrženo použití systémových plastových trubek, které se používají pro odvodňovací, resp. injekční práce v geotechnice.



Obr. č. 2 – Příčný řez bezpečnostním přelivem hráze Homole se zakreslenou dvojicí nových vztlakoměrných vrtů  
Zdroj: [2]



### **3.1. Vrtací práce**

#### **3.1.1. Vybavení pro vrtací práce**

U obou vztlakoměrných vrtů bylo požadováno dosažení dna vrtu alespoň 5 m pod základovou spáru, což představovalo celkovou délku vrtů 18,5 m resp. 8,0 m. V rámci přípravy realizace byl s investorem odsouhlasen průměr vrtů 86 mm, což byl kompromis mezi proveditelností vrtacích prací a požadovanými parametry vrtů pro následné vstrojení.

Pro provedení vývrtů byla zvolena technologie tzv. hloubkového vrtání, využívající sestavu silnostěnných ocelových trubek, jejichž spojováním vzniká „nekonečný vrták“. Celá sestava je pro kalibraci průměru vrtaného otvoru vybavena specifickými kalibračními prvky s podlouhlým diamantovým segmentem na svém obvodu. Sestava je zakončena vrtací korunkou s vylamovačem jádra, který zaručuje vyjmutí odvrtného materiálu i z větších hloubek vrtu.

Pro eliminaci sklonu konstrukce byl vyroben upínací přípravek, kotvený chemickými kotvami do vzdušného líce hráze. Toto opatření zajistilo stabilní a dostatečně pevné upnutí vrtacího stojanu, což je zásadní předpoklad úspěšného provedení takto hlubokých vrtů. Pro vrtací práce byla použita elektrická jádrová vrtačka HILTI HDD 500, upnutá na stojan DD-HD 30, s prodlouženou lafetou délky 2,0 m. Pro další zvýšení stability byla tato sestava doplněna o atypické teleskopické vzpěry kotvené do vzdušného líce hráze.

Vzhledem ke ztíženému přístupu a značné hmotnosti vrtací kolony se zachyceným jádrem při vyjímání z vrtu, bylo pro veškeré manipulace rozhodnuto o nasazení autojeřábu AD 20.

#### **3.1.2. Provedení vrtacích prací**

Vrtací práce byly zahájeny svislým vrtem VN u přelivné hrany. U tohoto vrtu byla základová spára zastižena v hloubce 14,0 m od ústí vývrtu. Vrtací práce dále pokračovaly až do hloubky 18,23 m, kde bylo vrtání ukončeno v důsledku protnutí lokální poruchy – zlomu, což způsobilo okamžitý odtok veškeré chladicí vody nutné pro vrtání, do horninového masivu. Po urychlené konzultaci s projektantem bylo vrtání na dosažené úrovni ukončeno s tím, že je potřeba nalézt řešení této neočekávané situace. Sledováním chování podzemní vody ve vývrtu bylo totiž zjištěno, že porucha je natolik významná, že spolehlivě odvádí všechny přítoky podzemní vody do vrtu. To by znamenalo, že v nově provedeném vztlakoměrném vrtu nikdy nedojde k vystavení hladiny podzemní vody a měření nebudou uskutečnitelná. Řešení se podařilo najít téměř okamžitě a je popsáno dále v kapitole 3.2.2. Provedení vstrojení a injektáže vrtů.

U šikmého vrtu VP v patě hráze byla základová spára zastižena v úrovni 4,9 m od ústí vývrtu. Po konzultaci s projektantem byla celková hloubka vrtu upravena na konečných 7,0 m.



Obr. č. 3, 4 – Celkový pohľad na bezpečnostný preliv hráze, z polohy prístupových plošín je možné získať predstavu o rozmístení obou vzlakomerných vrtů (foto vľavo). Pozícia svislého vrtu VN vyplýva z požiadavky na pohodlné provádzanie merení z mostovky na koruně hráze. To si vynutilo instaláciu komplikovaného lešenia, aby bola zajištená maximálna bezpečnosť provádzaných prác (foto vpravo). Pro obslužné práce byl využíván autojeřáb.

### 3.1.3. Dokumentace stavu vrtů

V průběhu vrtání obou vrtů byly v taktu 3,0 m prováděny vodní tlakové zkoušky, jejichž účelem byla identifikace průsakových poměrů v tělese hráze, resp. v horninovém masivu. Souběžně bylo odebíráno odvrtné jádro, které bylo uskladněno pro pozdější vyhodnocení geologem, provedení chemických rozborů betonu a pevnostní zkoušky betonu a skalní horniny v podloží.

Průběžně byl také prováděn kamerový průzkum, který byl zaměřen na získání informací o eventuální přítomnosti kaveren a dutin v betonu nebo horninovém masivu. To bylo významné z hlediska injekčních prací, protože výskyt rozsáhlých nehomogenit mohou významným způsobem navýšit spotřeby injekčního materiálu, kterým se provádělo vyplnění mezikruží mezi instalovanou trubkou a stěnou vývrtu. Prohlídka vrtu VN kamerou taktéž poskytla neocenitelné informace pro rozhodnutí, jaký zvolit postup pro řešení nastalé situace kontaktu s lokální poruchou v hornině.

## 3.2. Vystrojení a injektáž vrtů

### 3.2.1. Materiály pro vystrojení vrtů

Pro vystrojení vrtů projektant navrhnul použití PPR trubek, tj. systému používaného pro vnitřní rozvody vody a vytápění v budovách. Ve vývrtu měly být trubky fixovány cementovou zálivkou. Toto řešení mělo bohužel několik nedostatků – ať už nižší komfort při montáži jednotlivých trubek do sestavy, možné problémy s průchodností trubek průměru DN 50 ve

vývrtnu kvůli masivním spojovacím prvkům, tak zejména nutností ručního provedení perforací v minimální délce 6,0 m ve spodní, jímací části sestavy. Provádění cementové zálivky by v daném případě bylo taktéž problematické – jednak kvůli nutnosti přípravy směsi vhodné konzistence a potom kvůli dlouhé době potřebné pro tuhnutí a vytvrzení směsi, navíc s rizikem následného smrštění.

Naproti tomu byla investorovi nabídnuta instalace systémového produktu plastových drenážních a injekčních manžetových trubek DURVINIL, které umožňují provádět drenážní vrty v průměrech DN 27 – 257 mm. Nejenom, že jsou trubky snadno spojovatelné kvůli závitům, ale odpadla tak především nutnost ručního provádění perforací. Navíc parametry drenážní kapacity trubek bylo možné doložit údaji v technickém listu.

Pro fixaci sestavy ve vývrtnu byla navržena injektáž pryskyřicí na chemické bázi. Konkrétně se jednalo o organicko-minerální pryskyřici Geoflex. Tento typ byl zvolen pro jeho specifické vlastnosti, především proto, že materiál ani v kontaktu s vodou nenapěňuje. Očekávalo se, že se ve vývrtech bude nacházet voda, minimálně technologická voda z vrtání. Zvětšování objemu injekční směsi nebylo v tomto případě žádoucí.

### **3.2.2. Provedení vystrojení a injektáže vrtů**

Před vlastním vystrojováním vrtů bylo potřeba vyřešit problém, který nastal u svislého vrtu VN. Zastiženou poruchu bylo potřeba uzavřít, aby nedocházelo k odtékání vody, která se do vývrtnu dostává z puklin v horninovém masivu. Řešení bylo nutné navrhnout a nejlépe také realizovat v co nejkratším čase, aby práce mohly pokračovat. Pokud by se poruchu nepodařilo uzavřít, znamenalo by to patrně nutnost provedení nového vrtu, který by byl kratší.

Bylo navrženo provést uzavření poruchy zátkou, vytvořenou zálivkou z injekční pryskyřice. Pryskyřice Geoflex, se kterou se počítalo pro výplňové injektáže mezikruží, však svými vlastnostmi nevyhovovala. Proto byla použita pryskyřice Carbothix, která je charakteristická svými tixotropními vlastnostmi, tzn. že je nestékavá. Toto řešení bylo úspěšné, navíc se podařilo provést během pouhé hodiny od vzniku situace. Kamerovou prohlídkou a vodní tlakovou zkouškou, provedenou po cca hodině od aplikace, bylo potvrzeno úspěšné uzavření nechtěného kolektoru. Práce mohly pokračovat.

Vlastní vystrojení vrtu sestavou trubek DURVINIL a následná zálivka chemickou injektáží probíhaly již podle předpokladů. Trubky byly zkompletovány do požadované konfigurace, osazeny centrátory, plnicími hadicemi a uzavíracím elementem pro oddělení spodní perforované části trubek, která byla ponechána bez zálivky a horní plné části, která naopak musela být zcela zaplněna zálivkou. Vyplnění mezikruží mezi trubkou a stěnou vývrtnu bylo zainjektováno přes osazené plnicí hadice. Injektáž byla provedena beztlakově pomocí čerpadla GSF 35.

### **3.3. Dokončovací práce**

Dokončení prací spočívalo v osazení vnějších nerezových chrániček DN 100 na vyústění plastových trubek nad stavební konstrukce. Aby nemohlo dojít k nechtěnému nebo úmyslnému

poškození instalovaných vztlakoměrných vrtů, jsou chráničky opatřeny uzamykatelnými uzávěry.



*Obr. č. 5 – Kamerou zdokumentovaná porucha horninového masivu, jež znemožňovala funkci vrtu – veškerá prosakující voda z puklin horninového masivu nekontrolovaně odtékala (foto vlevo nahoře).*

*Obr. č. 6 – Zavádění sestavy pro vystrojení do vrtu VP v patě hráze. Patrná je perforace drenážní trubky DURVINIL, jež tvoří jímací část (foto vlevo dole).*

*Obr. č. 7 – Vystrojení vrtu VN sestavou trubek DURVINIL s osazenými plnicími hadicemi a připojenou injekční pistolí pro chemickou injektáž organicko-minerální pryskyřici Geoflex (foto vpravo).*

#### 4. ZÁVĚR

Touto realizací se potvrdila vhodnost používání technologie hloubkového vrtání jádrovými vrtačkami, a to i u speciálních stavebních konstrukcích. Pro tuto technologii nejsou překážkou ani takto obtížně přístupné pozice nebo požadavky na realizaci prací v, pro jádrové vrtání, nestandardních hloubkách vrtání. Funkčnost technologie se podařilo prokázat i v hloubkách přes 15 m, a to i ve tvrdších horninách a v oblastech s výskytem poruch a kaveren.

Navržené řešení vystrojení vztlakoměrných vrtů bylo přínosné hned z několika důvodů. Použití systémových drenážních/injekčních trubek DURVINIL usnadnilo vlastní provedení na stavbě, ale především umožnilo zvolit menší průměr vývrtu, což znamenalo i úsporu nákladů na vrtací práce a vlastní materiál. Použití chemické zálivky pak vedlo k celkovému zrychlení prací, což

se projevilo především v případě nutnosti vyřešit nečekanou komplikaci se zastižením porušeného pásma v horninovém masivu. Výskyt této poruchy v podstatě ohrozil výsledek celého projektu.

Vlastní práce byly náročné hned z několika důvodů – zejména požadovaným situováním vývrtů, jejich předepsanými parametry a z toho vyplývajícími technologiemi vrtání, množstvím předepsaných diagnostických měření, způsobem provedení vystrojení vrtů a v neposlední řadě nutností zřízení přístupových cest pro bezpečné provádění těchto činností. Všechny tyto aspekty se vzájemnou spoluprací účastníků projektu podařilo úspěšně zvládnout.

## SEZNAM LITERATURY

- [1] *KOLEKTIV AUTORŮ, Technickobezpečnostní dohled nad vodními díly – Vybrané informace pro vodoprávní úřady a vlastníky vodních děl. 1. vydání. Ministerstvo zemědělství, Úsek vodního hospodářství : Praha, 2014. 71 s. ISBN 978-80-7434-160-1*
- [2] *VODIČKA M., PVE Štěchovice – Homole. Návrh doplnění měření a sledování TBD. Technická zpráva. Vodní díla – TBD : Praha, 12/2010*
- [3] *Vodní elektrárny Štěchovice [online]. [cit. 2017-01-13]. Dostupné na <https://www.cez.cz/cs/vyroba-elektřiny/obnovitelné-zdroje/voda/stechovice.html>.*
- [4] *SVE#3 – Precerpávací vodní elektrárna Stechovice 2 [online]. [cit. 2017-01-13]. Dostupné na [https://www.geocaching.com/geocache/GC6GKPZ\\_sve3-precerpavaci-vodni-elektřarnastechovice-2?guid=278e5f55-0f7d-4fc0-9b76-dc9d1472576b](https://www.geocaching.com/geocache/GC6GKPZ_sve3-precerpavaci-vodni-elektřarnastechovice-2?guid=278e5f55-0f7d-4fc0-9b76-dc9d1472576b)*

## AUTOR

Ing. Michal Grossmann

Mínova Bohemia s.r.o., Lihovarská 1199/10, 716 00 Ostrava-Radvanice

M: +420 602 709 580, E: [michal.grossmann@minovaglobal.com](mailto:michal.grossmann@minovaglobal.com), [www.minova.cz](http://www.minova.cz)

Ing. Jiří Šulc

BBC ŠOUN s.r.o., Komenského 272, 417 42 Krupka

M: +420 606 821 017, E: [sulc@bbcsoun.cz](mailto:sulc@bbcsoun.cz), [www.bbcsoun.cz](http://www.bbcsoun.cz)

## HYDRAULICKÝ MODEL VD HARCOV

### HYDRAULIC MODEL OF HARCOV DAM

*Martin Horský, Martin Králík, Ladislav Satrapa*

**Abstrakt:** Článek se zabývá zvyšováním bezpečnosti přehrad v souvislosti se zvyšujícími se bezpečnostními standardy. Zaměřuje se na inteligentní postupy zvyšování bezpečnosti při zachování kulturní a historické hodnoty vodního díla. Příkladem je historická přehrada Harcov – kde hydraulické řešení umožnilo zvýšit bezpečnost přehrady v souladu s technickou normou pro přehrady ČSN 75 2935 "Posuzování bezpečnosti vodních děl za povodní", při zachování původního historického charakteru přehrady. Aby bylo možné vyhodnotit navrhovanou změnu pro převádění extrémních povodní, bylo použito hydraulické fyzikální modelování. V případě Harcovské přehrady byl navržen nový tvar přelivu s podtlakovou přelivnou plochou pro povodně vyšší než  $Q_{50}$ . Maximální kapacita nově navrženého přelivu je  $80,8 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  a v součtu se spodními výpustmi je celková kapacita pro převádění povodňových průtoků  $104,5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ . Projektová dokumentace pro rekonstrukci přelivného objektu přehrady bude řešena na základě výsledků výzkumu fyzikálního modelu.

**Abstract:** The article deals with increase of safety of dams in connection with increasing safety standards, and it focuses on intelligent and careful methods of saving their cultural and historical value. The example is the historical dam Harcov: here, the hydraulic solution allowed to increase the safety of the dam in agreement with technical norm ČSN 75 2935

"Posuzování bezpečnosti vodních děl za povodní", about technical standards for dams, and at the same time, the original historical nature of the dam could be preserved. To evaluate the suggested change on the spillway, hydraulic physical modelling was used. In case of Harcov Dam, a new shape of the overflow surface with a low-pressure regime of water flow was designed for floods higher than  $Q_{50}$ . The maximum capacity of the newly designed spillway is  $80,8 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ , that in sum with a bottom outlets is adequate to flow rate  $104,5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ . The project documentation for reconstructing the dam will be properly solved on the base of results of the physical model research.

**Klíčové slova:** hydraulický model, povodeň, kulturní památka.

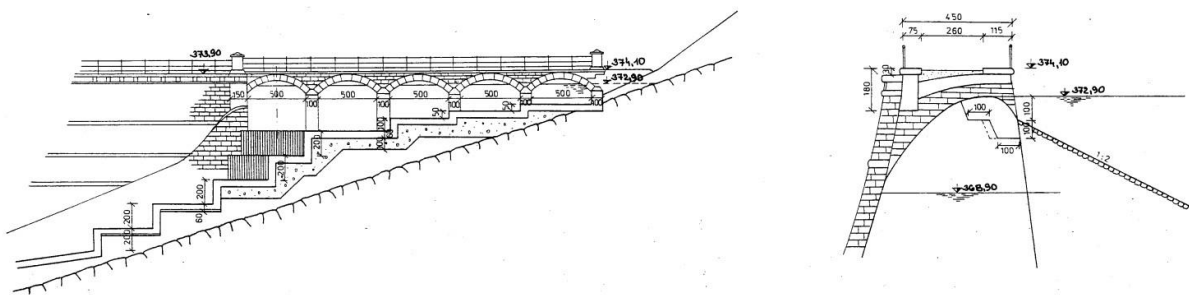
## 1. ÚVOD

Pro vodní dílo Harcov v Liberci byl v roce 2015 zpracován návrh opatření k zajištění bezpečnosti vodního díla při povodních. Návrh byl vypracován podle ČSN 752935 „Posuzování bezpečnosti vodních děl při povodních“. Hydrologickým podkladem byly hydrogramy teoretických povodňových vln pro pravděpodobnost překročení kulminačního průtoku  $Q = 0,0001$ , 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 přelítu koruny hráze. Nepříznivým jevem jsou i dlouhodobě zvýšené vztlaky na základové spáře hráze

při normálních provozních hladinách v nádrži zaznamenané při měření TBD. Vzhledem k uvedenému negativnímu výsledku je nutné navrhnout a realizovat nápravná a nouzová opatření.

## 2. POPIS VODNÍHO DÍLA

Vodní dílo Harcov na Harcovském potoce, nebo jak se také někdy uvádí Liberecká přehrada, leží nedaleko centra Liberce. Původně bylo vodní dílo vybudováno na okraji tohoto města, ale přirozeným rozvojem města v průběhu posledních sta let se stalo nedílnou součástí městského prostředí. Nádrž se zalesněnými stráněmi v okolí tvoří příjemnou partii Liberce, která celoročně slouží k odpočinku a rekreaci. Výjimečnost tohoto vodního díla potvrzuje i fakt, že jej lze najít v seznamu kulturních památek Národního památkového ústavu, kde je zapsáno již od roku 1958. Impulzem pro výstavbu byly ničivé povodně v druhé polovině 19. století [1].



Obr. 1: Pohled na bezpečnostní přeliv ze vzdušné strany a příčný řez přelivem VD Harcov

Vodní dílo se skládá ze zděné přehrady tížného typu, postavené do oblouku s poloměrem křivosti 120 m, vysoké 19 m nad základovou spárou a dlouhé 157 m v koruně. Výpustná a bezpečnostní zařízení jsou dvě spodní výpusti a z korunový čelní přeliv. Spodní výpusti jsou potrubní DN 800 mm vedené ve štolě, délka potrubí je 16 m. Obě výpusti jsou opatřeny na návodní straně ocelovými stavidly a na vzdušné straně litinovými klínovými šoupátky. Korunový přeliv má pět polí o šířce jednoho pole 5 m, nad přelivy jsou umístěny klenby s mostovkou, bezprostředně na přelivy navazuje skluz a vývar. Dalšími součástmi vodního díla jsou vodoměrné profily, potřebné pro řízení a manipulaci s vodou v nádrži a sedimentační přehrážky v údolí přítoků do nádrže pro zachycení sunutých splavenin. Hlavním účelem díla je zachycení povodňových průtoků Harcovského potoka a jejich snížení na neškodný průtok  $6,7 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ , dále je účelem vodního díla vytvoření akumulčního prostoru pro zajištění odběru  $0,150 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  k průmyslovému a dalšímu využití ve městě a v neposlední řadě rekreace a chov ryb spojený se sportovním rybolovem.

V posledních několika letech se pozornost provozovatele vodního díla, státního podniku Povodí Labe, zaměřila na otázku bezpečnosti VD Harcov při průchodu extrémních povodňových průtoků. Z tohoto důvodu byly vypracována řada studií. V první řadě se posuzovala hydrologická data. Je zřejmé, že původní data použitá při projektování více než před sto lety se budou lišit od údajů dnes běžně používaných pro posudky bezpečnosti vodních děl. Požadovaná

míra ochrany vzrostla z hodnoty stoleté povodně  $Q_{100}$  na hodnotu  $Q_{10\ 000}$  tj. desetitisícileté povodně.

### 3. NÁVRHOVÉ POVODŇOVÉ PRŮTOKY

S bezpečností přehrad úzce souvisí vstupní hydrologická data, která se v průběhu provozu vodního díla mohou významně měnit. Změna hydrologických dat v průběhu provozování se očekává u všech hydrotechnických staveb, kdy reálná doba provozu je delší než doba pozorování hydrologických dat do doby výstavby.

Při projektování a výstavbě přehrad na začátku minulého století se v České republice pro návrh pojistných zařízení uvažoval povodňový průtok  $Q_{100}$ . Pro zajištění kvalitních hydrologických podkladů je zapotřebí vyhodnocení ze sledování průtoků za co nejdelší období pozorování, což bylo na začátku minulého století prakticky vyloučeno. Z tohoto důvodu byla pro návrh bezpečnostních přelivů přehrad uvažována hodnota nejvyššího známého povodňového průtoky po vyhodnocení hydrologických údajů za krátké časové období. Po mnoha letech provozu byly hydrologické údaje zpřesněny, což přispívá k posouzení bezpečnosti konkrétního vodního díla z pohledu reálně se vyskytujících průtoků.

Z hlediska požadavků na přeliv jako pojistné zařízení přehrady má zásadní význam možnost přetížení přelivného objektu nad návrhovou kapacitu, aniž by přitom byla ohrožena bezpečnost přehrady. Zkušenosti s výskytem mimořádných povodní u nás v letech 1996 – 2012 ukázaly, že skutečný průtok za extrémní povodně může být podstatně větší. Proto je v posledních letech zřetelný tlak na odborné posuzování mezní bezpečnosti přehrad (i těch méně významných) ve vztahu k extrémním povodním (v souladu s normou - ČSN 75 2935). Z těchto důvodů se stává aktuální znalost hydraulické funkce přelivů při překročení návrhových podmínek velmi důležitým předpokladem pro bezpečné provozování vodního díla jako celku.

V posledních letech se mění také posuzování přehrad na extrémní průtoky ve prospěch bezpečnosti vodního díla. Pro posuzování kapacity pojistných zařízení přehrad se používá průtok extrémní povodně dané hodnotou opakování 1 000 nebo 10 000 let (v závislosti na kategorii vodního díla). Pro zjištění hodnoty extrémního průtoky  $Q_{1\ 000}$  a  $Q_{10\ 000}$  se využívají extrapoláční metody nebo srážkoodtokové modely. Při posouzení bezpečnosti vodního díla se s těmito hodnotami dále pracuje a slouží jako okrajová podmínka návrhu bezpečnostního přelivu ve vztahu k maximální bezpečné hladině v nádrži. Hodnota extrémního průtoky je limitní pro posouzení bezpečnosti vodních děl a bývá  $Q_{10\ 000}$  (u přehrad nižší kategorie je to průtok  $Q_{1\ 000}$ , výjimečně i nižší).

### 4. PROBLEMATIKA KAPACITY PŘELIVU

Současná kapacita bezpečnostního přelivu (o pěti polích) byla výpočtem stanovena na hodnotu  $16,31\ \text{m}^3\text{s}^{-1}$  a kapacita obou spodních výpustí na průtok cca  $12\ \text{m}^3\text{s}^{-1}$ . Jen připomeňme, že nejvyšší průtok pozorovaný na Harcovském potoce v době projektování Harcovské přehrady byl  $20\ \text{m}^3\text{s}^{-1}$  (30. července 1897). V současné době je stoletá povodeň  $Q_{100} = 55,1\ \text{m}^3\text{s}^{-1}$ .



Nutno poznamenat, že přesnost výpočtů byla dána geometrií a složitostí stavební konstrukce, která má přímý vliv na kapacitu přelivu. Při hydraulických výpočtech bylo nutno zohlednit tvar stavební konstrukce součinitelem bočního zúžení, součinitel přepadu ovlivněný klenbou mostu a součinitel přepadu přes širokou korunu mostu. Zohlednit všechny ukazatele, které ovlivňují kapacitu přelivu, při různých hladinách vody v nádrži, bylo nepostihnutelné a oddělit od sebe jednotlivé součinitele pro konkrétní hydraulický jev je nemožné. Z těchto důvodů je lepší se soustředit na součinitel jeden s tím, že je potřeba pro aplikaci do rovnice přepadu určitých zkušeností v oboru aplikovaná hydraulika. Cílem hydraulických výpočtů bylo co nejpřesněji popsat měrnou křivku bezpečnostního přelivu a to pomocí metody analogie s již změřenými přelivy [2].



*Obr. 2: Foto bezpečnostního přelivu a skluzu*

Hydraulické jevy, proudění vody a hydraulické charakteristiky je možno zkoumat na skutečném vodním díle, nicméně z objektivních příčin je tento výzkum značně ztížen, a proto se přistupuje ke zkoumání na zmenšeném modelu v laboratoři. Počáteční, okrajové a limitující podmínky jsou dány rozměrovou, silovou a hmotnostní analýzou, která vychází z podmínek zkoumání jevů na modelu pomocí Froudova zákona mechanické podobnosti.

Zvýšení kapacity vodního díla je teoreticky možné realizovat různými technickými opatřeními: zvýšením kapacity stávajícího bezpečnostního přelivu (např. snížením přelivných hran polí), vybudováním nové spodní výpusti, přidáním dalšího bezpečnostního přelivu (např. bočního typu na pravém břehu) a další možnosti. Je však bezpodmínečně nutné k výběru řešení přistupovat velice zodpovědně, aby nedošlo k narušení historického rázu této významné kulturní památky. Pokud budou úpravy po stavební stránce provedeny citlivě (se zachováním charakteru původního zdiva) pak by tento zásah neměl mít nepříznivý vliv na celkový historický ráz vodního díla ani na jeho okolí a životní prostředí.

Na základě doporučení odborníků byly z teoreticky možných variant vybrány a podrobněji projektově rozpracovány varianty, které se jeví jako proveditelné. Nicméně před výběrem definitivního řešení zvýšením kapacity vodního díla bude nutné posoudit i kapacitu kaskádovitěho skluzu pod bezpečnostním přelivem. Převádění vody přes kaskádu je velmi složitý hydraulický jev, který nelze popsat jednoduchým výpočtem.

Cílem provedeného výzkumu bylo pomocí fyzikálního hydraulického modelu a zpřesňujících hydraulických výpočtů posoudit stávající bezpečnostní přeliv, skluz, spodní výpusti a vývar pro projektovou dokumentaci k bezpečnému převedení KPV<sub>10 000</sub>.

## 5. PROJEKTOVÉ ÚPRAVY NA VODNÍM DÍLE

Dokumentace pro územní rozhodnutí byla vypracována v roce 2017 a celková koncepce hydraulického modelu z ní vychází [3]. V průběhu měření a vyhodnocení na modelu VD Harcov byly některé stavební objekty pozměněny tak, aby se vyhovělo hydraulickým požadavkům na bezpečně převádění povodní dle manipulačního řádu. Jednotlivé úpravy stávajícího vodního díla, které mají vliv na hydraulickou a statickou funkci pojistných zařízení přehrady, jsou:

- injekční chodba a injekční clona,
- koruna hráze,
- drenážní vrty,
- pravá spodní výpust – rekonstrukce,
- levá spodní výpust – rekonstrukce,
- rekonstrukce odpadního koryta,
- zpevnění přilehlých ploch při vzdušní patě hráze,
- rekonstrukce plotu v podhrází,
- vzdušní líc hráze,
- stavební rekonstrukce bezpečnostního přelivu,
- směrová rekonstrukce nátoky bezpečnostního přelivu,
- snížení levobřežní zdi skluzu kaskády,
- stabilizace přilehlého terénu za levobřežní zdi,
- odbahnění nádrže,
- odstranění nevhodně rostoucího (nebezpečného) břehového porostu,
- technologie, pravá spodní výpust (vtoková štola a česle pravé výpusti potrubí výpusti a vtok, vtoková zátka výpusti DN 1000, návodní provozní revizní uzávěr DN 1000, montážní vložka, zavzdušňovací ventil, propojovací potrubí, regulační uzávěr výpusti DN 1000, potrubí výpusti minimálního zůstatkového průtoku DN 300, vtoková zátka výpusti DN 300, vývar výpusti),
- technologie, levá spodní výpust (vtoková štola a česle levé výpusti, potrubí výpusti a vtok, vtoková zátka výpusti DN 1200, návodní provozní revizní uzávěr DN 1200, zavzdušňovací ventil, montážní vložka, obtokové potrubí, regulační uzávěr výpusti DN 1200, vývar výpusti).

Ostatní části rozsáhlé projektové dokumentace nemají vliv na hydraulickou funkci pojistných zařízení pro převádění povodní.

## 6. HYDROTECHNICKÝ MODELOVÝ VÝZKUM

Cílem modelového výzkumu bylo ověřit a zpřesnit hydraulické výpočty bezpečnostního přelivu, skluzu, spodních výpustí a vývaru. Kapacitu přelivu ovlivňuje tvar přelivné plochy, drsnost přelivné plochy, pilíře mezi jednotlivými poli, předpolí bezpečnostního přelivu, klenby mostovek a dolní voda ze skluzu. Všechny tyto detaily bylo potřeba zohlednit při fyzikálním modelování, aby výsledky byly co nejdělejší. Model VD Harcov (předpolí, bezpečnostní přeliv, spadiště, klenba mostovky, spodní výpusti, vývar a koryto pod přehradou) byl navržen a postaven v měřítku M – 1:17.



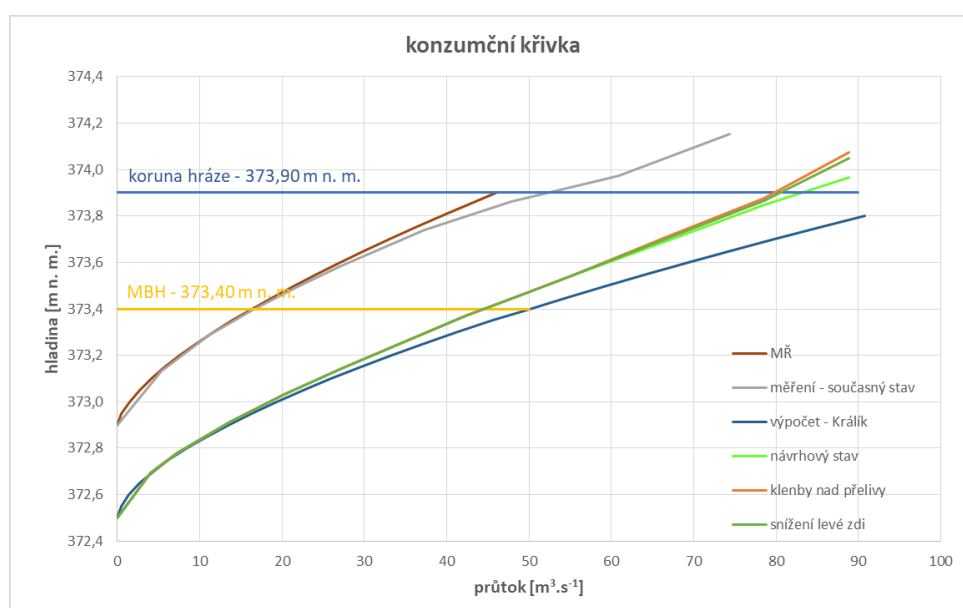
Obr. 3: Foto z měření hladin ve skluzu na VD Harcov

## 7. VÝSLEDKY EXPERIMENTŮ

Celkem bylo provedeno 32 různých variant měření dispozičního a konstrukčního uspořádání bezpečnostního přelivu, předpolí, přemostění, skluzu, terénu u levé zdi skluzu, spodních výpustí, vývaru a koryta pod vodním dílem i variantního řešení převádění povodňových průtoků VD Harcov pro řadu simulovaných N-letých průtoků. Pro všechny varianty měření se sledovaly polohy hladin v nádrži, skluzu, vývaru, v korytě pod hrází, měřila se rychlostní pole na konci vývaru (pomocí hydrometrických mikrovrtulí). Byl proveden nový návrh tvaru přelivné plochy,

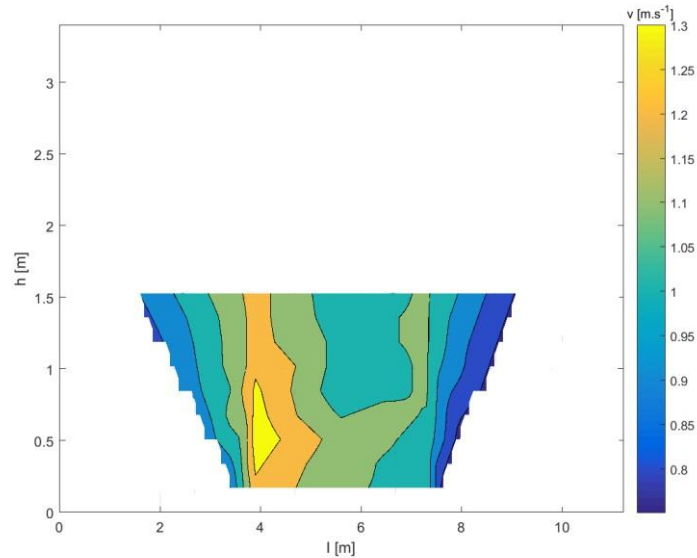
žebra ve spadišti a úprava předpolí. Byly hodnoceny měrné křivky (kapacita) stávajícího bezpečnostního přelivu a nově navrženého (snížení přelivné hrany o 0,4 m) i s vlivem rozšíření předpolí. Byly zkoumány kombinace otevření spodních výpustí při převádění povodňových průtoků a jejich vliv na proudové poměry ve vývaru a v korytě pod vodním dílem. Byly hodnoceny variantní úpravy vývaru u levé a u pravé spodní výpusti.

Vzhledem k tomu, že vodnímu dílu Harcov je vedeno jako kulturní památka, je nutné zachovat stávající klenby přemostění přelivů. Proto je nutné počítat s mírným vzestupem hladiny v nádrži při extrémní povodni  $Q_{10\ 000}$ , ve srovnání s mostovkou tvořenou pouze spojitou deskou. Kapacita navrženého bezpečnostního přelivu při průtoku  $Q_{10\ 000}$  je dostatečná z hlediska možného přelití koruny hráze, za předpokladu že bude převáděna část povodňového průtoku jednou spodní výpustí [2]. Snížení výšky levé zdi skluzu o 0,5 m v prostoru 4 až 7 stupně kaskády (značeno od shora) je přínosné z hlediska menšího přelévání jeho pravé zdi v tomto úseku. Snížení koruny levé zdi ve skluzu o 0,25 m v prostoru 2 a 3 stupně (značeno od shora) je přínosné pro zlepšení odtokových podmínek v prostoru za přelivem prvních dvou polí přelivu zleva. Tím dojde i k mírnému zlepšení kapacity celého bezpečnostního přelivu.



Obr. 4: Srovnání konzumční křivky stávajícího přelivu a navrženého přelivu – VD Harcov

Levá spodní výpust s průměrem DN 1200 má větší kapacitu než pravá spodní výpust a vyústění paprsku vody je do krátkého a mělkého vývaru. Po úpravě dna vývaru - prohloubení a protažení a vybudováním měrného jízku bylo dosaženo uspokojivých výsledků funkce vývaru (tlumení kinetické energie vody). Při mírně nižší hladině dolní vody nebo při lehce zvýšeném průtoku vody levou spodní výpustí již dochází k nedostatečnému tlumení kinetické energie vody – tato varianta není reálná na skutečném vodním díle. Vývar u pravé spodní výpusti byl modifikován dvanácti variantami, při kterých bylo posuzováno rychlostní pole na začátku koryta pod vodním dílem. Pro nejmenší namáhání dna koryta pod vodním dílem byla vybrána varianta s lichoběžníkovým tvarem vývaru (příčný profil) [4].



Obr. 5: Rychlostní pole v korytě pod vodním dílem naplno otevřené pravé spodní výpusti

## 8. ZÁVĚR

Navrhnout a posoudit bezpečnostní přelivy pomocí teoretických výpočtů základní hydrauliky lze v jednoduchých případech, kdy nejsou jednotlivé hydraulické jevy vzájemně ovlivňovány a nedochází k nestandardnímu proudění vody v objektu i okolí těchto objektů. K největší nepřesnosti v hydraulických výpočtech dochází u výpočtu přepadu vody přes bezpečnostní přeliv, kde je mimořádně složité hydraulické proudění, které je obtížně popsatelné základními hydraulickými rovnicemi přepadu. Z těchto důvodů je teoretický výpočet měrné křivky velice složitý a navíc s řadou nepřesných vstupních parametrů. Proto je nejpřesnější možností, nejvíce odpovídající skutečnosti, hydraulický fyzikální výzkum na modelu konkrétního bezpečnostního přelivu. Pro případ aplikace analogie pro posuzované bezpečnostní přelivy s již provedenými výzkumy, lze použít hydraulický modelový výzkum v omezené míře, v závislosti na podobné geometrii obou zkoumaných přelivů.

Hydraulické fyzikální modelování má své opodstatnění při řešení složitých konstrukčních uspořádání bezpečnostních přelivů - pojistných zařízení přehrad a při posuzování jejich kapacity a bezpečnosti. Při posouzení původního stavu bezpečnostních přelivů a navazujících objektů a při návrhu rekonstruovaných pojistných zařízení přehrady na VD Harcov byl použit fyzikální model, který věrně popisuje proudění na tomto objektu.

Výsledky těchto výpočtů a měření slouží pro návrh, posouzení a optimalizaci dílčích objektů bezpečnostních zařízení přehrad. Všechna vyhodnocení budou respektována a použita při výběru výsledného návrhu nového kapacitnějšího konstrukčního řešení bezpečnostních přelivů. Na základě výsledků fyzikálního modelového výzkumu může být vhodně řešena projektová dokumentace pro konkrétní vodní dílo i s ohledem na zachování historické hodnoty objektu. Na VD Harcov byla navržena nová přelivná plocha s podtlakovým režimem proudění vody při

povodních vyšších než  $Q_{50}$  [2]. Přesvětřením měrných křivek bezpečnostních přelivů dojde k jejich zpřesnění a tím i k zpřesnění údajů o průtoku přes vodní dílo při povodni a k lepšímu vyhodnocení povodní.

#### **SEZNAM LITERATURY**

1. Broža, V. a kolektiv: *Přehrady Čech Moravy a Slezska. 1. vydání. Liberec: Knihy 555, 2005.*
2. Satrapa, L.: *VD Harcov – zajištění bezpečnosti za povodní – fyzikální model, Praha, 2017.*
3. *Povodí Labe, s. p.: VD Harcov, zajištění bezpečnosti za povodní, Hradec Králové, 2017.*
4. Bohatá, A.: *VD Harcov – posouzení rekonstrukce na fyzikálním hydraulickém modelu, Praha, 2018.*

#### **VÝZKUMNÝ ZÁMĚR, PROJEKT**

Příspěvek vznikl za podpory projektu SGS18/054/OHK1/1T/11 „Kombinovaný výzkum proudění vody na hydrotechnických stavbách“.

#### **AUTOŘ**

Ing. Martin Králík, Ph.D.

Ing. Martin Horský, Ph.D.

doc. Ing. Ladislav Satrapa, CSc.

ČVUT v Praze, Fakulta stavební, Thákurova 7, 166 29 Praha 6 email: [králík@fsv.cvut.cz](mailto:králík@fsv.cvut.cz)

# OPRAVY POČAS VYPUSTENIA HORNEJ NÁDRŽE PVE ČIERNY VÁH V ROKU 2017

## REPAIRS MEANWHILE DRAINING OF THE UPPER RESERVOIR DAM IN PUMPED STORAGE HPP ČIERNY VÁH

*Ing. Branislav Ježík*

**Abstrakt:** Vypustenie hornej nádrže sa v zmysle programu odborného technicko-bezpečnostného dohľadu (TBD) uskutočňuje v pravidelných päťročných cykloch. Hlavným dôvodom je vizuálna kontrola asfaltobetónového (AB) plášťa, ale aj iných stavebných objektov, ktoré sú počas bežnej prevádzky zatopené vodou. V rámci kontroly AB plášťa pri zníženej hladine sa každoročne vykonáva aj presné zameranie prípadných deformácií pracovníkmi TBD (trigonometrické zameranie). V dobe vypustenia hornej nádrže sa taktiež vykonávajú kontroly, resp. opravy ostatných technologických zariadení elektrárne, ktoré by počas bežnej prevádzky neboli možné, alebo by boli podmienené neprimerane dlhými odstávkami.

Počas každoročnej kontroly AB plášťa hornej nádrže boli zistené vyduté miesta a praskliny v jeho šikmej časti, ktoré bolo potrebné opraviť. Zároveň boli hlavne v zimnom období opakovane zaznamenané nadmerné priesaky do kontrolnej chodby križujúcej privádzač P1 a P2. V tomto mieste sa nachádza pravé vtokové krídlo vtokového objektu hornej nádrže. Ako najpravdepodobnejšou príčinou priesakov boli identifikované jeho dilatácie, ktoré bolo možné opraviť len v čase vypustenia hornej nádrže.

**Abstract:** The drainage of the upper reservoir is carried out in the period of five-year cycles according to the technical-safety supervision program. The main reason is the visual inspection of the asphalt-concrete clad and other buildings that are flooded with water during operation. As a part of the control of the asphalt-concrete, the precise focus of any deformations by the technical-safety supervisors (trigonometric focus) is annually executed. At the time of the drainage of the upper reservoir, inspections and repairs are performed on other power plants that would not be possible during normal operation or would be caused by excessively long shutdowns.

During the annual inspection of the asphalt-concrete clad of the upper reservoir, convex-concave bulge and cracks were found in the oblique part of the asphalt-concrete clad, which had to be repaired. Also during the winter period, the locally damages were repeatedly recorded at the point where the checking corridor crosses the penstocks P1 and P2. Over this point is the right inflow gate of the upper reservoir inlet. The most likely cause of seepage was the degradation of its dilatation, which could only be repaired during the draining of the upper reservoir.

**Kľúčové slová:** nádrž, asfaltobetónové tesnenie, privádzač, elektrárň

## 1. ÚVOD

Prečerpávacía vodná elektrárň (PVE) Čierny Váh má hneď dve prvenstvá. Je to naša najväčšia prečerpávacía elektrárň a zároveň najväčšia vodná elektrárň na Slovensku. V zmysle požiadaviek vyhlášky číslo 119/2016 Z.z. je PVE Čierny Váh zaradená medzi vodné stavby I.

kategórie. Jej hlavným účelom je energetické využitie, zabezpečenie spoľahlivej a kvalitnej dodávky elektrickej energie a pokrývanie zmien zaťaženia elektrizačnej sústavy.

PVE Čierny Váh má nezastupiteľnú úlohu v energetike pre reguláciu odchýlok v sieti. V súčasnosti sú prečerpávacie vodné elektrárne stále najrozšírenejšie, najlacnejšie a najspoľahlivejšie úložiská energie. Ak je elektriny nedostatok, dokáže nabehnúť do turbínovej prevádzky, teda vyrábať elektrickú energiu, v priebehu 70 sekúnd. Z vody v hornej nádrži dokáže za päť a pol hodiny vyrobiť až 3800 MWh elektriny. Obvykle v noci, keď je naopak elektrickej energie dostatok alebo prebytok, je schopná za osem hodín prečerpať vodu späť do hornej nádrže. Pre porovnanie, najväčší batériový systém na svete (400 batérií Tesla Powerpack 2) dokáže uskladniť len 80 MWh energie.

PVE Čierny Váh bola vybudovaná pre účely bezpečnej, spoľahlivej, ekonomickej a ekologickej dodávky elektriny na pokrývanie zmien zaťaženia elektrizačnej sústavy Slovenskej republiky (ES SR). S vodohospodárskym využitím vodnej stavby sa pri jej návrhu nepočítalo. Primárnym hľadiskom pri plnení regulačných funkcií v ES SR sú jej prevádzkové vlastnosti, ktoré umožňujú plniť:

- základné zaťaženie podľa diagramu zaťaženia SE, a.s.
- podporné služby pre ES SR,
- dispečerskú rezervu pre výpadok najväčšieho bloku v ES SR,
- pokrývanie náhlych znížení (zvýšení) výkonu denného diagramu zaťaženia ES SR podľa obchodných podmienok.

## 2. PARAMETRE NÁDRŽÍ PVE ČIERNY VÁH

Prečerpávacia vodná elektrárň (PVE) Čierny Váh je situovaná v dolnej časti rieky Čierny Váh v priestore Nižný Chmelienc – Turková, v katastrálnom území obce Východná, kde sa nachádza priehradný profil dolnej nádrže s vlastnou elektrárnou. Akumulovaná voda sa z dolnej nádrže prečerpáva cez tri podzemné tlakové privádzače do hornej nádrže, ktorá je situovaná na vrchole kopca Neznáma v lokalite Turková a je bez prirodzeného prítoku vody. Načerpaná voda sa využíva na výrobu špičkovej elektrickej energie s opätovným výtokom vody do dolnej nádrže. Požiadavka na odber vody z prirodzených prítokov je zanedbateľná, pretože z hľadiska prevádzky vodnej elektrárne je potrebné nahradiť iba straty vody vyparovaním a priesakom cez hrádze a iné konštrukcie. Prirodzené prietoky, vrátane povodňových, sa bez zmeny prepúšťajú Kaplanovou turbínou s výkonom 0,768 MW pri akejkoľvek výške hladiny v dolnej nádrži v rozmedzí minimálnej a maximálnej prevádzkovej hladiny, čím sa zabezpečuje kontinuita prietokov pod dolnou nádržou. Podmienkou je, aby zostal zachovaný celkový objem 3,7 mil. m<sup>3</sup>, ktorý sa využíva pri prevádzke PVE. Prevádzka prečerpávacej elektrárne je zabezpečená trvalou obsluhou. Prvé plnenie dolnej nádrže prebiehalo od 29. augusta 1980 do 26. septembra 1980. Postupne v 4-mesačných cykloch boli od 31. decembra 1980 do 31. augusta 1982 uvádzané do skúšobnej prevádzky jednotlivé agregáty TG-6 až TG-1. Ako posledné bolo dané dňa 8. októbra 1982 do skúšobnej prevádzky sústrojenstvo TG-7. Vodná stavba PVE Čierny Váh bola uvedená do trvalej prevádzky 30. septembra 1983 [1].



**Parametre hornej nádrže:**

celkový objem nádrže	4,035 milióna m <sup>3</sup>
užitočný objem nádrže	3,883 milióna m <sup>3</sup>
stály objem nádrže	0,152 milióna m <sup>3</sup>
nadmorská výška koruny hrádze	1161,70 m n. m. (Bpv)
dĺžka hrádze	1660,66 m
maximálna prevádzková hladina	1161,00 m n. m. (Bpv)
minimálna prevádzková hladina	1135,00 m n. m. (Bpv)
nadmorská výška dna nádrže	1134,85 m n. m. (Bpv)
rozsah hladín	26 m
šírka koruny hrádze	5,7 m
sklon návodného svahu	1 : 2; pri vtokovom objekte 1 : 1,75
sklon vzdušných svahov - násyp č. 1	1 : 1,75
- násyp č. 2	1 : 1,35
- násyp č. 3	1 : 1,75
konštrukcia koruny hrádze	20 cm štrkodrvina 10 cm štrkopiesok, OŠP 5/5 5 cm asfaltobetón AB-5

Plnenie a vyprázdnenie dolnej nádrže v rozsahu užitočného priestoru medzi kótami 725,53 a 733,45 m n. m. je dané prevádzkovými požiadavkami energetiky v nadväznosti na stav naplnenia hornej nádrže. Úplné vyprázdnenie dolnej nádrže sa robí iba pri plánovanej revízii a opravách vodnej stavby a v prípade ohrozenia bezpečnosti vodnej stavby. Úplné vyprázdnenie dolnej nádrže je možné iba po vodohospodárskom prerokovaní.

**Hlavné parametre dolnej nádrže:**

celkový objem nádrže	5,100 milióna m <sup>3</sup>
užitočný objem nádrže	3,913 milióna m <sup>3</sup>
stály objem nádrže	1,187 milióna m <sup>3</sup>
maximálna prevádzková hladina	733,45 m n. m. (Bpv)
minimálna prevádzková hladina	725,53 m n. m. (Bpv)
rozsah hladín	7,92 m



Obrázok č. 1 Dolná nádrž PVE Čierny Váh.

### 3. PREVÁDZKA A MONITORING HORNEJ NÁDRŽE PVE ČIERNY VÁH

Hlavné stavebné objekty vodnej stavby PVE Čierny Váh sú:

1. Horná nádrž
2. Tlakové privádzače, prístupový tunel a šikmý výťah
3. Vodná elektráreň, 400 kV spínacia stanica (rozvodňa)
4. Dolná nádrž

Ďalšia časť príspevku bude zameraná na hornú nádrž, kde prebiehala väčšina stavebných opráv v roku 2017. Horná nádrž je vybudovaná z troch veľkých násypov. Materiály do násypov sa použili z výlomov vápencov a dolomitov. Vápence boli použité do päty násypov a dolomity sa použili do ostatných častí násypov. Násypy boli zhutňované podľa pokynov uvedených v prevádzkovom predpise „Návrh kontrolných skúšok“. Na základe výsledkov pozorovaní a meraní, ktoré vykonáva v rámci technicko-bezpečnostného dohľadu (TBD) Vodohospodárska výstavba š.p. Bratislava (VVB), je možné konštatovať, že deformácie násypov hornej nádrže sú minimálne, čo svedčí o ich dobrej konsolidovanosti. Od svahov nádrže je koruna hrádze ukončená betónovými prefabrikátmi tvaru L, v ktorých je osadené rúrkové zábradlie.

#### Parametre zhutnených násypov:

objemová hmotnosť suchého kameniva	2 100 kg.m <sup>3</sup>
efektívna šmyková pevnosť vápencov	$\varphi = 360 - 440$
efektívna šmyková pevnosť dolomitov	$\varphi = 350$
modul deformácie násypu	$E_0 = 50 \text{ MPa}$

Pri lomových prácach boli na dne nádrže zistené vo vápencoch dutiny a trhliny, pri vyhľadávaní ktorých boli zvolené dostupné metódy – mikrogravimetrická, seizmická a geoelektrická. Napriek tomu, že merania prebiehali za sťažených klimatických a prevádzkových podmienok, je reálny predpoklad, že všetky dutiny boli zistené a následne sanované. Tesnenie dna a svahov nádrže je vybudované ako asfaltobetónové plášťové tesnenie s celoplošným drenážnym systémom. Väčšina meracích zariadení na PVE Čierny Váh bola zabudovaná už počas výstavby. V súčasnosti sa vykonáva meranie a pozorovanie priesakov z dna a svahov nádrže tak, že pod päťou svahu po celom obvode hornej nádrže je situovaná kontrolná chodba. Do nej je vyvedený drenážny systém tak, že po oboch stranách chodby sú zabudované každých 5 metrov rúrky na sledovanie priesakov cez asfaltobetónové tesnenie z celoplošného drenážneho systému. Celkový priesak (predpokladá sa do 25 l.s<sup>-1</sup>) je signalizovaný akustickou húkačkou do dozorne PVE. Vstup do kontrolnej chodby je z vtokového objektu a z východu z kontrolnej chodby.



Obrázok č. 2 Zamrznutá hladina hornej nádrže PVE Čierny Váh.

Konštrukcia podkladových vrstiev a tesniaceho prvku nádrže:

- Podkladová a drenážna vrstva je na dne hrúbky 25 cm, na svahoch 40 cm kameniva z Malužinej o zrne  $\varnothing = 16 - 63$  mm. Na celej ploche nádrže je zabudovaný drenážny systém z flexibilných rúrok  $d = 80$  mm zapustených do betónových žliabkov a vyvedených do kontrolnej chodby pri päte svahu.
- Asfaltobetónový tesniaci plášť o celkovej ploche 194 500 m<sup>2</sup> sa skladá z:
  - podkladovej bitúmenovej vrstvy (VABI) – min. 80 mm
  - tesniacej vrstvy z asfaltobetónu (VABI) – min. 80 mm
  - vrchného náteru z asfaltovej emulzie SA-10 (pečať - aplikácia za studena) – 2 mm
  - reflexného náteru Rubol RS

Koeficient priepustnosti asfaltobetónového plášťa musí dosahovať maximálnu hodnotu  $k=1.10^{-7}$  s<sup>-1</sup>, čo pri celej ploche dna a svahov predstavuje cca 25 l.s<sup>-1</sup>.



Obrázok č. 3 Lámanie ľadu na návodných svahoch po obvode hornej nádrže.

Asfaltobetónové tesnenie musí počas roka odolávať náročným poveternostným podmienkam. Územie, v ktorom je situovaná PVE Čierny Váh, patrí k najvlhším na Slovensku, kde priemerný úhrn ročných zrážok dosahuje hodnoty 610 - 900 mm. Priemerná ročná teplota za obdobie rokov 1980 – 2000 je 5,025 °C, priemerná teplota v januári však dosahuje len – 4,5 °C až – 6 °C. Maximá pritom v zime dosahujú – 38 °C a v lete + 35 °C. Priemerný počet dní so snehovou pokrývkou za obdobie rokov 1980 – 2000 je 133,7, teda takmer jedna tretina roka a priemerné trvanie slnečného svitu bolo v tom istom období 1613 hodín za rok. Výskyt mrazových dní sa pohybuje okolo 160 dní v priebehu roka. Hrúbka ľadu za silných mrazov pri okrajoch návodných svahov je cca 10 – 15 cm, v strede nádrže je ľad hrubý 30 – 40 cm. V zimnom období dochádza pri turbínovej a čerpadlovej prevádzke k lámaniu ľadu na šírke cca 3 m od kraja návodných svahov po celom obvode nádrže. Tieto kryhy sa pri klesaní hladiny ukladajú na svahy nádrže, a po určitom čase pri silných mrazoch na svahy primrzajú. Pri oteplení a pri slnečných dňoch dochádza k postupnému uvoľňovaniu týchto kryh zo svahov. Pri turbínovej prevádzke až po minimálnu hladinu nedochádza k polámaniu ľadovej celiny na celej ploche vodnej nádrže, ale len v okolí vtokového bazéna, pričom doteraz nebolo zaznamenané vťahovanie ľadu do privádzača. Na severných návodných svahoch nádrže sa pri veľkých snehových zrážkach spojených so severným a severozápadným prúdením vetra vytvára snehová pokrývka v tvare klinu, ktorý môže dosiahnuť výšku až 1,5 – 2 m [2].

Pre zjazd mechanizmov potrebných na realizáciu montáže a opravy hrablic vtokového objektu a čistenia nádrže, je vybudovaná rampa do nádrže, ktorá je situovaná zo západnej strany prístupovej cesty v km 0,314 koruny hrádze. Pre vizuálne pozorovanie vodnej hladiny v nádrži je na návodnom svahu inštalovaná vodomerná lata v km 1,250.

Ďalšou časťou hornej nádrže je vtokový objekt. Hala vtokového objektu má všetky priestory vzájomne spojené schodiskom a výtahom nosnosti 1 t. V hale je inštalovaný žeriav hradenia o nosnosti 16,5 t, skládka pomocných hradidiel, olejová nádrž objemu 2 m<sup>3</sup> s olejom pre čerpacie agregáty rýchlouzáverov. Jeho stavebná časť pozostáva z týchto podobjektov:

**Vtokový bazén**

- dno bazéna je na kóte 1121,00 m n. m. Bpv. Je realizované z betónových blokov s povrchovou úpravou, ktorú tvorí asfaltobetónový tesniaci plášť v dvoch vrstvách o celkovej hrúbke 2 × 40 mm. Napojenie svahov na dno nádrže je v sklone 1:3. Bočné časti vtokového bazénu sú tvorené vtokovými krídlami, ktoré sú tvorené z betónových blokov. Návodná strana vtokových krídiel je tvorená strateným debnením zo železobetónových panelov bez povrchovej úpravy. Jednotlivé bloky sú riešené dilatčne, v dilatáciách sú vložené dilatčné gumové pásy v dvoch vrstvách. Z návodnej strany sú dilatácie, ako aj spoje železobetónových panelov zaliate tekutým asfaltom. Vtokové krídla sú po obvode napojené na asfaltobetónové tesnenie nádrže.

**Vtoky** - nachádzajú sa na plošine s kótou 1135,50 m n. m. Bpv, s otvormi pre zasunutie hrablic pre tri privádzače.

**Betónové privádzače** - privádzače P1, P2, a P3 o rozmeroch 3800 × 3800 mm sú v dilatáciách tesnené 2 ks gumovým pásom.

**Vtoková veža**

- jej spodná stavba je tvorená šachtou presakovaných vôd s priestorom pre čerpadlá na kóte 1114,40 m n. m. Bpv a prístupom na schodisko.  
 - chodba maximálnej ochrany na kóte 1126,86 m n. m. Bpv, kde sú umiestnené oceľové poklopy nad privádzačmi, náklonomery Maihak a kyvadlo VUIS pre meranie náklonov vtokovej veže.  
 - prístupová chodba do kontrolnej chodby na kóte 1131,80 m n. m. Bpv, kde sú umiestnené uzávery potrubia DN 400 pre vypúšťanie z nádrže (požiadavka civilnej ochrany).  
 - šachty pre hradenie rýchlouzáverov, pomocných hradení a limnigrafu

**Vtoková veža**

- horná stavba, ktorú tvoria priestory na kóte 1161,75 m n. m. Bpv (hala, dielňa, sociálne zariadenia, dozorňa, schodisko) a priestory na kóte 1166,25 m n. m. Bpv, (pohotovostná ubytovňa, sklad, strojovňa výtahu).



Obrázok č. 4 Betónový privádzač P2.

Vzduchotechnika vtokového objektu rieši vetranie priestorov čerpadiel presiaknutých vôd, chodby maximálnej ochrany a schodiskovej (výťahovej) šachty. Strojovňa vzduchotechniky je na kóte 1146,78 m n. m. Bpv. Technologická časť vtokového objektu sa skladá zo strojnotechnologickej časti a elektroenergetickej časti.

Strojnotechnologicкую časť tvorí zariadenie vtokového objektu hornej nádrže. V návodnej časti vtokového objektu, vysunutej do nádrže, sa nachádzajú vtoky do troch privádzačov k turbínám PVE. Každý vtok je vybavený hrubými hrablicami s profilom prútov  $70 \times 8$  mm, rozstup prútov je 90 mm, svetlý profil  $9,6 \times 4,6$  m. Hrablice sú dimenzované na tlak 0,06 MPa a sú vybavené diferenciálnou ochranou so signalizáciou ich upchatia do dozorne. Sú umiestnené vo vtokovom bloku na dne nádrže. Osadzujú sa z kóty 1135,50 m n. m. do drážok. Manipulácia s hrablicami sa môže vykonávať iba pri vypustení vody z hornej nádrže. Hradidlá sa používajú na zahradenie otvoru  $3,8 \text{ m} \times 3,8 \text{ m}$  a sú umiestnené v hradidlovej šachte vtokového objektu. Manipulácia s hradidlovými tabuľami sa môže uskutočňovať iba pri vyrovnaných tlakoch vody pod stropným žeriavom. Rýchlouzávery sú umiestnené v šachte rýchlouzáverov v hale vtokového objektu za provizórnym hradením. Tabuľa je ovládaná hydraulickým zdvíhacím zariadením s automatikou. Doba hradenia je 45 sekúnd, doba zdvihu je 360 sekúnd. Revízie tabuľ sa vykonávajú na revíznych plošinách na kóte 1134,00 m n. m. Bpv. Za rýchlouzáverom je z prevádzkových dôvodov zaústené zavzdušňovacie potrubie DN1200.

Čerpacia stanica zabezpečuje vyčerpanie presiaknutej vody a pre odvedenie a vyčerpanie priestorov medzi hradidlom a rýchlouzáverom pre ich uzavretie. Čerpacia stanica je vybavená dvomi vertikálnymi čerpadlami s automatickým plavákovým zariadením. Výtlačné potrubie je zaústené do šachty provizórneho hradenia nad maximálnu hladinu vody v nádrži. Maximálna ochrana privádzačov je umiestnená za rýchlouzávermi v chodbe na kóte 1126,86 m n. m. Bpv.

Každý privádzač je opatrený maximálnou ochranou, ktorá pri zvýšenom prietoku o 20 % automaticky signalizuje poruchu do dozorne vodnej elektrárne a dochádza k uzavretiu rýchlostného uzáveru.

Elektroenergetická časť vtokového objektu je určená na napájanie elektrických pohonov rýchlostných uzáverov, čerpadiel presiaknutej vody, žeriavu hradenia a nákladného výťahu. Tieto zabezpečuje rozvádzač, v ktorom je umiestnená automatika ovládania rýchlostných uzáverov, čerpadiel presiaknutej vody a signalizácia prevádzkových stavov (limnigraf a presiaknutá voda z nádrže do kontrolnej chodby).

Funkciu privádzačov v komplexe prečerpávacej vodnej elektrárne tvorí tlakové spojenie medzi hornou nádržou a vodnou elektrárnou. Privádzače sú tvorené tromi pancierovanými potrubiami, ktoré sú z prevažnej časti zabetónované vo výrube v horskom masíve (dolné vodorovné, šikmé, horné vodorovné úseky), alebo zabetónované vo voľnom výkope (úsek v údolnej nive). V guľových odbočniciach sa každý privádzač rozdeľuje na dve odbočky na turbíny a dve odbočky na čerpadlá. Každá z odbočiek (na turbínu a k čerpadlu) je ukončená kuželovým prechodovým kusom  $\varnothing 2\,200 - \varnothing 1\,600$  mm, ktorý je ukotvený v železobetónovom bloku elektrárne. Každý privádzač je určený pre dva turboagregáty (privádzač P1 pre TG6 a TG5, privádzač P2 pre TG4 a TG3, privádzač P3 pre TG2 a TG1). Privádzače majú vnútorný priemer 3800 mm. Hrúbka panciera je podľa namáhania odstupňovaná od 12 do 43 mm [1].

Od roku 2014 je v zmysle aktualizovaného prevádzkového poriadku možné prevádzkovanie pri maximálnej hladine vody v hornej nádrži na kóte 1161,00 m n. m. Je to ale podmienené poveternostnými podmienkami, kedy rýchlosť severných, resp. severovýchodných vetrov nesmie prekročiť rýchlosť  $80 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ . Pokiaľ obsluha dostane údaje z anemometra o dosiahnutí, resp. prekročení hodnoty rýchlosti vetra a tento stav trvá minimálne 10 minút, je vydaný pokyn na zníženie hladiny vody v nádrži na kótu 1160,00 m n. m. Okrem toho má obsluha na vizuálnu kontrolu hladiny hornej nádrže k dispozícii dve online kamery, ktorými kontroluje stav hladiny [3].

Vyprázdnenie hornej nádrže sa vykonáva len pri plánovaných revíziách a v prípade ohrozenia bezpečnosti vodného diela. Vypúšťanie po minimálnu prevádzkovú hladinu t.j. z hladiny 1161,00 na 1135,00 m n. m. je turbínovou prevádzkou. Rýchlosť znižovania hladiny je daná kapacitou šiestich turboagregátov pri turbínovej prevádzke na  $6 \times 32 \text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1} = 192 \text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$ . Pod minimálnou hladinou (stále zadržanie), sa vypúšťanie hornej nádrže uskutočňuje výpustným zariadením cez privádzač. Plnenie hornej nádrže po minimálnu prevádzkovú hladinu 1135,00 m n. m. sa uskutočňuje čerpadlami prvého plnenia. Ďalej po maximálnu hladinu 1161,00 m n. m. sa nádrž plní čerpadlovou prevádzkou turboagregátov  $6 \times 20,9 \text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1} = 125,4 \text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$  bez obmedzenia.

Pre účely kontrol asfaltobetónového tesnenia hornej nádrže v nadväznosti na výsledky TBD vodnej stavby sa ešte pred desiatimi rokmi horná nádrž vyprázdňovala každoročne, neskôr sa prešlo na dvojročný interval a od roku 2012 bol schválený nový päťročný cyklus prázdnenia. Prevádzkové skúsenosti a dlhodobé výsledky meraní potvrdzujú, že predĺženie cyklu nemá vplyv na bezpečnosť vodného diela. Pre Slovenské elektrárne, a.s. má táto skutočnosť obrovský význam z pohľadu straty na výrobe, ktorá bola v minulosti, pri dvojročných cykloch vyčíslená na takmer 5 miliónov €. Počas úplného vypustenia nádrže sa v minulosti vykonávala kontrola svahov a dna trigonometricky v 15 merných profiloch inklinometrickým vozíkom. Táto metóda

bola nahradená moderným celoplošným meraním povrchu asfaltobetónového plášťa pomocou terestrického impulzného laserového skenera (TLS) Leica

Scanstation2. Skenovanie nadväzuje na základné meranie skenerom z júna 2007. Geodetické trigonometrické meranie bodov na dne nádrže a na ďalších 9 obnovených merných profiloch na svahu plášťa sa vykonáva len počas úplného vypustenia hornej nádrže [4].

Pri kontrole stability asfaltobetónového plášťa pri minimálnej prevádzkovej hladine sa počíta s dvoj – až trojdňovou odstávkou PVE Čierny Váh. Počas nej naďalej každoročne prebieha kontrola stability asfaltobetónového plášťa a iných stavebných objektov pri minimálnej prevádzkovej hladine, ktorou sa zisťujú prípadné deformácie asfaltobetónového plášťa. Na základe týchto meraní sa dajú účinne odhaliť prípadné deformácie, ktoré sú vyhodnocované hypsometricky po celej ploche plášťa hornej nádrže. Jedná sa o porovnanie dvoch modelov: modelu zo základného merania a modelu z etapového merania. Týmto porovnaním vznikne nový model, ktorého presnosť ovplyvňuje šikmý uhol dopadu skenujúceho lúča a polohová presnosť skenovaného bodu, ktorá je 6 mm na 50 m. Merania sú doplnené vizuálnou obhliadkou plášťa.



*Obrázok č. 5 Horná nádrž PVE Čierny Váh pri minimálnej prevádzkovej hladine.*

Okrem uvedených kontrol asfaltobetónového tesnenia sa na hornej nádrži denne vykonávajú obchôdzky a pozorovania vodnej stavby v zmysle zákona č. 364/2004 Z.z. o vodách a súvisiacich všeobecno-záväzných právnych predpisov. Z javov predpísaných v platných predpisoch sú pri obchôdzkach sledované hlavne:

- priestorové zmeny vodnej stavby ako celku voči jeho okoliu (najmä na hrádzi, zosuvy);



- vizuálne sledovanie deformácie stavby, vzájomné posuny jednotlivých častí konštrukcií (trhliny, praskliny, posuny);
- sledovanie režimu podzemných a priesakových vôd, t.j. tlak vody, čiastkové a celkové množstvo priesakov, vznik a zánik priesakov, zamokrení betónových, prípadne zemných plôch, vývery vody v priestore vodnej stavby a zákaly vody;
- sledovanie funkcie ochranných, tesniacich, filtračných a drenážnych prvkov stavby a jej podlažia (odvodňovací systém, výtoky zakalenej vody, prípadne vyplavovanie materiálu);
- sledovanie vplyvu prostredia na technický stav stavby a jej technologické zariadenia (účinky mrazu, vlnobitia, posuny blokov nádrže a zosuvy v blízkom okolí stavby, účinky prevádzkových a dopravných otrasov, účinky vegetácie a živočíchov a nepovolené zásahy tretích osôb);
- sledovanie vplyvu prevádzky na technický stav stavby a jej technologické zariadenia (účinky manipulácie s vodou na hrádze nádrže, tesnenia hradiacich konštrukcií a ich chod, znečistenie vody a úhyn rýb);
- sledovanie iných javov a skutočností, ktoré môžu podľa miestnych pomerov ovplyvniť bezpečnosť vodnej stavby.

Vykonávanie obchôdzok a pozorovanie vodnej stavby PVE Čierny Váh zabezpečujú 3 pracovníci. Jedná sa o jedného vodohospodára a dvoch hrádznych - hatiarov. Obchôdzky vykonávajú denne podľa predpísaného harmonogramu. Namerané a zistené údaje pracovníci spracovávajú a výsledky zapisujú do hlásení. Vodohospodár dvakrát za mesiac zosumarizuje výsledky a po odsúhlasení hlavným pracovníkom dohľadu zasiela poverenej organizácii na výkon odborného TBD. Podrobná dokumentácia umiestnenia a opis všetkých zabudovaných meracích prístrojov a zariadení sa nachádza v ročných etapových správach o TBD, ktoré spracováva poverená organizácia (VVB) každoročne od roku 1979 [4].

#### **4. STAVEBNÉ OPRAVY POČAS VYPUSTENIA HORNEJ NÁDRŽE PVE ČIERNY VÁH**

Odstávka pri úplnom vypustení hornej nádrže PVE Čierny Váh bola v roku 2017 podobne ako v roku 2012 (28. mája - 1. júla 2012) naplánovaná na dlhšie časové obdobie. Prvá odstávka po piatich rokoch sa uskutočnila v termíne od 7. augusta do 11. septembra 2017. Pri hľadaní vhodného termínu vždy komplikuje situáciu aj podmienka, že PVE Čierny Váh je možné odstaviť len vtedy, pokiaľ nie je v odstávke niektorý z existujúcich štyroch jadrových blokov SE, a.s. Toto opatrenie vyplýva z dôvodov bezpečnej a spoľahlivej dodávky elektrickej energie. Prípadný výpadok jedného reaktora dokáže Čierny Váh bez problémov nahradiť až na časové obdobie piatich hodín. Vypustenie hornej nádrže v roku 2017 sa okrem naplánovaných opráv, podobne ako predchádzajúce, využilo aj na kontrolu iných stavebných objektov, ktoré sú počas prevádzky trvalo zatopené vodou (hrablice, hradidlá a pod.).

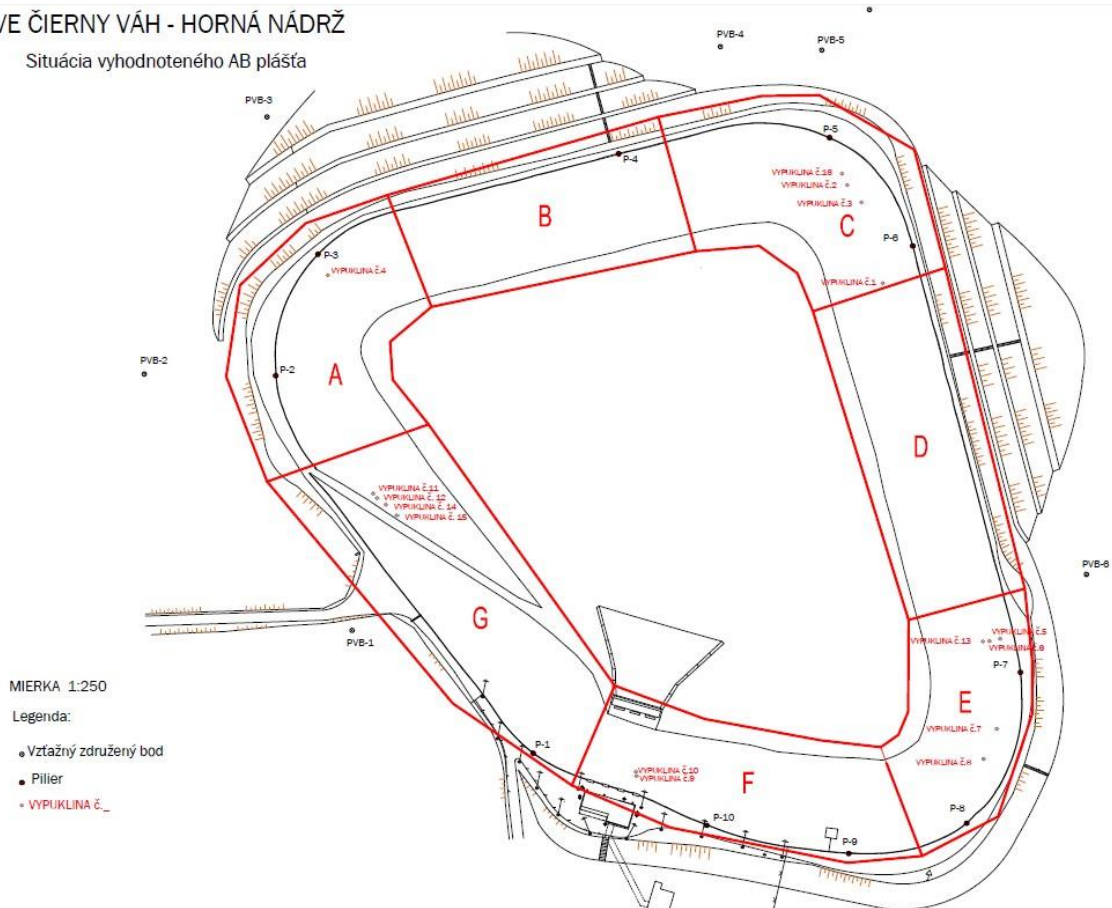


Obrázok č. 6 Vypustená horná nádrž PVE Čierny Váh.

Vypustenie hornej nádrže bolo treba efektívne využiť aj na ďalšie opravy. Okrem stavebných, to boli opravy strojných častí, výmena ochrán a úprava riadiaceho a informačného systému, ako aj výmena jednotiek blokového transformátora (celkovo 3 ks transformátorov, v súvislosti s ktorou bola realizovaná aj oprava 4 ks protipožiarnych stien tvorenými betónovými panelmi medzi jednotlivými transformátormi v 400 kV rozvodni). Zároveň s tým prebiehali aj opravy troch budov strojovni vzduchotechniky a ich odvodnenia, ktoré sú súčasťou rozvodne 400 kV. Dohromady prebiehalo na PVE Čierny Váh v priebehu dvoch mesiacov až trinásť čiastkových projektov. Stavebné práce sa tým pádom rozšírili aj o lokalitu dolnej nádrže. Na mape vyzerá vzdialenosť veľmi malá (čo je aj pravda, keď dĺžka komunikačného tunelu medzi hornou a dolnou nádržou je 897 m), v skutočnosti je ale vzdialenosť medzi oboma nádržami po miestnych komunikáciách takmer 13 km a autom trvá cesta nahor 20 až 25 minút. Z tohto dôvodu bolo potrebné počas dňa rátať pri presunoch medzi jednotlivými staveniskami so značnými časovými stratami. Okrem týchto prác vykonali pracovníci Stavebnej fakulty STU v Bratislave terénne merania na určenie rýchlosti a smeru priesakov pod hrádzou dolnej nádrže počas minimálnej a maximálnej prevádzkovej hladiny v nádrži. Na základe týchto meraní bola vypracovaná analýza stability hrádze. Tieto merania sa dajú realizovať len počas vypustenia hornej nádrže, keďže počas bežnej prevádzky sa hladina v dolnej nádrži len výnimočne približuje k maximálnym hodnotám. Podobné je to aj s meraniami pri minimálnej hladine, ktoré bolo potrebné zladať s obchodným plánom a prevádzkovými požiadavkami, keďže tieto merania prebiehali ešte počas prevádzky pred samotnou odstávkou.

## PVE ČIERNY VÁH - HORNÁ NÁDRŽ

Situácia vyhodnoteného AB plášťa



Obrázok č. 7 Identifikované výdutiny asfaltobetónového plášťa po vypustení hornej nádrže PVE Čierny Váh v roku 2017.

### Oprava vád asfaltobetónového tesniaceho plášťa

V priebehu roka 2001 bola na základe odporučení VVB realizovaná generálna oprava asfaltobetónového tesniaceho plášťa na hornej nádrži. Konkrétne boli obnovené dve vrchné vrstvy asfaltobetónového tesniaceho plášťa - tesniaca vrstva z asfaltobetónu hrúbky 80 mm a vrchný náter z asfaltovej emulzie (asfaltová pečat'). Táto oprava bola potrebná z dôvodu zhoršenia kvalitatívnych vlastností asfaltobetónu po 20 rokoch od jeho zhotovenia. Taktiež bolo po vykonaní rozborov zistené, že použité kamenivo nezodpovedá aktuálnej požiadavke STN 73 6852 z hľadiska mrazuvzdornosti. Po jej realizácii bolo schválené predĺženie cyklu vypúšťania hornej nádrže z 1-ročného na 2-ročný. Pri tejto oprave však už z finančných dôvodov nebol obnovený reflexný náter, čo ako sa neskôr ukázalo, malo vplyv na stav asfaltobetónového tesniaceho plášťa v neskoršom období. Počas každoročnej kontroly asfaltobetónového plášťa hornej nádrže boli zisťované vyduté miesta a praskliny v šikmej časti asfaltobetónového plášťa, ktoré bolo potrebné opraviť.

Ešte pred samotnou opravou boli na odporúčenie TBD v roku 2016 pozalievané tenšie trhliny asfaltobetónovej vrstvy areálovej komunikácie na korune hrádze, širšie boli vyrezané a späťne pozalievané. V tom istom roku boli počas zníženej hladiny natreté na 2 skúšobných úsekoch 2 druhy antireflexného náteru spoločnosti Hempel, s r.o. (HEMPATEX TRAFFIC 56770-10000 a HEMPEL'S TRAFFIC PAINT 567HR-100HR), ktorý by mal predĺžiť životnosť asfaltobetónového plášťa a zároveň by mal umožniť väčší dosah terestrického impulzného

trigonolaserového skenera a tým aj eventuálne skrátenie odstavky potrebnej na skenovanie asfaltobetónového plášťa. So spoločnosťou Hempel bolo dohodnuté vykonať na skúšobných úsekoch 4 × ročne odtrhové skúšky. Z doteraz vykonaných skúšok možno konštatovať, že pri rozohriatom, mäkkom asfaltovom povrchu počas odtrhových skúšok (rozdiel v teplotách povrchu asfaltobetónovej vrstvy ošetrovaného a neošetrovaného reflexným náterom bol 10 a viac °C), nastal lom pri nízkych silách, avšak vo všetkých prípadoch v podklade, tzn. v asfalte. Z toho sa dá odvodiť, že sila príľnavosti medzi podkladom a náterom je väčšia ako namerané hodnoty a v budúcnosti sa nepredpokladá s olupovaním náteru. Všetky namerané výsledky budú skončení sledovania vyhodnotené a na základe výsledkov sa rozhodne o ďalšom postupe. Komisia v rámci obhliadky hornej nádrže PVE Čierny Váh, ktorá sa uskutočnila 9. augusta 2017 pri vypustenej hornej nádrži, identifikovala 9 pracovných škár a 15 menších vydutín, ktoré boli pre ľahšiu identifikáciu vyznačené červenou farbou. Počas obhliadky bola pri jasnej oblohe nameraná teplota vzduchu 20 °C, teplota povrchu asfaltobetónového plášťa 50 °C a teplota povrchu natretých skúšobných úsekov 24 °C. Samotná oprava vydutých miest asfaltobetónového plášťa pozostávala z odstránenia nečistôt a očistenia nesúdržných podkladov v príľahlom okolí vydutých častí a pri trhlinách. Celkovo bolo identifikovaných 15 ks menších vydutín o priemere do 3,0 m s celkovou plochou 70,65 m<sup>2</sup>.



*Obrázok č. 8 Výver vody po prevrtaní asfaltobetónového tesnenia na šikmej časti hornej nádrže PVE Čierny Váh.*

Sanačné práce spočívali v prevrtaní existujúceho asfaltobetónového tesnenia na šikmej časti nádrže do hĺbky max. 80 mm s odpustením vody, prepláchnutím dutín čistou vodou s vypláchnutím nečistôt z dutín a následným vysušením. Oprava pozostávala z opatrného nahriatia vydutých častí plynovým horákom a následnom mechanickom zatlačení vydutej časti asfaltobetónového plášťa vibračnou žehličkou. Potom boli osadené injektážne pakre Sika Injectionspacker PA13110DUO vo vzdialenosti cca 0,2 m (na 1 m<sup>2</sup> cca 25 ks pakrov) s následnou injektážou prípravkom Sikadur-52 Injection (2-zložková nízkoviskózna injektážna

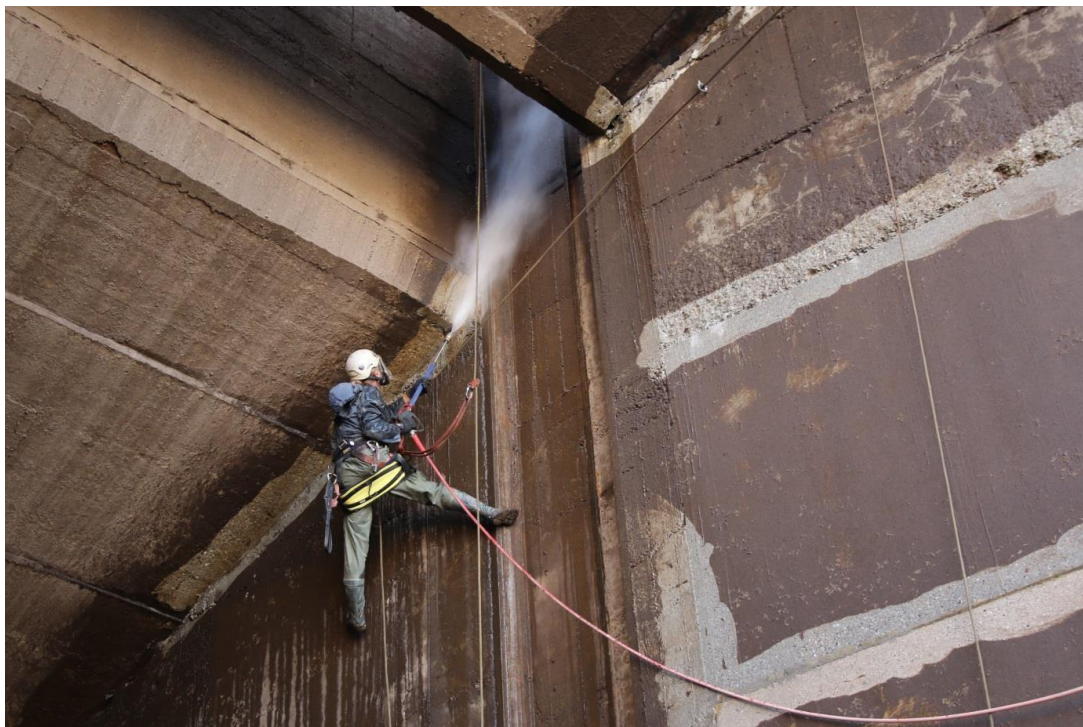
kvapalina na báze epoxidovej živice), ktorým boli vyplnené priestory medzi podkladovou bitúmenovou vrstvou a tesniacou vrstvou z asfaltobetónu. Po vytvrdnutí injektážnej kvapaliny sa pomocou plynového horáka realizovala spojovacia vrstva a následne vrstvy modifikovaného asfaltu liatím do škár a na suchý, čistý a bezprašný povrch na miesto praskliny v mieste vydutiny. Asfalt bol na mieste rozotieraný pomocou špachtle. Tento technologický postup bol odsúhlasený aj hlavným zamestnancom dohľadu a štátom poverenou organizáciou na výkon dohľadu TBD - VVB, š.p. Bratislava. Súčasťou prác bola aj výmena nosnej časti výdrevy z červeného smreka pod vodočtetnou latou.



Obrázok č. 9 Rozotieranie modifikovaného asfaltu v mieste opravenej výdutiny na šikmej časti hornej nádrže.

### **Oprava dilatácií vtokového objektu privádzačov**

Počas prevádzky hornej nádrže v zimnom období boli v predchádzajúcom období zaznamenané nadmerné priesaky do kontrolnej chodby križujúcej privádzač P1 a P2 v mieste dilatácií pravého vtokového krídla vtokového objektu. Na základe tejto skutočnosti bola naplánovaná oprava pravého vtokového krídla v čase vypustenia hornej nádrže. Rozsah prác opravy dilatácií bol určený na základe výkresovej dokumentácie a na základe skúseností z opráv dilatácií ľavého vtokového krídla, ktoré boli realizované pri vypustení nádrže v roku 2012.

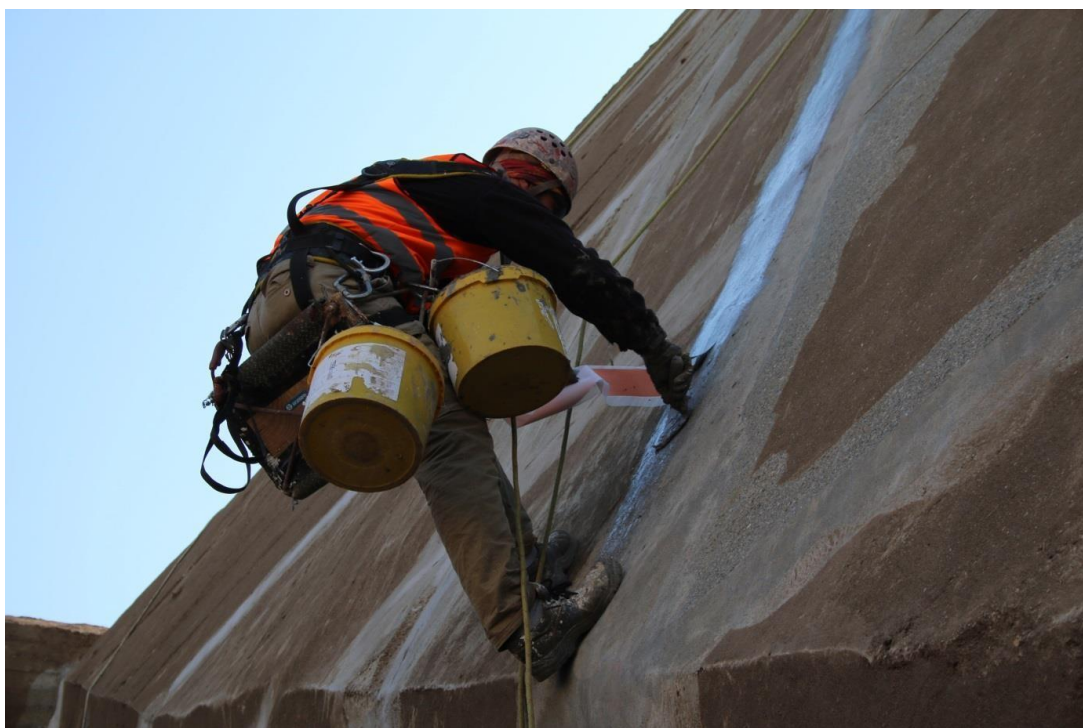


Obrázok č. 10 Čistenie dilatácii vtokového objektu vysokotlakovým vodným lúčom.

Rozsah prác bol upresnený počas obhliadky po vyčerpaní vody z vtokového bazéna a vyčistení dilatácii vysokotlakovým vodným lúčom s pracovným tlakom 150 – 200 bar za účasti zástupcov vlastníka stavby, hlavného zamestnanca TBD a zhotoviteľa prác. Pri obhliadke bolo zistené, že dilatácie nachádzajúce sa po obvode zošíkmeného vtoku sú vo vyhovujúcom technickom stave a nie je potrebná ich oprava. Namiesto týchto dilatácií sa realizovala oprava 6 ks dilatácií nachádzajúcich sa v chodbách betónových privádzačov P1 a P2 po celom ich obvode. V privádzači P2 bolo zároveň nutné opraviť dno vtokového objektu reprofilačnou maltou v mieste tretej dilatácie (v smere od nádrže), kde boli zistené úbytky betónu v hrúbke cca 50 – 100 mm. Opravy pozostávali z odstránenia nečistôt z miesta a príľahlého okolia poškodenej časti hlavnej dilatácie po celom obvode privádzača, ďalej z odstránenia nečistôt z miesta a príľahlého okolia poškodenej časti dilatácie a z vyrovnania a začistenia lokálne porušených častí existujúcej betónovej konštrukcie reprofilačnou maltou na báze cementu v hrúbke cca 50 mm, pričom bol pred realizáciou povrch ošetrený penetračným náterom. Po vytvrdnutí boli vyčistené a opravené dilatačné škáry (šírka dilatácie 20-40 mm, hĺbka po prvé gumové tesnenie je 400 mm od líca betónovej konštrukcie) utesnené hmotou na báze cementu a tmelmi na báze akrylátových gélov do hĺbky cca 150 mm po celej opravovanej dĺžke hlavnej dilatácie.



*Obrázok č. 11 Vtokový objekt s betónovými privádzačmi P1 a P2 počas opráv.*



*Obrázok č. 12 Zabudovanie výstužného ochranného pásu do trvaloelastickej stierky.*

Obdobne boli vyčistené aj dilatácie medzi železobetónovými blokmi strateného debnenia pravého vtokového krídla (celkovo 267,20 m<sup>3</sup>). Po odstránení starých nefunkčných izolácií nasledovalo vyplnenie dilatačných škár expanznou maltou. Je to jednozložková mierne expandujúca zmes na báze cementu, vybraných frakcií kremičitého plniva a modifikujúcich zložiek zaručujúcich tekutosť čerstvej zmesi, kompenzáciu objemových zmien a miernu

expansion, ako aj vysokú prídržnosť k podkladu, pevnosť a odolnosť proti mrazu. Po jej zatuhnutí bolo poslednou fázou prekrytie dilatácie a jej okrajov po celej dĺžke v cca. 150 mm širokom páse trvaloelastickou stierkou sendvičovým spôsobom so zabudovaním výstužného ochranného pásu. Na tento účel bola použitá dvojzložková maltová zmes zložená cementového pojiva, kremenného plniva, modifikujúcich prísad a syntetickej polymérnej vodnej disperzie. Stierka sa nanášala na podklad v dvoch vrstvách.



Obrázok č. 13 Dilatácie medzi železobetónovými blokmi strateného debnenia pravého vtokového krídla po ukončení opráv.

Okrem toho bola odstránená existujúca asfaltová zálievka na dĺžke 64,0 m po obvode pravého vtokového krídla v šírke cca 50 mm do hĺbky cca 50 mm. Po vyrovnaní lokálne porušených častí existujúcej betónovej konštrukcie vtokového krídla reprofilačnou maltou a utesnenia vyčistených a opravených dilatačných škár bolo obnovené napojenie pravého vtokového krídla na asfaltobetónové tesnenie novou asfaltovou zálievkou z tekutého asfaltu.

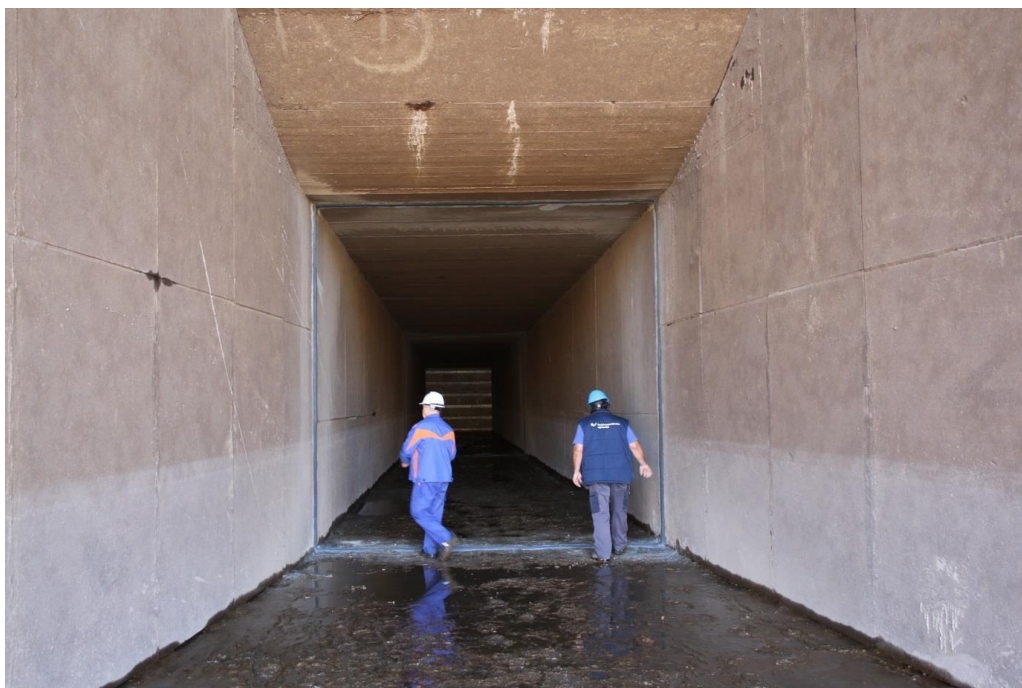
## 5. ZÁVER

Podľa schváleného harmonogramu mali práce na hornej nádrži prebiehať do 6. septembra 2017, pričom opätovné napúšťanie hornej nádrže bolo naplánované od 9. septembra 2017. Práce na vtokovom objekte boli ukončené 30. augusta, vrátane vypratania staveniska, keď bola za účasti zástupcov vlastníka stavby a hlavného zamestnanca TBD a zhotoviteľa prác skontrolovaná kvalita realizovaných prác. Opravu asfaltobetónového plášťa však mierne zdržali poveternostné podmienky, keď pri vysokých vonkajších teplotách príliš rýchlo tuhla epoxidová injektážna kvapalina na opravu plášťa. Keďže sa výdutiny nachádzali v hornej časti návodného svahu, mohli sa tieto práce ukončiť aj počas napúšťania hornej nádrže. Nakoniec nebolo potrebné k tomuto kroku pristúpiť a odstávku PVE Čierny Váh sa podarilo skrátiť o 1 deň a 6 hodín (TG5,6), resp. o 8 dní a 6 hodín (TG3,4). Tak trochu nečakanou komplikáciou bolo aj množstvo



turistov na hornej nádrži. Neďaleko nej totiž vedie frekventovaný cyklochodník a každého lákala vyhládka nielen na Vysoké Tatry, ale aj celý Liptov. Tí boli zväčša disciplinovaní, ale ako to už býva, našli sa aj takí, ktorí nerešpektovali upozornenia a zákazy a pokúšali sa dostať na dno hornej nádrže. Celý priestor je však monitorovaný kamerami a tak nakoniec stačilo upozorniť týchto návštevníkov cez amplióny a ani v jednom prípade sme nemuseli využiť strážnu službu.

Dňa 13. septembra 2017 boli naplnené všetky tri privádzače vrátane vtokového bazéna na na hornej nádrži a ešte v ten istý deň bola daná pod napätie aj 400 kV rozvodňa PVE Čierny Váh. Prínos zo skrátenia odstávky bol okrem okamžitej možnosti poskytovania podporných služieb aj v možnosti výroby špičkovej elektriny a v neposlednom rade aj v regulácii odchýlky bilančnej skupiny Slovenských elektrární.



Obrázok č. 14 Kontrola realizovaných prác v betónovom privádzači P2.

## ZOZNAM LITERATÚRY

- [1] CHMELÁR, V.: *Prečerpávací vodná elektrárň (PVE) Čierny Váh*, ALFA, Bratislava 1984
- [2] ELKO, P.: *Etapová správa o TBD za obdobie roka 2014*, Vodohospodárska výstavba, š.p. Bratislava, 2015
- [3] HYCOPROJEKT Bratislava, a.s.: *Manipulačný poriadok pre PVE Čierny Váh - aktualizácia s platnosťou do 2018*, Slovenské elektrárne, a.s., Vodné elektrárne, Trenčín, 10/2013
- [4] ELKO, P. *Vodná stavba prečerpávací vodná elektrárň Čierny Váh – program technickobezpečnostného dohľadu*, Vodohospodárska výstavba, š.p., Bratislava 2015

## AUTOR

Ing. Branislav Ježík

Slovenské elektrárne, a.s., závod Vodné elektrárne, Soblahovská 2, 911 69 Trenčín e-mail: branislav.jezik@seas.sk

**30 ROKOV VODNEJ STAVBY VEĽKÉ KOZMÁLOVCE****30 YEARS OF THE WATER STRUCTURE VEĽKÉ KOZMÁLOVCE***Juraj Jurica, Jarmila Michalková, Peter Ivan*

**Abstrakt:** Vodná stavba - Hať Veľké Kozmálovce je vodohospodárskym dielom na rieke Hron. Realizácia vodnej stavby bola ukončená a uvedená do prevádzky v roku 1988. Tohto roku vodná stavba oslavuje 30 rokov činnosti. Hlavným účelom výstavby tohto diela bolo zabezpečenie potreby technologickej vody pre Atómovú elektrárň Mochovce. V tomto príspevku si pripomenieme prípravu a výstavbu vodnej stavby a jej špecifiká počas prevádzkovania ako aj mimoriadne situácie, ktoré sa vyskytli a bolo ich potrebné vyriešiť. Týmto príspevkom chceme vzdať hold tejto vodnej stavbe, jej navrhovateľom, realizátorom a v neposlednom rade všetkým skúseným prevádzkovateľom.

**Kľúčové slová:** vodná stavba, Hron, Mochovce

**Abstract:** Water structure - Weir Veľké Kozmálovce is water management construction on the river Hron. Realization of the water structure have been finished in 1988. The water structure is celebrate the 30. anniversary of the commissioning to service, in this year. The provide of technological water for Mochovce nuclear power plant was choosed as a main purpose of construction of the water structure. In this article, we are remind the design and construction works of the weir and the specifics circumstances during the service as well as the extraordinary situations that have occurred and had to be resolved. By this article we would like to give honor to this weir, its designers, builders and last but not least, all the experienced operators.

**Key words:** water structure, Hron, Mochovce

**1. HAŤ VEĽKÉ KOZMÁLOVCE****ÚVOD**

30 rokov je dosť dlhá doba v živote človeka, ale aj vodnej stavby na to, aby sme sa pozastavili, obzreli sa späť a pripomenuli si toto pekné jubileum. Myšlienka stavať na Hrone veľkú priečnu stavbu sa rodila už dve desaťročia pred samotným rozhodnutím o vybudovaní hate na Hrone začiatkom 80. rokov. Pri prvotnom zámere výstavby vodnej stavby bolo jej hlavným účelom využitie dodávky vody do závlahového systému. Toto využitie sa však nikdy nerealizovalo, a to aj napriek tomu, že technické riešenie vodnej stavby to umožňuje dodnes. Hlavným záujmom vlády Československa od 60. rokov, bolo vybudovanie energetickej sebestačnosti na báze elektrickej energie pochádzajúcej z jadrového paliva. História projektu atómovej elektrárne Mochovce sa začala písať v 70. rokoch minulého storočia. Prípravné zemné práce začali v júni roku 1981 a samotná výstavba v novembri roku 1982. V nadväznosti na toto rozhodnutie sa vybrala štátna firma Hydroconsult Bratislava, ktorá technicky vyriešila a následne naprojektovala vodnú stavbu na Hrone na zabezpečenie akumulácie a dodávky vody potrebnej do technologického procesu atómovej elektrárne. Hydroconsult Bratislava dokázala vypracovať celú projektovú dokumentáciu do 6. 4. 1984. Štyri roky po schválení projektu a

začatí výstavby stála v Hrone novučičká hať. Do skúšobnej, overovacej prevádzky ju pustili 30. 8. 1988. V nasledujúcom období bola vodná stavba pod odborným dohľadom, či sa na nej nevyskytnú vady a technické nedostatky, ktoré by mali významný vplyv na bezpečnú prevádzku vodného diela. Do trvalej prevádzky sa vodná stavba Hať Veľké Kozmálovce uviedla 7. 6. 1994. Hlavný účel vodnej stavby je jasný, ale nemenej dôležité sú aj ďalšie účely, ktoré musí vodná stavba zabezpečiť, a to potrebné množstvo vody pre umelý kanál Perec, z ktorého je zásobený priemysel, závlahy, ale aj rybné hospodárstvo v južnej časti mesta Levice. Hať musí v rámci svojej manipulácie a dostatočného objemu v zdrži nadlepšovať prietoky pod vodnou stavbou v prípade potreby, a navyše v letných mesiacoch zabezpečovať minimálne zaručený prietok  $MQ = 6,60 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ . Po ľavej strane hate bola vybudovaná malá vodná elektrárň (MVE), ktorá je v súčasnosti spravovaná Slovenskými elektrárňami, a. s. Vodná stavba prirodzene plní svoj ďalší účel, a tým je chov rýb. Zdrž má vhodné podmienky pre chov rýb vďaka čomu sa vodná stavba teší pozornosti nielen rekreačných, ale aj športových rybárov. V neposlednom rade si okolie vodnej stavby a zdrže obľúbili miestni obyvatelia a ľudia z blízkeho okolia a využívajú ho ako miesto na prechádzku, oddych a šport.

#### Technický popis vodnej stavby Veľké Kozmálovce

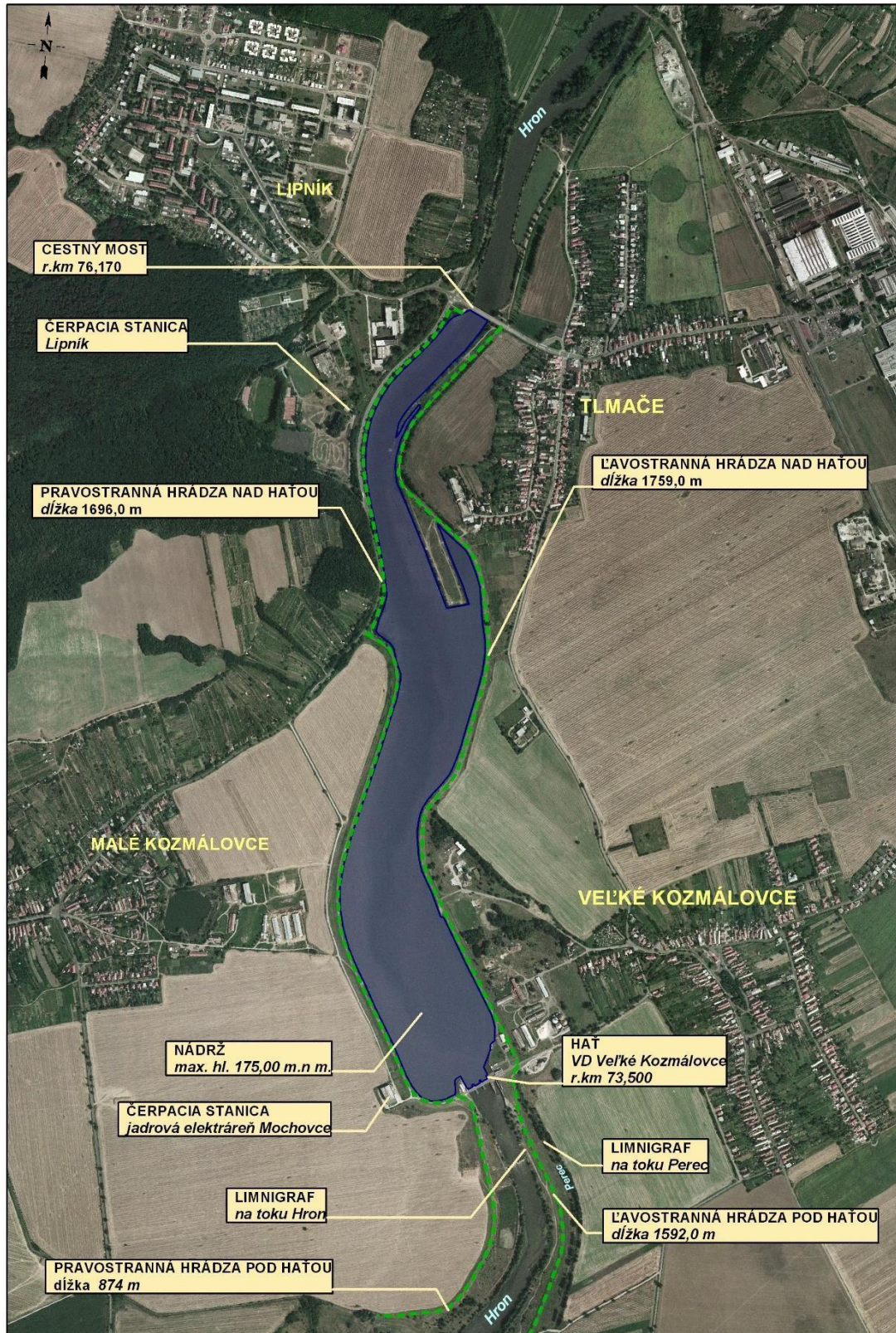
Vodná stavba je vytvorená prehradením vodného toku Hron v r.km 73,50 haťou, ktorá vzdúva vodu a vytvára menšiu zdrž. Z geologického hľadiska je podložie tvorené sedimentami kvartéru a neogénu. Povrchovú vrstvu tvoria hliny malej priepustnosti v hrúbke 2 – 3 m, pod nimi sú zahlienené štrky.

#### ZDRŽ

Zdrž je vytvorená vzduťím hladiny Hrona pohyblivou haťou, na ktorú sa napájajú po obidvoch stranách obvodové hrádze prechádzajúce do inundačných hrádzí pri obci Veľké Kozmálovce. Pri minimálnej prevádzkovej hladine je dĺžka vzduťia 1,2 km, ale pri maximálnej prevádzkovej hladine dĺžka vzduťia dosahuje až 4,1 km.

Tabuľka - Hlavné parametre zdrže

Hlavné parametre zdrže	Projektované	Súčasný stav*
dno zdrže	167,00 m n.m	
prah hate	168,00 m n. m	
min.prevádzková hladina	171,50 m n. m	
zatopená plocha	38,30 ha	
stály objem	585 990 m <sup>3</sup>	104 195 m <sup>3*</sup>
max.prevádzková hladina	175,00 m n.m	
zatopená plocha	63,00 ha	
zásobný objem (171,50 – 175,00)	1 998 449 m <sup>3</sup>	1 547 544 m <sup>3*</sup>
max.dovolená hladina	175,50 m n.m	
zatopená plocha	64,00 ha	
neovládateľný objem (175,00 - 175,50)	645 716 m <sup>3</sup>	327 594 m <sup>3*</sup>
ovládateľný objem	2 584 439 m <sup>3</sup>	1 651 733 m <sup>3*</sup>
celkový objem	3 230 155 m <sup>3</sup>	1 979 333 m <sup>3*</sup>



Prehľadná situácia VS Velké Kozmálovce

HAŤ

Hať vodnej stavby tvoria tri polia hradené segmentami s nadsadenými klapkami. Ide o pohyblivú hať umiestnenú kolmo na smer vodného toku. Hlavnou funkciou hate je zadržiavanie a vzdúvanie vody v zdrži, pričom sklopením horného dielu klapky umožňujú prepúšťať ľadové kryhy pri minimálnej strate vody v zdrži. Pri plnom otvorení minimálne 2 uzáverov sa zaisťuje bezpečné odvedenie prietoku  $Q_{100}$ . Každé z troch haťových polí má svetlú šírku 21 m a medzipiliere majú šírku 5 m. Dvojdielny haťový uzáver tvorí zdvižný segment s nasadenou sklopnou klapkou. Segmenty majú výšku 5,4 m a klapky 2,1 m čím umožňujú dosiahnuť celkovú hradiacu výšku uzáverov 7 m. Kóta dosadacieho prahu je v nadmorskej výške 168 m n. m., kým kóta prahu klapky (sklopená klapka) je vo výške 173,24 m n. m.. Ako samotná klapka, tak aj zostava segmentu s klapkou sú ovládané hydraulicky pomocou priamočiarych hydromotorov. Tlakové médium je olej a hydroagregáty sú umiestnené v pilieroch hate.

Zimná prevádzka hate je zabezpečená pomocou elektrického vyhrievania bočných štítov, prahov segmentu, klapky a ohrevom pod telesom priamočiareho hydraulického motora v I. a II. haťovom poli. Navyše je hať vybavená aj bublinkovacím zariadením, ktorým sa vháňa vzduch do trysiek pred segmentom. Týmto spôsobom sa zamedzuje namrznutiu ľadovej celiny na hradiace konštrukcie.



*Haťové pole s kótami*

Pred haťovými uzávermi je možné dočasne inštalovať provizórne hradenie z hradidiel skriňovej uzavretej konštrukcie. Provizórne hradenie slúži pre prípad vyradenia 1 poľa z funkcie (opravy, revízie, nátery, údržba). Jedna sada pozostáva zo 6 ks hradidiel a postačí na zahradenie jedného

poľa. Hradidlá sú plávajúce. Osádzanie do drážok hradenia sa robí traverzou s mačkami a elektrickým kladkostrojom. Provizórne hradenie výšky 6 m umožňuje zahradiť pri zníženej prevádzkovej hladine 171,50 m n. m., pričom max. prevádzková hladina pre provizórne hradenie a tzv. suchý dok je 172,00 m n. m..

#### ĽAVOSTRANNÁ A PRAVOSTRANNÁ HRÁDZA

Ľavostranná hrádza nad haťou je vybudovaná dosypaním pôvodnej inundačnej hrádze. Dĺžka hrádze je 1 759 m nad haťou a 1 592 m pod vodnou stavbou, niveleta koruny hrádze je vodorovná na kóte 176,00 m n. m. Stabilizačný násyp je urobený zo štrkopiesku, tesniacim prvkom je fólia z polyetylénu na návodnej strane, chránená prísypom zeminy a rozprestierkou z lomového kameňa. Koruna hrádze je čiastočne spevnená asfaltom.

Pravostranná hrádza nad haťou je pokračovaním premostenia hate a MVE. Celková dĺžka je 1 696 m nad vodnou stavbou a 874 m pod haťou. Niveleta je vodorovná na kóte 176,00 m n. m. Stabilizačný násyp je urobený zo štrkopiesku, tesniacim prvkom je fólia z polyetylénu na návodnej strane, chránená prísypom zeminy a rozprestierkou z lomového kameňa. V km 0,170 – 0,212 staničenia hrádze sú vybudované odberné objekty pre odber vody pre atómovú elektrárň Mochovce. V km 0,000 – 0,163 je vybudovaný vlnolam. Koruna hrádze je spevnená asfaltom po celej dĺžke hrádze.

#### PRIESAKOVÉ KANÁLE

Priesakové kanále sú vedené popri hrádzach a vyústené sú pod vodnú stavbu. Ľavostranný priesakový kanál je dlhý 2 436 m so sklonom 1,2 % a maximálnou kapacitou potrubia 230 l.s<sup>-1</sup>. Pravostranný priesakový kanál je dlhý 1 750 m so sklonom 2,3 % a maximálnou kapacitou potrubia 294 l.s<sup>-1</sup>.

#### ODBERNÉ OBJEKTY PRE ZÁVLAHY A DO PERECA

Umelý kanál Perec je dotovaný z dvoch miest na vodnej stavbe. Prioritný odber vody do kanála je cez odpad turbíny TG1 z MVE a záložný odber, v prípade potreby odstaviť TG1, je cez odberný objekt situovaný nad MVE. Odtok (odpad) z TG1 ústí do Pereca. Taký veľký prietok, ako ide od TG1, Perec nemôže previesť. Do Pereca sa vypúšťa regulované množstvo, max. do  $Q = 5,0 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  a to cez 3 výpusty DN 1 000. Prebytočný prietok odteká bočným priepadom cez otvor v deliacom pilieri späť do Hrona. Nápuštný objekt tvorí tunel rámovej konštrukcie 2,10 x 1,80 m vedený popod nádvorie areálu prevádzkovej budovy, ústiaci do Pereca. Regulácia prietoku je cez stavidlo, ktoré sa ovláda zdvíhadlom s elektrickým servomotorom.

#### VODNÁ ELEKTRÁREŇ

Na ľavej strane vedľa hate je umiestnená MVE s tromi Kaplanovými turbínami 4 - KPK - 10, horizontálne priamoprietočné, z ktorých dve väčšie sú vyústené do Hrona a jedna menšia do Pereca a Hrona. Celková maximálna hltnosť turbín je  $84,0 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ . Regulácia turbín je automatická, vzťahnutá na hladinu v zdrži – hladinová regulácia. Každá turbína má na vtoku jemné hrablice s čistiacim strojom, stavidlový uzáver (TG2,3) a rýchlozáverovú klapku (TG1). Na výtoku má hradenie saviiek rýchlozáverom (TG1) a stavidlovými uzávermi (TG2,3).

Tabuľka - MVE – hlavné údaje

Hlavné parametre turbín	TG 2,3 - Veľký stroj	TG 1 - Malý stroj
Maximálny spád	7,7 m	5,64 m
Minimálny spád	4,8 m	3,00 m
Maximálny prietok	2 x 36,0 m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup>	12,00 m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup>
Minimálny prietok	2 x 14,4 m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup>	4,00 m <sup>3</sup> .s <sup>-2</sup>
Inštalovaný výkon	2,40/2,40 MW	0,52 MW
Priemerná ročná výroba	16,0 GW	
Priebežné obrátky turbíny	510 m <sup>-1</sup>	730 min <sup>-1</sup>
Priemer obežného kolesa	2 500 mm	1 500 mm

### ODBERNÝ OBJEKT PRE ČS ATÓMOVÉ ELEKTRÁRNE MOCHOVCE

Odberný objekt do ČS EMO Mochovce je samostatný objekt vodnej stavby, ktorého majiteľom a prevádzkovateľom je SE a. s. EMO Mochovce. Pozostáva z dvoch betónových objektov umiestnených v pravostrannej hrádzi zdrže v km 0,170 – 0,212 staničenia hrádze. Kóta dolnej hrany odberu 170,50 m n. m.. Kapacita odberu je 2 x 2,4 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>. Maximálny prietok Q=1,80 m<sup>3</sup>/s je potrebné dodržať s 99% zabezpečenosťou [1]. Ročný odber vody so stúpajúcou tendenciou je 22 000 000 m<sup>3</sup>. K súčasným blokom č.1 a 2 pribudnú aj bloky č. 3 a 4. Odber vody sa tým zvýši, ale nie dvojnásobne, požiadavka na maximálny prietok je Q=2,5 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>.

### ČERPACIA STANICA VNÚTORNÝCH VÔD LIPNÍK

V rámci vodnej stavby Veľké Kozmálovce bolo potrebné riešiť zachytenie a odvedenie vôd, ktoré presakujú podloží z nádrže do vnútrozemia v nízko položenom území miestnej časti Tlmače-Lipník. Vzhľadom na to, že nebolo možné presiakové vody odvieť gravitačne späť do nádrže, bola vybudovaná čerpacia stanica vnútorných vôd Lipník. Hlavným účelom čerpacej stanice je spätné prečerpávanie priesakových vôd, vnútorných vôd z príľahlého územia a prečerpávanie toku Lipník do nádrže. Ochrana územia pred vzdutou hladinou nádrže zo strany vodného toku Hron zabezpečuje pravostranná hrádza, ktorú v tomto mieste tvorí preložka štátnej cesty č.1/76 Tlmače – Malé Kozmálovce. Ochrana územia na pravej a ľavej strane toku Lipník je riešená spätným ohrádzovaním toku. Pozdĺž ochranných hrádzí sa nachádzajú priesakové kanály zaústené do zbernej šachty s celkovou dĺžkou 1 254 m. Zároveň sú do priesakových kanálov gravitačne zaústené aj povrchové vody z príľahlého územia. Celková kapacita ČS Lipník je 400 l.s<sup>-1</sup>.

### RYBOVOD

Najväčšou investičnou akciou plánovanou v najbližšom období na VS Veľké Kozmálovce je výstavba rybovodu. Predmetom riešenia projektu je odstránenie migračnej prekážky v toku Hron – hať Veľké Kozmálovce. Už v minulosti boli viackrát pokusy o spriechodnenie tejto bariéry. Tie sa však nerealizovali, lebo nespĺňali ichtyologické prvky daného rybieho pásma. Nový návrh rybovodu sa rieši podľa metodiky V. Druhá Spriechodňovanie bariér na tokoch, Metodická príručka pre posudzovanie, navrhovanie a monitorovanie rybovodov.

Vybudovaním rybovodu sa zabezpečí voľný pohyb rýb pozdĺž rieky, ktorý doteraz nebol možný. Dodávateľskou projekčnou firmou bola vypracovaná projektová dokumentácia „*VS Veľké Kozmálovce, zabezpečenie pozdĺžnej kontinuity a spriechodnenie toku Hron, rkm 73,400*“. Projektanti rybovodu úzko spolupracovali s ichtyológom, aby sa zabezpečili čo najideálnejšie podmienky pre protiprúdový pohyb rýb mrenového pásma. Rybovod je navrhnutý ako bezprepážkový kanál s bystrinnými prvkami, ktorý má nahradiť neexistujúcu trasu pre protiprúdový pohyb rýb. Koryto rybovodu bolo navrhnuté tak, aby sa čo najviac podobalo prírodným podmienkam v rieke. Materiálne zloženie riešeného habitatu sa čo najviac prispôbi lokálnym drsnostiam rieky Hron, a preto sa použije riečne kamenivo, ktoré sa vo finálnej úprave presype štrkom hrubšieho zrna. V celom úseku rybovodu sú navrhnuté balvany, ktoré tvoria rýchlostný tieň medzi prúdnicou v hĺbočine a plytčinou. Vtokový objekt tvorí železobetónová konštrukcia, ktorého prioritou je využiť hladinový režim v nádrži tak, aby do bystrinnej bezprekážkovej časti rybovodu prúdil konštantný prietok v intervale 1 až 1,5 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>. Objekt pozostáva z piatich vtokových otvorov a desiatich komôr, ktoré plynulo prevádzajú vodu do bystrinnej časti rybovodu. Vtok do rybovodu bude tvorený viacerými otvormi tak, aby sa v čo najväčšej miere zachovával konštantný prietok. Dĺžka samotného rybovodu je 485 m a ryby v ňom budú mať aj miesta na odpočinok s pokojnejšou vodou. [2]

## 2. PREVÁDZKA VODNEJ STAVBY VEĽKÉ KOZMÁLOVCE

Prevádzka vodnej stavby Veľké Kozmálovce je ovplyvnená jej účelom, využitím a rôznorodosťou využívateľov a to všetko za splnenia podmienky bezpečnosti vodnej stavby. Problém naplnenia všetkých potrieb využívateľov je prevádzkovo náročnejší režim pri väčších opravách vodnej stavby, znížených alebo naopak zvýšených prietokoch a iných mimoriadnych udalostiach.

Pre zabezpečenie týchto požiadaviek je potrebné na vodnej stavbe v zdrži udržiavať hladiny.

Maximálna prevádzková hladina 175,00 m n. m.

Minimálna prevádzková hladina 171,50 m n. m.

### *Priemerné prekročenie prietokov*

dni	30	90	180	270	330	355	364
Q <sub>Md</sub> (m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> )	121,2	60,81	33,42	22,43	15,42	12,33	9,233

### *Opakovanie veľkých vôd*

roky	1	5	10	20	50	100	1000
Q <sub>N</sub> (m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> )	320	575	695	815	990	1135	1550

Stupne povodňovej aktivity sú pre profil Veľké Kozmálovce stanovené na úrovni

I. stupeň povodňovej aktivity 410 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>

II. stupeň povodňovej aktivity 576 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>

III. stupeň povodňovej aktivity 767 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>



Hať je navrhnutá tak, aby bezpečne previedla návrhovú povodeň Q<sub>100</sub> cez dve polia, pri zahradení jedného poľa a povodeň Q<sub>1000</sub> cez tri polia. Prevedenie zvýšených a povodňových prietokov sa riadi podľa Manipulačného poriadku, pričom sa zvýšená pozornosť pri manipulácii venuje plávajúcim objektom, prioritne veľkým plávajúcim stromom.

### **Využívatelia vodnej stavby**

Hlavným využívatelom stavby sú Slovenské elektrárne a. s., závod Atómové elektrárne Mochovce. Odberný objekt na dodávku vody pre EMO Mochovce je v ich vlastníctve, ale po hrubé česlá na odbernom objekte zodpovedá za dodanie vody správca vodnej stavby, teda Slovenský vodohospodársky podnik š. p.. V praxi to znamená monitorovať priestor pred odberným objektom z dôvodu zanášania. O zanášaní a následných opatreniach vykonaných na vodnej stavbe, budeme písať podrobne v ďalšej časti príspevku. Ďalšou povinnosťou správcu je monitorovať hrubé česlá z dôvodu upchatia česiel jemným plávajúcim odpadom, naplaveninou. Po konkrétnej udalosti, kedy došlo k úplnému upchatiu česiel a na 4 hodiny nebola zabezpečená dodávka vody do čerpacej stanice, Slovenské elektrárne a. s. zrealizovali kamerový systém aj s nočným nasvietením s priamym prepojením na ich dispečing.

Zo zdrže je napúšťaný aj umelý kanál Perec, ktorý svojou dĺžkou 54 km zaúst'uje späť do toku Hron pri obci Kamenín v r.km 11,100. Povinnosťou správcu je zabezpečiť napúšťanie umelého kanála stanoveným objemom vody a zároveň monitorovať či nie sú hrubé česlá v náпустnom objekte zanesené. V prípade upchatia česiel je potrebné ich vytiahnuť použitím 20 t žeriava, vyčistiť a znova osadiť. Upchávanie česiel sa začalo opakovať v čoraz kratších intervaloch, na základe čoho sa správca rozhodol osadiť plávajúcu normú stenu na zamedzenie vniknutiu naplavenín do náпустného objektu.

Vstupným údajom prietoku do VS bola dlhoročne limnigrafická stanica Psiare v r.km 80,900. V jarných mesiacoch pri ľadochodoch každoročne vykazoval limnigraf skreslené hodnoty prietoku, nakoľko sa nachádzal vo vzdutej hladine spôsobenej ľadovým zátarasom. Z tohto dôvodu bola stanica Psiare zrušená a ako vstupný údaj prietoku do vodnej stavby berieme limnigrafickú stanicu Brehy. Rozdiel povodia medzi limnigrafickou stanicou Psiare a limnigrafickou stanicou Brehy z dlhodobého monitoringu môžeme považovať za nepodstatný. Jediným väčším významným prítokom toku Hron v tomto medzipovodí je tok Novobanský. Pri povodniach na Hrone za posledných 10 rokov ovplyvňoval Novobanský potok hladinu v Hrone len minimálne. V súčasnej dobe sa berú ako vstupné údaje prietoku informácie z internetového portálu SHMÚ z limnigrafickej stanice Brehy. V rámci investičnej akcie navrhujeme presun prístroja Automatického systému riadenia zo stanice Psiare na stanicu Brehy.

Limnigrafická stanica pod VS Veľké Kozmálovce na toku Hron bola vybudovaná v roku 1988 na plavákovom princípe merania v šachte. Nakoľko vzdialenosť šachty od brehovej čiary kynety toku je cca 20 m, vznikala tu problém zanášania privádzača k vodomernej šachte štrkom a nánosmi, oneskorenej reakcie plaváka na zmenu výšky hladiny, ktoré spolu spôsobovali nepresnosti merania. Z uvedeného dôvodu bola navrhnutá rekonštrukcia tejto stanice na meranie prietokov na princípe tlakového snímača, ktorý je umiestnený priamo v toku.

Limnigrafická stanica na toku Perec pod VS Veľké Kozmálovce sa vplyvom vzdutia z MVE Starý Tekov dostala do vzdutej hladiny toku, ktorej výsledkom boli nereálne hodnoty prietoku. Majiteľ MVE Starý Tekov na základe jednanja zabezpečil prenos merania prietoku v toku Perec z limnigrafickej stanice v Starom Tekove na VS Veľké Kozmálovce. Načítanie prietoku je možné cez mobilného operátora nepretržite, resp. podľa požiadavky VS Veľké Kozmálovce. Nakoľko sa pod VS Veľké Kozmálovce nachádza MVE Starý Tekov, ktorý rozdeľuje prietok do toku Perec a toku Hronček, ktorý sa vracia do Hrona, navrhujeme aj osadenie prietokomeru do výtokovej časti nápušného objektu toku Perec priamo na VS Veľké Kozmálovce, prípadne zmenu prístroja na limnigrafickej stanici na toku Perec pod vodnou stavbou, ktorý umožňuje meranie prietoku aj vo vzdutej hladine.

Meranie zrážkových množstiev, teplôt vody v nádrži a teplôt ovzdušia, ako aj hrúbku snehovej pokrývky a hrúbku ľadu v nádrži vykonávajú pracovníci obsluhy VS 1 x denne. Zrážky sú merané elektronickým zrážkomerom, teplota ovzdušia pomocou snímača typu MERET St a teploty vody pomocou teplomeru Pt 100. Jednotlivé namerané hodnoty, okrem hrúbky ľadu sa automaticky prenášajú do PC v prevádzkovej budove.

Meranie hladín v pozorovacích vrtoch vykonáva obsluha VS 1 x týždenne podľa programu dohľadu pre trvalú prevádzku. Meranie sa vykonáva Rangovou píšťalou na pásme. Na VS je vybudovaných celkom 46 vrtoch.

Množstvo priesakovej vody sa sleduje v šachtách vybudovaných na ľavo a pravostrannom priesakovom kanále (dréne) nad haťou. Priemer drenážneho potrubia sa pohybuje od 30 cm v hornej časti do 60 cm v dolnej časti drénu. Priesak meria obsluha VS 2 x za týždeň pomocou odmeranej hĺbky vody v šachte.

Sledovanie relatívnych posunov na dilatčných škárach pilierov hate a vodnej elektrárne sa vykonáva na dilatometrických skobách umiestnených na dilatáciách na vrchu haťových pilierov a VE. Pravidelné merania podľa programu dohľadu pre trvalú prevádzku vykonáva hrádzny 2 x mesačne.

Pre sledovanie zvislých posunov jednotlivých objektov VS V. Kozmálovce metódou veľmi presnej nivelácie /VPN/ bola vybudovaná sieť vzťažných a pozorovacích výškových bodov.

## **Problémy prevádzkovania VS**

### **PRIESAKY CEZ OH**

Prvý závažný problém pri prevádzkovaní vodnej stavby sa prejavil ešte v štádiu skúšobnej prevádzky pri plnení nádrže na maximálnu prevádzkovú hladinu. Dlhší čas sa prevádzkovala nádrž pri nižších hladinách 172,00 – 173,50 m n. m. Po vykonaní opatrení na hornom vzduťi sa od 13.3.1992 začalo zdvíhanie hladiny z kóty 173,50 m n. m. Postupovalo sa podľa platného manipulačného poriadku, s rýchlosťou dvíhania hladiny 50 cm za 24 hod. 9.4.1992 po dosiahnutí hladiny 174,62 m n. m. boli pozorované výmoky na vzdušnej strane pravostrannej ochrannej hrádze, v blízkosti pozorovacích sond HGS 9 a 10, cca 90 m nad haťou. Na vzdušnej

strane sa vykopal odvodňovací jarok a vysušil sa priestor medzi hrádzou a drénom. Napriek týmto opatreniam sa naďalej zväčšoval úsek zamokrenia päty hrádze a dochádzalo aj k zvýšeniu úrovne jednotlivých výmokov nad úroveň terénu. Odkopaním sa preverilo, že fólia je na požadovanej úrovni a nebola preliata maximálnou hladinou v nádrži. Rozsah zamokrenia časom narastal až do 4.6.1992, kedy bol nariadený pokles hladiny z maximálnej prevádzkovej hladiny 175,00 m n. m. na úroveň 174,50 m n. m. Priesak sa zastabilizoval pozdĺž pravostrannej ochrannej hrádze v dĺžke 270 m. Ochranná hrádza je sypaná z rôzneho materiálu z blízkych zdrojov - výkop koryta a odkopávka terénu. Z návodnej strany je tesnená fóliou Izofol 0,9 mm. Fólia vytvára aj predložený koberec. Po km 0,900 je koberec šírky 30 m, od km 0,950 má len 10 m. Priesaky na hrádzi s lokalizované na km 0,870 - 1,140, teda práve v mieste zmeny šírky. V nádrži sa robila smerová a hĺbková úprava koryta. Vytvorilo sa nové koryto, čím sa zmenili dovtedajšie priesakové pomery, otvorili sa nové cesty priesakov z nádrže smerom k zázemiu. Napomohli tomu aj odkopávky terénu – brehov v nádrži, čím sa narušil kolmatáciou vytvorený prirodzený kryt dna nádrže. Priaznivou okolnosťou na bezpečnosť hrádzí a podstatné zníženie priesakov ich podloží je skutočnosť, že dlhú dobu bola nádrž na nízkej prevádzkovej úrovni, aj za prechodu povodňových prietokov a zakalených vôd, čím sa doplnil tesniaci kryt dna nádrže. K priesakom prispeli aj geomorfologické pomery. Dominantné postavenie v geologickej skladbe územia majú kvartérne náplavy Hrona, hlavne mohutná štrková formácia dosahujúca hrúbku niekoľko 10 m. Na jej povrchu sú menej priepustné jemnozrnnejšie náplavy pieskov a hĺn. Práve v mieste vzniku priesakov je markantný výskyt a relatívne hrubá vrstva nepriepustných materiálov. Priesak nepredstavoval akútne nebezpečenstvo pre riadnu funkciu nádrže, ale pri ich dlhodobjšom pôsobení by sa zhoršovali stabilné pomery hrádze a bolo ich nutné eliminovať. Po doplnení drenážneho prvku v dĺžke 270 m v mieste výmoku sa problém odstránil. [2]

#### SANÁCIA VÝMOĽOV POD VÝVAROM HATE VS VEĽKÉ KOZMÁLOVCE (1996)

Dlhodobým pôsobením vody na krátkej prepadovej hrane došlo k vymieľaniu záhozu a následne podložia tesne pod vývarom. Narušila sa betónová päťka pod vývarom a pri ďalšom narušení mohlo dôjsť aj k ohrozeniu stability samotného objektu hate. Sanácia spočívala v zaplnení vymletých častí lomovým kameňom a vyplnení častí pod betónovou konštrukciou betónovou zmesou. Práce boli vykonávané s použitím služieb potápačov. Pre dovoz kameňa slúžila provízorna prístupová cesta priamo v riečišti. Pre zjednodušenie manipulácie s materiálom sa vyplňanie betónových častí vykonávalo injektážnymi vrtmi s následnou injektážou výmoľov aktivovanou cementovou zmesou. Súčasne sa pri zasypávaní kameňom ponechali na injektáž vzniknutých medzier injektážne rúrky. Týmto sa vytvorila dodatočná kamenno-betónová konštrukcia, ktorá predĺžila prepadovú hranu vývaru. V mieste zlomu časti prepadovej hrany sa osadila cez injektované kotvy dvojité zvárané sieťovina a vyplnila sa betónovou zmesou. Uvedené opatrenia sa postupom času javia ako účinné, nakoľko vývar nebol porušený ani viacnásobným prechodom veľkých vôd. [3]

#### OPRAVY HRADIACICH KONŠTRUKCIÍ

Hradiace konštrukcie počas svojej doby prešli viacerými opravami. Jednou z prvých väčších opráv v roku 1995 bola oprava poškodeného povrchu 2 ks piestnic a ich následná renovácia na zvýšenie protikoróznej ochrany. Problém povrchovo poškodených ale aj ohnutých piestnic

musel byť riešený aj v rokoch 2005 - 2007. Predpokladáme, že piestnice boli ohnuté v zimnom období vplyvom nahromadeného zámru presakujúcej vody cez netesnosti hradiacej konštrukcie. Problém netesnosti hradiacich konštrukcií sa nepodaril vyriešiť ani ich opravou v roku 1993 či v roku 2004. Netesnosti konštrukcií po celom ich obvode, či už medzi hradiacimi konštrukciami klapiek a segmentov alebo medzi hradiacimi konštrukciami a stavebnou časťou hate, sú stále rozsiahle. Riešením nepriaznivého stavu je výmena za tesnenie tvaru omega alebo celková zmena systému tesnenia. K eliminácii vytvárania námrazy na piestniciach a tým aj ich porušeniu by mali prispieť aj postupne realizované ohrevy hydromotorov. V roku 1996 namontovaním manipulačných látok na hradiace segmenty vznikla požiadavka na predĺženie prepádového lúča cez klapku tak, aby plávajúce predmety prepadávali až za manipulačnú látku. Problém bol vyriešený navarením plechu po celej šírke klapky, ktorý bol podopretý v miestach výstuh klapky. Zároveň sa predĺžili bočné štíty a rozrážače prúdu. Podmienkou funkčnosti úpravy je dodržanie pôvodnej prevádzkovej hladiny.

### FENOMÉN ZVANÝ ODPAD

Problém s naplaveným odpadom v dolnom úseku toku je dlhodobý. Zloženie naplavenín je rôznorodé a závisí od množstva odpadu, ktorý sa nachádza na brehoch vodného toku, ako aj od intenzity povodňových prietokov, ktoré ho splavujú do nižších úsekov toku. Zhromažďuje sa hlavne v zátoke na pravej strane hate v priestore mimo hlavného toku. Počas celého roka sa tu vyskytujú plasty, najmä plastové fľaše, kovy, textil, menšie kusy nábytku, občas uhynuté zvieratá, v jesennom období biologický odpad zo záhrad, trávnikov a poľnohospodárskych pozemkov. Pôvodcami tohto odpadu sú ľudia žijúci v bezprostrednej blízkosti vodného toku, ako aj náhodní turisti, resp. rybári. Odstraňovanie naplavenín je súčasťou každodennej pracovnej náplne službukonajúcich zamestnancov vodnej stavby Veľké Kozmálovce. V závislosti od množstva odpadu sa vykonáva odstraňovanie naplavenín aj po každom prechode povodňových prietokov. Vykonáva sa ručným zberom do vriec alebo pomocou techniky, keď je potrebné odstrániť veľké naplaveniny, najmä kmene stromov. Naše kapacity postačujú len na odstraňovanie naplavenín v rámci vodnej stavby Veľké Kozmálovce. Na ďalšie časti toku nám nepostačujú ľudské zdroje. V rámci svojich povinností, ktoré nám vyplývajú zo zákona o vodách, vykonávame aj pravidelné odstraňovanie náletových drevín, spadnutých a naklonených stromov, aby sa predišlo hromadeniu odpadu a vytváraniu zátarasov vo vodnom toku. Túto činnosť realizujeme v úzkej spolupráci so štátnou ochranou prírody. Každá dobrá iniciatíva od občanov je vítaná, avšak najskôr treba zmeniť ekologické zmýšľanie a povedomie obyvateľstva. Jedným zo spôsobov je stretávanie sa so širokou verejnosťou počas Svetového dňa vody, ktorý si pripomíname 22. marca. Snažíme sa osloviť najmä mladých ľudí, žiakov základných škôl a študentov stredných a vysokých škôl. Ochranu životného prostredia prezentujeme našimi praktickými skúsenosťami z povodňových a havarijných situácií na vodných tokoch, poukazujeme na dôležitosť triedenia odpadu a vysvetľujeme čo znamená zachovanie ekologickej stability krajiny na konkrétnom území. Slovenský vodohospodársky podnik, š. p. v rámci tohto dňa organizuje brigádu pre zamestnancov správy zameranú na vyčistenie vodného toku od odpadu. V spolupráci s mestom Tlmače sa realizujú „Opatrenia na ochranu pred povodňami a riešenie následkov mimoriadnej situácie“, v rámci ktorých sa vykonáva zber a odvoz naplavenín, odstraňovanie krovia a náletových drevín. Samostatné brigády si organizuje aj Slovenský rybársky zväz.

### 3. ŠPECIFIKÁ VODNEJ STAVBY VEĽKÉ KOZMÁLOVCE

#### Voda pre atómovú elektrárň

Nepopierateľným špecifikom tejto vodnej stavby je jej hlavný účel vybudovania a tým je dodávka technologickej (chladiacej) vody pre Atómovú elektrárň Mochovce. Je už iba jediná vodná stavba na Slovensku s rovnakým špecifikom a to vodná stavba hať Drahovce – Madunice, ktorá zabezpečuje dodávku technologickej (chladiacej) vody pre Atómovú elektrárň Bohunice. Voči tejto vodnej stavbe, ktorá je súčasťou vodnej nádrže Sĺňava, je zdrž Veľké Kozmálovce v značnej nevýhode, čo sa týka pomeru zásobného objemu a okamžitej potreby vody na chladenie.

Významnosť tohto účelu je v tom, že musí byť zabezpečenosť dodávky na 99 % a to v praxi znamená, že dodávka vody musí byť zabezpečená nepretržite. Neexistuje možnosť nedodania požadovaného množstva vody potrebnej na chladenie do profilu čerpacej stanice na odbernom objekte za danú aktuálnu potrebu. Pri priemernom ročnom prietoku v profile vodnej stavby Veľké Kozmálovce  $Q_r 51,58 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  a maximálnej potrebe vody pre chladenie  $1,5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  nič nenasvedčuje tomu, že tu môže vzniknúť problém. Problém však nastáva pri mimoriadnych situáciách, resp. kombináciách, keď nám v Hrone tečú minimálne prietoky na úrovni  $10 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ,  $8 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  a bol dosiahnutý a zaznamenaný minimálny prietok na úrovni  $6 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  a v tom istom okamihu požiadavka na potrebu vody na chladenie sa blíži k maximálnemu okamžitému povolenému odberu na úrovni  $1,5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ . Ešte stále sa to javí, ako dostatočná rezerva na zabezpečenie bezproblémovej dodávky vody pre chladenie.

Avšak teraz vstupujú do hry aj ostatné účely vodnej stavby.

Zabezpečenie sanitárneho (biologického) prietoku pod vodnou stavbou, ktorý musíme zabezpečiť v objeme  $6,6 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ .

Zabezpečenie vody pre umelý kanál Perec v objeme  $2,0 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ .

Z vyššie uvedeného vyplýva, že ku kritickej situácii dochádza v období leta a prioritne v období dlhotrvajúceho obdobia sucha v povodí vodného toku Hron. V tomto kritickom okamihu sa musia určiť priority a tou je jednoznačne dodávka potrebného objemu vody pre chladenie. Po informovaní odberateľov vody z umelého kanála Perec o mimoriadnej situácii, znižujeme dodávku vody na minimálnu prípustnú hranicu  $0,8 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ . Zároveň žiadame orgán štátnej vodnej správy o mimoriadne zníženie sanitárneho prietoku pod vodnou stavbou na nevyhnutne potrebný čas pod  $6,6 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ . Samozrejme aj pri tejto mimoriadnej manipulácii dochádza k postupnému znižovaniu prevádzkovej hladiny v zdrži vodnej stavby. Rok 2003 mal mimoriadne suché letné obdobie v povodí vodného toku Hron a v priebehu mesiaca júl padli minimálne zrážky v celom povodí, čím Hron dosiahol v profile Veľkých Kozmáloviec prietoky na úrovni  $6 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  počas troch dní. Hladina v zdrži klesla o 1,8 m, to znamená boli sme na úrovni 173,20 m.n.m.. Ak by tento stav trval dlhší čas, nie tri dni, po ktorých nasledovali zrážky v celom povodí, na zabezpečenie vody pre atómovú elektrárň by nepostačovala ani mimoriadna manipulácia. Využijem tento priestor a ako správca vodnej stavby si dovoľm

apelovať na potrebu vodnej stavby v povodí Hrona nad vodnou stavbou Veľké Kozmálovce, už s ohľadom na stav, ktorý som opísal vyššie, nie ako možnú hrozbu, ale na stav, ktorý tu už nastal v minulom období. V prípade, že zoberieme do úvahy prognózy, krátkodobé, dlhodobé, slovenské, európske, svetové, zo všetkých sa dozvieme, že nás čaká obdobie sucha. Z tohto pohľadu je potreba akumulácie vody nad Veľkými Kozmálovcami pre zabezpečenie vody pre atómovú elektrárňu priam nevyhnutná. Úmyselne som neuviedol konkrétnu vodnú stavbu, ktorá už desaťročia čaká na schválenie a úmyselne som neuviedol spustenie 3 a 4 bloku v atómovej elektrárni Mochovce plánované práve v tomto období, lebo potom už naozaj nie je o čom diskutovať.

### **Zimná prevádzka a vznik ľadových záatarasov**

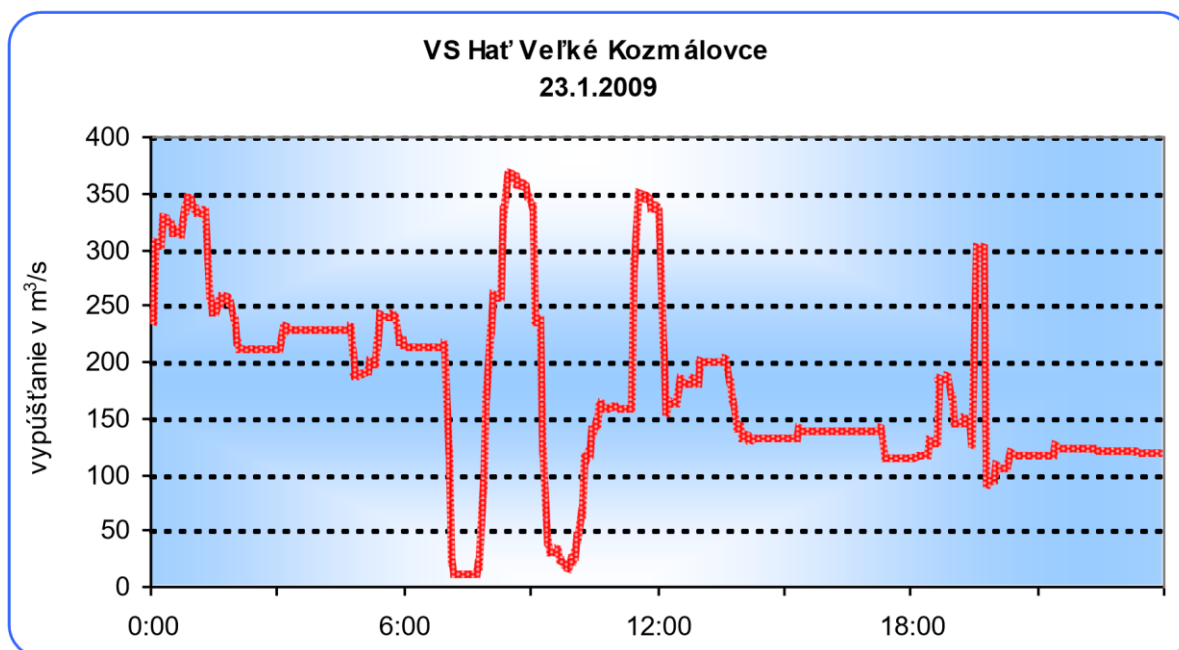
Ďalším špecifikom tejto vodnej stavby je jej zimná prevádzka. Správne ste sa pozastavili a v duchu mi oponujete po prečítaní tejto vety. Zimnú prevádzku má predsa každá vodná stavba. Ale vodná stavba Veľké Kozmálovce, má špecifikum v tom, že počas zimnej prevádzky dochádza za určitých podmienok, ktoré sa stretnú v jednom čase k vytváraniu ľadového záatarasu. Ale aj to ešte nie je až také špecifikum. Verte, že je.

Ľadový záataras vzniká na konci vzdutia zdrže. Vznik záatarasu je spôsobený náhlym výrazným oteplením v zimnom období, kedy dochádza k topeniu snehu, ale aj ľadu na Hrone. Vzduťie končí na 77,000 rkm pri zimnej prevádzkovej hladine 174,50 m.n.m.. Hron má celkovo bezmála 300,0 riečnych kilometrov, to znamená že do pohybu sa dajú ľadové kryhy a plávajúce sriene zhruba z 200 km úseku vodného toku. Vodná stavba Veľké Kozmálovce bola po spustení do prevádzky najväčšou priečnou stavbou na Hrone. Je ňou aj dodnes, hoci za tých tridsať rokov pribudlo niekoľko nových priečnych stavieb nad aj pod haťou. Žiadna z nich sa však nedá porovnať k Veľkým Kozmálovciam, hlavne čo sa týka objemu vody v zdrži a dĺžky vzduťia. V celej zdrži sa počas nízkych teplôt v zimnom období začne tvoriť hrubá ľadová celina a na jej konci začnú pritekať po Hrone prvé kryhy a sriene. Z počiatku to vyzerá veľmi nevinne, ale postupne nemajú kryhy kam pokračovať, nakoľko celina zaberá väčšiu časť prietokného profilu a začne sa vytvárať bariéra. Pritekajúce množstvo nových kryh, takzvaného ľadochodu sa začína zväčšovať a začínajú úplne upchávať koryto, v dôsledku čoho voda vybrežuje z koryta aj s novými kryhami a zatápa inundačný priestor medzi Hronom a cestou. Vybrením vôd a ľadochodu z koryta dochádza k postupnému vzdúvaniu pravostranných prítokov do Hrona, Svätého a Čaradického potoka v katastri obce Kozárovce. Spätným vzduťím dochádza k navýšeniu hladiny v prítokoch a ich vybreniu v intraviláne obce.



*Ladové kryhy*

Najväčšia ľadová povodeň dosahovala dĺžku zátarasu 4 km od jej začiatku a vzpričené ľadové kryhy dosahovali výšku aj tri metre.



*Graf - povodeň ľad VS VK*

Po opakujúcich problémoch s ľadovými povodňami sme hľadali spôsob ako riešiť tento fenomén a ako sa pripraviť na ďalšiu takúto nepriaznivú situáciu. Jedna z myšlienok bola, prudko, resp. mimoriadne zmanipulovať s hladinami na vodnej stavbe. To znamená, že sme pri určitom prietoku, priškrtili vypúšťanie, jemne nadvihli prevádzkovú hladinu. Pri nadvihnutí hladiny, došlo k popukaniu a popraskaniu celiny a vzápätí sme prudko vypúšťali zvýšené prietoky oproti pritekajúcim. Hladina v zdrži výraznejšie poklesla a vtiahla pod celinu časť

zátarasu. Týmto spôsobom sme dokázali previesť ľadochod do zdrže vodnej stavby kde sa postupne rozpúšťal.

Z vyššie uvedeného sa možno javí, že sme problém vyriešili a ľadovú povodeň už máme zvládnutú. Opak je pravdou. Aj pri týchto dvoch ľadových povodniach, kedy sa nám to podarilo, došlo k škodám na objektoch vodnej stavby a to konkrétne k poškodeniu hrádzi, kedy pri rozrušení celiny a mimoriadnej manipulácii, vytlačilo kryhy po návodnej strane hrádzi. Tento spôsob prevedenia ľadochodu do zdrže vodnej stavby je možný iba u určitej vhodnej kombinácii ľadochodu, hrúbky celiny, klimatických podmienok a prietokových pomerov. Zároveň musím zdôrazniť, že pri tejto manipulácii je veľmi potrebná koordinácia informátorov rozostavených na konkrétnych miestach celej vodnej stavby z online informáciou o výške hladiny a situácii na danom mieste. Spojenie medzi informátormi a vedúcim tejto mimoriadnej manipulácie je zabezpečené vysielaczkami. Vedúci musí z hlásených informácií veľmi operatívne vyhodnotiť reálny stav a následne dáva pokyn obsluhu vodnej stavby k manipulácii.

Praktická skúsenosť s ľadovými povodňami na vodnej stavbe nám ukázala, že tieto povodne sú veľmi jedinečné a je potrebné každú jednu riešiť samostatne. Samozrejme, že nám veľmi pomáhajú pri rozhodnutiach dlhoročné skúsenosti, neexistuje však nejaká šablóna, ako postupovať pri ľadovej povodni. Pri týchto povodniach napríklad nehrá hlavnú úlohu prietok a jeho postupné narastanie. Oveľa väčší vplyv má výška snehovej pokrývky, prudké oteplenie, ktoré pretrvá aj cez noc a nastane aj vo vyšších polohách povodia a do toho všetkého nám pribudnú zrážky. Potom sa stane, že aj nízka hrúbka ľadu v koryte, pri nízkom prietoku, nám za niekoľko hodín spôsobí veľkú ľadovú povodeň. Naopak stačí, že v noci na väčšine povodia ešte mrzne a nie je zrážková činnosť a aj metrová hrúbka ľadu v koryte sa pekne prežerie vodou a nenastáva ľadochod a ľadová povodeň.

### **Zanášanie vodnej stavby**

Tomuto špecifiku budeme venovať väčšiu pozornosť a detailnejší prístup, nakoľko je pre zabezpečenie dodávky vody pre atómovú elektrárňu zásadný. Morfológický vývoj Hrona je dominantne ovplyvnený úpravami, najmä postupným skracovaním trasy toku (odrezávanie meandrov). Skrátením trasy toku sa zvýšil pozdĺžny sklon a tým aj transportná schopnosť toku. Tieto procesy sa prejavili v postupnom zarezávaní riečného dna a poklese povrchových i podzemných vôd. Pre zabezpečenie dodávok technologickej vody pre atómovú elektrárňu má rozhodujúci vplyv stav zdrže vodnej stavby a to najmä rozsah a spôsob zanesenia sedimentmi. Už od začatia overovacej prevádzky vodnej stavby v roku 1988 je v zdrži pozorované enormné ukladanie sedimentov, ktoré sú transportované z vyššie položeného územia v povodí vodného toku Hron. Prítoky do nádrže prinášajú v závislosti od hydrogeologických, morfológických, hydraulických, geologických, vegetačných a iných podmienok rozličné množstvo pevných častí splavenín a plavenín. V dôsledku poklesu rýchlosti a turbulencie prúdenia sa tieto materiály postupne usadzujú v zdrži. Sedimenty v zdrži sú zastúpené výlučne jemnými časticami, ktoré sú transportované vodným tokom najmä v čase zväčšených resp. povodňových prietokov v období topenia sa snehu a prívalových zrážok vo vegetačnom období.



Zanášanie zdrže a odberného objektu atómovej elektrárne má negatívny vplyv na kvalitu vody v zdrži. V prípade atómovej elektrárne zanášaním priestoru pred odberným objektom dochádza k znižovaniu jeho kapacity a zhoršovaniu kvality odoberanej vody, ktorá je zaťažovaná jemnými sedimentujúcimi časticami a tieto nepriaznivo pôsobia tak na čerpadlá technologickej chladiacej vody ako aj na celý ochladzovací systém atómových reaktorov [6].

Potreba prečistiť priestor od sedimentov pred odberným objektom z dôvodu výrazného zanesenia nastala už v roku 2000 a prinútila správcu urýchlene konať a hľadať operatívne riešenie, na prečistenie. Bolo prijaté rozhodnutie, že čistenie bude prebiehať odsávaním zmesi vody a sedimentu sacím bagrom. Táto zmes bola potrubím dopravená do vopred pripravených kaziet do vzdialenosti 300 m. Priestor kaziet bol ohraničený vybudovanými zemnými hrádzami, do ktorých sa napúšťala zmes vody a sedimentu a postupným priesakom a výparom vody, ktorá v tomto prípade tvorila prepravné médium, zostal v kazetách odstránený sediment. Objem odstráneného sedimentu v sušine bol 10 000 m<sup>3</sup>. Správca vodnej stavby si bol vedomý skutočnosti, že danej problematike je potrebné sa venovať komplexne. Na základe uvedenej skutočnosti správca vodnej stavby uzavrel koncom júla 2006 s Výskumným ústavom vodného hospodárstva Bratislava zmluvu na spracovanie štúdie s názvom „*Vypracovanie alternatívnych návrhov odstránenia dnových sedimentov zo zdrže vodnej stavby Veľké Kozmálovce, vrátane opatrení pre zamedzenie usadzovania sedimentov v zdrži na základe predložených zadávacích podmienok*“.

Práce na štúdiu boli rozdelené do dvoch etáp. V špecifikácii prác, boli definované nasledovné ciele:

- Aktualizovať topografiu zdrže, vytvoriť topografický model zdrže a analyzovať podmienky prúdenia v zdrži.
- Analyzovať hydrologický režim a režim plavenín Hrona vo vzťahu k prevádzke vodnej stavby Veľké Kozmálovce.
- Zostaviť dvojrozmerný (2D) model prúdenia vody v zdrži, model kalibrovať, verifikovať a vykonať testovacie výpočty.
- Simulovať podmienky prúdenia (s využitím 2D modelu) v zdrži pre rôzne okrajové podmienky.
- Definovať kritické oblasti v zdrži a navrhnúť alternatívne opatrenia pre obmedzenie zanášania zdrže vodnej stavby Veľké Kozmálovce.
- Zostaviť 1D numerický model transportu sedimentov .
- Posúdiť transportnú schopnosť sedimentov v zdrži pre rôzne odtokové scenáre vo vzťahu k problematike zanášania zdrže.
- Optimalizovať nápravné opatrenia na zlepšenie podmienok prúdenia v zdrži vzhľadom na transport sedimentov a zanášanie zdrže s dôrazom na zabezpečenie požiadaviek atómovej elektrárne Mochovce.

Práce na štúdiu boli ukončené v máji 2007. Projektovaný objem vody od dna zdrže po maximálnu prevádzkovú hladinu je 2 584 439 m<sup>3</sup>. Z porovnania disponibilného objemu vody v roku 1988 a 2004 vyplýva jeho zníženie o 811 000 m<sup>3</sup>, t. j. o 31,4 % pri medziročnom prírastku sedimentov o 70 600 m<sup>3</sup>.

V priebežnej správe, sumarizujúcej výsledky prvej etapy riešenia, bolo konštatované, že v prípade zdrže Veľké Kozmálovce bude potrebné navrhnúť kombináciu opatrení, ktorých cieľom je obmedzenie negatívnych dôsledkov jej zanášania na prijateľnú mieru a zlepšenie súčasného stavu. Naznačené opatrenia boli v druhej etape riešenia štúdie konkretizované a spresnené po konzultáciách s objednávatelom, pričom výsledky modelových simulácií poskytlí názorné podklady pre hodnotenie pravdepodobného efektu týchto opatrení.

Navrhované opatrenia možno zhrnúť nasledovne:

- Opatrenia v povodí nad zdržou.
- Mechanické odstraňovanie nánosov z dna zdrže.
- Stavby na usmernenie sedimentácie a koncentráciu prietoku.
- Preplachovanie zdrže.
- Opatrenia na zachytávanie predmetov sunutých po dne.

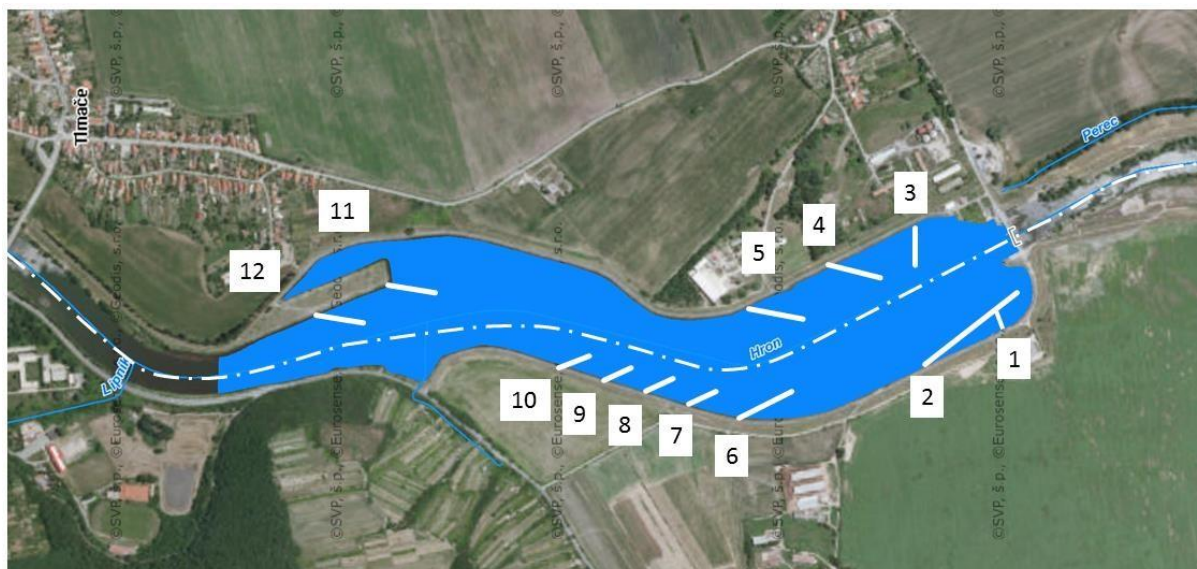
V zdrži prebiehajú intenzívne erózo-sedimentačné procesy výsledkom, ktorých je pomerne rýchla strata disponibilného objemu zdrže, ktorá vyplynula z monitoringu priečných profilov zdrže v rôznych časových úrovniach [5].

Ak by správca vodnej stavby nevykonal žiadne aktívne opatrenia na obmedzenie jej zanášania, zdrž by sa mohla zaniest' na neprípustnú mieru, čo by mohlo vyústiť do havarijného stavu z hľadiska plnenia jej účelov (hlavne zabezpečenie odberov vody pre atómovú elektrárň Mochovce). Preplachovanie zdrže pri zvýšených prietokoch by malo priniesť želaný efekt. Základom úspechu je ak nie pravidelnosť, tak aspoň určitá periodicita aplikácie tohto osobitného spôsobu manipulácie, ktorý v doterajšej praxi nebol dostatočne využívaný. Samotné preplachovanie sa však nejaví ako jedine vhodné opatrenie v prípade zdrže Veľké Kozmálovce je nutné aplikovať kombináciu opatrení. Správca vodnej stavby dospel k jednoznačnému záveru, že je nevyhnutné okamžite pristúpiť k mechanickému odstraňovaniu nánosov z dna zdrže v priestore okolia odberného objektu atómovej elektrárne Mochovce a časti okolia vtokového objektu MVE. Boli realizované aj ostatné navrhované opatrenia v štúdiu s prednostným zameraním na preplachovanie zdrže a na výstavbu stavieb na usmernenie sedimentácie a koncentráciu prietoku, ktoré boli ukončené v roku 2011.

Z oblasti odberného objektu povrchovej vody pre atómovú elektrárň Mochovce a MVE bolo počas rokov 2008 až 2011 mechanicky vyťažené 130 008 m<sup>3</sup> sedimentov.

Vzhľadom na fyzikálne vlastnosti sedimentov bol na ich ťažbu použitý plávajúci sací bager. Mechanizmus rozruší dnový sediment, ktorý je následne odčerpávaný do plávajúceho potrubia, ktoré transportuje vyťažený sediment do technológie, kde je následne sediment spracovaný, odstredení a z technológie vychádza sediment v požadovanej sušine a voda, ktorá sa vracia späť do zdrže. Táto technológia umožňuje zabezpečiť transport vyťaženého materiálu do vzdialenosti niekoľkých stoviek metrov a následne ho spracovať tak, že je pripravený na likvidáciu podľa zákona o odpadoch.

Zrealizované usmerňovacie stavby výhonov v roku 2011 majú zabezpečiť efektívnejší odnos sedimentov zo zdrže počas jej preplachovania. Výhony zabezpečujú sústredenie prúdnice do stredu zdrže, resp. do pôvodného koryta a čiastočne zamedzujú prístup sedimentov k odberným objektom. Pri preplachovaní zabezpečujú väčšie unášacie rýchlosti a tým efektívnejší odnos sedimentov. Celkovo je vybudovaných 12 usmerňovacích výhonov. Všetky výhony sú napojené na zdržové hrádze a šikmo vysunuté smerom do stredu zdrže. Výhony v lokalite odberného objektu atómovej elektrárne zabezpečujú okrem usmerňovania prietokov aj ochranu samotného odberného objektu obojstranným napojením na brehy, čím sa maximálne obmedzí prístup sedimentov obsiahnutých vo vode najmä počas zvýšených prietokov vo vodnom toku. V mieste napojenia výhonov na zdržové hrádze je pod dnom umiestnená pôvodná tesniaca fólia. V týchto miestach je tesnenie presypané ochranou štrkovou vrstvou hrúbky 0,5 m, na ktorej sa sypaním vybuďovalo teleso usmerňovacie výhonu z lomového kameňa frakcie do 250 kg. Ďalej mimo brehového tesnenia je teleso výhonu vybudované z baranených štetovnic. Úroveň koruny výhonov v lokalite odberného objektu pre atómovú elektrárňu je 174,00 m n. m. t.j. jeden meter pod úrovňou maximálnej prevádzkovej hladiny. Ostatné výhony majú korunu podľa polohy v rozsahu kót 173,60- 174,25 m n. m. Rozmiestnenie výhonov vyplynulo z modelu prúdenia vody vo vzťahu k unášaniu dnových sedimentov pri rôznych hladinách a rôznych prietokoch. Všetky výhony sú na koncoch a pozdĺž celej dĺžky opatrené plavákmi, ktoré zabezpečujú bezpečnosť plavidiel v zdrži.



*Lokalizácia výhonov a priečných profilov v zdrži VS Velké Kozmálovce*

Ďalším opatrením zapadajúcim do komplexného návrhu minimalizácie usadzovania sedimentov v zdrži vodnej stavby je návrh manipulácie s vodou na vodnej stavbe súčasťou ktorej bolo 1D modelom simulované šmykové napätie pri dne zdrže. Podľa tohto návrhu je doporučené v jednotlivých profiloch, pri dosiahnutí limitných prietokov manipuláciou znížiť prevádzkové hladiny tak, aby dochádzalo k efektívnemu pohybu plavenín a splavenín a nedochádzalo k ich usadzovaniu v zdrži. Takúto manipuláciu je doporučené vykonávať pravidelne počas zvýšených vodných stavov napríklad jarných vodách resp. po privalových zrážkach v povodí nad profilom vodnej stavby. Výhoda takejto manipulácie je, že ňou nie sú

negatívne ovplyvnený užívateľ vodnej stavby a to najmä atómová elektrárňa a taktiež prevádzkovateľ MVE.

V roku 2016 bolo Slovenskou akadémiou vied zameraná zdrž vodnej stavby s cieľom zanalyzovať zanášanie vodnej stavby Veľké Kozmálovce medzi rokmi 2012 – 2016 a porovnanie s pôvodným stavom počas spustenia prevádzky na základe dostupných podkladov a informácií. Pomocou hydrografických meraní a viacerých analýz uskutočnených v softwarovom prostredí Surfer 11 a ArcMap 10.1 bol stanovený prírastok dnových sedimentov v prostredí vodnej stavby medzi obdobím 2012 – 2016 v celkovom objeme 65 259 m<sup>3</sup> [7]. V rámci manažmentu povodia a uskutočnených vodohospodárskych opatrení sa podarilo znížiť intenzitu zanášania oproti stavu z minulosti. Avšak preukázaná a dlhodobá akumulácia sedimentov v priestore vodnej stavby Veľké Kozmálovce ohrozuje pôvodnú zásobnú funkciu. Preto v rámci manažmentu povodia bude nevyhnutné uskutočniť dôkladnú analýzu krajinných štruktúr ako aj morfometrickú analýzu povodia a hľadať riešenia, ako aj v povodí nad vodnou stavbou, v kritických územných celkoch, technickými opatreniami znížiť splach. Zmenšenie objemu akumuláčného priestoru o 41,7 % si zároveň vyžaduje sledovať trend vývoja zanášania na základe systematického a pravidelného zbierania batymetrických údajov v určitých časových intervaloch a zároveň pokračovať v opatreniach na odstraňovaní sedimentov zo zdrže.

#### 4. ZÁVER

Vodná stavba Hať Veľké Kozmálovce má nezastupiteľné miesto vo vodnom hospodárstve. Prioritou vodnej stavby je zabezpečiť dostatok vody pre priemyselný odber Atómovej elektrárne Mochovce. V súčasnosti požaduje odberateľ zvýšenie odberu vody v dôsledku blížiacej sa dostavby tretieho a štvrtého bloku elektrárne. Dostavba je podmienená aj zabezpečenosťou zdroja technologickej aj chladiacej vody. Nakoľko VS Veľké Kozmálovce je priečnou stavbou na vodnom toku Hron, prináša to so sebou aj určité prevádzkové problémy týkajúce sa najmä zanášania zdrže. Postupné zanášanie vodnej stavby bude zároveň znižovať jej bezpečnosť. Vodná stavba Veľké Kozmálovce si zaslúži našu pozornosť či už z hľadiska vodohospodárskeho, alebo ako významný prvok miestneho územného koloritu.

#### ZOZNAM LITERATÚRY

- [1] SVP š. p., *Odštepny závod Banská Bystrica, 2011: Manipulačný poriadok vodnej stavby Veľké Kozmálovce*
- [2] CABEX s.r.o., 2014: *VS Veľké Kozmálovce, zabezpečenie pozdĺžnej kontinuity a spriechodnenie toku Hron rkm 73,400, Projektová dokumentácia*
- [3] *HydroekoBB 1992, Zamokrenie pravej hrádze*
- [4] *Profi x Bystřice 1996, Oprava výmoľu pod haťou*
- [5] Lukáč, M., 2007: *Vypracovanie alternatívnych návrhov odstránenia dnových sedimentov zo zdrže vodnej stavby Veľké Kozmálovce, vrátane opatrení pre zamedzenie usadzovania sedimentov v zdrži na základe predložených zadávacích podmienok. Štúdia*
- [6] ŽIAK, M., 2012: *Prevádzkové problémy spôsobené zanášaním priestoru zdrže vodnej stavby hať Veľké Kozmálovce, vykonané opatrenia na elimináciu usadzovania plavenín, Konferencia: Priehradné dni 2012, Slovenska republika.*
- [7] Sočuvka, V., 2017: *ANALÝZA ZANÁŠANIA VD VEĽKÉ KOZMÁLOVCE Ústav*

*hydrológie SAV, Bratislava, Konferencia: Sedimenty vodných tokov a nádrží 2017, Slovenská republika*

**AUTOR**

Ing. Juraj Jurica.

SLOVENSKÝ VODOHOSPODÁRSKY PODNIK, štátny podnik,  
Odštepny závod Banská Bystrica, Správa povodia dolného Hrona a dolného Ipľa Koháryho 44,  
934 80 Levice, Slovenská republika tel.: +420 366 357 677,  
e-mail: juraj.jurica@svp.sk

Ing. Jarmila Michalková.

SLOVENSKÝ VODOHOSPODÁRSKY PODNIK, štátny podnik,  
Odštepny závod Banská Bystrica, Správa povodia dolného Hrona a dolného Ipľa Koháryho 44,  
934 80 Levice, Slovenská republika tel.: +420 366 357 607,  
e-mail: jarmila.michalkova@svp.sk

Ing. Peter Ivan, PhD.

SLOVENSKÝ VODOHOSPODÁRSKY PODNIK, štátny podnik,  
Odštepny závod Banská Bystrica, Správa povodia dolného Hrona a dolného Ipľa Koháryho 44,  
934 80 Levice, Slovenská republika tel.: +420 366 357 622,  
e-mail: peter.ivan@svp.sk

# BEZPEČNOSŤ PRIEHRAD A ŠPECIFICKÉ RIZIKOVÉ FAKTORY

## DAM SAFETY AND SPECIFIC RISK FACTORS

**Andrej Kasana, Peter Magula,**

**Abstrakt:** V článku sú popísané špecifické rizikové faktory, ktoré je možné začleniť do nedostatočného alebo úplne absentujúceho výkonu technicko-bezpečnostného dohľadu. V rámci nedostatočného výkonu dohľadu je popísaná problematika chýbajúcich podkladov (hydrologických, geotechnických, projekčných a konštrukčných podkladov), nedostatočného vystrojenia mernými zariadeniami, nespoľahlivosti merných zariadení a nespoľahlivého výkonu obhliadok a meraní. Tieto špecifické rizikové faktory spôsobujú, že napriek formálnemu dodržiavaniu legislatívnych ustanovení, nemusí technicko-bezpečnostný dohľad splniť jeho účel a nie je garantované, že včas upozorní na riziko havárie vodnej stavby.

**Abstract:** In the article are described specific risk factors, that can be classified to lacking or totally absent performance of technical-safety supervision. Within the frame of lacking performance of supervision is described problematics of missing source materials (hydrological, geotechnical, design and constructional) insufficient equipment with measurement devices, unreliability of measurement devices and unreliable performance of surveys and measurements. These specific risk factors cause, that despite of formal keeping of legislative assignments, the technical-safety supervision doesn't have to accomplish its purpose and it is not guaranteed that it will point out the risk of collapse of water structure in time.

**Kľúčové slová:** technicko-bezpečnostný dohľad, bezpečnosť priehrad, rizikové faktory

### 1. TBD A PRÍČINY HAVÁRIÍ PRIEHRAD A HRÁDZÍ

V prípade havárie priehrad a ochranných hrádzí, ktoré sú z hľadiska technicko-bezpečnostného dohľadu zaradené do I. kategórie vodných stavieb, by boli ohrozené tisíce až desaťtisíce ľudí a je možné predpokladať veľké straty na ľudských životoch. Taktiež by došlo v území na vodnom toku pod kategorizovanou vodnou stavbou k vzniku rozsiahlych škôd na obytnej a priemyselnej zástavbe, cestnej a železničnej sieti. Škody na životnom prostredí by boli vysoké a ekonomické dôsledky by boli celoštátne. V prípade havárie priehrad a ochranných hrádzí, ktoré sú zaradené do II. kategórie vodných stavieb sú hrozené stovky až tisíce ľudí a je možné predpokladať, že by došlo k stratám na ľudských životoch. Škody na životnom prostredí by prekračovali význam vyššieho územného celku. Preto je potrebné vykonávať dohľad nad týmito stavbami v takom rozsahu, aby sa riziko havárie minimalizovalo na najnižšiu možnú mieru [1].

Pre výkon technicko-bezpečnostného dohľadu a minimalizovanie rizika havárie je potrebné nielen dôsledne uplatňovať zavedený systém, vychádzajúci z legislatívnych ustanovení, realizovaný národnou autoritou pre bezpečnosť vodných stavieb - štátnou poverenou organizáciou, so zodpovednosťou vlastníkov a správcov vodných stavieb a s garanciou výkonu technicko-bezpečnostného dozoru orgánmi štátnej vodnej správy, ale je

potrebné v závislosti od zmien vplývajúcich na tento systém prehodnocovať funkčnosť a efektívnosť jeho súčastí.

V súčasnosti sme v situácii, keď sa už niekoľko desaťročí nerealizuje rozsiahlejšia výstavba nových vodných stavieb a do registra kategorizovaných vodných stavieb I. a II. kategórie pribúdajú hlavne rekonštruované vodné stavby nižších kategórií, ktorých kategória je prehodnocovaná hlavne v dôsledku hustejšej zástavby v území ohrozenom prípadnou haváriou týchto vodných stavieb. To nám umožňuje viac sa sústrediť na staršie vodné stavby I. a II. kategórie, pri ktorých sa spolu so starnutím konštrukčných prvkov začína v dôsledku klimatickej zmeny meniť úroveň extrémneho povodňového zaťaženia a často sa mení aj spôsob ich využitia a tým aj prevádzkového zaťaženia [2].

Napriek tomu, že z prevádzkového hľadiska sa pri priehradách a ochranných hrádzach jedná o rozdielne typy zaťažovania – priehrady sú namáhané kontinuálne, ochranné hrádze sú hydrodynamicky namáhané krátkodobo v čase povodňových prietokov, z hľadiska ich bezpečnosti sú medzi nimi viaceré paralely. Výhodiskom posudzovania bezpečnosti priehrad a ochranných hrádz je poznanie hlavných príčin ich porúch a havárií vo všeobecnosti a poznanie špecifik jednotlivých vodných stavieb [3]. Štatistické údaje dokumentujú, že základnými príčinami havárií priehrad sú preliatie koruny a priesaky cez teleso a podložie priehrad, ako i nesprávne zabudovanie objektov do telesa hrádze. Príčiny havárií priehrad možno rozdeliť do 3 základných skupín [4]:

- havárie a katastrofy spôsobené hydrologickými príčinami,
- havárie geotechnickej povahy:
  - priesaky,
  - zosuny svahov,
  - nadmerné sadanie telesa i podložia,
- skupina ostatných príčin, ktorých zastúpenie je výrazne menšie ako vyššie uvedených.

## 2. RIZIKOVÉ FAKTORY

K základným skupinám príčin havárií bolo na našom území identifikovaných 8 hlavných rizikových faktorov, ktorými sú:

- nedostatočná kapacita objektov určených na prevedenie povodňových prietokov v kombinácii s neistotou stanovenia návrhových povodňových prietokov,
- nevhodné materiálové zloženie v telese alebo v relevantnom podloží telesa hrádze,
- konštrukčné chyby, vyplývajúce z chýb projektu a aj z chýb a nedodržania technologickej disciplíny počas výstavby hrádze,
- nespoľahlivý monitorovací systém pre merania technicko-bezpečnostného dohľadu,
- zvýšené seizmické riziko v lokalite hrádze,
- historická vodná stavba,
- neistota v materiálovom zložení telesa a relevantného podložia hrádze,
- vplyv prostredia a prevádzky.

Nevhodné materiálové zloženie je možné zaradiť taktiež do konštrukčných chýb, no vzhľadom na pomerne početné zistenia problémov spôsobených nevhodným materiálovým zložením telesa alebo podložia priehrad a ochranných hrádz si tento rizikový faktor zaslúži samostatné uvedenie. Rizikový faktor konštrukčné chyby zahŕňa v našich podmienkach

najpočetnejšiu skupinu identifikovaných problémov na vodných stavbách, ktoré vyplývajú z chýb projektu a aj z chýb a nedodržania technologickej disciplíny počas výstavby vodných stavieb.

Nespoľahlivý monitorovací systém nielenže znižuje efektívnosť technicko-bezpečnostného dohľadu, ale nevhodne zabudované merné zariadenia (hlavne nevhodne vybudované vrty do telesa a podložia hrádzí), sú aj významným rizikovým faktorom, nakoľko je zdokumentovaných viacero prípadov vodných stavieb, kde nevhodne lokalizované alebo nesprávne vystrojené vrty spôsobili bezprostredné ohrozenie bezpečnosti vodných stavieb (v takýchto prípadoch sa dokonca prelínajú rizikové faktory konštrukčných chýb a nespoľahlivého monitorovacieho systému).

V prípade dokonale fungujúceho systému technicko-bezpečnostného dohľadu, prevádzky stavieb a technicko-bezpečnostného dozoru by mala byť väčšina hlavných rizikových faktorov bezpečnosti vodných stavieb eliminovaná. Funkčný systém technicko-bezpečnostného dohľadu by nemal včas upozorniť na to, že [5]:

- posudzovaná vodná stavba má nedostatočnú kapacitu na prevedenie návrhových povodňových prietokov (príp. že návrhové povodňové prietoky nie sú aktuálne, alebo sú stanovené nedostatočne presne),
- v telese a v podloží vodnej stavby sa nachádzajú materiály s nevhodnými vlastnosťami (príp. že nepoznáme, alebo že je príliš veľká neistota v poznaní materiálového zloženia telesa a podložia),
- boli identifikované javy a anomálie, ku ktorým môže dôjsť len v prípade konštrukčných chýb,
- vodná stavba má je nedostatočne vybavená mernými zariadeniami, alebo že existujúce merné zariadenia sú nespoľahlivé,
- pri návrhu vodnej stavby nebolo zohľadnené zvýšené seizmické riziko v lokalite stavby,
- vplyvy prostredia a prevádzky spôsobujú ohrozenie bezpečnosti.

### 3. NEDOSTATOČNÝ VÝKON TBD

Pri nedostatočnom výkone technicko-bezpečnostného dohľadu hrozí riziko straty možnosti včasného identifikovania iných rizikových faktorov zrealizovať opatrenia na zabránenie vzniku porúch a havárií. Preto je možné hovoriť o riziku nedostatočného výkonu technicko-bezpečnostného dohľadu. Aj keď toto riziko samo o sebe nie je schopné spôsobiť poruchu alebo haváriu, no výraznou mierou môže zvyšovať veľkosť škôd a dôsledkov havárií a porúch spôsobených ostatnými rizikami a ich rizikovými faktormi. Z hľadiska členenia autorov medzinárodných štatistík porúch a havárií je možné riziko nedostatočného výkonu technicko-bezpečnostného dohľadu nájsť v kategórii „rôzne“ (alt. „iné“), no v našich podmienkach by začlenenie rizika nedostatočného výkonu dohľadu tvorilo viac ako 90% z iných rizík, preto by sme ho mali uvádzať ako samostatné riziko.

Napriek skutočnosti, že technicko-bezpečnostný dohľad je zákonnou povinnosťou a jeho odbornosť je garantovaná podmienkou odbornej spôsobilosti osôb, ktoré majú oprávnenie ho vykonávať, výsledky z praxe preukazujú, že hneď po filtračných poruchách je najčastejším



rizikovým faktorom práve nedostatočný výkon TBD. V reálnej praxi to znamená, že pri stavbách 3. a 4. kategórie okrem toho, že často chýbajú údaje o materiálovom zložení telesa hrádze a jej podložia, súčasne neprímerane veľký počet takýchto stavieb nemá dostatočný monitorovací systém, príp. existujúce merné zariadenia sú nespoľahlivé. Z hľadiska potenciálnych škôd a hlavne ohrozenia ľudských životov je ešte výraznejším problémom, že aj medzi stavbami I. a II. kategórie je možné nájsť viacero stavieb, o ktorých materiálovom zložení nemáme dostatočné informácie a ich vybavenie merným zariadením nezodpovedá ich významu a súčasným možnostiam.

Takmer až na polovici našich vodných stavieb je možné identifikovať riziko nedostatočného výkonu technicko-bezpečnostného dohľadu. To vyplýva aj zo súčasnej praxe, v rámci ktorej pre stavby s rizikom nedostatočného výkonu dohľadu každoročne pribúdajú od odborne spôsobilých osôb odporúčania nápravných opatrení na zabezpečenie a zlepšenie úrovne dohľadu, ktorých realizácia sa odsúva nezriedka aj viac ako dvadsať rokov a nie je zabezpečená realizácia nápravných opatrení ani v najbližších rokoch. Je samozrejme správne, že prednosť dostáva realizácia nápravných opatrení, ktoré majú zaistiť bezpečnosť a prevádzkyschopnosť vodných stavieb, no realizáciu opatrení na zaistenie a zlepšenie úrovne dohľadu nie je možné dlhodobo ignorovať alebo podceňovať. Zvyšujúce sa počty nápravných opatrení pre priehrady a hrádze v majetku Slovenskej republiky by mali byť varovným signálom nielen pre správcov týchto vodných stavieb, ale aj pre orgány štátnej vodnej správy pri výkone ich dozoru. Realizácia opatrení odporúčených pre zaistenie a zlepšenie úrovne dohľadu spravidla nie je brzdená neochotou ich správcov, ale nedostatočnými finančnými zdrojmi. Odkladaním realizácie nápravných opatrení, príp. realizáciou pomalšou ako rýchlosť pribúdania nových opatrení, ktoré vyplynuli z doterajšieho technicko-bezpečnostného dohľadu, sa každoročne zvyšuje suma potrebná na investície, na riadnu údržbu a obnovu merných zariadení, na aktualizáciu údajov o materiálovom zložení telies a podložia vodných stavieb, na špecializované merania, analýzy a posudky a v neposlednom rade aj na modernizáciu príp. automatizáciu meraní technicko-bezpečnostného dohľadu.

#### **4. DOSIAHNUTÉ POKROKY**

V rámci tohto príspevku nie je priestor na popisovanie všetkých pozitívnych informácií týkajúcich sa jednotlivých vodných stavieb, kde ich vlastníci a správcovia aj na základe aktuálnych výsledkov technicko-bezpečnostného dohľadu zabezpečili potrebné sanácie, rekonštrukcie a dovybavenie alt. obnovu merných zariadení. No okrem zdôraznenia potreby zabezpečenia dostatočných prostriedkov na udržiavanie bezpečnosti a prevádzkyschopnosti hlavne vodných stavieb v správe štátneho podniku Slovenský vodohospodársky podnik, chceme poukázať na špecifické faktory bezpečnosti vodných stavieb a na ich súvis s technicko-bezpečnostným dohľadom a na snahu riešiť aspoň tie, ktoré si nevyžadujú významné investície.

Kým sa nájdú dostatočné finančné prostriedky, ktoré by umožnili výrazné zlepšenie súčasnej situácie, máme možnosť realizovať sériu menších krokov a zlepšení súčasného systému, ktoré sú založené na prehodnocovaní a analyzovaní súčasných postupov a nedostatkov. Jedným z takýchto krokov je napr. riešenie nedostatočného a nesystémového archivovania dokumentov

a výsledkov starších analýz, laboratórnych rozborov, špeciálnych meraní a taktiež pôvodnej realizačnej projektovej dokumentácie vodných stavieb, ako aj dokumentácie neskorších rekonštrukčných a sanačných prác. Taktiež zlepšenie úrovne spracovania a archivácie výsledkov dlhoročných meraní a pozorovaní technicko-bezpečnostného dohľadu v databázovej forme. V rámci toho sa v súčasnosti snažíme o rozšírenie existujúceho zoznamu vodných stavieb aj o register projektovej dokumentácie, o register dokumentov a databáz technicko-bezpečnostného dohľadu ako aj o register výsledkov analýz na kategorizovaných vodných stavbách. Už v súčasnosti majú všetky osoby odborne spôsobilé pre výkon TBD povinnosť pravidelne poskytovať poverenej organizácii elektronickú kópiu nimi vypracovaných dokumentov a poverená organizácia tieto dokumenty nielen archivuje, ale aj sprístupňuje v online režime orgánom štátnej vodnej správy. Prínosy takýchto krokov hlavne pre dlhodobú bezpečnosť a prevádzkyschopnosť vodných stavieb výrazne prevyšujú potrebné náklady poverenej organizácie na takúto činnosť.

Taktiež v oblasti rizika nedostatočnej kapacity objektov určených na prevedenie povodňových prietokov v kombinácii s neistotou stanovenia návrhových povodňových prietokov koná sekcia vôd Ministerstva životného prostredia, kde bola zriadená Pracovná skupina pre riešenie problematiky bezpečnosti vodných stavieb počas povodňového zaťaženia, ktorej predmetom činnosti je:

- zabezpečiť návrh zjednotenej metodiky stanovovania hydrologických podkladov pre návrhové povodňové zaťaženia na úrovni  $Q_{100}$  až  $Q_{10000}$ ,
- stanoviť, pre aké návrhové povodňové prietoky by mali byť bezpečné vodné stavby jednotlivých kategórií, navrhnúť legislatívne úpravy kritérií hodnotenia bezpečnosti vodných stavieb s protipovodňovou funkciou a všetkých stavieb vybudovaných priamo na tokoch s časovým harmonogramom stanoveným v závislosti od kategórií vodných stavieb,
- zabezpečiť identifikáciu stavieb, ktoré nie sú schopné bezpečne previesť novo stanovené návrhové povodňové prietoky, navrhnúť potrebné relevantné opatrenia na zvýšenie bezpečnosti vodných stavieb počas povodňového zaťaženia, úpravu manipulačných poriadkov, alternatívne štúdií a projektovej dokumentácie.

Už z rozsahu vyššie uvedeného predmetu činnosti Pracovnej skupiny pre riešenie problematiky bezpečnosti vodných stavieb počas povodňového zaťaženia je zrejmé, že realizácia si bude vyžadovať dlhší čas, no už samotné začatie činnosti tejto komisie, odbornosť členov komisie a snaha hľadať riešenia sú pozitívnymi krokmi.

## ZOZNAM LITERATÚRY

- [1] KASANA A., PANENKA P.: *DAM SAFETY IN SLOVAKIA. Proceedings of 79th symposium ICOLD on DAMS AND RESERVOIRS UNDER CHANGING CHALLENGES, Lucern, Switzerland, 2011, pp. 137-143*
- [2] BEDNÁROVÁ, E. a kol.: *Priehradné staviteľstvo na Slovensku. Originality – míľniky – zaujímavosti. Bratislava, Kuskus 2010, 207 s.*
- [3] JANDORA, J.: *Katastrofické poruchy sypaných hrádzí, Habilitačná práca, VUT v Brne, Fakulta stavební, Ústav vodných stavieb, Brno, 2007, 97 p.*
- [4] LUKÁČ, M. – BEDNÁROVÁ, E.: *Navrhovanie a prevádzka vodných stavieb. Sypané priehrady a hrázde. Bratislava, JAGA 2006, 183 s.*

*[5] KASANA, A. - MINARIK, M. - NIKOLAJ, M.: IMPACT OF GEOTECHNICAL FACTORS ON THE SAFETY OF LOW EMBANKMENT DAMS FROM THE PERSPECTIVE OF TECHNICAL AND SAFETY SUPERVISION, in SLOVAK JOURNAL OF CIVIL ENGINEERING Bratislava, 2014*

AUTOR

Ing. Andrej Kasana, PhD.

VODOHOSPODÁRSKA VÝSTAVBA, ŠTÁTNY PODNIK, úsek TBD, Bratislava  
andrej.kasana@vzb.sk

Ing. Peter Magula

SLOVENSKÝ VODOHOSPODÁRSKY PPODNIK, štátny podnik, OZ Piešťany  
peter.magula@svp.sk

# HYDRAULICKÝ MODEL VD TĚŠETICE

## HYDRAULIC MODEL OF TĚŠETICE DAM

*Martin Králík, Ladislav Satrapa*

**Abstrakt:** V roce 2014 bylo vodní dílo Těšetice, v souladu s ČSN 75 2935 "Posuzování bezpečnosti vodních děl za povodní", posouzeno z hlediska převádění extrémních povodní. V roce 2015 toto posouzení (s negativním výsledkem) vedlo k vypracování dokumentu "Studie o návrhu zkapacitnění vodního díla Těšetice", který byl impulsem k realizaci projektu "VD Těšetice, opatření na převedení KPV<sub>1000</sub> - fyzikální model, hydrotechnický výzkum". Fyzikální model sdruženého objektu VD Těšetice (přeliv, dopadiště, spodní výpusti, odpadní chodba, vývar a koryto pod vodním dílem) byl vybudován v měřítku 1:15 ve vodohospodářské laboratoři Fakulty stavební, ČVUT v Praze. V rámci měření byly ověřeny funkce jednotlivých částí sdruženého objektu a byly navrženy a otestovány úpravy vedoucí k bezpečnějšímu převádění extrémních povodní. Změny na sdruženém objektu VD Těšetice byly vyhodnoceny a jsou to tyto: odstranění chodníčku v odpadní chodbě, zmenšení průměru zavlažovacího potrubí a jeho připevnění v blízkosti horní části odpadní chodby a úpravy odtrhového nosu na začátku odpadní chodby.

**Abstract:** In 2014 the hydraulic structure Těšetice was set unsuitable in conformity with regulation ČSN 75 2935 "Posuzování bezpečnosti vodních děl za povodní" by Vodní díla TBD a.s. company. It was unsuitable primarily during passing one-thousand year control flood wave. In 2015 this fact gave rise to working out the document called „Studie o návrhu zkapacitnění vodního díla Těšetice“, which was impuls to make a project called „VD Těšetice, opatření na převedení KPV 1000 – fyzikální model, hydrotechnický výzkum“. This project was realised as a hydrotechnical study on model. The physical model of the hydraulic structure Těšetice (dam, engine room of low outfalls, low outfalls, safety overflow, impact site, waste corridor, stock and stream under the dam) was built in measure 1:15 in water-management laboratory in Faculty of civil engineering of Czech technical university in Prague. Then were measured and verified functions of each part of hydraulic structure (overflow, impact site, waste corridor and stock) on this model during passing extreme flood. The most suitable changes on hydraulic structure Těšetice were chosen removing of the path in waste corridor, increase of diameter of irrigating pipe and its setting close to the top of waste corridor and lengthening the cog on the beginning of the waste corridor.

**Klíčové slova:** hydraulický model, povodeň.

### 1. ÚVOD

Vodní dílo Těšetice bylo vybudováno na základě projektu a hydraulického posouzení z osmdesátých let minulého století. Návrhové parametry jednotlivých částí funkčních zařízení byly odvozovány následovně: bezpečnostní přeliv, dopadiště, odpadní chodby, vývar a koryto pod hrází na průtok  $Q_{100}$ , který byl platný v osmdesátých letech minulého století. Současný návrhový průtok  $Q_{100}$  a kontrolní průtok  $Q_{1000}$  jsou odlišné. Vodní dílo Těšetice bylo v roce 2014 společností Vodní díla TBD a.s. stanoveno jako nevyhovující vzhledem k normě ČSN 75

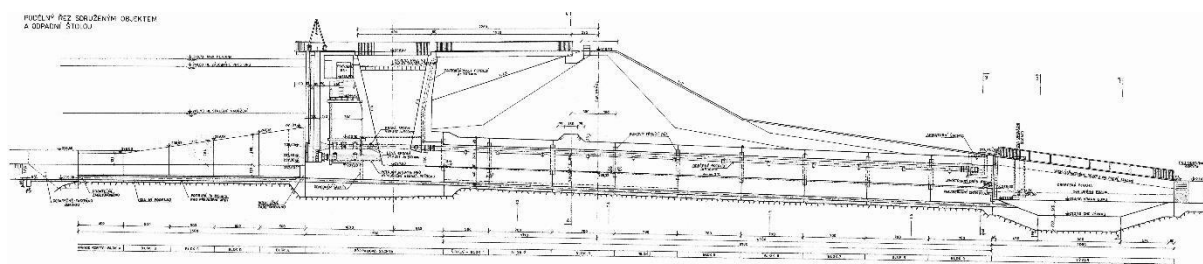
2935 „Posuzování bezpečnosti vodních děl za povodní“ a to především při průchodu kontrolní tisícileté povodňové vlny  $KPV_{1000}$ .

Předmětem zadaného hydraulického modelového výzkumu, uskutečněného ve vodohospodářské laboratoři Fakulty stavební ČVUT v Praze bylo zpřesnit a ověřit funkci přelivu, dopadiště, odpadní chodby a vývaru při převádění ovlivněných povodňových průtoků  $Q_1 - Q_{1000}$ . Dále provést variantní návrh reálných opatření pro bezpečné převádění povodňových průtoků a jejich následné ověření modelovým výzkumem.

## 2. POPIS VODNÍHO DÍLA

Vodní dílo Těšetice bylo vybudováno v letech 1979 – 1983 na vodním toku Únanovka a nachází se na Moravě 7 km severozápadně od města Znojmo. Nádrž byla navržena pro závlahy okolních sadů a vinic (286 ha) a tento účel přetrvává dodnes. Dalšími účely jsou zajištění minimálních zůstatkových průtoků, částečná transformace povodňových průtoků a sportovní rybolov [1].

Vodní dílo Těšetice je sypaná přímá zemní hráz, která je v koruně dlouhá 154 m. Koruna hráze není zpevněná, je pouze zatravněná, proto její pojezd je možný jenom v případě oprav. Návodní líc je zpevněn kamenným pohozelem a vzdušní líc je zatravněn a stabilizován přítěžovací lavicí ze zemního materiálu. U levého břehu nádrže je umístěn sdružený objekt sloužící pro regulaci hladiny vody v nádrži, pro vypuštění nádrže i pro převedení povodňových průtoků. Přeliv vodního díla je šachtový a navazuje na odpadní chodbu, která je ze železobetonu. Do spadiště jsou zaústěny dvě spodní výpusti kruhového průřezu každá o průměru 500 mm. V odpadní chodbě je umístěno odběrné zavlažovací potrubí, které je zaústěno do čerpací stanice pod hrází [2].



Obr. 1: Pohled na sdružený objekt, odpadní chodbu a vývar VD Těšetice

## 3. POSUDEK BEZPEČNOSTI VODNÍHO DÍLA ZA POVODNÍ

VD Těšetice je podle svého významu a stupně ohrožení území pod dílem zařazeno pro potřeby odborného technickobezpečnostního dohledu do III. kategorie. Na základě tabulky „Požadovaná míra bezpečnosti vodních děl při povodni“ uvedené v ČSN 75 2935 se VD Těšetice řadí do skupiny vodních děl s označením jako „STŘEDNÍ“ z hlediska pravděpodobných škod při hypotetické havárii vodního díla. Skupina se dělí na dvě podskupiny – u první „ztráty lidských životů se očekávají“, u druhé pak „ztráty lidských životů jsou

nepravděpodobné“. U první podskupiny je požadovaná míra bezpečnosti  $N = 1\,000$  let, u druhé pak  $N = 200$  let. Vzhledem k potenciálnímu riziku ohrožení lidských životů byla za požadovanou míru bezpečnosti díla zvolena pravděpodobnost výskytu kulminace KPV  $p_Q = 0,001$  (doba opakování  $N = 1\,000$  let).

Předmětem posouzení bylo na základě prověření hydraulických kapacit všech dostupných zařízení díla, která jsou podle manipulačního řádu určena pro převádění povodňových průtoků, posoudit bezpečnosti přehrady za extrémní povodňové situace, charakterizované kontrolní povodňovou vlnou  $KPV_{1\,000}$ . Posouzení bylo vypracováno podle ČSN 75 2935. Výsledkem posouzení bylo, že vodní dílo není schopné převézt kontrolní povodňovou vlnu.

Požadavek pro bezpečné převedení KPV obsahuje kritérium:  $KMH \leq MBH$ . Podle kritéria  $KMH \leq MBH - 249,37$  m n. m.  $> 248,97$  m n. m. Z výsledků posouzení plyne, že VD Těšetice není zabezpečeno na převedení aktuální  $KPV_{1\,000}$  [3]. Vzhledem k uvedenému negativnímu výsledku je nutné navrhnout a realizovat nápravná a nouzová opatření.

#### 4. KAPACITA PŘELIVU, DOPADIŠTĚ, ODPADNÍ CHODBY A VÝVARU

Hydraulické jevy, proudění vody a hydraulické charakteristiky je možno zkoumat na skutečném vodním díle, nicméně z objektivních příčin je tento výzkum značně ztížen, proto se přistupuje ke zkoumání na zmenšeném modelu v laboratoři. Počáteční, okrajové a limitující podmínky jsou dány rozměrovou, silovou a hmotnostní analýzou, která vychází z podmínek zkoumání jevů na modelu pomocí Froudova zákona mechanické podobnosti.

Kapacita přelivu, dopadiště, odpadní chodby a vývaru je komplexní záležitost a je potřeba k jednotlivým prvkům přistupovat dohromady, jelikož proudění vody v jedné části významně ovlivňuje proudění vody a kapacitu částí navazujících. Ze vzorců hydrauliky vyplývá nutnost spolehlivě stanovit součinitele (přeliv, ztráty a drsnost potrubí apod.), což u sdruženého objektu je velice nejisté. Při vyšších průtocích je závažnost problému navíc umocněna přechodem jednoho hydraulického jevu do druhého, vznikem proudění vody se vzduchem (promísená kapalina). Toto složité proudění v důsledku strhávání vzduchu a naopak uvolňování vzduchu není hydraulicky a fyzikálně stabilní v žádné části sdruženého objektu (tlakové a hladinové pulzace).

**Bezpečnostní přeliv.** Pro výpočet přelivu byla použita rovnice přepadu ve tvaru:

$$Q = \frac{2}{3} \mu b_0 \sqrt{2gh}^{3/2}$$

Dosazením do této rovnice součinitele přepadu  $\mu$  od různých autorů dochází k mírným odlišnostem při výpočtu  $Q$  a vykreslení konzumní křivky.

**Dopadiště.** Výpočet hloubky vody v dopadišti je důležitý pro navazující výpočet průběhu hladiny v odpadní chodbě. Při výpočtu hloubky vody na konci dopadiště tj. na začátku odpadní chody se vycházelo z Bernoulliho rovnice se ztrátami v šachtě a dopadišti, které vyplývají z

provzdušnění proudů a změny směru. Ztráty provzdušněním proudů a změnou směru byly analogicky použity z předchozích výzkumů.

**Odpadní chodba.** Proudění vody v odpadní chodbě je nerovnoměrné o volné hladině s hloubkou na začátku odpadní chodby, která je vypočítaná na základě teoretických předpokladů pro tlumení kinetické energie vody v dopadišti. Pro výpočet nerovnoměrného proudění bylo použito řešení Bernoulliho rovnice po úsecích z výchozí polohy hladiny. Další předpoklad je nemožnost korektně postihnout do výpočtů vliv zavlažovacího potrubí a příčných nosných konzol pro toto potrubí. Z těchto důvodů je výpočet pouze teoretický a z výpočtu podélných hladin v odpadní chodbě vyplývá, že odpadní chodba je dostatečně kapacitní, bohužel jak ukázalo měření na fyzikálním modelu, není tomu tak.

**Vývar.** Při posouzení vývaru se vychází z rovnic pro výpočet první a druhé vzájemné hloubky a z porovnání s hladinou v korytě za vývarem (součinitel zatopení). V teoretických výpočtech je šířka odpadní chodby stejná jako šířka vývaru – v případě VD Těšetice tomu tak není, proto se výpočet může mírně odlišovat od skutečnosti.



*Obr. 2: Foto sdruženého objektu - bezpečnostní přeliv a strojovna spodních výpustí*

## 5. HYDROTECHNICKÝ MODELOVÝ VÝZKUM

Cílem modelového výzkumu bylo ověřit a zpřesnit hydraulické výpočty bezpečnostního přelivu, dopadiště, spodních výpustí, odpadní chodby a vývaru. Kapacitu přelivu ovlivňuje tvar přelivné plochy, drsnost přelivné plochy, předpolí bezpečnostního přelivu a dolní voda z dopadiště. Kapacitu odpadní chodby ovlivňuje drsnost stěn a dna odpadní chodby, chodniček, závlahové potrubí a vzduch nad hladinou vody v odpadní chodbě. Všechny tyto detaily bylo potřeba zohlednit při fyzikálním modelování, aby výsledky byly co nejspolehlivější.



Obr. 3: Foto z měření hladin v odpadní chodbě při  $Q_{1000}$  na VD Těšetice (současný stav)



Obr. 4: Foto z měření hladin v odpadní chodbě při  $Q_{1000}$  na VD Těšetice (návrhový stav)  
Fyzikální model VD Těšetice (hráz, strojovna spodních výpustí, spodní výpusti, bezpečnostní přeliv, dopadiště, odpadní chodba, vývar a koryto pod vodním dílem) byl navržen a postaven v měřítku  $M = 1:15$ . Toto měřítko vychází z rozboru geometrických, tíhových, průtokových, časových a kvalitativních podmínek. Celý model má délku  $L = 7$  m, výšku  $H = 1,5$  m a šířku  $B = 1,5$  m. Měřítko rychlosti je  $M_v = 3,87$ , měřítko průtoků je  $M_Q = 871$  a měřítko času je  $M_t = 3,87$ .

## 6. VÝSLEDKY EXPERIMENTŮ

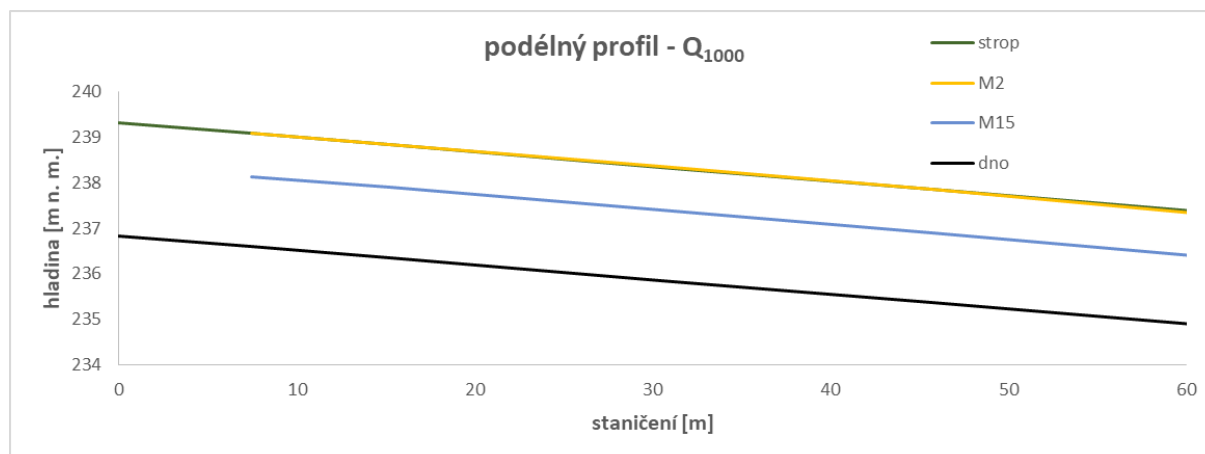
Celkem bylo provedeno 19 různých kombinací měření variant úprav – zavzdušnění začátku odpadní chodby, chodník a závlahové potrubí v odpadní chodbě, úprava dopadiště, úpravy odtrhového nosu a manipulace se spodními výpustmi. V rámci některých variant měření byly rovněž prověřovány a optimalizovány úpravy vývaru [4].

Pro všechny varianty měření se sledovaly polohy hladin v nádrži, dopadišti, odpadní chodbě, vývaru a korytě pod hrází. Při všech variantách úprav na modelu byly měřeny tlaky v odpadní chodbě a podtlaky v zavzdušňovacím potrubí odpadní chodby. Byly hodnoceny měrné křivky (kapacita) stávajícího bezpečnostního přelivu a nově navrženého i s vlivem zatopení dopadiště z odpadní chodby. Byly vyhodnocovány kombinace otevření spodních výpustí při převádění povodňových průtoků a jejich vliv na proudové poměry v odpadní chodbě. Detailně byly hodnoceny variantní úpravy odtrhového nosu na začátku odpadní chodby. Úpravy ve vývaru se snažily vylepšit funkci vývaru (tlumení kinetické energie) při extrémních povodních pomocí rozrážečů.

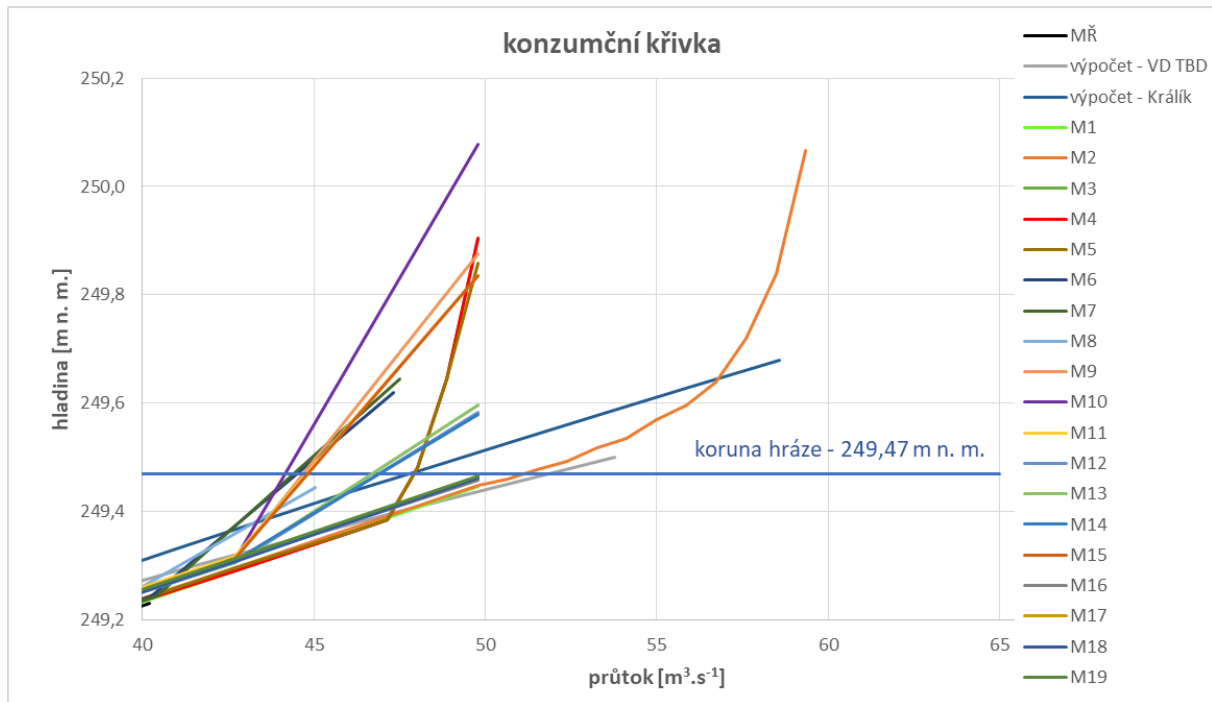
Stávající stav je pro odpadní chodbu zcela nevyhovující při převádění  $Q_{500}$  a při  $Q_{1000}$ . V odpadní chodbě dochází k tlakovému proudění a k přechodovým jevům mezi prouděním o volné hladině a tlakovým prouděním, což je z hlediska namáhání dilatačních spár nepřijatelné (podtlaky a pulzace tlaku). Tlakové pulzace jasně ukazují, že stávající stav je značně nevhodný pro dynamické namáhání odpadní chodby – dilatačních spár. Tyto negativní pulzace se



vyskytují v největší míře na začátku odpadní chodby. Všechny úpravy na přelivu, dopadišti a odpadní chodbě jsou pro proudění v odpadní chodbě velice přínosné – nevyskytuje se zde tlakové proudění s velkými pulzacemi. Zásadní úpravy v odpadní chodbě, které pozitivně ovlivňují tlaky a tlakové pulzace jsou – odstranění chodníčku a příčných nosníků pro závlahové potrubí.



*Obr. 5: Srovnání hladin v odpadní chodbě stávajícího stav (M2) a navržená úprava (M15) Kapacita stávajícího bezpečnostního přelivu je dostatečná z hlediska možného přelití hráze, ale nedostatečná vzhledem k mezní bezpečné hladině. Návrhový stav – odstranění chodníku a zmenšení zavlažovacího potrubí paradoxně zhorší situaci hladiny v nádrži – je horší z důvodu překročení mezní bezpečné hladiny i úrovně koruny hráze při povodni  $Q_{1000}$ . Kapacita bezpečnostního přelivu je pro všechny varianty úprav v dopadišti a na začátku odpadní chodby stejná až do okamžiku zahlcení dopadiště k přelivné hraně. U každé úpravy dopadiště a začátku odpadní chodby je přesný okamžik zahlcení prostoru dopadiště mírně posunut a to v souvislosti s podmínkami proudění vody v místě úprav na začátku odpadní chodby. Při detailním porovnání měrných křivek v oblasti zahlcení přelivu je možno dojít k závěru, že nejlepší varianty pro kapacitu přelivu jsou ty varianty s částečným ubouráním odtrhového nosu o 150 mm.*



Obr. 6: Srovnání kapacity bezpečnostního přelivu při extrémních povodních (zatopený přeliv)

Stávající vývar plní svoji funkci (tlumení kinetické energie) pouze do průtoku  $Q_{100}$ . Umístěním rozrážečů do vývaru lze dosáhnout lepší funkce vývaru až do průtoku  $Q_{500}$ .

## 7. ZÁVĚR

Navrhnout a posoudit bezpečnostní přelivy pomocí teoretických výpočtů hydrauliky lze v jednoduchých případech, kdy nejsou jednotlivé hydraulické jevy vzájemně ovlivňovány a nedochází k nestandardnímu proudění vody v objektu i jeho okolí. K největší nepřesnosti v hydraulických výpočtech dochází u proudění provzdušněné vody, kde je mimořádně složité hydraulické proudění, které je obtížně popsatelné základními hydraulickými rovnicemi. Z těchto důvodů je teoretický výpočet velice složitý a navíc s řadou nepřesných vstupních parametrů. Proto je nejpřesnější možností, nejvíce odpovídající skutečnosti, hydraulický fyzikální výzkum na modelu. Pro případ aplikace analogie pro posuzované objekty s již provedenými výzkumy, lze použít hydraulický modelový výzkum v omezené míře, v závislosti na podobné geometrii obou zkoumaných objektů.

Hydraulické fyzikální modelování má své opodstatnění při řešení složitých konstrukčních uspořádání bezpečnostních přelivů - pojistných zařízení přehrad a při posuzování jejich kapacity a bezpečnosti. Při posouzení původního stavu bezpečnostních přelivů a navazujících objektů a při návrhu rekonstruovaných pojistných zařízení přehrady na VD Těšetice byl použit fyzikální model, který věrně popisuje proudění na tomto objektu. Výsledky těchto výpočtů a měření lze použít pro návrh, posouzení a optimalizaci dílčích objektů bezpečnostních zařízení přehrad. Všechna vyhodnocení budou respektována a použita při výběru výsledného návrhu

nového kapacitnějšího řešení bezpečnostních přelivů. Na základě výsledků fyzikálního modelového výzkumu může být vhodně řešena projektová dokumentace pro konkrétní vodní dílo. Přešetřením měrných křivek bezpečnostních přelivů dojde k jejich zpřesnění a tím i k zpřesnění údajů o průtoku přes vodní dílo při povodni a k lepšímu vyhodnocení povodní.

#### **SEZNAM LITERATURY**

1. Broža, V. a kolektiv: *Přehrady Čech Moravy a Slezska. 1. vydání. Liberec: Knihy 555, 2005.*
2. *Povodí Moravy s. p.: Manipulační řád pro vodního díla Těšetice a Bohuňovský rybník na toku Únanovka v km 6,300, 2014,*
3. *Vodní díla TBD a. s.: VD Těšetice – posouzení VD za povodní, 2014,*
4. *Satrapa, L.: VD Těšetice – opatření na převedení KPV 1000 – fyzikální model, Praha, 2017.*

#### **VÝZKUMNÝ ZÁMĚR, PROJEKT**

Příspěvek vznikl za podpory projektu SGS18/054/OHK1/1T/11 „Kombinovaný výzkum proudění vody na hydrotechnických stavbách“.

#### **AUTOŘI**

Ing. Martin Králík, Ph.D.

doc. Ing. Ladislav Satrapa, CSc.

ČVUT v Praze, Fakulta stavební, Thákurova 7, 166 29 Praha 6 email: králík@fsv.cvut.cz

## PREVÁDZKOVANIE VODNÝCH NÁDRŽÍ Z POHLADU ZMIEN OD ICH UVEDENIA DO PREVÁDZKY

### WATER RESERVOIRS OPERATION FROM THE POINT OF VIEW OF CHANGES SINCE THEIR WERE PUT INTO OPERATION

*Dušan Mydla, Božena Písečná, Eubomír Uhorščák*

**Abstrakt:** Problematiku dlhodobého prevádzkovania vodných nádrží je možné zhrnúť do štyroch základných oblastí. Patria medzi ne: zmena hydrologického režimu v povodí nad vodnou stavbou, pretváranie základných stavebných objektov z dôvodu konsolidácie zemných častí príp. zvetrávania betónových konštrukcií, opotrebovanie strojno – technologickej výzbroje a zmena celospoločenskej objednávky na vodu. Príspevok je zameraný na zhrnutie doterajších základných skúseností na vodných nádržiach v pôsobnosti SVP š. p. odštepny závod Košice, ktorý zabezpečuje prevádzku akumuláčnych nádrží postavených od roku 1779 – VS Uhorná po rok 1993 – VS Dubinné.

**Abstract:** The problem of long-term operation of water reservoirs can be summarized in four basic areas. They include: the change of the hydrological regime in the basin above the water structure, the transformation of the basic building objects due to the consolidation of the earth parts, abrasion of the concrete structures, wear of machine-technological equipment and change of the nation-wide order for water. The paper is aimed to summarize the previous experience on water reservoirs maintained by SVP s. e., Branch office Košice, which provides the operation of storage reservoirs built from the year 1779 - VS Uhorná till the year 1993 - VS Dubinné.

## ÚVOD

Ovplyvnenie prirodzeného hydrologického procesu v dotknutom povodí je základným stimulom budovania vodných stavieb umožňujúcich podstatnou mierou podieľať sa na jeho priebehu. Základným podnetom je, a predovšetkým by malo byť, vytvorenie optimálnych podmienok pre všestranný sociálno – ekonomický rozvoj spoločnosti, teda podmienok pre rozvoj ľudskej rasy.

Ani jedno vodné dielo, resp. v zmysle novej legislatívy vodná stavba (ďalej len VS), v ponímaní dnešného vzťahu k tvorbe krajiny nebolo budované jednoúčelovo, ale zahŕňalo v sebe prestrešenie celospoločenskej potreby aj s výhľadom na najbližšie prognózovateľné obdobie. Je zároveň na pravom mieste si uvedomiť vzťah zodpovednosti za takto vybudované opatrenia a ich očakávaný koncový prínos v rôznych etapách ich životnosti!! Avšak aká je reálna skúsenosť s vývojom vybudovaných technických opatrení zameraných na hospodárenie s vodou? V nasledovnom príspevku uvedieme niekoľko reálnych skúseností, ktoré sú viazané na hydrologickú vyváženosť, konsolidáciu stavebných objektov a udržateľnosť prevádzkovej bezpečnosti.

Berúc do úvahy základný impulz budovania vodných stavieb v dávnej či v nedávnej minulosti, je možné práve požiadavku na zabezpečenie pomerne vyrovnaného hydrologického režimu vodného toku v dotknutej lokalite pod navrhovanou VS považovať za rozhodujúcu.

V rámci doterajších skúseností z prevádzky vodných nádrží je možné zhrnúť problematiku vplyvov na ich dlhodobé prevádzkovanie do štyroch základných oblastí, ktoré sú popísané v jednotlivých kapitolách príspevku:

1. zmena hydrologického režimu vodnej nádrže
2. zmena hydrotechnicko - stavebných objektov
3. starnutie strojno-technologických častí VS
4. zmena celospoločenskej objednávky na vodu

## 1. ZMENA HYDROLOGICKÉHO REŽIMU VODNEJ NÁDRŽE

Vodná stavba sa v priebehu svojej životnosti musí vysporiadať s niekoľkými časovo - kvalitatívnymi zmenami majúcimi zásadný vplyv na jej prevádzku. Asi rozhodujúcim atribútom z pozície správcu nádrže je zabezpečenie „základnej“ resp. nosnej funkcie nádrže.

Ak neberieme do úvahy zmenu vstupných hydrologických veličín na úseku hlavných prítokov do nádrží, potom zásadný vplyv na hydrologický režim nádrže má jej akumulácia schopnosť. Na východe Slovenska je situácia v tejto oblasti mierne zložitá hlavne z týchto dôvodov:

- dĺžka radu hydrologických pozorovaní pri návrhu VS,
- hustota pozorovacej siete,
- zmena v režime obhospodarovania krajiny.

Asi najvýraznejší dopad v tomto smere malo prehodnotenie hydrologického režimu už počas prevádzky na VS Ružín, ktoré si vyžiadalo z technického hľadiska opatrenia na zvýšenie hydraulického zabezpečenia VS Ružín I. a Ružín II. dobudovanie nových výpustných zariadení o celkovej projektovanej kapacite  $125 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  (R I.) a  $141 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  (R II.).

	N-ročné prietoky v $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$					
	1963		1974		2016	
	Q <sub>100</sub>	Q <sub>1000</sub>	Q <sub>100</sub>	Q <sub>1000</sub>	Q <sub>100</sub>	Q <sub>1000</sub>
VS Ružín	500	700	655	890	645	930

Tab. č. 1 - Zmena hydrologických parametrov VS Ružín I.

Tento príklad je našťastie v rámci činnosti SVP š. p. OZ KE doteraz ojedinelým, čo však nevylučuje pravdepodobnosť opakovania sa uvedených problémov v rámci prehodnocovania bezpečnosti VS v súvislosti so schopnosťou prevádzkania nových návrhových pretokov s pravdepodobnosťou 0,01. Z uvedeného dôvodu prevádzkovateľ uvedených vodných nádrží pristúpil v spolupráci s Výskumným ústavom vodného hospodárstva Bratislava k vytvoreniu fyzikálnych modelov bezpečnostných prípadov viacerých spravovaných VS, čím bola vytvorená základná možnosť pre teoretické posúdenie schopností jednotlivých nádrží previesť extrémne prietoky.

Avšak to neplatí v prípade posudzovania vodných nádrží v dôsledku akceptovateľných zmien hydrologických parametrov z dôvodu zmeny disponibilného objemu nádrží.

VS	Celkový objem v m <sup>3</sup>			Zmena celkového objemu v %
	projektovaný	zameraný	v roku	
Bukovec	23 400 000	21 760 000	1994	7,01
Ružín I	59 000 000	49 451 400	2013	16,18
Ružín II	4 550 000	4 430 000	1995	2,64
Zemplínska Šírava	334 000 000	324 889 000	1998	2,73
Veľká Domaša	187 500 000	172 722 000	2009	7,88
Starina	59 870 020	56 950 676	1990	4,88
Palcemanská Maša	11 063 000	10 354 936	1989	6,40

Tab.č.2 - Pehľad straty objemu nádrží vplyvom zanášania

Zmena tzv. „hydrologickej výkonnosti VS“, teda schopnosti nádrže ovplyvňovať hydrologický režim vodného toku v nižšie položenom úseku, priamo súvisí s veľkosťou a stavom povodia, ako aj s charakterom nádrže. Ako je to konkrétne s úbytkom jednotlivých priestorov vodných nádrží v správe SVP š. p. OZ Košice je prehľadne spracované v nasledovnej tabuľke:

Vodná stavba	Celkový objem v m <sup>3</sup>			Zmena objemu v %	
		projektovaný	zameraný v roku		
Bukovec	celkový	23 400 000	21 760 000	1994	7,00
	max. pr. hl.	22 332 000	20 779 730		6,95
	min. pr. hl.	857 000	745 671		12,99
Ružín I.	celkový	59 000 000	49 451 400	2013	16,18
	max. pr. hl.	48 900 000	45 953 576		6,03
	min. pr. hl.	6 300 000	4 696 315		25,46
Zemplínska Šírava	celkový	334 000 000	324 889 000	1998	2,73
	max. pr. hl.	234 000 000	229 364 902		1,98
	min. pr. hl.	57 000 000	56 309 618		1,21
Veľká Domaša	celkový	187 500 000	172 722 000	2009	7,88
	max. pr. hl.	166 500 000	153 010 630		8,10
	min. pr. hl.	18 000 000	17 051 514		5,27
Starina	celkový	59 870 020	56 950 676	1990	4,88
	max. pr. hl.	48 780 000	48 784 768		- 0,01
	min. pr. hl.	3 759 000	3 758 932		0,00
Palcemanská Maša	celkový	11 063 000	10 354 936	1989	6,40
	max. pr. hl.	11 063 000	10 354 936		6,40
	min. pr. hl.	630 000	625 291		0,75

Tab.č.3 – Vyhodnotenie charakteru procesu zanášania

Z uvedených výsledkov je zrejmé, že základný vplyv na hydrologickú výkonnosť nádrže má morfológia brehov a dna, dĺžka prevádzky nádrže v spojitosti s rozvojom sukcesných procesov na konci vzdutia. Ako príklad je možné uviesť VS Ružín I. kde intenzívne zanášanie prebieha predovšetkým na hlavných prítokoch Hornád a Hnilec s dnes už dekádu trvajúcou sukcesiou.

Avšak úzke údolie počas prechodu povodní spôsobuje aj transport splavenín do nižších častí. To v spojení s abráziou brehov spôsobuje značný úbytok objemu stáleho priestoru.

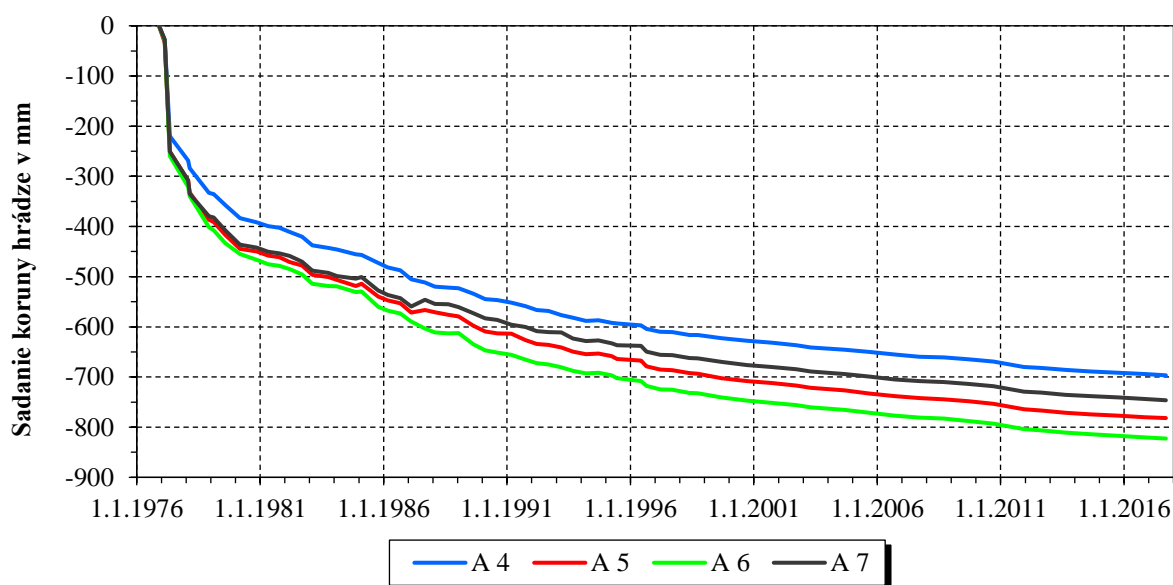
## 2. ZMENA STAVEBNÝCH OBJEKTOV

Medzi tieto atribúty starnutia VS zahrňame predovšetkým konsolidáciu jednotlivých častí sypaných priehrad a degradáciu betónových častí objektov.

Pri sypaných priehradách má základný vplyv strmosť, resp. štihlosť navrhovaného stavebného objektu ako aj jeho jednotlivých súčastí. Skúsenosti sú na viacerých VS v našej správe. Napr. v prípade VS Ružín I. (kamenitá priehrada s hlinitým zalomeným tesnením a dvojvrstvovým prechodovým filtrom) bolo už počas prvých 10 rokov prevádzky zaznamenané výrazné poklesnutie úrovne hornej hrany tesniaceho jadra. Celková konsolidácia sa prejavila aj poklesom úrovne koruny hrádze, ktoré je viditeľné aj v súčasnosti voľným okom. Snaha o zachovanie pôvodných hydrologických parametrov nádrže primäla správcu v rokoch 1986 až 1987 k riešeniu problému, ktorý bol zameraný na navýšenie úrovne tesniaceho jadra na výškovú kótu 328,50 m n. m. To predstavovalo miestami navýšenie až o 1,7 m.

Aj keď menej dramaticky, ale predsa sa situácia zopakovala aj na VS Bukovec, ktorá je síce menej štihlou priehradou, ale konštrukčnou skladbou veľmi podobná VS Ružín I. Napriek skutočnosti, že pri jej výstavbe už boli lepšie skúsenosti so sypaním rockfillových hrádzí, čo sa prejavilo hlavne v porovnaní s Ružínom I. menším sadaním, kontrolnými kopanými sondami z koruny hrádze v roku 1993 bolo zistené, že koruna tesniaceho jadra nedosahuje projektovanú úroveň. V prípade dosiahnutia maximálnej retenčnej hladiny v nádrži tak hrozilo preliatie hlinitého tesnenia hrádze. Do vybudovania podzemnej tesniacej steny realizovanej tryskovou injektážou v období apríl až júl 2003 bola maximálna prevádzková hladina znížená o 1,0 m.

Vývoj sadania bodov na korune približne v strede hrádze VS Bukovec



Hore uvedené výrazné pretvorenia spôsobené konsolidáciou nie sú až tak výrazne proklamované na zemných sypaných hrádzach. Z uvedeného je možné predbežne hodnotiť ako dôležitý faktor dosiahnutia požadovanej miery zhutnenia kamenitých stabilizačných častí, ich previazanosť s tesniacim jadrom a v neposlednej rade aj celkovú expozíciu VS. Tá môže mať, v kombinácii s použitým materiálom na ich zhotovenie, výrazný vplyv proces zvetrávania a stability predovšetkým vzdušnej strany svahov hrádze.

U betónových gravitačných priehrad je zasa problematická predovšetkým stabilita povrchových vrstiev a ich odolnosť voči zvetrávaniu. Neprimeraný rozvoj degradácie povrchových vrstiev betónu má jednak, menej problematický estetický aspekt, ako aj dopad na stav oceľovej výstuže, čo by mohlo viesť pri dlhšie trvajúcej ignorancii k dopadom na celkovú stabilitu VS. Problémová sa môže javiť z dlhodobého hľadiska aj odolnosť tzv. pracovných škár pred neželeným priesakom vody. Ako naložiť s týmto problémom, je otázka pre správcu VS Palcanská Maša na najbližšie obdobie.

Problém starnutia betónových konštrukcií VS už teraz považujeme za problém dlhodobého charakteru a pokusy o jeho riešenie je možné hodnotiť ako uspokojivé iba v niektorých prípadoch. Reprofilácia betónov realizovaná v posledných 15-tich rokoch sa neujala na VS Palcanská Maša (rok realizácie 2004 – 2005), VS Ružín II. (rok realizácie 2012 - 2013) a ani na VS Pod Vihorlatom – bezpečnostný prípad Zalužice (rok realizácie 2015). Doteraz bezproblémové skúsenosti sú s reprofiláciou betónov realizovaných v rámci rekonštrukcie hate Vyšné Opátske vykonaných v roku 2015.

Pri budovaní veľkých priehrad je veľmi dôležitý faktor dotesnenia podzákladia hrádze, čomu sa ja venuje počas prevádzky maximálna pozornosť a v rámci výkonu technicko-bezpečnostného dohľadu aj náležitý priestor. V tejto oblasti je pozitívne hodnotenie, že okrem VS Ružín, kde bolo v dôsledku intenzívneho pretvorenia tak telesa hrádze ako aj vlastného podložia nutné v rokoch 1986 – 1987 vykonať dotesnenie pravej strany, na nami spravovaných VS neboli zaznamenané výraznejšie zmeny svedčiacie o neprimeranej degradácii podložia.

### 3. STÁRNUTIE STROJNO-TECHNOLOGICKÝCH ČASTÍ

Hodnotenie tejto oblasti je veľmi citlivé vo vzťahu k posúdeniu vplyvu neprimeraného opotrebovania na stav technológie a k vplyvu všeobecných znalostí v rámci strojného inžinierstva a jeho aplikácie vo vodnom hospodárstve.

No v konečnom dôsledku ako najcitlivejšie prvky hodnotíme nasledovné:

- rotačno - pohonné časti,
- elektromotorické časti trvalo umiestnené vo vlhkom prostredí vrátane vzduchotechniky,
- stav tesniacich komponentov.

V prvej oblasti sme zaznamenali negatívne skúsenosti predovšetkým na plášťovom rozstrekovacom uzávere dnového výpustu na VS Veľká Domaša. Stav jednotlivých prevodových súčastí si v roku 2006 vyžiadala ich komplexnú výmenu. Na potrebu prevádzkovateľa upozornil nepravidelných chod počas kontrolných manipulácií. Avšak



k uvedeným nedostatkom dochádza aj na zariadeniach inštalovaných na malých vodných nádržiach, kde je podiel kontrolných manipulácií podstatne nižší, no obdobné prípady majú oveľa fatálnejšie následky, ktoré si však vyžadujú takmer vždy mimoriadnu manipuláciu spojenú s celkovým vypustením nádrže.

Druhú oblasť môžeme hodnotiť oveľa stručnejšie. Prakticky ani na jednej vodnej stavbe v súčasnosti nemáme funkčnú časť vzduchotechniky, ktorá by hlavne v letných mesiacoch zmierňovala dôsledky nadmernej vlhkosti vo vnútorných priestoroch priehradných múrov.

Stav tesniacich komponentov zahŕňa tak stav tesniacich pryží HT zariadení, napr. segmentových či klapkových uzáverov, ktoré si vyžadujú pravidelnú obmenu v cca 15 ročných intervaloch. Medzi nie zanedbateľné tesniace prvky môžeme zahrnúť aj kavitáciou a obrusovaním postihnuté kovové dosadacie plochy napr. Johnsonových obtekaných uzáverov. Vzhľadom na nedostatok miesta je rekonštrukcia takmer nemožná a počas prevádzky si vyžaduje akceptáciu strát na odtoku.

## **ZÁVER**

Berúc do úvahy súčasný stav spoločnosti a hlavne na Slovensku jej postoj k potrebe budovania nových vodných nádrží umožňujúcich rozumné ovplyvňovanie hydrologického režimu povrchových vôd v prospech človeka, je nevyhnutnosťou s postupujúcim časom venovať neustále zvyšujúcu pozornosť stavu jednotlivých stavebných objektov a prevádzkových súborov. Tá sa musí prenášať tak do aktualizácie prevádzkových poriadkov, dôslednosti vykonávania prevádzkových zásahov periodického charakteru, plánovania a výkonu opráv väčšieho rozsahu. Ale taktiež je potrebné na tieto účely pravidelne zabezpečovať dostatok finančných zdrojov akceptujúcich neustály vývoj cien na trhu práce.

## **AUTOR**

Ing. Dušan, Mydla  
SVP, š. p. OZ Košice, Ďumbierska 14, Košice  
e-mail: Dusan.Mydla@svp.sk

Ing. Božena, Písečná  
SVP, š. p. OZ Košice, Ďumbierska 14, Košice  
e-mail: Bozena.Pisecna@svp.sk

Ing. Ľubomír, Uhorsčák  
VODOHOSPODÁRSKA VÝSTAVBA, š. p., Ďumbierska 26, Košice  
e-mail: lubomir.uhorscak@vzb.sk

## OPRAVA ASFALTOVEJ PEČATE NA SVAHOCH PRÍVODNÉHO KANÁLA VODNÉHO DIELA GABČÍKOVO

*Ing. Rastislav Rajniak*

**Abstrakt:** V roku 2017 sa po 25 ročnej prevádzke realizovala oprava asfaltobetónového povrchu návodných svahov prírodného kanála Vodného diela Gabčíkovo. Oprava bola vykonaná len v rozmedzí rozkvyvu prevádzkových hladín v celkovej dĺžke 32,9 km. Použitý materiál - AQUAFIN RS-300.

### ÚVOD

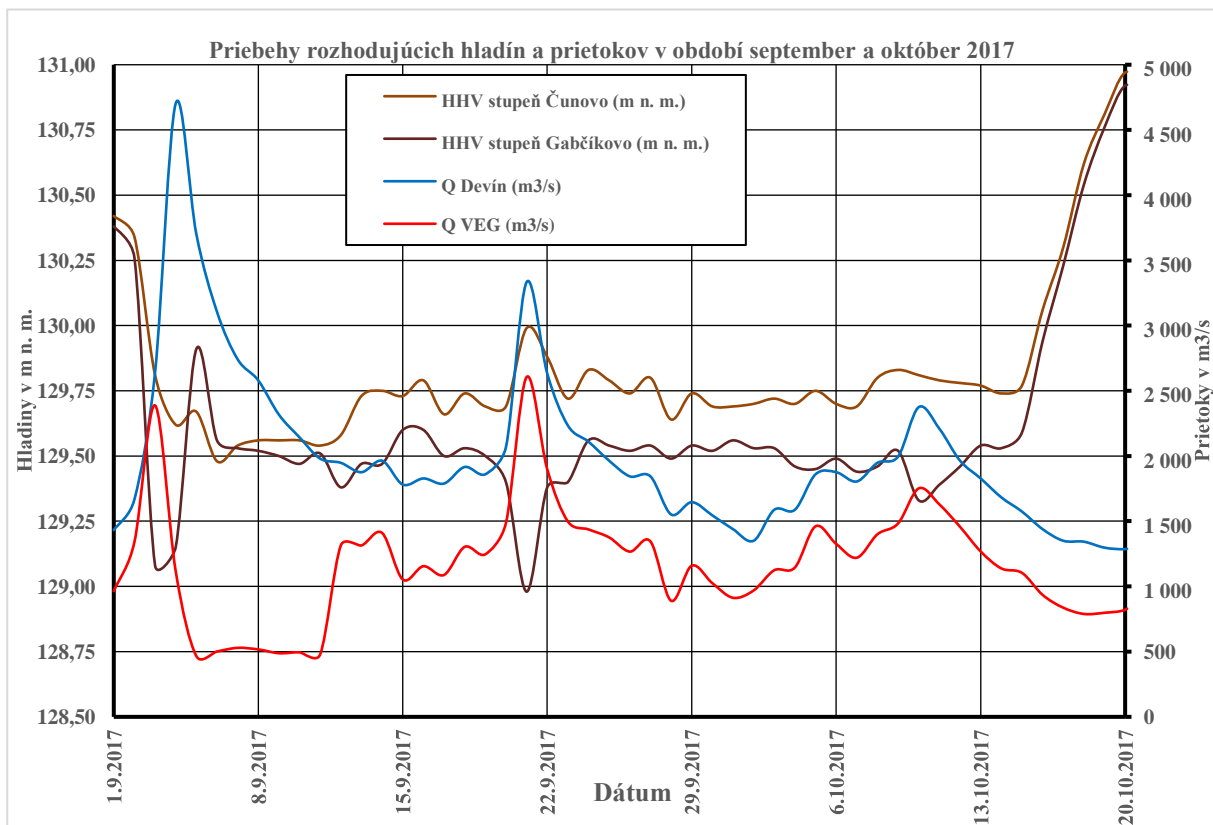
V týchto dňoch si pripomíname 26 rokov od uvedenia Vodného diela Gabčíkovo do prevádzky. Z dôvodu zabezpečenia funkčnosti, spoľahlivosti a bezpečnosti prevádzkovaných objektov je na vodnom diele pravidelne vykonávaná kontrola, údržba a plánované aj neplánované opravy. Jedným z dôležitých objektov je aj prírodný kanál, ktorým je privádzaná voda Dunaja na vodnú elektrárňu Gabčíkovo a ktorý súčasne zabezpečuje medzinárodnú plavbu cez plavebné komory.

Hrádze prírodného kanála tvorí štrkopieskové teleso s návodným asfaltobetónovým tesnením, ktoré pozostáva z podkladnej medzerovitej vrstvy hrúbky 10 cm a tesniacej vrstvy hrúbky 8 cm. Na asfaltobetónovom tesnení sme doteraz odstraňovali poškodenia pod vodnou hladinou po náraze plavidla a poškodenia nad prevádzkovou hladinou, spôsobené poveternostnými vplyvmi. Pravidelnými kontrolami sme zistili, že v rámci rozkvyvu minimálnej



prevádzkovej hladiny 130,10 m B. p. v. a maximálnej prevádzkovej hladiny 131,10 m B. p. v. dochádza k plošnej degradácii pečate a čiastočne aj tesniacej vrstvy (viď obrázok). Z tohto dôvodu prebehlo v roku 2016 výberové konanie a bola uzatvorená zmluva o dielo s dodávateľom stavebných prác s firmou Lptex, s. r. o. Košice. Predmetom prác bola sanácia a stabilizácia rozrušenej povrchovej vrstvy návodného asfaltobetónového tesnenia hrádzí prírodného kanála VDGA v úseku rozkvyvu prevádzkovej hladiny, vymedzeného kótami 130,10 m B. p. v. až 131,10 m B. p. v. Lavostranná hrádza v dĺžke 16 km, pravostranná hrádza v dĺžke 16,9 km, opravovaná plocha š. 2 m, celková sanovaná plocha je 65 800 m<sup>2</sup>. Z dôvodu dlhodobejšej prípravy (mimoriadna manipulácia na VDGA - zníženie hladiny na kótu 129,50 m B. p.

v. vodočetu Čunovo, zabezpečenie plavebnej dráhy - bagrovanie, oznámenie a súhlas dotknutých orgánov, predpoklad priaznivých poveternostných podmienok...) bol stanovený termín výkonu prác na september až október 2017. Pracovné porady k predmetnej akcii boli zvolávané SVP, š. p. Závod Vodné dielo Gabčíkovo pravidelne od marca 2017. SVP, š. p., OZ Bratislava oznámil 27.04.2017 dotknutým stranám, že od 02.09.2017 začne znižovanie hladiny v Čunove na kótu 129,50 m B. p. v. Práce začali po dosiahnutí požadovanej hladiny od 04.09.2017. Mimoriadna manipulácia na VDGA bola realizovaná v súlade s Dočasným manipulačným poriadkom pre SVD G - N a v úzkej koordinácii s Vodohospodárskou výstavbou, š. p. Bratislava. V auguste 2017 SVP, š. p. požiadal Dopravný úrad o súhlas na výkon činnosti na vodnej ceste a súčasne požiadal z dôvodu zabezpečenia požadovanej plavebnej hĺbky 27 dm v plavebnej dráhe o súhlas s bagrovacími prácami v rkm 1864 – 1865 a plkm 32 - 34. V súvislosti so znížením hladiny bolo zmenené vytýčenie plavebnej dráhy v zdrži Hrušov v plkm 32 - 34 a na vodnej ceste Dunaj v rkm 1863,800 – 1864,600. Priebehy hladín rozhodujúcich vodočtov a prietokov sú v nasledujúcom grafe.



Dodávateľ začal práce 04.09.2017. Z dôvodu výkonu prác na svahu 1:2 nad vodnou hladinou bol dodávateľ dôrazne upozorňovaný na dodržiavanie zásad bezpečnosti a ochrany zdravia pri práci. Pri nástupe boli dohodnuté kontrolné porady 1x týždenne a účasť zástupcu dodávateľa na rannom dispečingu v Gabčíkove. Denne prebiehala v určených úsekoch kontrola plavebnej dráhy a monitoring údajov o vodných stavoch na VDGA. Základným sanačným materiálom bol SCHOMBURG AQUAFIN – RS300. V rámci postupu prác sa vysokotlakovým vodným lúčom očistila sanovaná plocha. Po očistení sa zistila zvýšená erózia asfaltobetónovej tesniacej vrstvy. Preto sa v prvom kroku aplikovala vyrovnávacia vrstva hr. cca 5 - 8 mm. Z dôvodu väčšej hrúbky a následného rizika popraskania bol AQUAFIN - RS300 miešaný s kremičitým

pieskom v pomere 4:1. Uvedený postup bol odsúhlasený zástupcom firmy Schomburg Slovensko. S odstupom min. 1 deň bola aplikovaná druhá vrstva základného materiálu AQUAFIN RS - 300 v hr. 2-3 mm. Pred aplikáciou sanačnej hmoty sa očistená plocha opláchla vodou a jej zbytky vyfúkali stlačeným vzduchom. Materiál bol nanášaný striekaním strojne šnekovým čerpadlom PFT SWING L na ľavej strane a ručne piestovým čerpadlom GRACO na pravej strane. Plochy poškodené dažďom resp. vlnami boli opakovane sanované základným materiálom Schomburg. Na každej takejto ploche sa urobila kontrolná odtrhová skúška. Pracovníci SVP, š. p. Závod Vodné dielo Gabčíkovo denne kontrolovali realizované práce a po ukončení vykonali záverečnú kontrolu kvality s následným prevzatím prác. Dodávateľ zabezpečil u firmy TaSUS vykonanie odtrhových skúšok v 6 stanovených profiloch s výsledkom – vyhoveli. Práce boli ukončené 12.10.2017. Zvyšovanie hladiny začalo 3 dni po poslednej aplikácii sanačného materiálu 15.10.2017. Bežný prevádzkový režim nastal 17.10.2017.



*Obrázky: Príprava asfaltobetónového povrchu.*



*Obrázky: Aplikácia sanačného materiálu*

## **ZÁVER**

Z dôvodu mimoriadnej manipulácie na Vodnom diele Gabčíkovo bola počas jej trvania znížená výroba elektrickej energie na VE Gabčíkovo, odstavená resp. obmedzená prevádzka MVE Dobrohošť, prerušená prevádzka na Divokej vode v Čunove, znížená výroba na VE Čunovo a obmedzený prietok do Mošonského ramena Dunaja.

Pri sanácii asphaltobetónového tesnenia návodných svahov prívodného kanála bolo použitých cca 300 ton materiálu AQUAFIN RS – 300. V nasledujúcom období je nutné naplánovať kontrolu vykonaných prác pri zníženej hladine vody v prívodnom kanáli.

## **AUTOR**

Ing. Rastislav Rajniak  
SVP, š. p., OZ Bratislava  
Závod Vodné dielo Gabčíkovo  
e-mail: Rastislav.Rajniak@svp.sk

## VD TATROVICE – REKONSTRUKCE SPODNÍ VÝPUSTI A BEZPEČNOSTNÍHO PŘELIVU

### TATROVICE DAM – RECONSTRUCTION OF BOTTOM OUTLET AND SPILLWAY

*Tomáš Rudolf*

**Abstrakt:** Příspěvek se zabývá rekonstrukcí vodního díla Tatrovce v Karlovarském kraji. Jedná se o zemní hráz se šikmým těsnícím jádrem z let 1966-1969. Rekonstrukce, po téměř 50-ti letech provozu, se týkala zejména původního šachtového bezpečnostního přelivu o průměru 2,5 m s kruhovou nálevkou a původní spodní výpusti DN 400 vedené v odpadní štole. V rámci rekonstrukce byla původní spodní výpust kompletně vyměněna za novou z nerezové oceli včetně uzávěrů a dalšího technologického vybavení. Byla vybudována nová komora návodního uzávěru v prostorách základu šachtového bezpečnostního přelivu. Šachtový bezpečnostní přeliv byl na vnějším plášti kompletně sanován a opatřen novou hydroizolací. Součástí byla také rekonstrukce rozmrazovacího zařízení na šachtovém přelivu. V odpadní štole byly provedeny sanace vnitřních ploch a provedeno nové zakrytí kanálu pro trubní vedení spodní výpusti. Rekonstrukce byla provedena v r. 2016-2017, v současné době je vodní dílo v plném provozu.

**Abstract:** The paper describes reconstruction of Tatrovce dam in Karlovarsky kraj. It is zoned-earth dam constructed between 1966 and 1969. The reconstruction, after almost 50 years of operation, mainly dealt with shaft spillway of 2.5 m diameter with circular funnel and bottom outlet of DN400 situated in spillway tunnel. As part of the reconstruction, the original bottom outlet was completely replaced with a new stainless-steel piping including also all new valves and other technological equipment. A new chamber for valve on inlet side was also built in the foundation block of the shaft spillway. The shaft spillway was completely repaired on its outer surface with completion of new waterproofing layer. The reconstruction also included the renovation of the de-icing equipment on the shaft spillway. Inside the spillway tunnel, the internal surfaces were redeveloped and the channel for the bottom outlet pipe was newly covered. The reconstruction was realized in 2016-2017, at present the dam is in full operation.

**Klíčová slova:** rekonstrukce, šachtový přeliv, spodní výpust

#### 1. ÚVODNÍ INFORMACE O VD TATROVICE

Vodní dílo Tatrovce se nachází na úpatí Krušných hor v povodí Ohře, v okrese Sokolov, na Tatrovickém potoce v ř.km 11.8. Jedná se o vodní dílo v soukromém vlastnictví, majitelem a provozovatelem je společnost Sokolovská uhelná, právní nástupce, a. s. Hlavním účelem vodního díla je zásobování závodu Vřesová technologickou vodou. Dalšími účely je zajištění minimálního zůstatkového průtoku pod vodním dílem, hydroenergetické využití, částečná ochrana území pod vodním dílem před účinky povodní, rekreační a sportovní rybní hospodářství. Výstavba VD Tatrovce proběhla v letech 1966-69. Jedná se o zemní hráz se šikmým těsnícím jádrem, maximální výška hráze je 30 m nad základem a 25,9 m nad terénem. Funkční prvky přehrady tvoří jeden bezpečnostní šachtový přeliv o průměru 2,5 m s kruhovou nálevkou a navazující odpadní stolou délky 132 m a jedna spodní výpust DN 400 procházející v zakrytém

kanálu ve dně odpadní štoly a dále suchou chodbou do strojovny uzávěrů, kde je výpust rozdělena na dvě samostatné větve. Ve strojovně je dále odbočka na přívodní potrubí k MVE nacházející se dále v podhrázi [1].

## **2. PŮVODNÍ STAV, DŮVODY PRO REKONSTRUKCI**

Vodní dílo bylo od výstavby provozováno nepřetržitě bez jakékoliv větší rekonstrukce nebo stavební úpravy, tj. téměř 50 let provozu s původním vybavením. Vzhledem k některým nevhodným řešením v kombinaci s použitými materiály a technologiemi provedení odpovídajícími tehdejší době výstavby byl technický stav některých konstrukcí velmi špatný.

### **2.1 Technologické vybavení – spodní výpust**

Při komplexních zkouškách technologie [2] byl shledán nevyhovující stav uzávěrů spodní výpusti. Se všemi uzávěry byla velmi obtížná manipulace. Ta byla prakticky možná jen ruční s pomocí přídatné páky. Regulační šoupátka byla sice ovládaná elektromechanicky, nicméně docházelo díky odporům při pohybu k zadrhávání a vypínání pohonu proudovou ochrannou. Na vnitřním povrchu tělesa šoupátka na odbočce MVE byla zjištěna po celém obvodu zatvrdlá vrstva jemných usazenin v tloušťce cca 12 až 15 mm, tento stav byl také nalezen při výměně kompenzátoru v předchozích letech.

Návodní uzávěr byl původně umístěn v šachtě ve dně odpadní štoly, kde tato šachta byla zakrytá prostým netěsněným plechovým poklopem. Povrch šoupátka byl v celém rozsahu značně zkorodovaný plošnou a důlkovou korozi. Na hlavách šroubů a matic přírubových spojů se projevovala i vrstevnatá koroze se zřejmým úbytkem materiálu. Ovládání uzávěru bylo jen manuální a v tomto stavu možné jen dvěma osobami za pomoci páky.

Vnější povrch potrubí spodní výpusti byl v místech, kde je možná jeho kontrola bez vyzvednutí železobetonových krycích desek, tj. na začátku a konci výtokové chodby, v celém rozsahu zkorodovaný plošnou a důlkovou korozi. Na šroubech a maticích přírubových spojení i přírubách se projevovala vrstevnatá koroze s výrazným úbytkem materiálu. Stav potrubí včetně stavu třmenového upevnění potrubí byl ve výtokové chodbě prakticky nekontrolovatelný a neudržovatelný. Provádění nových povrchových ochran potrubí spodní výpusti v celé délce výtokové chodby by bylo možné pouze při zavření šoupátka na začátku chodby a rozebrání potrubí v celé jeho délce.

Opakovaně navíc došlo v minulosti k havárii kompenzátoru na potrubí spodní výpusti.



*Obr.: Stav potrubí spodní výpusti a návodního uzávěru v odpadní štole před rekonstrukcí.*

## 2.2 Stavební konstrukce

Ze stavebního hlediska byly původní konstrukce degradované zejména povrchově.

Vnější povrch šachtového přelivu byl původně opatřen laminátovou hydroizolační vrstvou, která již ve velkých kusech opadávala a povrch betonu byl degradovaný. V důsledku toho docházelo ke značným průsakům do tělesa šachtového bezpečnostního přelivu v pracovních spárách.

V navazující odpadní štole byla degradovaná povrchová část betonu, zejména ve vrcholu klenby, kde byla v téměř celé délce odhalená výztuž. Zakrytí kanálu pro potrubí spodní výpusti bylo provedeno železobetonovými panely s asfaltovou zálivkou, které neumožňovaly snadnou demontáž pro kontrolu potrubí. Navíc montážní oka na panelech byla zničena korozí. Výklenky ve stěnách štole pro manometry nebyly zakryté a hrozilo tak mechanické poškození manometrů při převádění povodňových průtoků.

Původní jeřábová dráha ve vrcholu klenby v celé délce odpadní štole byla shledána jako nepoužitelná z důvodu značné plošné a důlkové koroze. Uchycení ke konstrukci klenby odpadní štole bylo také korozí zeslabeno. Její použití dále znemožňovala absence pohonu a jakýchkoliv bezpečnostních prvků, např. dorazů, zajištění břemene atd.





*Obr.: Stav šachtového přelivu a odpadní štoly před rekonstrukcí.*



*Obr.: Stav manometrického měření a jeřábové dráhy v odpadní štole před rekonstrukcí.*

### **3. REKONSTRUKCE VODNÍ DÍLA**

Z výše uvedených důvodů byla zahájena rekonstrukce vodního díla, která proběhla v letech 2016-2018. Projekční práce proběhly v letech 2015-2016 a zajišťovala je společnost VODNÍ DÍLA – TBD a.s.

Během rekonstrukčních prací byla nádrž kompletně vypuštěna po dobu necelého jednoho roku (2017). Během těchto mimořádných manipulací, stejně jako po celou dobu rekonstrukce, byl na vodním díle zajištěn podle zákonných předpisů technicko-bezpečnostní dohled, který zajišťovala též společnost VODNÍ DÍLA – TBD a.s.

### 3.1 Rekonstrukce šachtového přelivu

Rekonstrukce šachtového přelivu spočívala zejména v sanaci a obnovy jeho povrchů, vnějšího i vnitřního. Dále byl v rámci rekonstrukce šachtového přelivu rekonstruován rozmrazovací systém.

Pro sanaci vnitřního povrchu šachtového přelivu byl navržen a proveden prostup, při kterém bylo nejdříve provedeno očištění celého povrchu vysokotlakým vodním paprskem a odbourání lokálně poškozeného betonu. Následně byla provedena reprofilace hlubokých poruch a poté celoplošná vysprávka ušlechtilou cementovou maltou s výztužnými vlákny. Na tento sanovaný povrch byl proveden finální hydrofobní nátěr.

Pro sanaci vnějšího povrchu bylo nutné provést nejprve zevrubné odstranění původních zbytků hydroizolační laminátové vrstvy, otryskání povrchu abrazivem a očištění vysokotlakým vodním paprskem. Dále bylo stejně jako u vnitřního povrchu provedeno odbourání lokálních poruch s následnou reprofilací poškozených míst. Následovala příprava pro opatření povrchu novou hydroizolací. To zahrnovalo přebroušení hrubého povrchu, důležité vysušení včetně kontroly vlhkosti a celoplošné opatření povrchu epoxidovým primerem. Nová hydroizolace z materiálu Polyurea Tecnocoat byla na takto připravený povrch provedena nástřikem za tepla.



*Obr.: Průběh rekonstrukce vnějšího povrchu šachtového přelivu.*

### 3.2 Rekonstrukce odpadní štoly

V odpadní štolě navazující na šachtový přeliv byly provedeny sanační práce a jednak úpravy pro zvýšení spolehlivosti a bezpečnosti provozu.

Zásadní úpravou bylo vybudování nové armaturní kobky v základovém bloku bezpečnostního šachtového přelivu. Rozměry kobky byly navrženy 1,0 x 1,4 x 2,3 m a byl zde umístěn nový návodní uzávěr. Vstup do kobky byl proveden z čelní stěny spadiště šachtového přelivu a byl proto opatřen pancéřovými ochrannými dveřmi. Vzhledem k nutnému zavzdušnění potrubí spodní výpusti za tímto novým uzávěrem bylo nutné zavzdušnit také kobku, aby nedošlo uvnitř k podtlaku. Zavzdušnění bylo provedeno pomocí pevných žaluziových otvorů v horní části ochranných dveří.

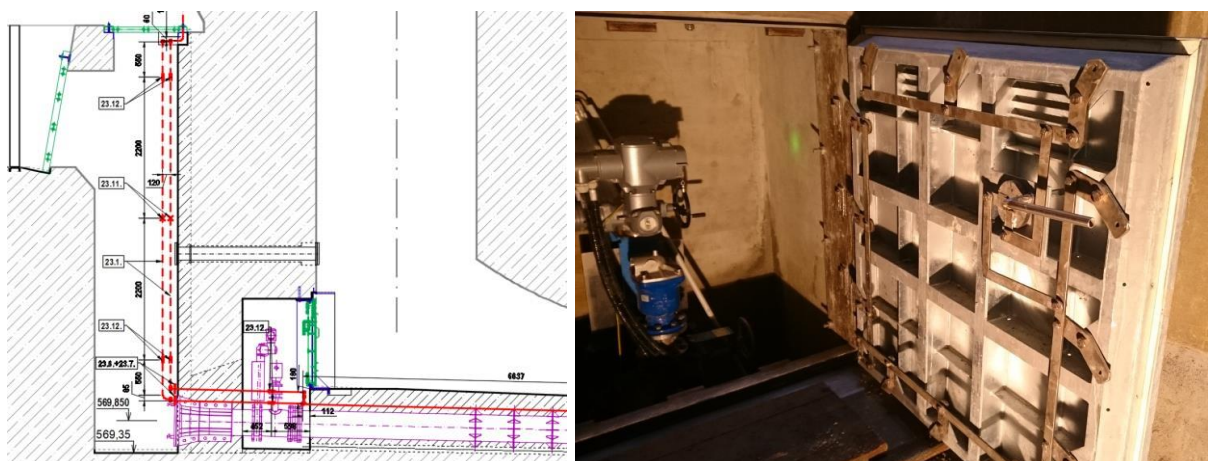
Po celém povrchu klenby byla provedena sanace povrchu betonu, zejména byla ošetřena místa s odhalenou výztuží. Jednalo se prakticky o vrchol klenby po celé délce odpadní štoly. V místech průsaků do štoly v dilatačních spárách byla provedena injektáž.

Zákrytové panely kanálu ve dně štoly pro umístění potrubí spodní výpusti byly v celé délce vybourány. Po usazení nového potrubí spodní výpusti byl tento kanál nově zakryt oboustranně opláštěnými kompozitními rošty, které umožňují snadnou demontáž. Místa, kde původní potrubí procházelo monolitickými konstrukcemi, musela být kompletně vybourána. Jednalo se o první dilatační úsek štoly a přechod do suché chodby. Po usazení nového potrubí byla provedena připojovací výztuž, výztuž kotevních bloků a betonáž. V druhém dilatačním úseku, tj. na začátku chodby za konfuzorem mezi spadištěm a odpadní štolou, byl vzhledem k možnému vzniku silně turbulentního proudění kanál zakryt zmonolitněnými filigránovými deskami.

Původní zkorodovaná jeřábová dráha byla odstraněna. Veškerá doprava materiálu v odpadní štolě byla prováděna pomocí manipulační plošiny, kterou si pro tento účel vyrobil zhotovitel stavby.

Nově byla provedena výroba a instalace krytů výklenků manometrického měření. Kryty byly vybaveny otevíratelnými poklopy s průhledy vyplněnými polykarbonátovým sklem.

V neposlední řadě bylo také instalováno nové osvětlení štoly nutné pro bezpečnou obsluhu vodního díla.



*Obr.: Nová kobka návodního uzávěru dle projektové dokumentace.*



*Obr.: Stav odpadní štoly a manometrického měření po rekonstrukci.*

### 3.3 Rekonstrukce spodní výpusti

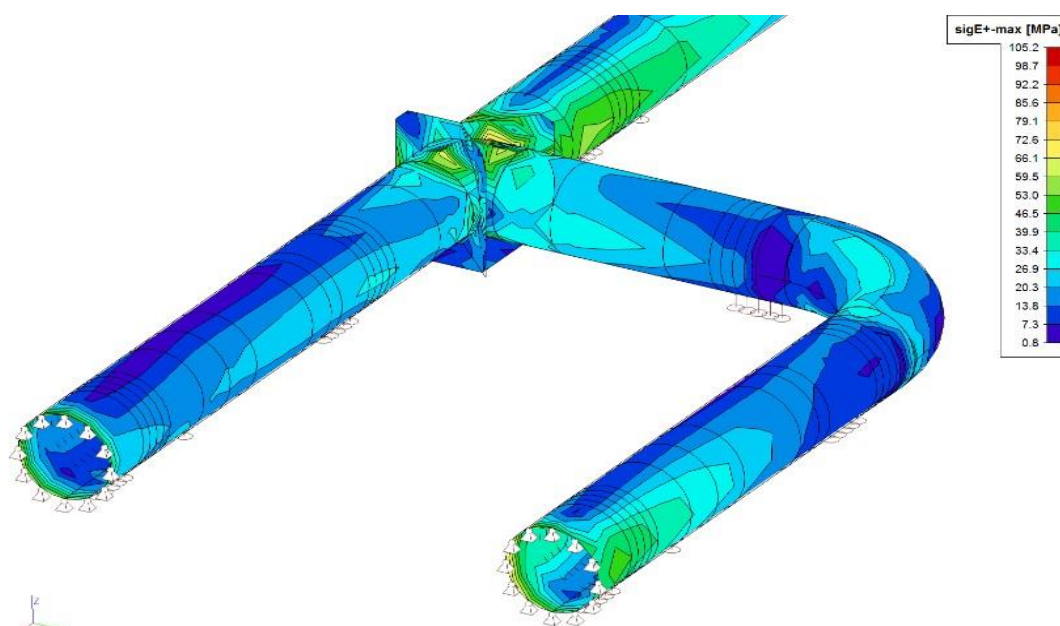
Rekonstrukce spodní výpusti představovala kompletní výměnu potrubí včetně uložení, armatur a jejich ovládání. Původní potrubí zůstalo zachováno jen mezi strojovnou spodních výpustí v podhrázi a vývarem. Jedná se o úsek v řádu metrů.

Koncept původního návrhu, tj. jedna spodní výpust rozdělená na dvě větve ve strojovně uzávěrů, bylo nutné ponechat, ačkoliv to zcela neodpovídá požadavkům vyhlášky č. 590/2002 Sb. Umístění dvou samostatných spodních výpustí by vyžadovalo velmi významné stavební úpravy včetně zásahu do zemního tělesa hráze či jejího založení a tedy odpovídající investiční náklady by byly několikanásobně vyšší.

Původní potrubí bylo nahrazeno novým o stejné dimenzi. Materiál byl zvolen, vzhledem ke ztíženému přístupu a tedy obtížnější možnosti údržbových prací, kompletně nerezová ocel. Potrubí bylo spojováno přírubami. Z důvodu možného výrazného namáhání zejména vlivem rozdílu teplot betonové stavební části a ocelového potrubí v kombinaci s rozdílnými hodnotami roztažnosti nerezové oceli a betonu a se zatížením prouděním a tlakem bylo provedeno statické posouzení návrhu pomocí matematického modelu založeného na metodě konečných prvků. Bylo prověřeno 8 zatěžovacích stavů. V souladu s výpočty byl na potrubí navržen a namontován jeden osový kompenzátor. V celé délce potrubí v kanále odpadní štolky a v suché chodbě bylo potrubí uloženo kluzně. Kluzná uložení byla opatřena bronzovými deskami a sedly.

Návodní uzávěr byl osazen do nové kobky v základovém bloku šachtového přelivu. Původní umístění návodního uzávěru bylo zrušeno. Typ uzávěru byl zvolen nožové šoupátko s přesným vedením a elektromechanickým pohonem s možností dálkového a místního ovládání, včetně nouzového ručního ovládání. Za šoupátkem byl instalován automatický zavzdušňovací a odvzdušňovací ventil.

Ve strojovně byly kompletně původní armatury demontovány a nahrazeny novými. Jako regulační uzávěry byla navržena nožová šoupátka od firmy Ševčík HYDRO s.r.o., provozní uzávěry s možností uzavírat do průtoku také nožová šoupátka. Za regulačními uzávěry byly instalovány automatické zavzdušňovací ventily. Pohony uzávěrů byly provedeny elektromechanické s ovládáním z horního patra strojovny s možností ručního ovládání přímo na pohonu. V horním patře strojovny byl proveden nový rozvaděč s ovládacím panelem. Nově bylo také provedeno napojení přívodního potrubí MVE.



Obr.: Výsledek statického výpočtu metodou MKP potrubí spodní výpusti ve strojovně.



Obr.: Nové potrubí spodní výpusti v odpadní štoli a ve strojovně včetně nových uzávěrů.

### 3.4 Rekonstrukce rozmrazovacího zařízení

Rozmrazovací zařízení slouží k ochraně šachtového přelivu v zimním období. V konstrukci šachtového přelivu byly původně provedené rozvody tlakového vzduchu s tryskami zajišťujícími aeraci vody a tím prevenci zamrznutí hladiny v bezprostředním okolí šachtového přelivu.

V rámci rekonstrukce byly kompletně vyměněny rozvody tlakového vzduchu. Vedení tlakového vzduchu je řešeno novým nerezovým potrubím ze strojovny, kde je umístěný kompresor, suchou chodbou a kanálem v odpadní štoli společně s potrubím spodní výpusti až na vnější líc železobetonové konstrukce šachtového přelivu. Na šachtovém přelivu jsou pak umístěné dva nové prstence s tryskami opatřenými těsněními proti průsaku vody do potrubí rozvodu tlakového vzduchu.

### 3.5 Převádění vody při realizaci rekonstrukce

Během rekonstrukce bylo nutné převádět vodu přitékající do nádrže. Při provádění zásadních částí rekonstrukce byla nádrž vypuštěna a v prostoru dna byly vytvořeny sběrné hrázky a kanály. Před vtokovým objektem do spodní výpusti bylo z hlavní provizorní hrázky vedeno potrubí DN 250 pro provizorní převod vody. Toto potrubí procházelo přes provizorní hrazení vtoku do spodní výpusti, a dále jádrovým vývrtem ve stěně šachtového přelivu do prostoru spadiště a odpadní štoly až do vývaru v podhráží.

Původně navržené ocelové potrubí pro převádění vody za stavby bylo nahrazeno plastovým. Prostup skrz stěnu šachtového přelivu byl opatřen nerezovým trubním kusem s přírubami, který umožňoval připojení potrubí a uzávěru. Po demontáži potrubí pro provizorní převádění vody byl vstup uzavřen zaslepovacími přírubami.

Prostup stěnou šachtového přelivu je tedy možné použít také jako provizorní nouzovou výpust.



Obr.: Provizorní převod vody za stavby ve vtokovém objektu do spodní výpusti.



Obr.: Provizorní převod vody za stavby: prostup stěnou šachtového přelivu a v odpadní štole.

## 4. ZÁVĚR

Rekonstrukce vodního díla Tatrovice byla úspěšně dokončena na začátku roku 2018. Nádrž byla již od podzimu 2017 plněna a při dokončení stavebních prací již byla v nádrži hladina na běžné úrovni v zásobním prostoru a vodní dílo bylo využíváno k zásobování technologickou vodou závodu Vřesová.

V únoru 2018 byly provedeny také komplexní zkoušky technologie, kdy byly odzkoušeny všechny nové uzávěry a jejich pohony, zavzdušňovací ventily, plnění a prázdnění potrubí spodní výpusti. Při komplexních zkouškách nebyly odhaleny žádné závady.

Z hľadiska TBD bylo během rekonstrukce vše v pořádku, nevyskytly se žádné neočekávané hodnoty sledovaných veličin.

### **SEZNAM LITERATURY A PODKLADŮ**

- [1] *Manipulační řád VD Tatrovice na Tatrovickém potoce, ř. km. 11.8, 2005*
- [2] *VD Tatrovice – Komplexní prohlídka technologického zařízení spodní výpusti, VODNÍ DÍLA – TBD a.s., říjen 2012.*
- [3] *VD Tatrovice – Oprava spodní výpusti a bezpečnostního přelivu, dokumentace pro provádění stavby, VODNÍ DÍLA – TBD a.s., červenec 2016 [4] Fotodokumentace, VODNÍ DÍLA – TBD a.s., září 2015 – únor 2018*
- [5] *VD Tatrovice – Potápěčský průzkum vtoku do spodní výpusti, VODNÍ DÍLA – TBD a.s., listopad 2014*
- [6] *VD Tatrovice – Stavební průzkum konstrukce šachtového přelivu a odpadní chodby, VODNÍ DÍLA – TBD a.s., červen 2012*

### **AUTOR**

Ing. Tomáš Rudolf

VODNÍ DÍLA – TBD a.s., Hyberská 1617/40, Praha

email: rudolf@vdtbd.cz

# HODNOCENÍ BEZPEČNOSTI PŘEHRAD V PRŮBĚHU JEJICH REKONSTRUKCE

## VALUATION OF SAFETY OF DAMS DURING RECONSTRUCTION

*Jaromír Říha, Miroslav Špano*

**Abstrakt:** Zvýšené požadavky na hydraulickou zabezpečení určených vodních děl vedou v řadě případů k jejich rozsáhlým rekonstrukcím. Rekonstrukce se týkají zejména zvýšení kapacity bezpečnostních přelivů a spodních výpustí, zvýšení koruny hráze a také horní úrovně těsnicího prvku tak, aby vodní dílo převedlo bezpečně kontrolní povodňovou vlnu ve smyslu vyhlášky č. 367/2005 Sb., popř. normy ČSN 75 2935 (2014). Protože průběh výstavby většinou vyžaduje dočasné snížení úrovně koruny hráze a také „otevření“ profilu nátoky na bezpečnostní přeliv, je třeba zabývat se podrobněji bezpečností vodního díla v průběhu výstavby. V této souvislosti je třeba mnohdy významně snížit hladinu vody v nádrži s cílem zvětšit disponibilní objem pro zachycení případné povodňové vlny. To obvykle vede k omezení účelů a užitků, kterým vodní dílo slouží. V článku je proveden rozbor otázky bezpečnosti vodního díla při jeho rekonstrukci, naznačeny jsou možné postupy řešení problému, které jsou demonstrovány na praktickém případě.

**Abstract:** Enhanced requirements on hydraulic safety of dams lead in many cases to extensive reconstructions of spillways, bottom outlets and the crest of the dam, the clayey core elevation is also frequently increased. The aim is to ensure safe routing of the check flood that fulfils demands of decree No. 367/2005 Coll. and the standard ČSN 75 2935 (2014). During the refurbishment of the dam it is usually necessary to decrease the level of the dam crest and to “open” the profile at the inflow to the spillway. Therefore, it is necessary to carefully assess the safety of dam during these phases of construction period. In this context, the water level in the reservoir has to be significantly decreased in order to increase the available volume to capture the flood wave. However, decreasing of water level leads to limitations of the purposes and benefits that the dam serves. Questions related to the dam safety during its reconstruction are introduced in the article together with discussion on some related problems. A practical example is also shown.

**Klíčová slova:** bezpečnost přehrad, rekonstrukce, riziková analýza

### 1. ÚVOD

Zvládnutí povodní má zásadní význam pro bezpečnost přehrad. Z přehledů uvedených v Bulletiněch [1] a [2] je patrné, že povodňové události jsou hlavní příčinou významných poruch hrází vodních děl (VD).

Na doporučení Mezinárodního výboru pro velké přehrady (ICOLD) byla kritéria bezpečnosti hrází značně zpřísněna i v České republice, zejména v souvislosti s návrhem bezpečnostních přelivů pak bylo doporučeno zvýšit dobu opakování návrhových a kontrolních povodňových vln. V České republice byla doporučená kritéria zapracována do vyhlášky č. 367/2005 Sb. [3] a začleněna do normy ČSN 75 2935 [4]. V poslední době v České republice probíhá rozsáhlé a systematické posuzování hydraulické zabezpečení přehradních hrází. Častým výsledkem



posouzení je, že hráz nesplňuje nové požadavky na její bezpečnost, součástí posouzení jsou obvykle ideové návrhy na zvýšení bezpečnosti díla.

Zkušenost z četných případových studií a přehodnocování bezpečnosti hrází v České republice ukazuje, že klíčový problém spočívá v nedostatečné kapacitě přelivů, nízké úrovni těsnicího jádra sypaných hrází mnohdy způsobené nekázní při výstavbě a také sedáním tělesa hráze. Jedním z hlavních důvodů nedostatečných parametrů hráze jsou méně přísné požadavky na hydraulickou zabezpečení platné v době jejich výstavby.

Výše zmíněné úpravy hráze a funkčního vybavení prakticky vždy vyžadují dočasné snížení koruny hráze a také významný zásah do bezpečnostního přelivu, spadiště a profilu na počátku skluzu. Klíčovou otázkou je stanovení míry bezpečnosti vlastní hráze a staveniště při realizaci stavebních prací. Relevantní bezpečnosti hráze lze obvykle dosáhnout pouze významným snížením hladiny vody v nádrži, které zajistí potřebný objem pro zachycení zvolené povodňové vlny přicházející do nádrže během výstavby. Snížení hladiny vody v nádrži však dočasně omezuje její užitky, jako jsou zásobování vodou, rekreace, výroba vodní energie, apod.

Článek shrnuje aspekty a požadavky týkající se bezpečnosti přehrad během jejich rekonstrukce. Dále je popsán postup založený na analýze rizika, který je použitelný pro stanovení akceptovatelné úrovně bezpečnosti vodního díla při jeho rekonstrukci a může sloužit také k argumentaci při obhajování opatření během výstavby vůči třetím stranám. Text je doplněn některými konkrétními příklady.

## 2. BEZPEČNOST PŘEHRADY V PRŮBĚHU REKONSTRUKCE

Zajištění bezpečnosti hráze je prvořadým cílem, který musí být zajišťován jak během provozu díla, tak i v průběhu rekonstrukce vodního díla. Přitom je při rekonstrukci díla třeba rozlišit:

- ochranu staveniště pro případ povodňové situace během provádění stavebních prací,
- bezpečnost vzdouvací stavby vůči jejímu úplnému porušení (protržení hráze).

### 2.1 OCHRANA STAVENIŠTĚ

Ochrana staveniště se týká jednotlivých stavebních objektů, jako přeliv a spadiště, skluz, vývar, návodní opevnění hráze, koruna hráze apod. Z hlediska míry bezpečnosti by měly být tyto části posuzovány jednotlivě. Některé z nich, jako je oprava koruny přehrad nebo přelivu, se přímo týkají celkové bezpečnosti hráze (kap. 2.2). U jiných částí, které neovlivňují celkovou bezpečnost hráze lze obecně vycházet z ČSN 75 2935 [3]. Ochrana staveniště je třeba vždy posuzovat individuálně vůči škodám vzniklým při zaplavení nedokončených částí jednotlivých stavebních objektů a stavebního zařízení, a to ve vazbě na způsob a výši pojištění dodavatele pro případ živelných pohrom. Norma [3] doporučuje pro předběžnou ochranu staveniště volit následující dobu opakování povodně:

$$N = T + 1, \tag{1}$$

kde  $T$  je doba výstavby (rekonstrukce) v letech.

### 2.2 OCHRANA VLASTNÍHO DÍLA

Bezpečnost vodního díla vůči protržení tělesa hráze v průběhu rekonstrukce by měla být posuzována s ohledem na:

- současnou míru bezpečnosti díla,

- potenciální materiální (ekonomické) škody vzniklé protržením hráze vodního díla,
- potenciální ztráty na lidských životech.

Není obvyklé požadovat v průběhu rekonstrukce vyšší míru bezpečnosti díla, než je jeho bezpečnost před rekonstrukcí.

Materiální škody zahrnují škody na vlastím díle, ztráty z užitku díla (dodávky vody, výroba elektrické energie, rekreace, rybolov atd.), přímé ztráty třetích stran a nepřímé ekonomické dopady jako nedostatek vody, ztráty pracovních míst, ztráty z omezení možné rekreace, atd. [11]. Materiální škody se vyčíslují metodami ztrátových křivek, cen jednotlivých objektů a ploch zasažených povodňovou vlnou od protržené hráze a také ztráty na zisku ze zmařených služeb. Základním podkladem pro hodnocení je mapa záplavového území pro zvláštní povodeň vyvolanou protržením hráze VD, která se sestavuje s využitím dostupných hydraulických modelů v kombinaci s nástroji GIS (obr. 1).



Obr. 1 Záplavové území vzniklé protržením VD Choltický [5]

Významným kritériem pro stanovení míry ochrany díla je bilance mezi materiální škodou  $L_K$  z protržení hráze a materiální škodou  $L_L$  ze ztráty funkce a užitků nádrže během výstavby. Přitom se vychází z rovnosti ekonomického rizika vyjádřeného jako roční škoda. Požadovanou ochranu díla při rekonstrukci vyjádřenou nejvyšší přípustnou pravděpodobností  $p_K$  příchodu kritické povodňové vlny lze stanovit za předpokladu, že ke škodě  $L_L$  ze ztráty užitku dojde v daném roce s pravděpodobností  $p_L = 1$ , tedy jistotou. Platí:

$$p_K \leq \frac{p_L \cdot L_L}{L_K}. \quad (2)$$

Druhým kritériem pro stanovení míry ochrany díla je odhad ztrát na lidských životech. Touto otázkou se zabývá řada publikací, např. [6], [7] nebo [8]. Zkušenosti ze skutečných havárií přehrad [9] ukazují silnou závislost mezi ztrátami na lidských životech a dobou varování a disponibilní dobou pro evakuaci, kdy v první hodině může být evakuováno zhruba 50% ohrožených obyvatel, 75% do dvou hodin a že úplná evakuace vyžaduje více než 10 hodin. Skutečně očekávaná doba do varování závisí na úrovni varovných systémů a může se v jednotlivých zemích a lokalitách značně lišit (tabulka 1). Ztráty na životech také významně

závisí na hustotě obyvatel v ohrožené oblasti, denní době, ročním období, a dalších faktorech. Ztrátám na lidských životech se prakticky nedá vyhnout z důvodu nejistot při přemísťování obyvatelstva, chování jednotlivců a také v závislosti na okolnostech, které poruchu přehrady provází.

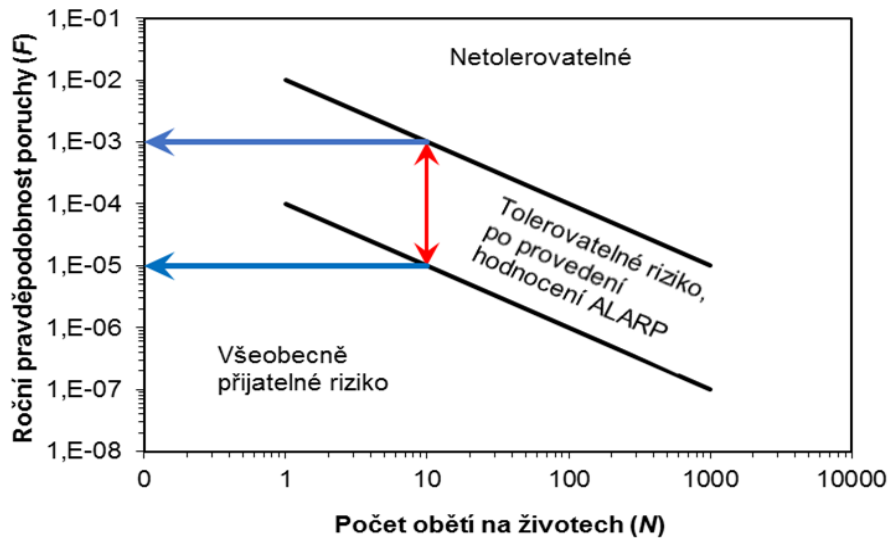
Tab. 1 Počty obětí při haváriích světových přehrad [10]

č.	Přehrada	Počet ohrožených obyvatel	Doba do varování [hod]	Skutečný počet obětí
1	Allegheny County, PA, 1986	2 200	0	9
2	Austin, TX, 1981	1 180	1	13
3	Baldwin Hills Dam, CA, 1963	16 500	1,5	5
4	Bear Wallow Dam, NC, 1976	8	0	4
5	Big Thompson, CO, 1976	2 500	0,5	144
6	Black Hills, SD, 1972	17 000	0,5	245
7	Buffalo Cr. Waste Dam, WV, 1972	5 000	0,5	125
8	Bushy Hill Pond Dam, CT, 1982	400	2,5	0
9	Centralia, WA, 1991	150	0	0
10	D.M.A.D. Dam, UT, 1983	500	6,5	1
11	Denver, CO, 1965	10 000	3,2	1
12	Kansas City, MO, 1977	2 380	0,5	20
13	*Kansas River, KS, 1951	58 000	3	11
14	Kelley Barnes Dam, GA, 1977	250	0,25	39
15	Laurel Run Dam, PA, 1977	150	0	40
16	Lawn Lake Dam, CO, 1982	5 000	0,75	3
17	Lee Lake Dam, MA, 1968	80	0	2
18	Little Deer Creek Dam, UT, 1963	50	0	1
19	Malpasset Dam, France, 1959	6 000	0	421
20	Mohegan Park Dam, CT, 1963	1 000	0	6
21	Northern NJ, 1984	25 000	3	2
22	Prospect Dam, CO, 1980	100	7,5	0
23	Shadyside, OH, 1990	884	0	24
24	Stava Dams, Italy, 1985	300	0	270
25	Swift and Two Medicine Dams, MT, 1964	250	0,75	28
26	Teton Dam, ID, 1976	2 000	0,75	7
č.	Přehrada	Počet ohrožených obyvatel	Doba do varování [hod]	Skutečný počet obětí
27	Teton Dam, ID, 1976	23 000	2,25	4
28	Texas Hill Country, 1978	2 070	0,75	25
29	Vega De Tera Dam, Spain, 1959	500	0	150

Pro stanovení míry ochrany díla z pohledu potenciálních ztrát na lidských životech může být využito tzv. F-N křivek [10]. Odhadovaný počet ztrát na lidských životech souvisí s pravděpodobností porušení hráze, která mnohdy přímo odpovídá pravděpodobnosti příchodu dané povodňové vlny během rekonstrukce VD. Obr. 2 ukazuje příklad relevantních pravděpodobností selhání hráze odpovídající očekávaným 10 ztraceným životům. Při rekonstrukci VD jsou obvykle prováděna mimořádná opatření, jako důslednější a častější pozorování srážek v povodí, prognóza povodní přímo spojená s činností aktivované povodňové komise, která je spolu se složkami krizového managementu připravena zahájit rychlou evakuaci

a záchranná opatření. To umožní efektivnější zvládnání mimořádné situace účinné provádění souvisejících činností. Proto lze při rekonstrukci díla pravděpodobnost vázat na oblast tolerovatelného rizika (obr. 2). Je zřejmé, že pravděpodobnost poruchy odpovídá rozmezí  $10^{-3}$  až  $10^{-5}$ , což odpovídá době opakování 1 000 až 100 000 let.

U konkrétního vodního díla by měla být stanovena maximální přípustná pravděpodobnost poruchy s ohledem na výše uvedené dva aspekty - materiální škody a ztráty na lidských životech.



Obr. 2 F-N křivky s vyznačenými pravděpodobnostmi poruch při očekávání 10 úmrtí [10]

Uvedený postup pro určení pravděpodobnosti příchodu kontrolní povodňové vlny (KPV), která je dále použita pro posouzení bezpečnosti hráze během rekonstrukce. Takto určená pravděpodobnost je průměrná roční a lze ji přizpůsobit s ohledem na dobu trvání nebezpečné situace (např. snížení koruny hráze, vybourání spadiště apod.) podle rovnice

$$P_{\text{roční}} = 1 - \left(1 - \frac{1}{N}\right)^T \quad (3)$$

kde  $T$  je doba trvání nebezpečné situace v průběhu dané fáze rekonstrukce (např. doba snížení koruny hráze),  $N$  je doba opakování povodňové vlny s roční pravděpodobností výskytu.

Z rovnice (3) vyplývá, že pro dobu trvání nebezpečné situace  $T < 1$  rok může být doba opakování povodně menší než při  $T = 1$  rok. V tab. 2 je vidět závislost mezi dobou opakování povodně  $N$  a příslušnou dobou trvání nebezpečné situace  $T$  pro zajištění roční pravděpodobnosti příchodu povodňové vlny  $p_{\text{roční}} = 0,001$ .

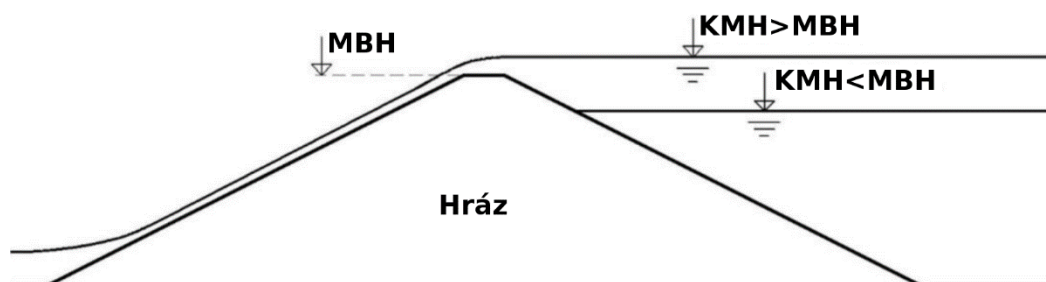
Tab. 2 Požadovaná doba opakování  $N$  kontrolní povodně s roční pravděpodobností výskytu redukovaná s ohledem na dobu trvání nebezpečné situace  $T$

$T$ [měsíc]	$N$ [rok]
12	1000
6	500
2,4	200
1,2	100

### 3. POSOUZENÍ BEZPEČNOSTI ZA POVODNĚ

Posouzení bezpečnosti VD za povodně se provádí porovnáním maximální kontrolní hladiny (KMH) dosažené v nádrži při průchodu KPV s mezní bezpečnou hladinou (MBH), při níž ještě nedochází k ohrožení bezpečnosti hráze. Schematicky je posouzení zobrazeno na obr. 3.

Během posuzování se hledá takové snížení hladiny vody v nádrži, aby byla splněna podmínka  $KMH \leq MBH$ , a to pro danou kontrolní povodňovou vlnu (kap. 2) s přihlédnutím k době trvání nebezpečné situace dle harmonogramu prací (tab. 2).



Obr. 3 Schéma zobrazující hladiny vody použité při posuzování bezpečnosti hráze

#### 3.1 MAXIMÁLNÍ KONTROLNÍ HLADINA

KMH se stanovuje výpočtem průchodu stanovené KPV nádrží. Je zřejmé, že v průběhu rekonstrukce je bezpečnost hráze a její pravděpodobnost poruchy významně ovlivněna použitými stavebními postupy a dobou jejich trvání. Harmonogram prací by proto měl být vždy připraven ve více variantách a s dostatečným předstihem, aby bylo možné specifikovat a projednat požadavky na zajištění nezbytných opatření k zajištění bezpečnosti hráze.

Postup výpočtu je obvykle prováděn metodou pokus-omyl a jeho cílem je nalézt výchozí hladinu vody v nádrži (reprezentuje požadavek na povyprázdnění nádrže) v průběhu rekonstrukce a dále formulovat doporučení pro realizaci podpůrných opatření (manipulace spodními výpustmi, stanovení kóty horní hrany stavební jímky, apod.).

Při průchodu KPV by měly být zohledněny všechny dostupné objekty, které jsou v průběhu rekonstrukce k dispozici. Relevantně by měla být posouzena očekávaná spolehlivost a funkčnost spodních výpustí a dostupných odběrů včetně možných adaptabilních opatření, např. nouzové či násilné otevření uzávěrů, v nebezpečné situaci. Příkladem je otevření boční stěny přelivu při opravě VD Mostiště (obr. 4). Operativní opatření mohou být přijata také tehdy, když je rekonstruovaná hráz součástí soustavy, např. s cílem dosáhnout efektivnějšího průchodu povodně.



Obr. 4 Otvěření přelivu v průběhu rekonstrukce hráze

### 3.2 MEZNÍ BEZPEČNÁ HLADINA

MBH se definuje pro každou fázi rekonstrukce v závislosti na aktuálním stavu prací na jednotlivých stavebních objektech. Při stanovení MBH se vychází z postupu výstavby, pro porušení tělesa hráze je obvykle limitujícím účinek povrchové eroze a tvorba výmolů, kdy je snaha předejít scénáři přelití kritických míst. Těmi jsou především koruna hráze a otevřená základová spára přelivu a skluzu, zejména v kontaktu s tělesem sypané hráze.

Z pohledu stanovení MBH jsou kritické fáze rekonstrukce následující:

- odstranění vlnolamu nebo plného zábradlí na koruně hráze,
- snížení koruny hráze za účelem zvýšení těsnicího jádra,
- realizace ochrany návodního svahu,
- otevření/odstranění přelivu a spadiště jejich demolicí,
- rekonstrukce skluzu a vývaru v blízkosti násypu hráze, atd.

V průběhu rekonstrukce lze uplatnit opatření, která vedou k dočasnému zvýšení MBH. Jedná se především o následující:

- stavební jímky (obr. 5), mobilní protipovodňové prvky zvyšují MBH a chrání staveniště proti zvýšení hladiny v nádrži,
- opatření snižující výběh vln, např. kamenný pohoz,
- pytle s pískem instalované podél koruny hráze (obr. 6).

Některá z výše uvedených opatření se instalují na celou dobu trvání rekonstrukce (např. stavební jímky), některá se používají pouze v krizových situacích při povodni (např. pytle s pískem nebo pohozy).



*Obr. 5 Betonová jímka aplikovaná při rekonstrukci VD Šance*



*Obr. 6 Pytle s pískem umístěné na koruně hráze VD Znojmo s cílem snížit riziko přelítí*

#### **4. ZÁVĚR**

Zajištění dostatečné bezpečnosti hrází v průběhu jejich rekonstrukcí by mělo být prioritou všech zúčastněných stran. V tomto článku je obecně popsán postup stanovení roční pravděpodobnosti výskytu kontrolní povodňové vlny určující bezpečnost hráze v průběhu její rekonstrukce. Stavební práce mohou během určité etapy výstavby vyžadovat realizaci dočasných opatření, která zajistí požadovanou úroveň bezpečnosti vodního díla. Jedná se především o opatření vedoucí ke snížení maximální kontrolní hladiny při průchodu povodně. Jde např. o povyprázdnění nádrže a snížení koruny bezpečnostního přelivu. Další možností je zvýšit mezní bezpečnou hladinu pomocí stavební jímky nebo také operativně pomocí pytlů s

pískem. Konečné posouzení bezpečnosti musí prokázat, že mezní bezpečná hladina je vyšší než maximální kontrolní hladina, a to v jakékoli fázi výstavby.

Z pohledu provozu díla je omezující zejména snížení hladiny vody v nádrži, které může být důvodem diskuze a protichůdných stanovisek uživatelů vody a provozovatelem (vlastníkem) díla. V článku popsaná metoda objektivizuje potřebu povypřázdnění nádrže, stejně jako dobu trvání takového stavu. Formalizovaný postup dále umožňuje vyhodnotit různé varianty postupu výstavby a poskytuje argumenty do diskuze zda, v jaké míře a proč je omezení provozu nádrže nezbytné z hlediska bezpečnosti vodního díla.

### Poděkování

Tento článek vznikl za podpory projektů *Ochrana konstrukcí vodních staveb a přirozených břehu před účinky oscilačních větrových vln* (TH03030182) a AdMaS UP (LO1408).

### SEZNAM LITERATURY

- [1] ICOLD, 1995. *DAM FAILURES STATISTICAL ANALYSIS*, ICOLD BULLETIN, 99, 76 P.
- [2] ICOLD, 2003. *DAMS AND FLOOD. GUIDELINES AND CASES HISTORIES*, ICOLD BULLETIN 125, 229 P.
- [3] VYHLÁŠKA Č. 367/2005 SB., *O TECHNICKÝCH POŽADAVCÍCH PRO VODNÍ DÍLA*.
- [4] ČSN 75 2935, 2014. *POSUZOVÁNÍ BEZPEČNOSTI VODNÍCH DĚL PŘI POVODNÍCH*.
- [5] ŘÍHA J. 2017. *STANOVENÍ ZÁPLAVOVÉHO ÚZEMÍ OD PROTRŽENÍ VD CHOLTICKÝ*.
- [6] BOWLES D.S., ABOELATA M., 2007. *EVACUATION AND LIFE-LOSS ESTIMATION MODEL FOR NATURAL AND DAM BREAK FLOODS, IN EXTREME HYDROLOGICAL EVENTS: NEW CONCEPTS FOR SECURITY*, O.F. VASILIEV ET AL. (ED.), NATO SCIENCE SERIES, 78, SPRINGER, DORDRECHT, 363-383, DOI: 10.1007/978-1-4020-5741-0\_25.
- [7] BROWN C.A., GRAHAM W.J., 1988. *ASSESSING THE THREAT TO LIFE FROM DAM FAILURE*, JOURNAL OF AMERICAN WATER RESOURCES ASSOCIATION, 24 (6), 1303-1309, DOI: 10.1111/J.1752-1688.1988.TB03051.X.
- [8] GRAHAM W.J., 1999. *A PROCEDURE FOR ESTIMATING LOSS OF LIFE CAUSED BY DAM FAILURE*, DSO-99-06, DAM SAFETY OFFICE, U.S. DEPARTMENT OF INTERIOR, USBR, DENVER, COLORADO, USA, 43 P., AVAILABLE ONLINE AT [HTTPS://WWW.USBR.GOV/SSLE/DAMSAFETY/TECHDEV/DSOTECHDEV/DSO-99-06.PDF](https://www.usbr.gov/ssle/damsafety/techdev/dsotechdev/dso-99-06.pdf) (DATA ACCESS 04.07.2017).
- [9] MCCLELLAND D.M., BOWLES D.S., 2002. *ESTIMATING LIFE LOSS FOR DAM SAFETY RISK ASSESSMENT – A REVIEW AND NEW APPROACH*, US ARMY CORPS OF ENGINEERS, INSTITUTE FOR WATER RESOURCES REPORT 02-R-3, 403 P., AVAILABLE ONLINE AT [HTTP://WWW.IWR.USACE.ARMY.MIL/PORTALS/70/DOCS/IWRREPORTS/02-R-3.PDF](http://www.iwr.usace.army.mil/portals/70/docs/iwrreports/02-R-3.pdf) (ACCESS 04.07.2017).
- [10] DAM SAFETY, 2011. *DAM SAFETY PUBLIC PROTECTION GUIDELINES. A RISK FRAMEWORK TO SUPPORT DAM SAFETY DECISION-MAKING*. U.S. DEPARTMENT OF THE INTERIOR BUREAU OF RECLAMATION, DAM SAFETY OFFICE, DENVER, COLORADO, USA, 32 P., AVAILABLE ONLINE AT



*[HTTPS://WWW.USBR.GOV/SSLE/DAMSAFETY/DOCUMENTS /PPG201108.PDF](https://www.usbr.gov/ssle/damsafety/documents/ppg201108.pdf) (DATA ACCESS 04.07.2017).*

*[11] DAMS SECTOR, 2011. ESTIMATING ECONOMIC CONSEQUENCES FOR DAM FAILURES SCENARIOS, US DEPARTMENT FOR HOMELAND SECURITY, USA, 52 P., AVAILABLE ONLINE AT [HTTPS://WWW.YUMPU.COM/EN/DOCUMENT/VIEW/29287776/ESTIMATING-ECONOMIC-CONSEQUENCES-FOR-DAM-FAILURE-SCENARIOS](https://www.yumpu.com/en/document/view/29287776/estimating-economic-consequences-for-dam-failure-scenarios) (ACCESS 04.07.2017).*

### **AUTOŘI**

prof. Ing. Jaromír Říha, CSc.

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební

Veveří 95, 602 00 Brno

e-mail: [riha.j@fce.vutbr.cz](mailto:riha.j@fce.vutbr.cz)

Ing. Miroslav Špano, Ph.D.

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební

Veveří 95, 602 00 Brno

e-mail: [spano.m@fce.vutbr.cz](mailto:spano.m@fce.vutbr.cz)

# EXPERTNÝ KONTROLNÝ SYSTÉM PLAVEBNEJ PREVÁDZKY VODNÉHO DIELA GABČÍKOVO

## EXPERT CONTROL SYSTEM OF SHIPPING OPERATION ON THE GABČÍKOVO PROJECT

*Peter Šulek, Ľudovít Možiešik, Tomáš Kinczer*

**Abstrakt:** Úlohou riadenia plavebnej prevádzky Vodného diela Gabčíkovo (VDG) je zladit' viacero (a mnohokrát antagonistických) požiadaviek na prevádzku VDG vychádzajúcich z jeho viacúčelovosti tak, aby prevádzka VDG bola efektívna, nebola obmedzená spoľahlivosť prevádzky VDG a súčasne nebola ohrozená a obmedzená bezpečnosť plavby. Vzhľadom na uvedené, je možné riadenie plavebnej prevádzky VDG vo všeobecnosti definovať ako zložitú multikriteriálnu optimalizačnú úlohu s mnohými technologickými, vodohospodárskymi, energetickými či environmentálnymi obmedzeniami. Štandardné riešenie takéhoto problému zahŕňa vypracovanie optimalizačného modelu prevádzky VD. V prípade, že neexistuje matematický popis riešeného problému, je riešenie možné aplikovať v podobe "klasického" expertného systému riadenia. Na základe vyššie uvedených kritérií optimalizácie sa najefektívnejším riešením javí vytvorenie softvérovej aplikácie kombinujúcej oba prístupy k riešeniu. Článok popisuje architektúru navrhovaného Expertného systému a sústreďuje sa najmä na analýzu vhodnosti použitia heuristických optimalizačných metód pri riešení vyššie uvedených optimalizačných problémov.

**Kľúčové slová:** Vodné dielo Gabčíkovo, Dunaj, expertný kontrolný systém, optimalizačný model, heuristické optimalizačné metódy

**Abstract:** Task of shipping operations control of the Gabčíkovo Project (GAP) is to synchronize several requirements. The operation of the GAP must be effective, reliable and shipping safety must not be endangered. By taking these goals into account, it is possible, in general, to define operation of the GAP as complex multi-criteria optimization task with many technological, water management, energetic and environmental constrains. Standard approach in solving this problem includes elaboration of optimization model of operation. If mathematical description of problem does not exist, 'classic' expert control system management must be applied. Based on above stated criteria, most effective approach to this problem appears to be creating software application that combines both approaches. Architecture of proposed expert system is described in the paper and the focus is mainly on analyzing suitability of heuristic optimization methods for solving above the stated optimization problems.

**Keywords:** the Gabčíkovo project, the Danube river, the expert control system, optimization model, heuristic optimization methods

### 1. ÚVOD

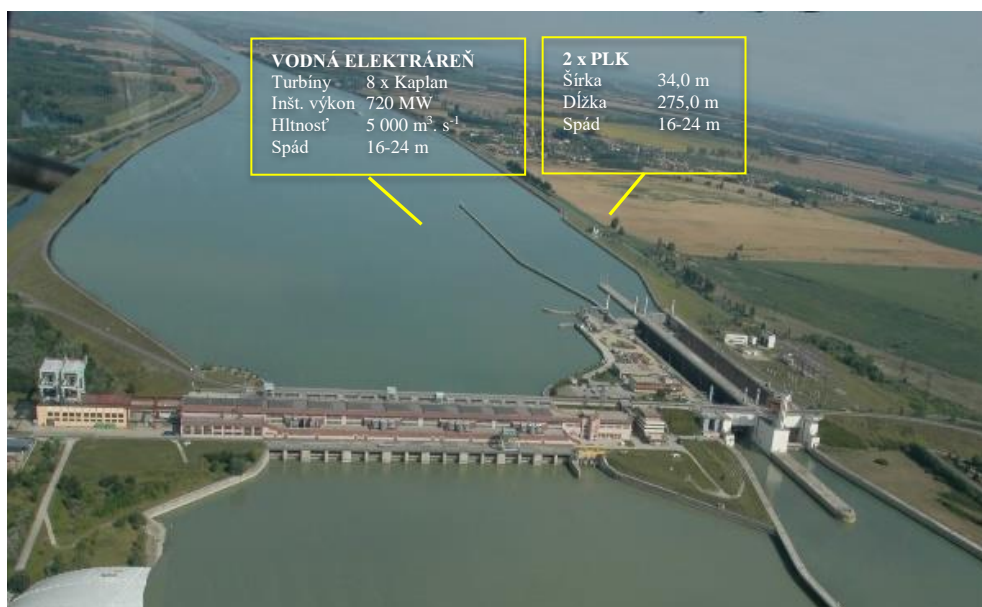
Vodné dielo Gabčíkovo (VDG) je typom viacúčelového vodného diela. Okrem medzinárodnej plavby zabezpečuje ochranu príl'ahlého územia pred povodňami, predpísané odbery vody a je využívané aj energeticky – vid'. Obr. 1 a 2. Regulačné energetické funkcie VDG (t.j. znižovanie a zvyšovanie výkonu VE Gabčíkovo (VEG) na základe požiadaviek energetického systému) však môžu byť uplatnené iba obmedzene, pretože nie je realizovaná vyrovnávací nádrž VD

Nagyymaros. VD Nagyymaros malo okrem vyrovnania špičkového odtoku z VEG zabezpečovať aj parametre plavebnej dráhy v úseku Dunaja pod VDG. Nedobudovanie sústavy vodných diel Gabčíkovo – Nagyymaros (SVD G-N) má za následok, že parametre plavebnej dráhy (najmä hĺbka vody v plavebnej dráhe) sú priamo ovplyvnené manipuláciou s prietokmi na VEG, pričom prevádzka VDG nesmie spôsobiť pokles plavebných hĺbok pod hlásené hodnoty a to najmä na brodových úsekoch. V prípade, že by boli tieto parametre podkročené môže byť výrazne ohrozená bezpečnosť medzinárodnej plavby na Dunaji.

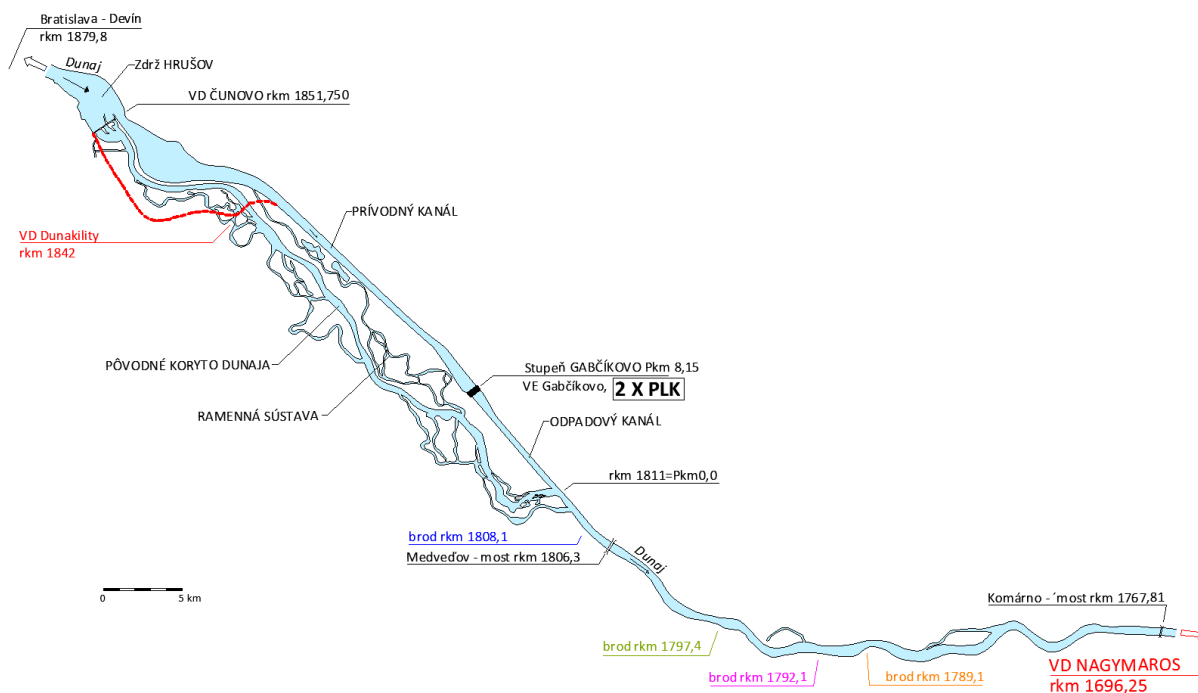
Na efektívnosť a spoľahlivosť plavebnej prevádzky priamo na objektoch VDG má vplyv najmä prevádzka PLK. Z výsledkov meraní a následných výpočtov uvedených v [1] je zrejmé, že v súčasnosti používaný spôsob priebehu prázdnenia PLK (len 2 resp. 1 kanál a rýchle otvorenie uzáverov kanálov - cca 4 min) spôsobuje prekročenie maximálnej prípustnej rýchlosti prúdenia v plniacom a prázdniacom systéme PLK o viac ako polovicu, čo má preukázateľne priamy vplyv na deštrukciu stavebných a technologických súčastí PLK. Na strane jednej sa síce zvyšuje efektívnosť plavebnej prevádzky minimalizovaním doby preplavovacieho cyklu, na strane druhej sa však výrazne znižuje jej spoľahlivosť zvýšeným počtom odstávok PLK s následným prerušením resp. obmedzením plavby na Dunaji.

Vzhľadom na zložitosti hydraulického systému plnenia a prázdnenia PLK VDG a zložitosti riadenia VEG súvisiaceho s novými trendmi v obchodovaní s elektrickou energiou v prostredí liberalizovaného trhu je veľmi obtiažne (ak nie nemožné) prevádzkovať VDG len na základe skúseností prevádzkovateľa. Prevádzka a riadenie VDG je podmienené použitím dôsledného riadiaceho systému (optimalizačného nástroja), ktorý organizuje prepúšťanie prietokov cez objekty tak, aby:

1. bolo zaistené čo najrýchlejšie preplavenie plavidiel cez PLK a súčasne bolo minimalizované namáhanie stavebných a technologických častí plniaceho systému PLK - t.j. optimalizácia priebehu plnenia a prázdnenia PLK,
2. bola zaistená bezpečnosť plavebnej prevádzky (t.j. nepokročenie minimálnych plavebných hĺbok na celom úseku Dunaja ovplyvnenom prevádzkou VDG) a súčasne boli maximalizované tržby z výroby elektrickej energie na VDG - t.j. optimalizácia hydroenergetického využitia VDG.



Obr. 1 Stupeň Gabčíkovo



Obr. 2 Situácia VD Gabčíkovo

## 2. MATERIÁLY A METÓDY

### 2.1 Optimalizácia priebehu plnenia a prázdnenia PLK

Na parametre prúdenia v plniacom a prázdniacom systéme PLK (F/ES) má vplyv mnoho parametrov: použitý typ F/ES, parametre F/ES ako sú geometrický tvar jednotlivých súčastí, rozmery jednotlivých súčastí (priečny rez kanálov, trasa kanálov, prepojenie kanálov, počet, plocha a rozmiestnenie štrbín v strope kanálov, počet, rozmery a rozmiestnenie priečných rúr a rozmery štrbín, odporové charakteristiky). Z fyzikálneho princípu plnenia resp. prázdnenia PLK a je zrejmé, že na priebeh plnenia/prázdnenia PLK má okrem vyššie uvedených parametrov výrazný vplyv aj priebeh funkcie otvárania výtokových resp. vtokových uzáverov.

#### 2.1.1 Formulácia optimalizačného problému

Každý preplavovací cyklus cez PLK predstavuje optimalizačnú úlohu, ktorej cieľom je rýchle a bezpečne preplaviť plavidlo/á cez PLK a súčasne minimalizovať namáhanie stavebných a technologických častí plniaceho/prázdniaceho systému. Keďže ide o dva protichodné ciele je nutné na riešenie použiť multikriteriálny optimalizačný model, ktorý je možné matematicky formulovať v tvare:

$$F = w_1 \cdot T + w_2 \cdot v_{\max} \rightarrow \min \quad (1)$$

kde  $F$  je multikriteriálna (cieľová) funkcia vyjadrujúca cieľ, ktorý sa má pri daných, najmä technologických obmedzeniach PLK optimalizáciou dosiahnuť,  $T$  je čas naplnenia resp. vyprázdnenia PLK,  $v_{\max}$  je maximálna dosiahnutá rýchlosť prúdenia vody v kanáloch PLK a  $w_1$ ,  $w_2$  sú váhové koeficienty jednotlivých kritérií optimalizácie.

**Výsledkom** minimalizácie funkcie  $F$  (1) je **nájdenie optimálneho priebehu otvárania uzáverov, pri ktorom nebudú prekročené maximálne prípustné rýchlosti prúdenia vody**

v plniacom a prázdniacom systéme PLK (resp. budú tieto rýchlosti minimalizované) a súčasne bude doba preplavenia čo najkratšia.

### 2.1.2 Optimalizačný model priebehu plnenia a prázdnenia PLK

Pri matematickom opise optimalizačného modelu plnenia a prázdnenia PLK VDG formulovaného funkciou (1) je treba vychádzať z teórie plnenia a prázdnenia plavebných komôr s výtokom pod počiatočnú hladinu vody v PLK a s nelineárnym otváraním vtokových a výtokových uzáverov.

Pri výpočtoch doby plnenia resp. prázdnenia PLK sa vychádza z vyjadrenia elementárneho objemu vody  $dV$ , ktorý pretečie z jednej "nádoby" do druhej za časový interval  $dt$ . Tento jav je vyjadrený dvomi diferenciálnymi rovnicami, a to dynamickou rovnicou (2) a rovnicou kontinuity (3).

$$dV = \mu \cdot f \cdot \sqrt{2gy} dt \quad (2)$$

$$dV = -F_s \cdot dy \quad (3)$$

kde  $t$  je čas od začiatku plnenia / prázdnenia [s],  $\mu$  súčiniteľ strát plnenia / prázdnenia PLK,  $F_s$  pôdorysná plocha PLK [m<sup>2</sup>] a  $f$  prietoková plocha otvoru plnenia / prázdnenia [m<sup>2</sup>].

Základná schéma pre výpočet plnenia / prázdnenia PLK je zobrazená na Obr. 3.



Obr. 3 Základná schéma plnenia / prázdnenia PLK pri jednoduchom plnení obtokmi

kde  $f_i$  je prietoková plocha obtoku [m<sup>2</sup>],  $T$  čas naplnenia / vyprázdnenia PLK [s],  $H_0$  počiatočný spád v PLK [m] a  $y$  okamžitý spád v PLK v čase  $t$  [m].

Čas vyprázdnenia PLK pri nelineárnej manipulácii s výtokovými uzávermi je možné popísať diferenciálnou rovnicou:

$$T = \frac{-F_s}{\mu(y, f, \dots) \cdot f(t) \cdot \sqrt{2g}} \int_0^{H_0} \frac{dy}{\sqrt{y}} \quad (4)$$

hľadaná optimálna funkcia výtokovej plochy uzáveru

Na výpočet okamžitého prítoku vody do komory je možné použiť vzťah:

$$Q = \mu(y, f, \dots) \cdot f(t) \cdot \sqrt{2gy} \quad (5)$$

Na základe vyššie uvedených vzťahov je možné multikriteriálny optimalizačný model prázdnenia PLK formulovať v tvare:

$$F = w_1 \cdot \frac{-F_s}{\mu(y, f, \dots) \cdot f(t) \cdot \sqrt{2g}} \int_{H_0}^0 \frac{dy}{\sqrt{y}} + w_2 \cdot \frac{[\mu(y, f) \cdot f(t) \cdot \sqrt{2gy}]_{\max}}{S} \rightarrow \min \quad (6)$$

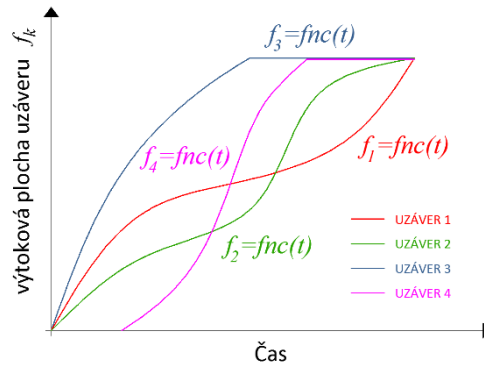
Cieľovú funkciu (6) je pri riešení nutné doplniť o obmedzujúce podmienky:

$$v_{\max} \leq \overline{v_{\max}} \quad (7)$$

$$f(t) \leq f_{\max} \quad (8)$$

$$t \leq t_T \quad (9)$$

kde  $\overline{v_{\max}}$  je maximálna prípustná rýchlosť vody v kanáloch PLK,  $f_{\max}$  maximálna plocha výtokovej plochy uzáveru,  $t_T$  maximálna doba otvárania uzáveru. Analogicky je možné podľa vzťahov (2) a (3) odvodiť vzťahy aj pre plnenie PLK. Všeobecný tvar **funkcií optimálnych manipulácií s uzávermi** je znázornený na Obr. 4.



Obr. 4 Všeobecný tvar funkcií optimálnych manipulácií s uzávermi

### 2.1.3 Metódy riešenia optimalizácie

Cieľovú funkciu (6) je možné definovať ako nelineárny optimalizačný problém s nelineárnymi obmedzujúcimi podmienkami a so zložitým tvarom cieľovej funkcie. Komplikovanosť spôsobuje najmä nelineárny priebeh hľadanej funkcie a vzájomná prepojenosť medzi súčiniteľom plnenia/prázdnenia PLK, prítokom/odtokom z PLK a hľadanou funkciou otvárania uzáverov  $f(t)$ . Vzhľadom na to, že cieľová funkcia popisujúca tento problém sa vyznačuje zložitým priebehom povrchu, je analytické riešenie tejto úlohy prakticky nemožné. Na riešenie takto formulovanej úlohy je možné použiť rôzne metódy operačnej analýzy.

V prípade riešenia rozsiahlych (large-scale) a zložitých problémov sa môžu klasické (numerické) optimalizačné metódy dostávať do mnohých ťažkostí (napr. tzv. “preklatie rozmernosti” úloh) napriek tomu, že pri riešení menej zložitých úloh vykazujú vysokú efektivitu. Možnosti riešenia optimalizácie plnenia single PLK pomocou Mixed Integer Linear Programming (MILP) sú publikované napr. v [2, 3].

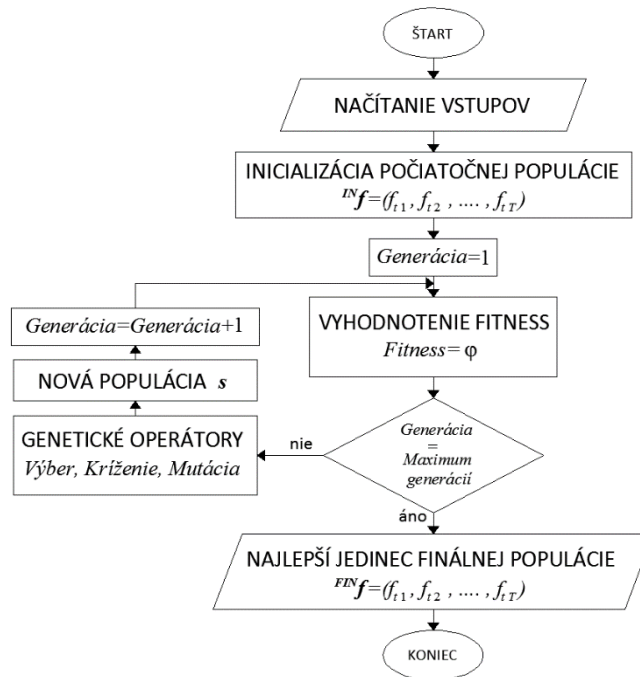
Na riešenie mnohoparametrových optimalizačných funkcií s “divokým” priebehom, t.j. s množstvom extrémov alebo s neznámym gradientom, pre ktoré neexistuje adekvátny špecifický algoritmus prípadne priamočiara numerická metóda sa používajú najmä heuristické optimalizačné metódy (napr. particle-swarm optimization (PSO), ant colony optimization (ACO), simulované žihanie (SA) a iné). Ide o vyhľadávacie algoritmy, ktoré sú charakterizované určitou inteligenciou, a preto ich zaradujeme skôr medzi metódy umelej inteligencie. Možnosti optimalizácie plnenia PLK pomocou PSO boli preukázané v [4]. ACO bola použitá v [5] a metóda simulovaného žihania v [6]. Riešenie na báze kombinácie SA a MINLP bolo použité na optimalizáciu PLK vodného diela Tri sútesky v [7].

Medzi významných predstaviteľov heuristických optimalizačných metód patria aj genetické algoritmy (GA). Tieto algoritmy simulujú logiku darwinovského prirodzeného výberu, ktorého výsledkom sú dokonalejšie organizmy. GA algoritmus podobnými princípmi vyhľadáva najlepšie riešenia technických a iných problémov. Použitie GA pri optimalizácii plnenia a prázdnenia PLK bolo publikované v [8].

V prípade riešenia funkcie (6) pomocou GA je nutné funkcia  $F$  transformovať do pseudo fitness funkcie  $\varphi$ , ktorú je možné zapísať v tvare:

$$\varphi = - \left( \underbrace{w_1 \cdot \frac{-F_S}{\mu(y, \dots) \cdot f(t) \cdot \sqrt{2g}} \int_{H_0}^0 \frac{dy}{\sqrt{y}} + w_2 \cdot \frac{[\mu(y, f) \cdot f(t) \cdot \sqrt{2gy}]_{\max}}{S}}_{\text{Vhodnosť jedinca}} \right) - \underbrace{W_{pen} \sum_{\lambda=1}^A s_{\lambda} pen_{\lambda}}_{\text{Penalizácia jedinca}} \rightarrow \max \quad (10)$$

kde  $pen_{\lambda}$  sú penalizačné funkcie nahradzujúce obmedzujúce podmienky riešenia,  $W_{pen}$  váhový faktor penalizácie,  $A$  počet obmedzení a  $s_{\lambda}$  faktor vyjadrujúci váhu striktnosti dodržania jednotlivých obmedzení. Vzájomným pomerom jednotlivých váh je možné “pritvrdzovať” resp. “uvoľňovať” jednotlivé ohraničenia úlohy. Príklad blokovej schémy optimalizácie plnenia/prázdnenia PLK použitím GA je na Obr. 5.



Obr. 5 Príklad blokovej schémy optimalizácie plnenia / prázdnenia PLK StG použitím GA

V prípade plnenia resp. prázdnenia PLK viacerými uzávermi je riešenie pseudo fitness funkcie  $\varphi(10)$  reprezentované maticou vektorov  $^{FIN}f_k$ , ktorú je možné zapísať v tvare :

$$^{FIN}f_k = \begin{pmatrix} f_{1,t_1} & f_{1,t_2} & \dots & f_{1,t_i} & \dots & f_{1,t_{T1}} \\ f_{2,t_1} & f_{2,t_2} & \dots & f_{1,t_i} & \dots & f_{2,t_{T2}} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ f_{k,t_1} & f_{k,t_2} & \dots & f_{k,t_i} & \dots & f_{k,t_{Tk}} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ f_{N,t_1} & f_{N,t_2} & \dots & f_{N,t_i} & \dots & f_{N,t_{TN}} \end{pmatrix} \quad \text{pre } \forall k \in \langle 1, N \rangle, \forall i \in \langle 1, T \rangle \quad (11)$$

kde  $k$  je index (poradové číslo) uzáveru,  $k=1, 2, \dots, N$ ,  $N$  počet uzáverov zúčastnených na optimalizácii prázdnenia/plnenia PLK,  $f_{kT}$  optimálna výtoková plocha  $k$ -tého uzáveru v čase  $t_i$  a  $t_{Tk}$  maximálna doba otvárania  $k$ -tého uzáveru.

## 2.2. Optimalizácia hydroenergetického využitia VDG

### 2.2.1 Formulácia optimalizačného problému

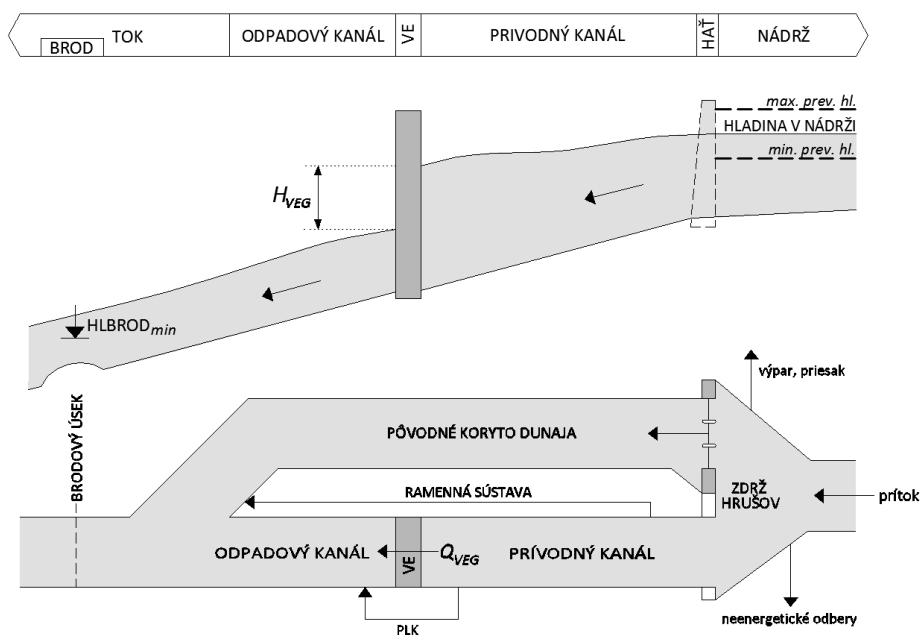
Účelovú funkciu vyjadrujúcu základný cieľ hydroenergetickej prevádzky VDG (t.j. maximalizáciu zisku z výroby elektrickej energie) je možné zapísať v tvare :

$$F = \sum_{i=1}^T c_i \cdot P_{VEGi}(Q_{VEGi}, H_{VEGi}) \rightarrow \max \quad (12)$$

kde  $c_i$  je ocenenie elektrickej energie v  $i$ -tej hodine,  $P_{VEGi}$  výkon VEG v  $i$ -tej hodine,  $Q_{VEGi}$  prietok cez VEG v  $i$ -tej hodine (**hľadaná premenná**) a  $H_{VEGi}$  čistý spád na VEG v  $i$ -tej hodine.

### 2.2.2 Optimalizačný model hydroenergetickej prevádzky VDG

Na Obr. 6 je znázornená hydroenergetická výpočtová schéma VDG.



Obr. 6 Hydroenergetická schéma VDG



Hľadané hodnoty prietokov cez VEG “ $Q_{VEG i}$ ” (t.j. plán prevádzky VEG v hodinovom rastri) sú výsledkom maximalizácie účelovej funkcie (12), ktorú je nutné pri riešení doplniť o obmedzujúce podmienky vychádzajúce z obmedzení v manipulačnom poriadku SVD G-N (zahrňujúce aj obmedzenia týkajúce sa zabezpečenia plavebných podmienok najmä na brodových úsekoch Dunaja, t.j.  $HLBROD >= HLBROD_{min}$ ) resp. z obmedzení daných konštrukčnými a prevádzkovými parametrami VD.

Účelová funkcia (12) doplnená o obmedzujúce podmienky predstavuje zmiešaný celočíselný nelineárny problém s nelineárnymi obmedzujúcimi podmienkami. Zdrojom nelinearity riešenia je najmä zložitý vzťah medzi prietokom a výkonom VEG. Vplyvom zmien prietoku cez VEG v čase vyvolanými premenlivými požiadavkami na výkon VEG vzniká nad resp. pod StG neustálený režim prúdenia vody sprevádzaný zmenami polohy hladiny v čase nad resp. pod VEG. Tieto zmeny majú vplyv na okamžitú hodnotu čistého spádu na VE, na hodnotu účinnosti premeny energie na VE a následne na hodnotu výkonu VE.

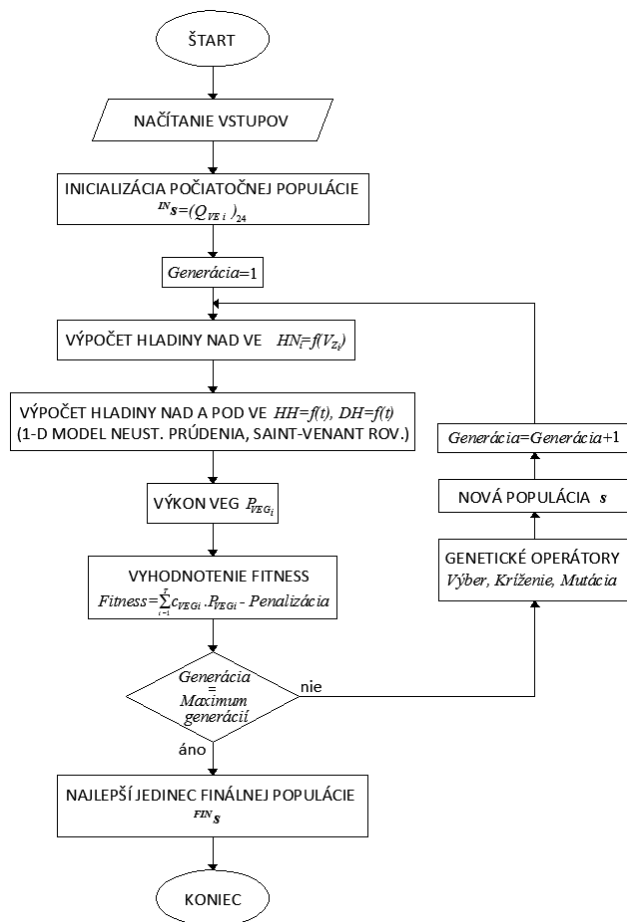
V prípade predmetného úseku Dunaja (Bratislava - Devín po Komárno - most) je možné (pri uvažovaní pozvoľných zmien prietokov a hladín) jednorozmerné neustálené prúdenie s voľnou hladinou matematicky popísať sústavou parciálnych diferenciálnych rovníc Saint-Venanta v tvare:

$$\frac{\partial Z}{\partial x} + \frac{1}{g} \frac{\partial U}{\partial t} + \frac{U}{g} \frac{\partial U}{\partial x} = -\frac{U|U|}{C^2 R} \quad (13)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial S}{\partial t} = 0 \quad (14)$$

kde  $Z$  je kóta hladiny v profile [m],  $x$  vzdialenosť profilu od počiatku ( $x=0$ ) v smere prúdenia [m],  $U$  priemerná rýchlosť prúdenia v profile [ $m \cdot s^{-1}$ ],  $t$  čas [s],  $g$  gravitačné zrýchlenie [ $m \cdot s^{-2}$ ],  $C$  rýchlostný súčiniteľ,  $R$  hydraulický polomer [m],  $Q$  prietok v toku [ $m^3 \cdot s^{-1}$ ] a  $S$  plocha prietočného profilu [ $m^2$ ].

Po doplnení sústavy rovníc (13) a (12) o vhodne definované okrajové a počiatkové podmienky je možné stanoviť časový vývoj prietoku a hladiny v ľubovoľnom profile predmetného úseku Dunaja.



Obr. 7 Bloková schéma optimalizácie hydroenergetickej prevádzky VD Gabčíkovo pomocou GA

### 2.2.3 Metódy riešenia optimalizácie

Vzhľadom na zložitosť matematického vyjadrenia neustáleného režimu prúdenia v otvorených korytách pomocou Saint-Venantových rovníc nie je na riešenie účelovej funkcie (12) možné použiť klasické numerické optimalizačné metódy. Na Obr. 7 je bloková schéma optimalizačného modelu hydroenergetickej prevádzky VDG využívajúca na riešenie maximalizácie účelovej funkcie (12) genetické algoritmy. Vzhľadom na to, že GA sú optimalizačné algoritmy umožňujúce riešiť len neohraničené problémy je nutné pretransformovať ohraničenia zavedením penalizačných funkcií (tzv. *Penalizácie*), ktoré penalizujú prekročenie obmedzujúcich podmienok riešenia.

## 3. VÝSLEDKY

Na základe výsledkov analýzy [1] je zrejmé, že prevádzkovateľ VDG nemá v súčasnosti k dispozícii adekvátny softvérový (ani nijaký iný) nástroj na vhodný na optimalizáciu priebehu plnenia a prázdnenia PLK ani na optimalizáciu hydroenergetického využitia VDG.

Základným opatrením riešenia súčasného stavu je vytvoriť a do prostredia reálnej prevádzky VDG implementovať softvérovú aplikáciu Expertný kontrolný systém plavebnej prevádzky VDG (EKS), ktorého hlavná úloha bude kontrola nauticko - energetickej prietokovej a hladinovej prevádzky VDG tak, aby bola zaistená efektivita, spoľahlivosť a bezpečnosť plavebnej prevádzky VDG nielen na plavebných objektoch VDG, ale na celom úseku Dunaja ovplyvnenom prevádzkou VDG.

Na základe rozboru problematiky uvedenej vyššie je na *Obr. 8* zobrazený návrh blokovej schémy EKS s vyznačením základných vstupov, výstupov a procedúr.

Základnými vstupmi optimalizačného modelu plnenia a prázdnenia PLK sú:

- okamžitá poloha hladiny v hornej a dolnej rejde PLK v čase inicializácie optimalizačného výpočtu (merané hodnoty),
- technologické a prevádzkové obmedzenia PLK,
- báza znalostí a skúseností prevádzkovateľa z reálnej prevádzky PLK,
- báza údajov o prevádzke PLK (napr. výsledky 3D simulácií plnenia/prázdnenia PLK)

Základnými výstupmi optimalizačného modelu plnenia a prázdnenia PLK sú:

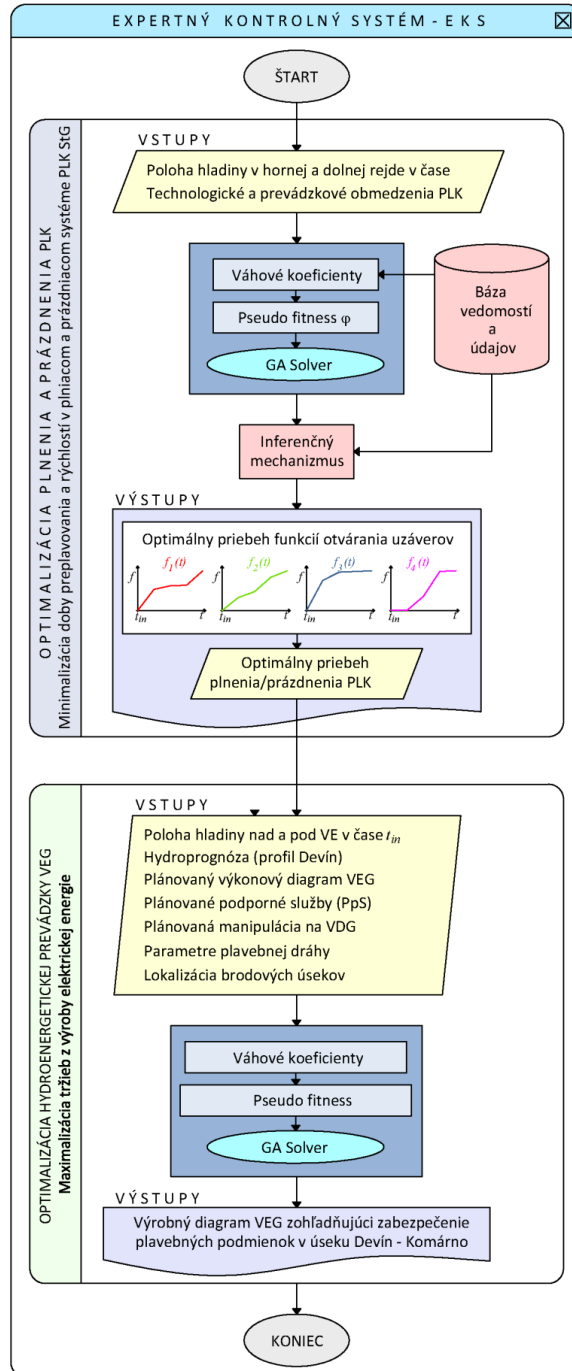
- optimálny časový priebeh manipulácie s vtokovými a výtokovými uzávermi plniaceho a prázdniaceho systému PLK,
- optimálny priebeh plnenia a prázdnenia PLK (vstup do optimalizácie hydroenergetickej prevádzky VDG).

Základnými vstupmi optimalizácie hydroenergetickej prevádzky VDG sú:

- optimálny priebeh plnenia a prázdnenia PLK StG (vstup získaný riešením optimalizačného modelu plnenia a prázdnenia PLK),
- ocenenie výroby elektrickej energie v jednotlivých hodinách obchodného diagramu,
- hydroprognóza v profile Devín,
- konštrukčné parametre a limity VDG resp. odstávky a obmedzenia technologického zariadenia VEG,
- požadované hodnoty podporných služieb na VEG,
- požadovaná manipulácia na objektoch VDG (odbery, hladiny),
- parametre plavebnej dráhy, lokalizácia brodových úsekov.

Základnými výstupmi optimalizácie hydroenergetickej prevádzky VDG sú:

- návrh prerozdelenia prirodzených prietokov Dunaja na VEG a následný plán elektrického výkonu na VEG so zohľadnením regulačnej rezervy v časovom rastru 1 hodina navrhnutý tak, aby boli zabezpečené všetky okrajové vodohospodárske, energetické a plavebné podmienky,
- časový priebeh prietokového a hladinového režimu na Dunaji v úseku Bratislava- Devín po Komárno - most v danom časovom období.



Obr. 8 Schéma Expertného kontrolného systému (EKS) plavebnej prevádzky StG

#### 4. ZÁVERY

Na základe analýzy súčasného stavu zaistenia kontroly efektivity, spoľahlivosti a bezpečnosti plavebnej prevádzky VDG je možné konštatovať:

- V súčasnosti používaný spôsob priebehu prázdnenia PLK StG (len 2 kanály a rýchle otvorenie uzáverov kanálov - cca 4 min) spôsobuje prekročenie (projektantom stavebnej časti PLK stanovenej) maximálnej prípustnej rýchlosti prúdenia v hydraulickom systéme

plnenia a prázdnenia PLK o viac ako polovicu, čo má preukázateľne priamy vplyv na deštrukciu stavebných a technologických súčasti PLK.

- Prevádzkovateľ VDG nemá v súčasnosti k dispozícii adekvátny softvérový (ani nijaký iný) nástroj, ktorý by minimalizoval rýchlosti v hydraulickom systéme plnenia a prázdnenia PLK a súčasne by neobmedzoval efektivitu preplavovania neúmerným predĺžovaním doby plnenia resp. prázdnenia PLK.
- Nedostatočné portfólio energetických zdrojov súčasného prevádzkovateľa VDG a snaha o maximalizáciu tržieb z predaja za vyrobenú elektrickú energiu na VEG vyvoláva výraznú potrebu intenzívnejšieho využívania regulačných možností VEG (t.j. intenzívnejšiu manipuláciu s prietokmi na VEG), čím sa výrazne ovplyvňuje hladinový režim Dunaja a výrazne sa zvyšuje riziko podkročenia minimálnych prevádzkových hladín najmä na brodových úsekoch.
- Prevádzkovateľ VDG nemá v súčasnosti k dispozícii vhodný softvérový (ani nijaký iný) nástroj, ktorý by umožnil preverenie (kontrolu) vplyvu navrhutej prevádzky VDG na hladinový a prietokový režim na celom úseku Dunaja ovplyvnenom prevádzkou VDG, t.j. nástroj, ktorý by preveril riziko, že by navrhnutá prevádzka VDG spôsobila obmedzenie parametrov plavebnej dráhy. To má za následok časté zníženia plavebných hĺbok a následné nárazy lodí na dno a nasadnutia plavidiel.

## 5. ODPORÚČANIA

Na základe spracovania návrhu opatrení na riešenie súčasného stavu riadiaceho systému plavebno - energetickej prevádzky VDG musí EKS pomocou optimalizácie plnenia a prázdnenia PLK StG zabezpečiť rýchle a bezpečné preplavenie plavidiel cez PLK StG a súčasne musí minimalizovať namáhanie stavebných a technologických častí plniaceho systému PLK StG.

- Výsledkom optimalizácie (výsledkom riešenia pomocou optimalizačného modelu plnenia a prázdnenia PLK ) musí byť nájdenie optimálneho priebehu otvárania vopred definovaného počtu uzáverov, pri ktorom nebudú prekročené maximálne prípustné priemerné profilové rýchlosti prúdenia vody v kanáloch plniaceho/prázdniaceho systému PLK StG (max. prípustná priemerná profilová rýchlosť bola stanovená projektantom PLK na  $10 \text{ ms}^{-1}$ ), nebude dochádzať k podtlakom a kavitácii HPPS a súčasne bude doba prázdnenia resp. plnenia PLK (pri spáde 23,6 m) pri prázdnení /plnení:
  - 4 kanálmi maximálne 13 min,
  - 2 kanálmi maximálne 20 min.
- Vzhľadom na zložitý priebeh multikriteriálnej optimalizačnej funkcie popisujúcej optimalizačný model plnenia a prázdnenia PLK StG musí byť optimalizácia riešená pomocou heuristických optimalizačných metód (napr. pomocou genetických algoritmov).
- Vzhľadom na spádové pomery PLK StG musí EKS vyhodnocovať priebeh optimálneho priebehu otvárania uzáverov v reálnom čase, vždy pre okamžitú hodnotu počiatočného spádu na PLK StG.
- EKS musí byť schopný redefinovať priebehy optimálnych funkcií otvárania uzáverov resp. poskytnúť rady a odporúčania týkajúceho sa optimálneho výberu na základe empirických

skúseností prevádzkovateľa PLK resp. na základe odporúčaní z výsledkov 3D simulácií plnenia a prázdnenia PLK.

- Všetky uzávery obtokov musia byť ovládateľné tak, aby bola možná nelineárna rýchlosť pohybu uzáverov, t.j. aby sa dala meniť rýchlosť pohybu uzáverov podľa definovaného priebehu diskkrétnej nelineárnej funkcie “čas - výtoková plocha“ resp. “čas - poloha uzáveru“ pre ľubovoľné časové intervaly.

**EKS** musí pomocou optimalizácie hydroenergetickej prevádzky VDG v úseku Devín – Komárno zabezpečiť vyhodnotenie vplyvu prevádzky StG resp. celého VDG na hladinový a prietokový režim v tomto úseku a tým zaistiť bezpečnosť plavebnej prevádzky (t.j. nepodkročenie minimálnych plavebných hĺbok) na celom úseku Dunaja ovplyvnenom prevádzkou VDG.

- Výsledkom simulácie prietokového a hladinového režimu v úseku Devín – Komárno musí byť preverenie, či plánovaná manipulácia s prietokmi na objektoch VDG v zadanom časovom období nevyvolá v úseku Dunaja medzi Devínom a Komárnom obmedzenie parametrov plavebnej dráhy t.j. či nebudú na tomto úseku podkročené minimálne plavebné hĺbky.
- EKS musí pracovať s vysokou mierou presnosti simulácií (a to najmä hladinového režimu Dunaja), pretože bezpečnostná marža plavidiel na brodoch je len 20 cm. Max. odchýlka simulácie hladinového režimu musí byť -10 cm (t.j. reálna hladina môže byť v skutočnosti len o 10 cm nižšie ako simulovaná) alebo +20 cm (t.j. reálna hladina môže byť v skutočnosti len o 20 cm vyššie ako simulovaná).
- Vzhľadom na vysokú mieru zložitosti a interaktivity hydraulického systému VDG, musí byť prietokový a hladinový režim v predmetnom úseku Dunaja (Devín – Komárno vrátane pôvodného koryta) riešiť výlučne matematickým aparátom popisujúcim neustálený režim prúdenia vody v otvorených korytách pomocou Saint-Venantových rovníc doplnených vhodnými okrajovými podmienkami a počiatočnými podmienkami. Akákoľvek aproximácia neustáleného prúdenia pomocou zjednodušujúcich modelov prúdenia by mala s veľkou pravdepodobnosťou za následok hrubé zjednodušenie výsledkov modelovania priebehov hladín na Dunaji a tým za následok aj zvýšenie rizika nedodržania parametrov plavebnej dráhy najmä na brodových úsekoch.
- Pri simulácii prietokového a hladinového režimu v úseku Devín – Komárno sa musí uvažovať okrem poskytovania bazového výkonu VEG aj s poskytovaním a realizáciou PpS.
- EKS musí disponovať funkciami, ktoré dokážu s čo najlepšou presnosťou transformovať výkonové parametre požadovaných hodnôt regulačných rezerv VEG pre zabezpečenie PpS na ich prietokové (resp. objemové) ekvivalenty.
- EKS musí pracovať so skutočným stavom koryta Dunaja a zdrže Hrušov a so skutočnou lokalizáciou brodových úsekov a ich parametrov, pretože tá sa v čase mení pôsobením erózie a transportu splavenín. Priebežná aktualizácia morfológie koryta by sa mala uskutočniť 1 x ročne po vyhodnotení zamerania koryta, ktoré vykonáva Slovenský vodohospodársky podnik, š.p. a po každom prechode korytotvorného prietoku.

**ZOZNAM LITERATÚRY**

- [1] *Možiešik, L., Šulek, P., Orfánus, M., Hruštinec, L. 2017. Inovácia a modernizácia plavebných komôr Stupňa Gabčíkovo - Štúdia uskutočniteľnosti. Hydrotechnika STU, s.r.o., Bratislava*
- [2] *Hermans, J. 2008. Optimalisatie van binnenscheepvaart. Master's thesis, KU Leuven.*
- [3] *Mundy, R., Campbell, J. Management systems for inland waterway traffic control. Technical report. Retrieved from [http://www.ctre.iastate.edu/mtc/reports/inland\\_waterway/volume1.htm](http://www.ctre.iastate.edu/mtc/reports/inland_waterway/volume1.htm), 2015.*
- [4] *Kanović, Ž., Bugarski, V., Bačkalić, T., Jeličić, Z., Petković, M., Matić, D. Optimization Of Ship Lock Control System Using Swarm-Based Techniques. Journal on Processing and Energy in Agriculture 18; 1; pp 30-35, ISSN: 1821-4487, 2014.*
- [5] *Liu, R. J., He, D. D., Wang, L. J., Xu, H. Y. Ant Colony Optimization Applied to the Three Gorges Ship Lock Arrangement Optimization. Applied Mechanics and Materials. Vols. 543-547, pp. 1663-1666, 2014.*
- [6] *Kosmas, O.T., Vlachos, D.S. Simulated annealing for optimal ship routing. Computers & Operations Research. 39, pp. 576–581, 2012.*
- [7] *Zhang, X., Qi, H., Fu, X., Yuan, X. Hybrid algorithm to minimize total weighted wait-time of ships for navigation co-scheduling in the three Gorges project. In: International Conference on Transportation, Engineering 2007, pp. 2759–2764, 2007.*
- [8] *Kanović, Ž., Bugarski, V., Bačkalić, T. Ship Lock Control System Optimization using GA, PSO and ABC: A Comparative Review. Promet – Traffic & Transportation, Vol. 26, No. 1, pp. 23-31, ISSN: 1848-4069, 2014.*

**POĎAKOVANIE:** Tento článok vznikol aj na základe finančnej podpory projektu grantovej agentúry VEGA 1/0361/17.

**AUTOR**

doc. Ing. Peter Šulek, PhD.

Katedra hydrotechniky,

Stavebná fakulta STU v Bratislave, Radlinského 11, 810 05 Bratislava

e-mail: peter.sulek@stuba.sk

doc. Ing. Ľudovít Možiešik, PhD.

Katedra hydrotechniky,

Stavebná fakulta STU v Bratislave, Radlinského 11, 810 05 Bratislava

e-mail: ludovit.moziesik@stuba.sk

Ing. Tomáš Kinczer, PhD.

Katedra hydrotechniky,

Stavebná fakulta STU v Bratislave, Radlinského 11, 810 05 Bratislava

e-mail: tomas.kinczer@stuba.sk

## TECHNOLÓGIE A SKÚSENOSTI S MONITOROVANÍM SEDIMENTOV NA OCHRANU TURBÍN PROTI ABRÁZII

### TECHNOLOGIES AND EXPERIENCE WITH MONITORING SEDIMENTS FOR PROTECTING TURBINES FROM ABRASION

*Y Agrawal, W Slade, C Pottsmith and D Dana*

**Abstrakt.** Abrázia turbín plaveninami je stálou hrozbou pri veľkých spádoch a vysokých koncentráciách prenášaných sedimentov. Je všeobecne známe, že abráziu spôsobujú väčšie častice, aj keď neexistuje všeobecná dohoda o kritickej veľkosti. Druhú kľúčovú úlohu zohráva tvrdosť častíc. Z tohto dôvodu je veľmi dôležité monitorovať koncentráciu sedimentov, hlavne so zreteľom na veľkosť častíc. Takýto monitoring už dnes umožňujú prístroje LISST, ktoré používajú technológiu laserovej difrakcie (LD). Tieto *in-line* prístroje merajú intenzitu rozptýleného laserového svetla vo viacerých uhloch, ktorá sa potom konvertuje na distribúciu veľkosti častíc v preddefinovanom rozsahu veľkostí. Aby bolo možné merať vysoké koncentrácie, prístroje majú možnosť automatického nariadenia monitorovanej vzorky. Údaje sa prenášajú do riadiacej miestnosti. Softvér zobrazuje históriu koncentrácií až do 4 veľkostných tried a ak sa dosiahne *kritická hodnota koncentrácie*, vygeneruje alarm. Pretože neexistuje žiadna definícia pre *kritickú hodnotu koncentrácie*, v tomto článku navrhujeme objektívne kritérium založené na miere výnosov v porovnaní s mierou nákladov na opravu turbíny. Táto jednoduchá myšlienka pomáha prevádzkovateľovi zariadenia nastaviť prahy vypínania počas situácií kedy dochádza k veľkému zaťažovaniu sedimentami. V článku predstavujeme aj ekonomickú verziu snímača na monitorovanie sedimentov- vysokofrekvenčný pulzný akustický snímač. Nižšia presnosť tohto zariadenia je kompenzovaná jeho nižšou cenou. Tento snímač je vhodný pre malé vodné elektrárne.

**Abstract.** Abrasion of turbines by sediments is a constant threat in high head and high sediment load situations. It is widely recognized that larger grains cause abrasion, although no consensus on a critical size exists. Grain hardness plays a second key role. Thus monitoring of sediment concentration is highly desirable, particularly with attention paid to the large grains. This has recently become possible with LISST instruments that use laser diffraction (LD) technology. These in-line instruments measure multi-angle laser light scattering, which is converted to a particle size distribution in a pre-defined size range. In order to reach high concentrations, the instruments incorporate auto-dilution capability. The data are transmitted to the control room. Provided software displays concentration history in up to 4 size classes, and the software is capable of generating alarms when *sufficiently high* concentrations occur. Since no definition exists for this sufficiently high concentration, in this paper we propose an objective criterion based on the rate of revenue generation contrasted with rate of cost of turbine repair. This simple idea helps guide the plant operator to set shut-down thresholds during sediment transport events. We also introduce a lower cost, high-frequency pulsed acoustic sensor for sediment monitoring. The rather lower accuracy of this device is offset by its lower cost that is suitable for small plants.



## 1. Introduction

It is known that sediments cause abrasive damage. It is recognized that, generally, large grains do more damage than smaller ones. Grain hardness and water velocity play a role, and the type of turbine plays a role, e.g. Peltons suffer more severe damage than Francis. A few formulations relating rate of abrasion and these 3 parameters have been proposed. [1],[2],[3].. Verification and broad acceptance remains in progress. Consequently, no generally applicable formulation exists that relates suspended sediment size and concentration with instantaneous rate of turbine abrasion. Lacking such guidance, plant operators face the question: so, under what conditions of grain size and concentration should I shut down power generation? This paper describes measurement technologies, and then proposes a simple guide.

Given that grain size is important, monitoring technologies must measure size-specific concentration of sediments running through turbines at any time. So far, only one technology has emerged that can do this with accuracy. This technology is laser diffraction, embodied in the LISST-Hydro and LISSTInfinite instruments (Sequoia Scientific, Inc., Bellevue, Washington, USA). Installations in Latin America and in the Himalayas have been operating for a few years. The technology has been proven, though in one case in the Nepal Himalayas, extreme conditions produced damage to the water lift pump of the instrumentation itself (clogged sample pump). In all cases, rapid rise (hour time scale) and slower decline of sediment concentrations have been found to be typical. In one case, a turbine operator provided numbers on turbine repair cost as related to volume of sediment passage between maintenance stoppages. As our first key contribution, here we present an objective strategy to set alarms that guide turbine shut-down only when rate of loss of revenue is exceeded by rate of cost of repair.

The laser diffraction instruments that sort the total concentration into 32 precise size classes are found by some small plants to be expensive. For this application, we introduce a newly developed highfrequency acoustic back-scatter instrument, LISST-ABS for monitoring of suspended sediment concentrations. Though not as accurate or size-sorting as laser diffraction, it is none-the-less far superior to optical turbidity type sensors used in some countries. The LISST-ABS sensitivity (output per unit mass concentration) is relatively flat over 30-400 microns showing only  $\pm 30\%$  variation from its mean value over this range (and as square-root of diameter for larger sizes). In contrast, optical turbidity sensors lose sensitivity to large grains as  $1/\text{diameter}$ , i.e. sensitivity to 400 microns is a factor of 14 lower than that for 30 microns, effectively making turbidity blind to large grains – precisely the grains of relevance to abrasion! The LISST-ABS, though less accurate than laser diffraction, is thus by far better suited to abrasion warning instrumentation than optical turbidity meters. This paper has the first description of use.

## 2. Sediment monitoring technologies – a review

Here we offer a summary view of available technologies. There also exists ISO-11657-2014 standard applicable to the present need. A slightly more detailed review is offered by [4] and [5].. The methods considered here are (i) optical turbidity; (ii) acoustic back-scatter; and (iii) laser diffraction.

### 2.1. Optical turbidity

Although primarily a visual measure of suspensions as implied by the name turbidity, optical turbidity has been in widespread use as a surrogate for (indicator of) suspended sediment concentration. Its acceptance is rooted in two facts: first, it is relatively inexpensive, and second, it is simple. As such, standards developed for measuring the optical turbidity are often misinterpreted to validate turbidity sensors as qualified surrogates. The main problem with use of

optical turbidity is the change in sensitivity with changing grain sizes. The sensitivity (output volts/unit mass concentration) of optical turbidity sensors varies inversely with grain diameter,  $1/d$ . [The  $1/d$  dependence is noted in ISO-116572014]. There is a large body of literature reporting this difficulty (e.g. see [6], figure 6). Consequently, in any mixture, fine particles produce disproportionately large part of the output signal, while coarse grains are relatively ignored. In monitoring for sediments, a small concentration of fine particles may cause high apparent turbidity, though there may be little or no large grains which are the ones that cause damage. The high apparent turbidity may generate false alarms. Conversely, even a high concentration of large grains may not generate alarms, subjecting the turbine to abrasion. It is precisely this reason – lower sensitivity to the damaging large grains – that renders turbidity mismatched for turbine abrasion monitoring. While choosing turbidity for reasons of low cost, the plant operators should bear in mind the cost of the turbines that they intend to protect. A small saving in instrumentation cost can expose the turbines to danger. Unfortunately, despite this hazard, some plants are known to use turbidity sensors.

### 2.2. Acoustic Backscatter Sensors

These are acoustic ‘turbidity’ sensors. In a manner similar to optical turbidity sensors, they sense the strength of sound backscattered to the transmitter. Analogous to radar, a pulse of high frequency sound is transmitted, and the sound pressure backscattered to the transmitter is sensed and stored. There are similarities to optical turbidity, but also differences. Whereas optical scattering is almost always in the geometric scattering regime (i.e  $ka \gg 1$ , where  $k$  is  $2\pi/\lambda$ ,  $\lambda$  being optical wavelength and  $a$  being particle radius), acoustic scattering is mostly in the Rayleigh regime (i.e  $kaa \ll 1$ , now  $ka$  is defined for acoustic wavelength  $\lambda_a$ ), or at best in the transition regime (i.e  $kaa \sim 1$ ). In the Rayleigh region, whether for optics or acoustics, scattering increases rapidly with  $ka$ . When  $ka \sim 1$ , the scattering strength per unit mass of particles becomes nearly constant – a very desirable quality. At still larger grain sizes, in the geometric regime,  $ka \gg 1$ , the amplitude of scattering – which is the quantity sensed by radar or acoustics – decreases as  $a^{-1/2}$ . [Optics involve sensing intensity, so the dependence to size is  $a^{-1}$ ]. This relationship is displayed in figure 1 for an 8MHz system, which is an unusually high frequency employed in the LISST-ABS described later. Common acoustic frequencies range from 0.5 to 4MHz, for which the transition to Mie scattering happens at inversely larger sizes, e.g. for 1MHz, the transition occurs at  $a = 240$  microns.

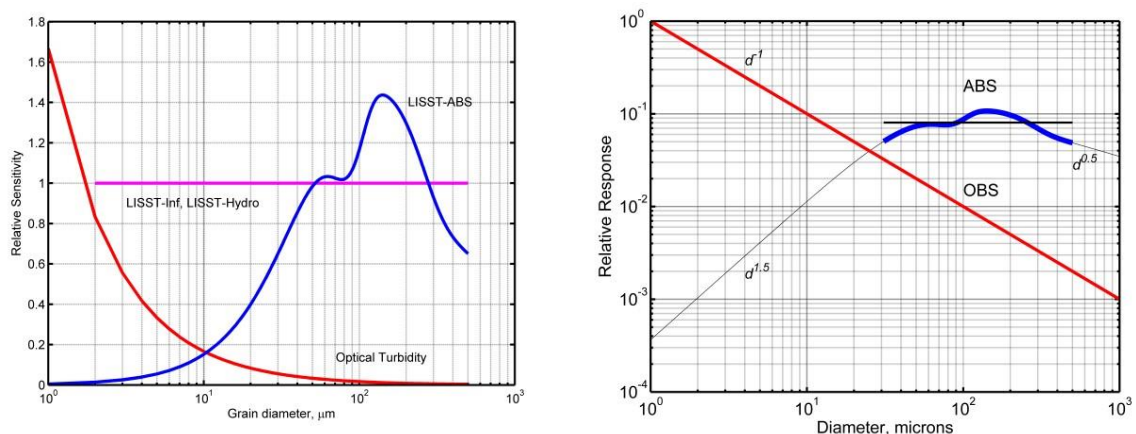


Figure 1: Optical (red), acoustic backscatter (blue), and laser diffraction (magenta) sensitivity variation with grain size. The acoustic response is shown for an 8MHz system in water; where  $ka = 1$  occurs at  $a = 30$  microns. (left) linear Y-axis; (right): logarithmic Y-axis. The figures clearly shows that 8MHz acoustic backscatter system (LISST-ABS) is sensitive to large grains, suited for abrasion protection.

Many users of acoustic Doppler current profilers (ADCP), also record the backscatter signal strength (pressure), e.g. [7],[8]. Inversion of these signals requires at least 2 frequencies, given the two unknowns that determine signal strength, i.e. grain size and concentration. There is a large body of literature in this field, [7]. More recent literature is reviewed in [9], where the authors have considered the performance of these methods in study of river columns and noted errors that arise in bi-modal situations which are typical of rivers. The inversion is not yet routine, despite several decades of research work. [A recent announcement of a 4-frequency acoustic system capable of producing particle size distribution in 32 size classes, proved misleading on closer examination. After all, how can 4 measurements lead to solving for 32 unknowns?]

Multi-frequency acoustic backscatter systems for grain sizing began with the pioneering work of Hay and Sheng (1992). These systems can obtain a mean size, and a mean concentration at multiple points along a beam. However, the processing of data is not yet routine. In particular, the results in situations such as rivers, where the size distribution is bi-modal, are questionable. Furthermore, the ‘flat’ region of acoustics in figure 1 on right, being dependent on frequency occurs starting at  $a=240, 120, 60$  microns for 1, 2 and 4MHz. In other words, most sediment grains remain in the Rayleigh regime, where little additional information is added by adding other frequencies. By choosing 8MHz as the operating frequency, the LISST-ABS can observe particles in the 60-500 micron diameter range reasonably accurately.

### 2.3. Laser Diffraction

Laser diffraction (LD) is a widely used technology for measuring particle size distributions. Its operating principle is simple. If one measures  $n$  parameters, one can solve for  $n$  unknowns (with some restrictions related to noise). In the case of LD, the measurements are light scattering intensity into  $n$  angles. The name diffraction comes from the original observation that at small forward angles of laser light scattering, particle composition is not of importance in determining the multi-angle scattering, scattering is dominated by diffraction for which only particle size matters. That result made the technique broadly useful. However, LD mostly remains a laboratory technology due to sensitive optical alignments. Its introduction to hydropower benefits from LD’s first adoption to measuring particles on coastal ocean floor by the present authors, [10]. This original application required ruggedization and automation which later carried over to the present application. In figure 2, we show a schematic of the optics that were built into every early LD system made by Sequoia Scientific, Inc. Newer modern LD systems depart from the restriction of small forward angle scattering, although the name LD remains convenient. Measurements of scattering at wider angles permit extracting information on finer particles. Current field systems can measure size distribution covering the range 0.3 to 500 microns.

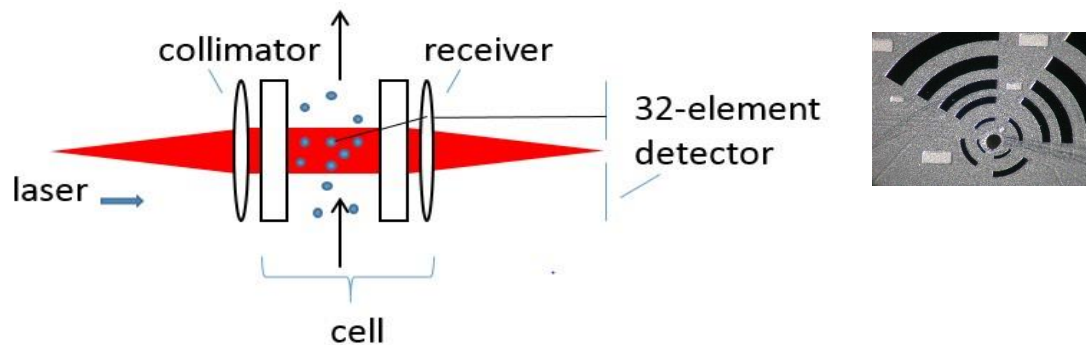


Figure 2: (left) Basic optics of a laser diffraction system. (right), a frontal view of the 32-element detector. Black rings are photo-sensitive; the dark spot at centre is a clear hole (Agrawal & Pottsmith, 2000).

In figure 2, a collimated laser shines through the water. Particles in water scatter light. The forward scattered light is gathered by a lens. Rays scattered at a particular angle from the axis reach a focal plane detector at the same angle from lens centre. Thus, distance  $r$  along the detector plane becomes scattering angle in air,  $\text{atan}(r/f)$  where  $f$  is lens focal length. [Due to refraction at the test cell receiving window, the scattering angle in water follows, from Snell's law, as  $\text{asin}[\sin(\text{atan}(r/f))/1.33]$ , or for small angles,  $\text{asin}(r/1.33f)$ . A series of concentric silicon photosensitive rings at the focal plane sense scattering into multiple angle sub-ranges. The photocurrents are amplified and stored. A hole in the detector at the focal spot permits the focused beam to pass through. Its power is sensed and stored. The reduction of this power due to particles is used in the processing of stored data to de-attenuate sensed scattered light, and to invert for particle size distribution. From a typical set of measurements from a ring detector, a size distribution can be measured in one scan. With averaging to smooth results –mainly due to particle concentration fluctuations, a typical PSD can be measured in a few seconds.

### 3. Instrument Systems

We describe two instrument systems based on laser diffraction, i.e. the LISST-Hydro and LISST-Infinite, and the LISST-ABS acoustic backscatter system. LISST is a trademark of Sequoia Scientific, Inc.

#### 3.1. LISST-Infinite and LISST-Hydro

These laser diffraction instruments are made specifically for hydropower plants. The instrument reads the 32-ring detector outputs and the optical transmission (power through the hole in centre of ring detector, see figure 2). This firmware then computes the particle size distribution (PSD) and the total concentration and stores that to a file. The reading of this data file and graphic display of the data are performed by a second software LISST-Viewer.

- Display up to 5 instruments on a summary page, with auxiliary data and warnings;
- Strip charts for each instrument on a separate tab; each tab shows 4 strips – total, fine (<75 microns), medium (75-200 microns) and coarse fractions (>200 microns).
- Setting of sediment concentration alarms for each size class on each instrument, independently;
- Audible alarms, with built-in features so operator cannot easily ignore the event;
- Full 32-size class PSD display for any point on the chart, with forward-back buttons for easy comparison of changes over time;
- Option to view the optical background for each data; this background arises from scattering off windows (see figure 2), and it grows with fouling of windows; the background is used to alert operators to clean these optical windows;
- LISST-Viewer auto-start. In the event of a power loss to the computer, the software will launch when an operator logs on at restoration of power. This feature reduces loss of data and missed warnings.
- Alarms when sediment concentration trends suggest anticipated exceedance of alarm thresholds; and similarly, 'all clear' alerts for when decreasing trends from an active event indicate when concentration will reach below alarm levels.

The LISST-Viewer is designed with the intent that multiple work stations may view the data from an installation. For instance, if the data are saved on a shared server or a cloud such as Dropbox, multiple users can launch LISST-Viewer on their desktops and keep an eye on conditions at an installation. This feature also enables the manufacturers to keep an eye on the health of the equipment if access to data is permitted by plant operators.

In some hydro plants, MODBUS is used for data display. Software for delivering data from the instrument via MODBUS is available. However, in this case, the setup of alarm thresholds and warnings are based on the total concentration alone, giving up the advantages of laser diffraction.

### 3.2. LISST-ABS: a High Frequency Acoustic Backscatter System

The LISST-ABS is a high-frequency system, operating at 8MHz. The choice of this high frequency was based on the characteristic response to particles of different sizes, as shown in figure 1. At 8MHz, the Rayleigh scattering region ( $ka \ll 1$ ) extends to about 30 micron diameter. In this region, the sensitivity varies strongly with grain size. In contrast, the sensitivity varies little with size from ~30 to 500 microns. This is almost exactly the range of sizes of hazardous particles from point of view of turbine abrasion. As such, the acoustic backscatter measurement is quite well matched to the needed data on coarse particles alone. This is a distinct advantage of LISST-ABS over all optical turbidity sensors, which are more sensitive to fine particles. The LISST-ABS does not have an upper or lower size limit for observable particles. The sensitivity declines as  $d^{1/2}$  for acoustic scattering for larger particles.

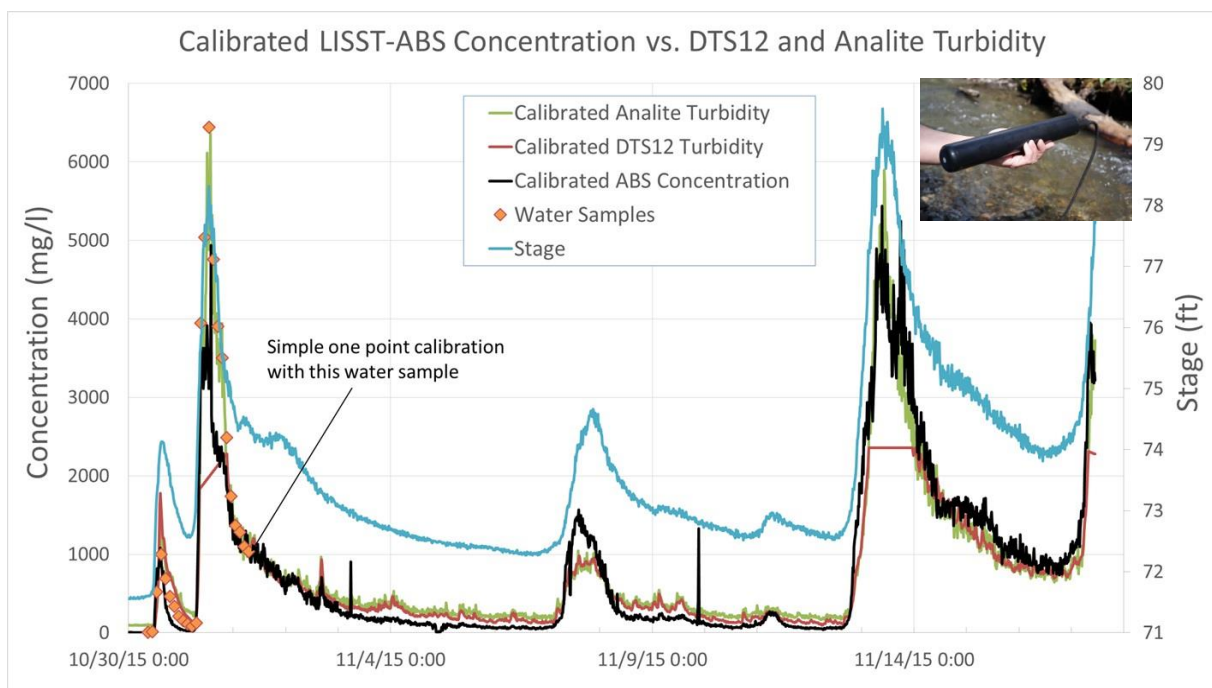


Figure 3: A field comparison of measurements with the LISST-ABS and 2 commercial optical turbidity meters, along with river stage (blue). Diamonds are physical samples. Data courtesy of Christopher Curran, US Geological Survey, Tacoma, Washington. Inset: LISST-ABS.

The LISST-ABS is a single-point sensor, intended as a replacement for optical turbidity sensors. Field data collected by USGS scientists at the Elwha river in Washington State is shown in figure 3. This is a site of a major dam removal in the year 2012, resulting in large sediment loads fed by silt accumulated in the reservoir over a century, [12].

The LISST-ABS can be mounted so that its face is flush with a wall of a waterway, draft tube or turbine intake. However, pressure management may be necessary to match the instrument's upper limit.

## 4. An Installation and Example

### 4.1. Location

The LISST-Infinite or –Hydro instruments can be installed near the draft tube, tailwater channel, or near the intake to the turbine. Water must then be drawn and delivered to the instrument. If installed near turbine intake, a pressure reduction system may be necessary, whereas there is reason to believe that particles may be altered (broken) in passage through a turbine and hence water drawn at the draft tube may not give a true size distribution (Sultan Alam, private communication). In [11], the authors argue to the contrary, but only for particles smaller than 20 microns. Such small particles mostly do not impact on the turbine parts, and hence are not subject to breakage. The pressure reduction system design is nontrivial, as conventional valves are themselves subject to abrasive destruction.

### 4.2. Example Data

The LISST-Viewer, with capacity to handle upto 5 instruments, displays data on a computer screen in 2 formats. In one, a summary view of all 5 (or if a smaller number are installed, then all) is displayed, figure 4. This is suitable for an operator’s quick glance. On this display, the total concentration is displayed, and then also the percent-to-alarm for each of the size classes. Furthermore, the level of the auxiliary clean water tank which provides water to the instruments to zero the measurement is displayed. Any faults in operation are indicated in a box on the right of the Clean Water tank level indication (not shown).

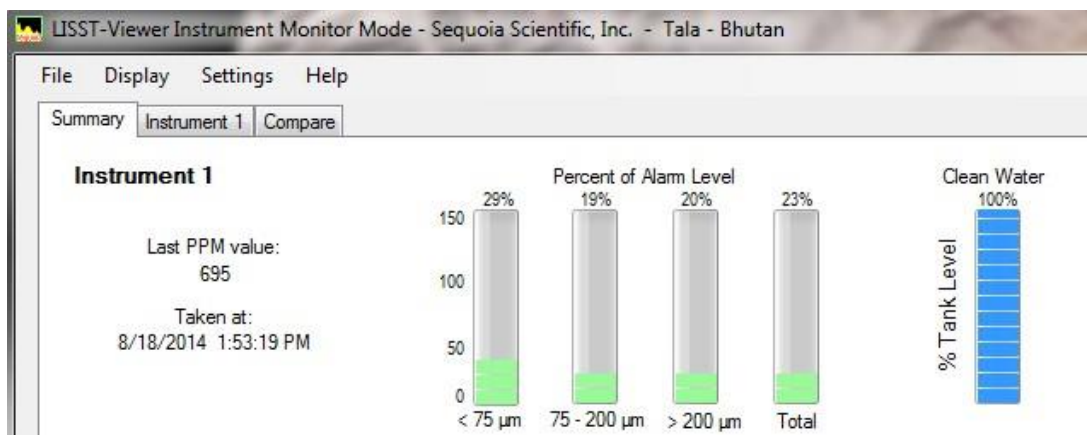


Figure 4: The summary view of up to 5 instrument systems. In case of more than one instruments being monitored, similar figures repeat below this one, all in one window.

The history of data of any of the up to 5 instruments is accessible from the same screen by choosing an instrument from the tabs, figure 5. The time base is expandable. Each of the 4 strips on the chart can have its own alarm level setting. To avoid false alarms, only after 3 consistent readings exceed alarm levels does the alarm sound. And to ensure that a sleepy operator doesn’t merely shut off the alarm and go back to sleep, the alarm sounds a second time for any event, so that the operator has 2 chances to deal with the situation. Again, double-clicking on any point of the chart opens a window with the corresponding particle size distribution, figure 6. This same window also shows other information regarding data quality.

All data are saved in ASCII files each month. These data can be processed according to user preferences for periodic reports to plant management etc.

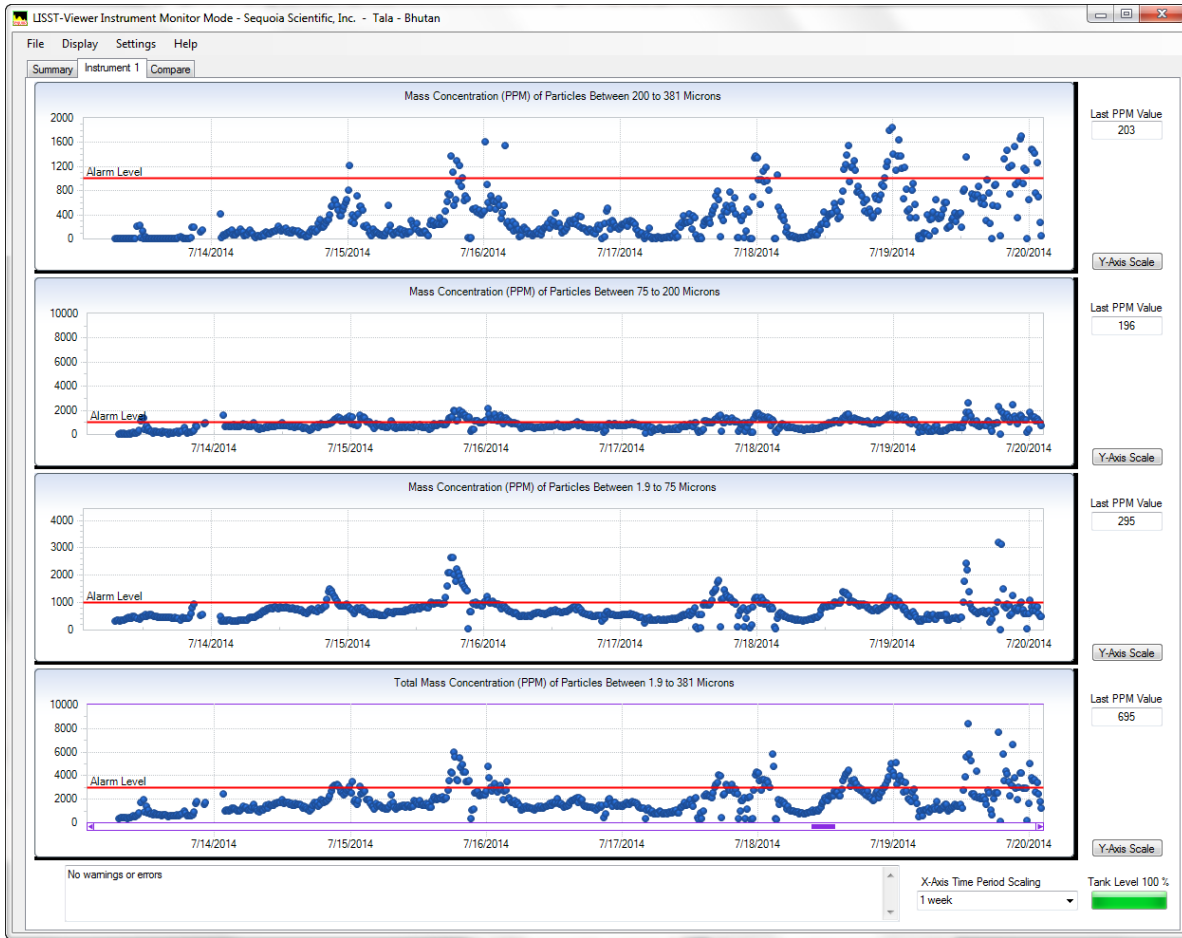


Figure 5: Strip chart display of history of concentrations for a single instrument. The charts show concentrations in, from bottom to top, all, fine (<75), medium (75 to 200) and coarse (>200 μm) fractions. [note: the alarm levels are set extremely low here; the operator was playing.]

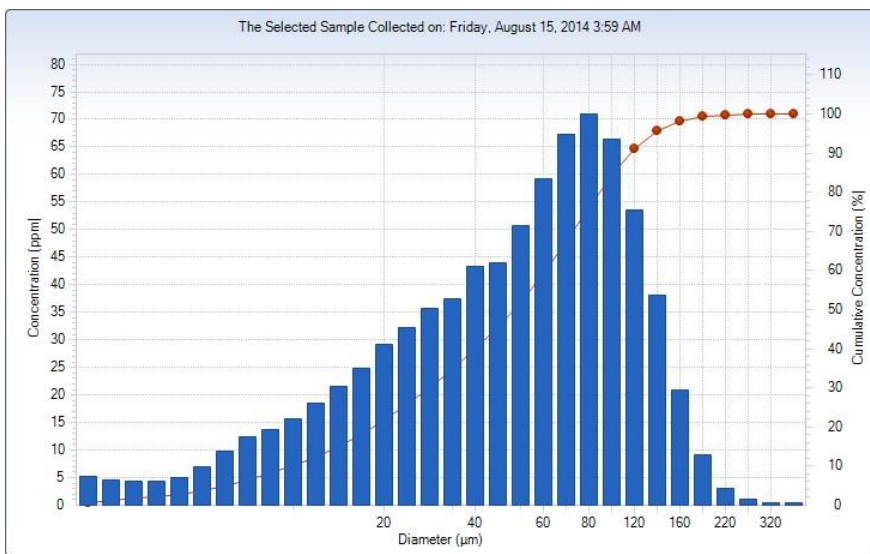


Figure 6: The size distribution (and cumulative distribution, red line) corresponding to a data point on the chart shown in Fig. 4. Although the strip charts show only 3 size bands, this high resolution size data has value in future research and analyses to relate sediment concentration and abrasion rates.

**5. A strategy for turbine shut-down decision-making in excessive sediment load**

The question an operator inevitably asks is: ok, so you are telling me the sediment concentration in ppm. What do I do? “At what ppm should I stop the turbine?” In answer, we offer the following strategy which makes a direct and instantaneous comparison of loss of revenue due to plant stoppage with loss of value of turbine due to abrasion.

Often, either by specification of a turbine maker or from empirical data, it is known that a turbine will cost so much for so many tons of sand passing through. Of course, these tend to be approximate numbers, but they can serve as a guide.

Let the turbine life, before rebuilding be expressed as N tons of sand passing through. And let the cost of repair and rebuilding the turbine at the end of this be S dollars. One then computes the instantaneous flux of sand as the current flow-rate Q (m<sup>3</sup>/sec) times the current sand concentration C, (tons/m<sup>3</sup>). This instantaneous sand flux is the product CQ (tons/sec). The corresponding instantaneous cost in dollars is S(CQ)/N. If R is the revenue generation rate in dollars, it follows that when the revenue rate is less than the instantaneous cost of sediment damage, i.e. when

$$R < SQC/N \tag{1}$$

the plant operation is no longer profitable. This is an objective criterion to stop the turbine if cost is the sole basis for this decision.

We recognize that exact numbers for N in tons are not usually available, and as of today, the damaging grain size-threshold is also not known. Besides, the composition of the suspended sediment, in particular the quartz content, is important in determining N. Thus, in the absence of direct data, alternate sources of information may be available from historical records (e.g. manual sampling). This uncertainly in N can be absorbed into an ‘uncertainly’ parameter  $\sigma$  which has a value 1 when N is firmly known, and may be adjusted depending on the uncertainty in N. Combining, when the parameter

$$R < S QC/(\sigma N); \tag{2}$$

turbine shut-down can be sensible. This threshold can be used to determine a critical concentration level, C<sub>crit</sub> which can be set as the alarm level for high-concentration shut-down:

$$C_{crit} > \sigma NR/(QS) \tag{3}$$

As an example, if a million tons of sand can pass through a 100MW turbine with a flow rate of 10 m<sup>3</sup>/s before a repair cost of \$2M occurs:

- N = 10<sup>6</sup> tons;
- Q = 10 m<sup>3</sup>/sec;
- R (100MW at \$0.02/kWh) = 2,000\$/hr;
- S (cost of repair) = \$2M;

then, assuming an uncertainty factor  $\sigma = 2$ ;

$$C_{crit} = 55g/L, \text{ or } 55,000 \text{ ppm.} \tag{4}$$



That is, when this turbine reaches a sand concentration of 55,000ppm, it is no longer profitable to operate it. An effective instrument system would be programmed to sound an alarm at such concentrations. Of course, there can be other societal considerations or contractual obligations to continue turbine operation.

The above guidance is based on the assumption that abrasion rate is linearly proportional to concentration and flow rate. In contrast, if a linear relation with concentration and a third power relation with velocity is used [13], the cost of abrasion repair scales as:  $CQ^3$ . With this model, one needs to know a constant  $\gamma$  such that the instantaneous cost of repair is  $\gamma CQ^3$ , and the condition for shut off Eq.(3) is replaced by:

$$R < \gamma CQ^3. \quad (5)$$

The need for research to characterize the constant  $\gamma$  for each type of turbine is clear. Such models are incompatible with the idea of a fixed amount of sediment passing through the turbine until a major overhaul.

## 6. Conclusion

Technologies are now capable of real-time monitoring of sediments striking turbines and displaying the data to a plan operator. With the best available models relating sediment concentration to abrasion rate, we have offered a method to objectively decide when it is economical to stop production of hydro power.

## References

- [1] Neopane H 2010 *Sediment Erosion in Hydro Turbines, PhD Thesis, Norwegian Univ Sci. Tech. (NTNU), Trondheim, Norway.*
- [2] Meng H and Ludema K 1995 *Wear models and predictive equations: their form and content* *Wear* 181-183: 443–457
- [3] Nozaki T 1990 *Estimation of repair cycle of turbine due to abrasion caused by suspended sand and determination of desilting basin capacity. Report, Japan International Cooperation Agency, Tokyo, Japan*
- [4] Rai A and Kumar A 2015. *Continuous measurement of suspended sediment concentration: technological advancement and future outlook. Measurement* 76: 209–227
- [5] Felix, D, Albayrak I and Boes R M 2015 *Field measurements of suspended sediment using several methods. E-proceedings 36th IAHR World Congress, The Hague, The Netherlands*
- [6] Sutherland T F, Lane P M, Amos C L, and Downing J 2000 *The calibration of optical backscatter sensors for suspended sediment of varying darkness levels, Marine Geology, 162, 587-597*
- [7] Wren D, Barkdoll B, Kuhnle R and Derrow R 2000. *Field techniques for suspended-sediment measurement. J. of Hydraul. Eng.* 126(2) 97–104
- [8] Hay A and Sheng J 1992 *Vertical profiles of suspended sand concentration and size from multi-frequency Acoustic Backscatter, Jour. Geophys. Res.* 97, C10, 15661-677
- [9] Agrawal Y and Hanes D 2015 *The implications of laser-diffraction measurements of sediment size distributions in a river to the potential use of acoustic backscatter for sediment measurements, Water Res. Research, 15*
- [10] Agrawal Y and Pottsmith H 2000 *Instruments for particle size and settling velocity observations in sediment transport, Marine Geol.* 168 89-114

- [11] Blaser S and Bühler J 2001 *Werden durchlaufende Sedimentpartikel in hydraulischen Maschinen fragmentiert? (Are sediment particles passing hydraulic machines being fragmented?)*. *Wasser, Energie, Luft* 93(11/12): 305–311 (in German)
- [12] <http://www.sequoiasci.com/article/lisst-abs-and-turbidity-inter-comparison/>
- [13] Ren Y, Zhang L, Li Y., Chen D 2012 *Sand abrasion characteristics of materials for hydro turbines*, *Jour. Drainage and Irrigation Machinery Engin.* 2012, 30 n2 188-191
- [14] ISO 11657 2014: *Hydrometry -- Suspended sediment in streams and canals -- Determination of concentration by surrogate techniques*. *International Standards Organization, Geneva*

#### Acknowledgments

This work is funded by the internal resources of Sequoia Scientific, Inc. USA.

#### **AUTHORS:**

Y Agrawal, W Slade, C Pottsmith and D Dana  
Sequoia Scientific, Inc.,  
2700 Richards Rd., Bellevue, Washington 98005, USA

### **III. PRIEHRADY A GEOLÓGIA**



## NÁVRH MONITORINGU ZOSUVNÝCH ÚZEMÍ NA VS TVRDOŠÍN

### PROPOSAL FOR MONITORING THE LANDSLIDE AREAS BY THE DAM TVRDOŠÍN

*Miloslav Kopecký, Martin Ondrášik, Martin Brček*

**Abstrakt:** Vodná stavba Tvrdošín bola vybudovaná v roku 1978 - 25 rokov po uvedení vodnej stavby Orava do prevádzky ako vyrovnávací vodný nádrž. Na oboch stranách nádrže sa nachádzajú rozsiahle zosuvné územia (Pod Žiarcom a Pod Čiernym Lazom), ktoré museli byť pred prevádzkou vodného diela (r. 1968-1974) sanované. Autori podávajú na základe doterajších meraní na zosuvných územiach analýzu súčasnej stability zosuvných svahov. Z výsledkov stabilitných výpočtov vyplynulo, že stabilita zosuvných území je ovplyvnená predovšetkým stavom hladín podzemných vôd v zosuvoch a hladina vody v nádrži má na zosuvné územie vplyv len v extrémnych prípadoch. Autori v príspevku podávajú komplexný návrh monitoringu obidvoch zosuvných území, pričom na základe mapovania bolo odporúčané aj monitorovať zosuvné územie na konci vzdutia, ktoré doteraz nebolo sanované.

**Abstract:** The Tvrdošín Water Dam was built in 1978 - 25 years after the construction of the Orava water dam as a balancing water reservoir. On both sides of the reservoir there are extensive landslides (Pod Žiarcom and Pod Čiernym Lazom), which had to be remediated before the operation of the water dam (1968-1974). On the basis of the data from the ongoing monitoring of the landslide areas, the authors present an analysis of the current stability of the potential landslides. The results of the landslide stability calculations showed that the stability of the landslides is mainly influenced by the groundwater levels and the water level in the reservoir has an impact on the landslide area only in the extreme cases. The authors submit a comprehensive proposal for the monitoring of the two landslides, and on the basis of the mapping, it was also recommended to monitor the area at the north end of the water reservoir, which has not yet been remediated.

**Kľúčové slová:** monitoring zosuvov, sanačné opatrenia, stabilita zosuvov

*Príspevok je uverejnený v časopise VODNÍ HOSPODÁŘSTVÍ.*

#### **AUTOR**

Doc. RNDr. Miloslav Kopecký, PhD.

Mgr. Martin Ondrášik, PhD.

Mgr. Martin Brček, PhD

Katedra Geotechniky, Stavebná Fakulta STU Bratislava, Radlinského 11, 810 05 Bratislava

e-mail: miloslav.kopecky@stuba.sk

# VODNÍ DÍLO KADAŇ – ZAJIŠTĚNÍ STABILITY HRÁZE

## KADAŇ DAM – REINFORCING DAM STABILITY

*Petra Suchopárková, Jan Svejkský*

**Abstrakt:** Hlavním účelem vodního díla Kadaň na vodním toku Ohře je zajištění odběrů vody pro zásobování průmyslu, zajištění minimálního zůstatkového průtoku a energetické využití. Vzduvacím objektem je tížná betonová hráz tvořená třemi přelivnými, čtyřmi pilířovými, třemi tížnými a jedním blokem pro malou vodní elektrárnu. Při výstavbě nebyla realizovaná tehdy navržená injekční clona, ani vztlakoměrné vrty. Vztlakoměrné vrty byly dodatečně realizovány v roce 2015. Z posouzení stability bloků hráze v roce 2016 vyplynulo nedostatečné zabezpečení díla proti posunutí a překlopení z důvodu propustného horninového podloží a s tím souvisejících nepříznivých vztlakových poměrů na základové spáře. Pro snížení vztlaku bylo navrženo vybudování jednořadé injekční clony čtyř pořadí v celém profilu hráze včetně břehového závazání. Pro snížení vztlaku byly navrženy drenážní vrty do oblastí základové spáry za rovinu injekční clony. Realizace proběhla v roce 2017. Z výsledků měření po dokončení stavby vyplynula vhodnost doplnění o další 2 – 3 drenážní vrty. Jejich realizace je plánovaná.

**Abstract:** The main purpose of the Kadaň dam on the Ohře river is water supply of industry, maintaining the minimum water flow in the Ohře river and hydropower generation. The gravity concrete dam consists of three spillway blocks, four pier blocks, three gravity and one block for the hydropower plant. During the dam construction, the designed grout curtain in the dam foundation was not realized. Boreholes for buoyancy measurement were built in 2015. The stability assessment of the dam blocks in 2016 revealed insufficient stability state due to the permeable rock and the base of foundation. Single-line of grout curtain was designed in the hole dam profile to reduce buoyancy. To further reduce buoyancy, drainage wells were designed to the base of foundation behind the grout curtain plane. Realization was carried out in 2017. Another 2 – 3 drainage boreholes are designed to further reducing of buoyancy to the future. Nowadays the construction of new drainage boreholes is planned.

### 1. ÚVOD

Vodní dílo Kadaň bylo vybudováno v letech 1966 – 1971 jako podpora objemu vodního díla Nechanice. Dnes je toto vodní dílo součástí vodohospodářské soustavy Kadaň-Klášteřec a je zařazeno do III. kategorie z hlediska technickobezpečnostního dohledu. Jedná se o vodní dílo s maximální výškou hráze nad terénem 14,15 m a celkovým objemem vzduť vody 2,750 mil. m<sup>3</sup>. Vzduvacím objektem je tížná betonová hráz, kterou tvoří dva gravitační bloky na levé straně, tři přelivné bloky se čtyřmi pilíři, elektrárenský blok a gravitační blok na pravé straně. Přelivná pole jsou hrazena segmentovými uzávěry s nasazenou dutou klapkou, ve středních pilířích jsou osazeny 2 spodní výpusti DN 1000, na pravý krajní pilíř je přisazen elektrárenský blok s MVE o maximálním výkonu 2,34 MW.

Hráz vodního díla Kadaň je založena na skalním podloží z kadaňských a oháreckých ortorul s jemnozrnnými vložkami amfibolitů. Skalní prostředí je charakterizováno odlučností s výrazným výskytem puklin. Navětrání povrchových partií skalního podkladu je intenzivnější v pravé části. Skalní podklad byl vyhodnocen jako mechanicky homogenní a vhodný pro založení konstrukce hráze. [1]



*Obr.1: Pohled na vodní dílo Kadaň*

## 2. STAV PŘED REALIZACÍ OPATŘENÍ PRO ZAJIŠTĚNÍ STABILITY HRÁZE

### PŮVODNÍ ZABEZPEČENÍ STABILITY

Při zpracování projektové dokumentace bylo navrženo zřízení injekční clony, která v konečné fázi nebyla realizována. V úrovni základové spáry byl uložen podélný drén pro snížení účinků vzlaku v oblasti základové spáry, který svou funkcí zasahuje i do oblasti pod vývarem. Drén byl proveden po celé délce vodního díla s výjimkou středního pilířového bloku. Pro případ dodatečné realizace injekční clony, v případě nepříznivého vývoje proudění podložím hráze, byla realizována injekční chodba.

### POSOUZENÍ PŮVODNÍ STABILITY

Vzhledem k absenci vztlakoměrných vrtů, nebylo možno získat představu o poměrech v podloží a při výkonu technickobezpečnostního dohledu bylo uvažováno pouze s teoretickým průběhem vztlaků, kdy byl zároveň zanedbán vliv podélného drénu, protože nebyl ověřen jeho stav. V roce 2015 byly dodatečně realizovány čtyři dvojice vztlakoměrných vrtů vedoucí až do oblasti základové spáry. Oblast jímání je dlouhá 3 m, tj. 1 m nad a 2 m pod základovou spáru.

Následně bylo na základě výsledků měření vztlaků aktualizováno posouzení stability bloků pro dva zatěžovací stavy. Oba zatěžovací stavy uvažují s úrovní hladiny ve zdrži na kótě maximální dosažené hladiny. Pro první zatěžovací stav bylo uvažováno s plným a pro druhý zatěžovací stav s vyčerpaným vývarem. Vztlakový obrazec byl sestaven z měřených tlakových pořadnic na vrtech, u návodní a vzdušné paty bylo měření nahrazeno teoretickou pořadnicí. Při posouzení nebylo uvažováno se soudržností na základové spáře a byl zanedbán vliv podélného drénu.

Výsledky posouzení ukázaly nedostatečné zabezpečení díla proti posunutí a překlolení, kdy nebyly u dvou ze tří přelivných bloků dosaženy požadované stupně bezpečnosti. Hlavním důvodem nepříznivého výsledku bylo reálné zatížení vztlakem, které bylo dokonce vyšší než teoretické při netěsném podloží. [2]

### 3. NAVRŽENÁ OPATŘENÍ

Pro zajištění dlouhodobé bezpečnosti a provozuschopnosti vodního díla bylo doporučeno snížení vztlaku dotěsněním podloží injekční clonou a odvodněním oblasti za rovinou injekční clony vybudováním drenážních vrtů. Realizace těchto opatření proběhla v roce 2017.

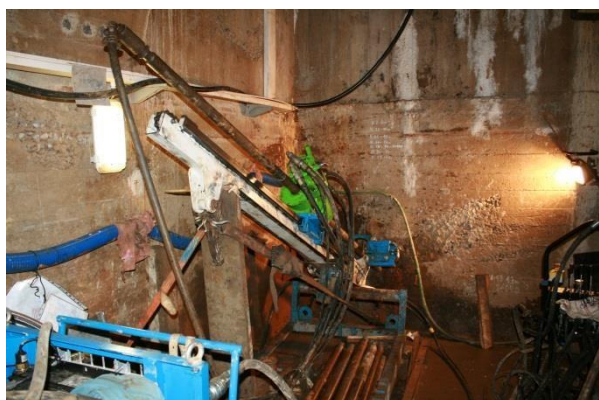
#### INJEKČNÍ CLONA

Injekční clona byla navržena jako jednořadá čtyř pořadí, a to v celém profilu hráze včetně břehových závazání. Clona byla provedena u návodní strany injekční chodby v rovině ukloněné o 15° směrem k nádrži. U vrtů v pravém závazání na koruně hráze došlo během stavby k posunu roviny vrtů o 1 m směrem proti vodě z důvodu kolize s ochranným pásmem inženýrských sítí. Pro vrty I. pořadí byla dodržována zásada, že hloubka clony pod základovou spárou je min. 2/3 tlaku od horní vody, což bylo v tomto případě 13 m ve střední části. Hloubka vrtů II. pořadí byla obdobná jako u vrtů I. pořadí, vrty každého dalšího pořadí zahušťovaly injektáž přibližně do poloviny hloubky vyššího pořadí. Injekční práce byly prováděny jílocementovou směsí při plném tlaku od horní vody. Pro případ možného rozplavování bylo variantně doporučeno použití chemické injektáže s nízkoviskozní polyuretanovou pryskyřicí. Toto nebylo při stavbě využito. [3]

#### DRENÁŽNÍ A VZTLAKOMĚRNÉ VRTY

Pro snížení zbytkového tlaku byly realizovány tři drenážní vrty. Každý z těchto drénů je situován u povodní strany injekční chodby v úrovni jednotlivých přelivných bloků a zasahuje do podloží za injekční clonou. Délka drenážních vrtů se pohybuje od 6 do 10 m.

Pro kontrolu vztlaku za injekční clonou a ověření její účinnosti byly vyvrtány kontrolní vrty, které po provedení vodních tlakových zkoušek byly zainjektovány. Dále se předpokládalo poškození čtyř vztlakoměrných vrtů na návodní straně, stavbou byl zničen pouze jeden z těchto vrtů. Po obnově poškozeného vrtu a doplnění sady vztlakoměrných vrtů je celkový počet 13 ks. Jeden z nových vrtů zasahuje na návodní stranu pod elektrárenský blok. [3]



Obr.2: Provádění vrtů IV. pořadí poruchy (pravá strana)



Obr.3: Jádrové vývrty v místě geologické

## SOUVISEJÍCÍ OPATŘENÍ

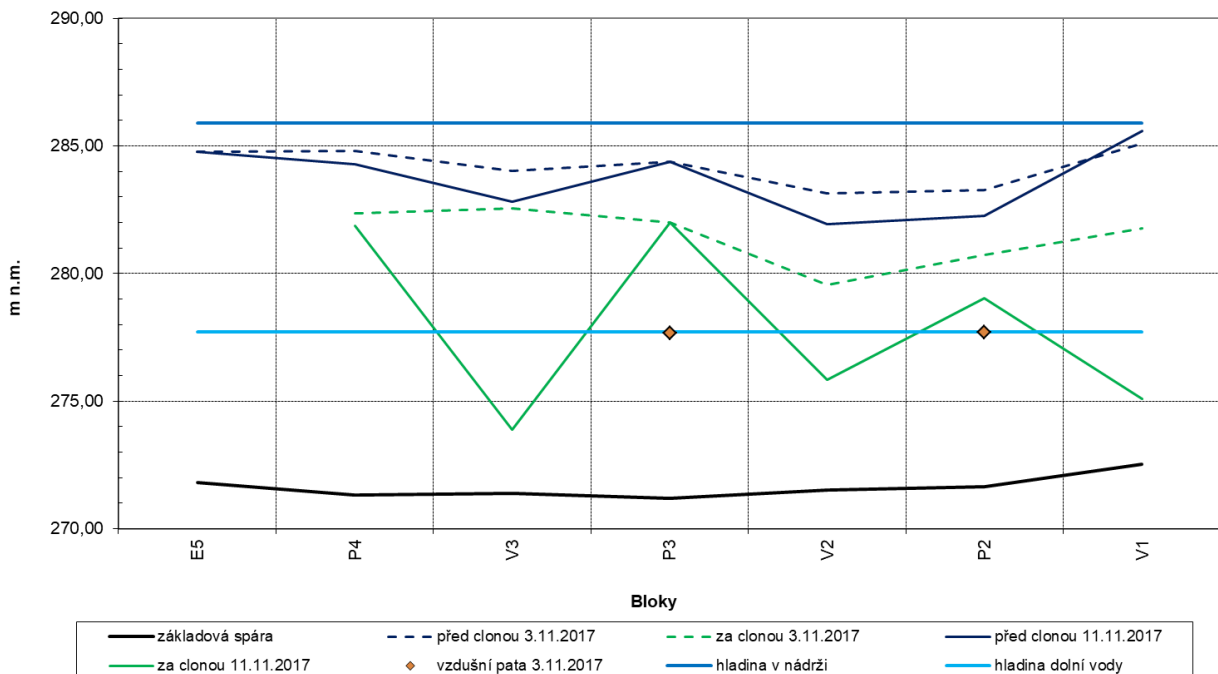
V souvislosti s realizací injekční clony bylo navrženo rozšíření systému měření technickobezpečnostního dohledu. Pro kontrolu svislých posunů je využívána síť kontrolních bodů tvořená čepovými, hřbovými i nivelačními značkami. Tato síť byla doplněna o 28 ks nivelačních značek. Pro sledování vodorovných posunů metodou záměrné přímky bylo nově zřízeno 5 ks směrových bodů. Kromě geodetického měření jsou na dilatačních spárách osazeny roztahoměrné základny, které byly doplněny o 1 ks v injekční chodbě. [4]

## 4. EFEKT PROVEDENÝCH OPATŘENÍ

Cílem navržených opatření bylo vytvoření souvislé těsnící stěny, která svou funkcí při spolupůsobení drenážního systému zajistí pokles vztlaku působícího na stabilitu vodního díla. Účinek provedených opatření byl hodnocen na základě měření na dvojicích vztlakoměrných vrtů před a za injekční clonou.

V první fázi (3.11.2017) bylo provedeno měření při zavřených drénech. Výsledná účinnost injekční clony se zohledněním vlivu dolní vody se pohybuje v rozmezí 41-77%. Při návrhu byla uvažována účinnost minimálně 50-75%. Z výše uvedeného je zřejmé, že pouze efekt injekční clony není dostačující.

V druhé fázi byly otevřeny všechny tři drény a vztlakoměrný vrt v místě geologické poruchy na pravé straně. V tomto případě se přepočtená účinnost se zohledněním vlivu dolní vody pohybuje v rozmezí 49-147 %. Tato skutečnost je již vyhovující. Vyšší účinnost než 100% je dána tím, že vztlaková úroveň je díky drénům nižší než úroveň dolní vody. [3]



Obr. 4: Vztlakové úrovně před a za injekční clonou se zavřenými (3.11.2017) a otevřenými drény (11.11.2017) [3]



## 5. ZÁVĚR

Období provozování vodního díla po dokončení realizace prokázalo vytvoření souvislé těsnící stěny. Požadované vztlkové poměry jsou dosaženy pouze při otevření všech tří drenážních vrtů a vypouštění tlaku ze vztlakoměrného vrtu v místě geologické poruchy. Toto je způsobeno pravděpodobně výskytem poměrně nepropustného podloží za injekční clonou a dotací prostředí za clonou z hlubších horizontů prostřednictvím puklinového systému. Do budoucna je plánováno další zlepšení stavu doplněním o 2-3 drenážní vrty v místě geologických poruch.

## LITERATURA

- [1] VODNÍ DÍLA – TBD a.s., VD Kadaň – návrh vztlakoměrných vrtů, Praha, 2010
- [2] VODNÍ DÍLA – TBD a.s., VD Kadaň – posouzení stability bloků hráze, Praha, 2016
- [3] VODNÍ DÍLA – TBD a.s., VD Kadaň – zpráva o autorském dozoru, stavby: VD Kadaň zajištění stability hráze, Praha, 2017
- [4] VODNÍ DÍLA – TBD a.s., VD Kadaň – Projekt kontrolních měření TBD při realizaci injekční clony, Praha, 2017

## AUTOR

Ing. Petra Suchopárková Povodí Ohře, státní podnik, Bezručova 4219, 430 03 Chomutov,  
Česká republika  
suchoparkova@poh.cz

Ing. Jan Svejkovský  
Povodí Ohře, státní podnik, Bezručova 4219, 430 03 Chomutov, Česká republika  
jsvejkovsky@poh.cz

**POSÚDENIE VPLYVU NAVRHOVANÝCH TESNIACICH STIEN NA  
REŽIM PODZEMNÝCH VÔD PRILAHLEJ OBLASTI OCHRANNÝCH  
HRÁDZÍ TOKOV MALÝ DUNAJ, VÁH A PRELOŽKA NITRY**

**ASSESSMENT OF THE IMPACT OF THE PROPOSED SEALING WALLS ON THE  
GROUNDWATER REGIME OF THE ADJACENT AREA OF THE MALÝ DUNAJ  
RIVER, THE VÁH RIVER AND RE-LAY OF THE NITRA RIVER**

*Andrej Šille*

**Abstrakt:** V súvislosti so stavebným zámerom vybudovať dotesnenie štyroch úsekov ochranných hrádzí tokov Váh, Malý Dunaj a preložky rieky Nitra, ktoré zabezpečujú protipovodňovú ochranu územia v okolí Kolárova, bolo nutné posúdenie navrhnutých sanačných opatrení na hladinový režim podzemných vôd.

**Abstract:** In connection with structural intent to build a seal-up of four sections of protection dikes of the Malý Dunaj River, the Váh River and re-lay of the Nitra river, which provide area flood protection in the vicinity of Kolárovo, will need reviewing of proposal remediation measures at the groundwater level regime.

**Kľúčové slová:** tesniace steny, podzemná voda, ochranné hrádze, posúdenie

*Príspevok je uverejnený v časopise VODOHOSPODÁRSKY SPRAVODAJCA.*

**AUTOR**

Ing. Andrej Šille

Slovenský vodohospodársky podnik, štátny podnik

Odštepňý závod Piešťany

## ANALÝZA DOSTUPNÝCH METÓD PRE URČOVANIE KOEFICIENTU FILTRÁCIE

### ANALÝZA DOSTUPNÝCH METÓD PRE URČOVANIE KOEFICIENTU FILTRÁCIE

*Juraj Škvarka*

**Abstrakt:** V rámci otázky bezpečnosti vodných stavieb a ich súčastí dôležitú úlohu zohráva najmä kvalita a spoľahlivosť údajov o vodnej stavbe. Aby vodné stavby mohli byť kvalitne navrhnuté a spoľahlivo plnili svoju funkciu počas celej ich životnosti, je potrebné dôkladne poznať ich prostredie. Najdôležitejšie údaje z hľadiska interakcie vodnej stavby a jej okolitým prostredím sú práve geotechnické vlastnosti daného horninového prostredia. V príspevku bola pozornosť zameraná na určenie priepustnosti zemín podľa dostupných metód, pretože na základe priepustnosti horninového prostredia vieme určiť priesak cez teleso a podložie vodnej stavby. Okrem vodohospodárskej straty priesak ovplyvňuje konštrukčnú aj filtračnú stabilitu vodnej stavby a jej okolia. V súčasnosti sa v praxi najčastejšie používajú nepriame metódy na určenie priepustnosti zemín, t.j. výpočtom z analýzy zrnitostného rozboru zeminy. V príspevku sú ilustrované výsledky výpočtu pomocou empirických vzťahov podľa 45-tich rôznych autorov a ich možnosti spracovania pre ich ďalšie použitie, či už v rámci návrhu, prevádzky alebo prípadných sanácií vodnej stavby.

**Kľúčové slová:** koeficient filtrácie, priepustnosť, podložie, štatistika

**Abstract:** Within the safety of hydraulic structures and its components plays an important role especially the quality and reliability of data about the hydraulic structure. In order to hydraulic structures to be well designed and reliably fulfill their function throughout their lifetime, it is needed to know their surroundings and environment thoroughly. The most important data are the geotechnical properties of the given environment from the point of view of the interaction of the hydraulic structure with its surroundings. In the paper the attention is focused on determination of the soil permeability according to the available methods because it is possible to determine the seepage through the body and subsoil of the hydraulic structure from these data. Besides the water management loss, seepage also affects the construction and filtration stability of the water structure and its surroundings. Nowadays the most commonly are used indirect methods for determining soil permeability in practice, i.e. analysis of grainsize distribution curves of soil. The paper illustrates the results of the calculation using empirical relations of 45 different authors and their possibilities of processing for their further use, whether in the design, operation or eventual remediation of the hydraulic structure.

**Key words:** coefficient of permeability, permeability, subsoil, statistics

## ÚVOD

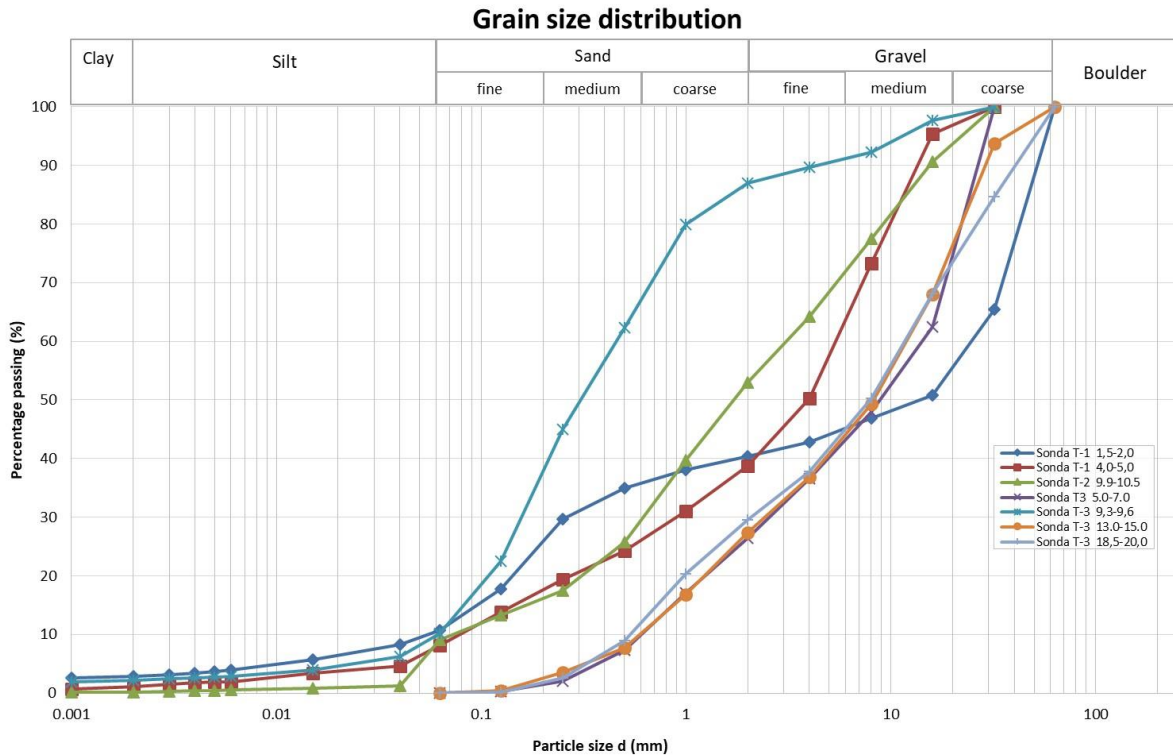
Pri navrhovaní a prevádzke vodných stavieb je jedným z najdôležitejších geotechnických parametrov zemín koeficient filtrácie. Vo všeobecnosti je to zložitá úloha, pretože zemina je prírodný materiál a jeho hodnotu ovplyvňuje viacero faktorov. Dôležitým predpokladom pre určenie koeficientu filtrácie danej vrstvy zeminy je homogenita a anizotropia. Tieto dve charakteristiky sú najvýznamnejšie, pretože sú základným predpokladom väčšiny matematických rovníc používaných na opis prúdenia podzemných vôd. Pod pojmom homogenita rozumieme, že vlastnosti danej vrstvy zeminy sú rovnaké v ľubovoľnom bode danej vrstvy. Anizotropia je jav, kedy sú fyzikálne vlastnosti zemín ovplyvnené smerom, v ktorom sa merajú. Za izotropný materiál sa pokladá zemina, ktorá má rovnaké vlastnosti vo všetkých smeroch. V rámci geologického prostredia je zvyčajne priepustnosť vyššia v horizontálnom smere ako vertikálnom, preto je vhodné pri filtračných výpočtoch uvažovať aj s anizotropiou daného prostredia.

Hodnotu koeficientu filtrácie danej zeminy v danom prostredí je možné určiť viacerými metódami. Stanoviť koeficient filtrácie je možné priamo v laboratóriu pomocou priepustomera, alebo v teréne čerpacími skúškami. V laboratóriu sa priepustnosť meria na relatívne malých vzorkách, ktorými nemožno zohľadniť heterogenitu daného prostredia. Okrem toho spoľahlivosť výsledkov laboratórnych skúšok závisí od kvality neporušených vzoriek zeminy [1]. Preto sa vo veľkých inžinierskych projektoch častejšie používajú čerpacie, alebo nalievacie skúšky. Týmito metódami zvyčajne vieme merať horizontálnu priepustnosť, resp. priepustnosť, v ktorej je daná vrstva zeminy priepustnejšia.

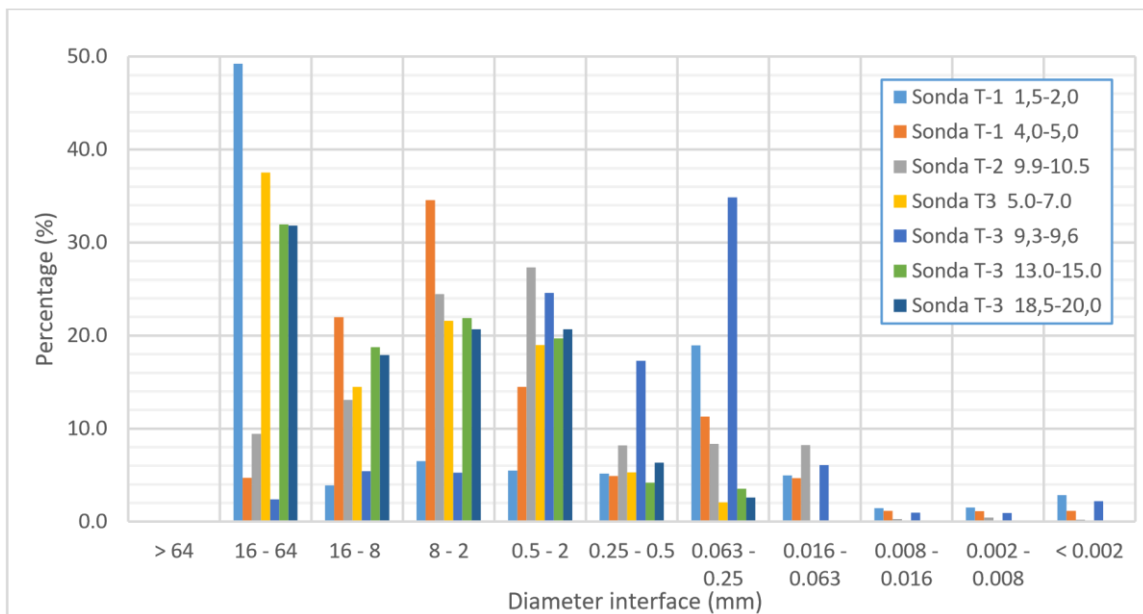
Avšak merania priepustnosti zemín sú z časového, ale často aj finančného hľadiska dosť náročné. Z tohto dôvodu sa určuje priepustnosť zemín iba na základe výsledkov zrnitostného rozboru danej zeminy. Preto sa viacero autorov zaoberalo analýzou zrnitostného zloženia zeminy, t.j. krivkami zrnitosti zemín, z ktorých pomocou skúšok v priepustomeri odvodili vzťahy pre výpočet koeficientu filtrácie [2]. Tieto rovnice zvyčajne platia iba pre konkrétny typ zeminy. Avšak tieto metódy tiež môžu mať relatívne nízku mieru spoľahlivosti, pretože odchýlky môžu byť až niekoľko rádov od nameraných hodnôt. Z toho dôvodu je pre určenie koeficientu filtrácie vhodné použiť viacero empirických vzťahov, ktoré platia pre daný typ zeminy [3,4,5,6,7].

## CHARAKTERISTIKA VZORIEK ZEMINY

Pre účely skúmania a určenia koeficientov filtrácie boli odobrané vzorky z aluviálnych náplavov z povodia Hrona pod VD Veľké Kozmálovce. V rámci prieskumných prác boli vyvrtané sondy do hĺbky cca 20 m.p.t., z ktorých boli odobrané vzorky pre laboratórne skúšky. Na odobraných vzorkách zeminy bol následne vykonaný zrnitostný rozbor. Na základe výsledkov zrnitostných rozborov je možné konštatovať, že v záujmovom území boli zistené len sedimenty fluviálneho pôvodu, najmä štrkovité a piesčité zeminy. Výsledky zrnitostného rozboru z odobraných vzoriek – krivky zrnitosti sú uvedené na obr. 1. Tri vzorky boli charakterizované ako štrky s prímiesou jemnozrnnej zeminy, ďalšie tri vzorky ako štrky zle zrnené a jedna vzorka bola charakterizovaná ako piesok s prímiesou jemnozrnnej zeminy. Na obr. 2 sú uvedené hmotnostné podiely jednotlivých frakcií pre dané vzorky.



Obr. 1 Krivky zrnitosti skúmaných zemín



Obr. 2 Hmotnostné podiely jednotlivých frakcií

## VÝSLEDKY VÝPOČTOV A ICH SPRACOVANIE

Z analýzy kriviek zrnitosti boli určené charakteristické a efektívne priemery zrn, ktoré slúžia ako vstupné údaje pre výpočet koeficientov filtrácie podľa empirických vzťahov. Každá z metód si vyžaduje svoje vlastné špecifické vstupné hodnoty a aj jednotky, v ktorých sa dané parametre zadávajú. Všetky výpočty a ich spracovanie je uvedené v Tab. 1.

Tab. 1 Výsledky výpočtov a ich spracovanie

XXXVI. Priehradné dni 2018

No.	Borehole	Sonda T-1	Sonda T-1	Sonda T-2	Sonda T3	Sonda T-3	Sonda T-3	Sonda T-3
	Sampling depth	1.5-2.0	4.0-5.0	9.9-10.5	5.0-7.0	9.3-9.6	13.0-15.0	18.5-20.0
	Sample type	G3 - G-F	G3 - G-F	G3 - G-F	G2 - GP	S3 - S-F	G2 - GP	G2 - GP
1	Alyamani and Sen	2.1E-03	2.5E-04	8.9E-05	4.4E-03	3.4E-05	4.1E-03	3.3E-03
2	Barr	5.0E-05	5.4E-05	1.9E-04	1.8E-02	1.2E-04	1.5E-02	1.4E-02
3	Beyer	9.2E-07	6.3E-05	6.4E-05	5.6E-03	7.3E-05	5.7E-03	4.2E-03
4	Chapuis	1.7E-05	3.3E-05	2.8E-05	8.1E-04	3.9E-05	8.1E-04	6.4E-04
5	Fair and Hatch	2.7E-06	3.7E-05	4.2E-05	8.7E-06	8.3E-04	8.1E-06	5.9E-06
6	Harleman	1.4E-06	3.2E-06	2.7E-06	1.9E-04	1.8E-06	1.8E-04	1.4E-04
7	Hazen-Original	1.3E-05	3.0E-05	2.5E-05	1.8E-03	2.7E-05	1.8E-03	1.3E-03
8	Hazen-New	6.6E-08	1.0E-06	1.4E-06	1.7E-04	5.1E-06	2.0E-04	1.3E-04
9	Kozeny	5.8E-07	1.3E-06	1.1E-06	7.9E-05	1.7E-06	8.0E-05	5.9E-05
10	Kozeny-Carman	3.8E-06	8.7E-06	7.2E-06	5.3E-04	1.1E-05	5.3E-04	3.9E-04
11	Kozeny-Carman	5.0E-06	2.7E-05	2.5E-04	3.5E-02	1.7E-05	3.0E-02	2.8E-02
12	Kruger	1.7E-06	1.8E-06	6.6E-06	5.3E-04	2.5E-06	4.5E-04	4.2E-04
13	Krumbein & Monk	1.1E-06	2.8E-05	2.9E-04	9.3E-02	1.1E-05	6.6E-02	5.0E-02
14	NAVFAC	1.8E-04	5.8E-04	4.4E-04	1.8E-01	6.7E-04	1.8E-01	1.2E-01
15	Pavchich	1.1E-03	3.0E-03	4.3E-03	8.2E-02	1.7E-03	9.0E-02	6.1E-02
16	Sauerbrei	1.2E-05	3.3E-05	4.7E-05	8.7E-04	1.8E-05	9.6E-04	6.5E-04
17	Slichter	4.4E-06	1.0E-05	8.3E-06	6.1E-04	1.3E-05	6.2E-04	4.6E-04
18	Terzaghi	1.6E-06	3.6E-06	3.0E-06	2.2E-04	4.1E-06	2.2E-04	1.6E-04
19	USBR	4.5E-05	1.9E-04	2.7E-04	6.7E-03	2.4E-05	6.6E-03	3.5E-03
20	Zamarin	7.8E-07	4.4E-06	4.1E-05	6.2E-03	2.8E-06	5.3E-03	4.9E-03
21	Zunker	2.6E-06	1.4E-05	1.3E-04	1.9E-02	5.3E-06	1.6E-02	1.5E-02
22	HazenI	3.6E-05	8.1E-05	6.7E-05	4.7E-03	4.5E-05	4.6E-03	3.5E-03
23	HazenII	5.3E-05	1.2E-04	9.9E-05	6.9E-03	6.6E-05	6.7E-03	5.1E-03
24	Orechová	1.0E-04	2.9E-04	4.1E-04	7.3E-03	7.0E-05	7.8E-03	5.4E-03
25	Americký vzorec	4.5E-05	1.9E-04	2.7E-04	6.7E-03	2.4E-05	6.6E-03	3.5E-03
26	Seelheim	7.4E-01	5.6E-02	1.1E-02	3.0E-01	3.7E-04	2.5E-01	2.2E-01
27	Zieschang	7.0E-06	2.8E-05	2.8E-05	1.5E-03	4.8E-05	1.6E-03	1.2E-03
28	Beyer	1.1E-05	3.6E-05	3.3E-05	2.6E-03	3.1E-05	2.6E-03	1.9E-03
29	Zaubrej	1.1E-05	2.9E-05	4.2E-05	7.9E-04	1.5E-05	8.6E-04	5.8E-04
30	Kozenyl	5.7E-07	3.1E-06	2.8E-05	4.0E-03	1.8E-06	3.4E-03	3.2E-03
31	Kozenyll	3.5E-06	8.2E-06	2.5E-05	3.1E-04	1.4E-05	2.9E-04	2.8E-04
32	Zamarin1	1.6E-06	8.8E-06	8.3E-05	1.2E-02	5.6E-06	1.1E-02	1.0E-02
33	Zamarin2	1.0E-07	5.7E-07	5.4E-06	8.3E-04	5.6E-07	7.3E-04	6.7E-04
34	Zamarin3	5.6E-08	3.2E-07	2.9E-06	4.5E-04	2.8E-07	4.0E-04	3.6E-04
35	Seiler	1.8E+01	6.8E-02	1.5E-02	7.8E-02	2.9E-04	5.8E-02	5.0E-02
36	Slichter 1	7.1E-06	7.6E-06	2.8E-05	2.3E-03	1.5E-05	2.0E-03	1.8E-03
37	Slichter 2	2.6E-07	1.4E-06	1.3E-05	1.8E-03	8.2E-07	1.6E-03	1.5E-03
38	Slichter 3	2.7E-07	1.5E-06	1.4E-05	2.1E-03	8.6E-07	1.8E-03	1.7E-03
39	Kruger	1.9E-05	2.0E-05	7.5E-05	6.0E-03	2.8E-05	5.1E-03	4.8E-03
40	Palagin	7.3E-05	2.8E-05	1.3E-05	9.7E-03	1.0E-05	1.1E-02	7.8E-04
41	Carman-Kozeny	9.8E-06	2.3E-05	1.8E-05	9.9E-04	6.8E-06	9.5E-04	7.1E-04
42	Jaky	2.1E-02	1.6E-03	3.1E-04	8.3E-03	1.0E-05	6.9E-03	6.3E-03
43	Schweiger-Bayer	1.2E-05	3.8E-05	3.5E-05	2.7E-03	3.3E-05	2.8E-03	2.1E-03
44	Terzaghi	7.3E-06	1.6E-05	1.4E-05	9.8E-04	1.7E-05	9.8E-04	7.3E-04
45	Shepherd	1.5E+00	1.8E-01	4.7E-02	7.0E-01	2.8E-03	6.0E-01	5.5E-01
Statistics of valid values	Geometric mean	8.9E-06	2.1E-05	3.6E-05	1.3E-03	1.4E-05	1.3E-03	8.1E-04
	Arithmetic mean	9.2E-05	2.5E-04	3.6E-04	1.1E-02	8.9E-05	1.1E-02	7.4E-03
	Median	5.0E-06	2.3E-05	2.6E-05	8.0E-04	1.5E-05	7.9E-04	5.8E-04
	Maximum value	1.1E-03	3.0E-03	4.3E-03	8.2E-02	1.7E-03	9.0E-02	6.1E-02
	Minimum value	5.7E-07	1.3E-06	1.1E-06	8.7E-06	8.2E-07	8.1E-06	5.9E-06

Zelenou farbou sú znázornené hodnoty koeficientov filtrácie, pre ktoré platia podmienky platnosti, stanovené autormi daných metód. Následne z platných hodnôt sú vypočítané geometrické a aritmetické priemery, medián platných hodnôt, maximálne a minimálne hodnoty. Z tabuľky sú zrejmé značné rozdiely medzi minimálnymi a maximálnymi hodnotami vo výsledkoch výpočtov koeficientov filtrácie, až niekoľko rádov. Preto je vhodné, aby boli použité viaceré metódy, z ktorých sa vyberú najvhodnejšie výsledky pre daný typ zeminy, alebo je možné použiť štatistiku. Pri dostatočnom počte údajov dokážeme štatistickým spracovaním získať najpravdepodobnejšiu hodnotu koeficientu filtrácie danej zeminy. Na základe výsledkov z tab.1 odporúčame pri dostatočnom počte údajov používať medián, alebo geometrický priemer platných výsledkov. Základnou výhodou mediánu je skutočnosť, že nie je ovplyvnený extrémnymi hodnotami. Geometrický priemer je definovaný ako je  $n - tá$  odmocnina zo súčiny nevytriedených dát, ktorá sa v prípade výpočtu koeficientu filtrácie zeminy približuje k strednej hodnote platných výsledkov. Zo štatistického hľadiska aritmetický priemer neposkytuje dostatočnú presnosť, pretože je vysoko ovplyvnený extrémnymi hodnotami a je citlivý na hrubé chyby. Preto sa môže líšiť od mediánu a geometrického priemeru o jeden až dva rády. Riešením by bolo vylúčenie extrémnych hodnôt zo súboru platných údajov, avšak toto vylučovanie je závislé od subjektívneho pohľadu riešiteľa danej úlohy, a teda mala by to vykonávať iba osoba s dlhoročnými skúsenosťami a znalosťami v oblasti prúdenia vôd cez pórovité prostredie. Štatistika pozná aj ďalšie typy priemerov (napr. kvadratický, harmonický, kĺzavý atď.), ale v obore reálnych čísiel 0 až 1 sú prakticky nepoužiteľné.

## ZÁVER

V príspevku bola pozornosť zameraná na stanovenie koeficientu filtrácie, hlavne pomocou empirických metód výpočtom z kriviek zrnitosti zeminy. Bolo analyzovaných 6 vzoriek štrkovitých zemín a 1 vzorka piesku s prímiesou jemnozrnnej zeminy. Z Tab.1 je zrejmé, že väčšina metód nespĺňala kritéria platnosti pre daný typ zeminy. Je to spôsobené najmä tým, že väčšina autorov pri svojich pokusoch používala najmä piesčité materiály, a teda aj ich vzťahy pre výpočet koeficientu filtrácie je vhodné použiť pre piesčité zeminy. V rámci štatistického spracovania výsledkov odporúčame použiť geometrický priemer. V porovnaní s aritmetickým priemerom je výsledná hodnota menej zaťažená chybou a extrémnymi hodnotami. Medián je tiež vhodné použiť v prípade dostatočného počtu platných údajov. Z výsledkov výpočtov (Tab.1) je zrejmé, že hodnoty mediánov a geometrických priemerov sú si veľmi blízke. Od kvality vstupných parametrov závisí efektívnosť, ale aj hospodárnosť, či už návrhu alebo sanácie vodnej stavby. Vo viacerých prípadoch je tiež vhodné výsledky výpočtu koeficientu filtrácie doplniť o výsledky priamych meraní – čerpacími skúškami. Konfrontáciou viacerých metód je potom možné získať dobrý obraz o vlastnostiach horninového prostredia a tým získať optimálny návrh z ekonomického hľadiska, spoľahlivosti a bezpečnosti vodnej stavby.

## ZOZNAM LITERATÚRY

- [1] *Holtz, R.D., Kovacks, W. D. and Sheahan, T. C., 2011, An introduction to Geotechnical Engineering: Prentice-Hall, Upper Saddle River, NJ, 853 p.*
- [2] *M. Kasenow, Determination of hydraulic conductivity from grain size analysis," Water Resources Publications, 2010.*
- [3] *A. Hazen, Some physical properties of sands and gravels, with special reference to their use in filtration." Massachusetts State Board of Health, vol. 24th annual report, pp. 539556, 1892.*
- [4] *C. Terzaghi, Principles of soil mechanics." Engineering News-Record, vol. 95, p. 832, 1925.*
- [5] *J. Kozeny, Uber kapillare leitung des wassers in boden [about capillary pipe in groundwater]." Sitzungsber Akad. Wiss. Wien Mathematik Naturwiss, vol. 136, pp. 271306, 1927.*
- [6] *P. C. Carman, Flow of gases through porous media. London: Butterworth Scientific Publications, 1956.*
- [7] *M. Vukovic and A. Soro, Determination of hydraulic conductivity of porous media from grain-size composition. Water Resources Publications, 1992.*

## AUTOR

Ing. Juraj Škvarka

Radlinského 11, 810 05 Bratislava

juraj.skvarka@stuba.sk



**IV. MALÉ VODNÉ NÁDRŽE, VODNÉ NÁDRŽE A EXTRÉMNE  
HYDROLOGICKÉ JAVY**



## PŘÍPRAVA SUCHÉ RETENČNÍ NÁDRŽE MĚLČANY

### PREPARATION OF THE MĚLČANY POLDER PROJECT

*Pavel Fošumpaur, Tomáš Kašpar, Martin Králík, Milan Zukal, Petr Holý, Pavel Řehák*

**Abstrakt:** Plány na realizaci vodní nádrže v profilu Mělčany nad městem Dobruška existují již od 20. let minulého století. Nádrž leží v povodí vodního toku Dědina ve správě státního podniku Povodí Labe. Příspěvek v úvodu popisuje historii a vývoj vodohospodářské koncepce nádrže, která je v současné době připravována jako suchá retenční nádrž. Motivací pro významné posílení retenční funkce nádrže byla povodeň z roku 1997 a zejména katastrofální povodeň z roku 1998, která způsobila rozsáhlé materiální škody a ztráty na lidských životech. Technický návrh hráze a funkčních objektů v současnosti připravuje ve stupni dokumentace pro stavební povolení akciová společnost Sweco Hydroprojekt. Koncepce sdruženého objektu vodního díla byla přizpůsobena požadavku na migrační propustnost vodních organismů a představuje unikátní technické řešení. Z uvedeného důvodu byl počátkem roku 2018 realizován na Fakultě stavební ČVUT v Praze podrobný hydraulický výzkum na fyzikálním modelu, jehož cílem bylo ověření a optimalizace hydraulické funkce sdruženého objektu suché nádrže, upřesnění měrných křivek funkčních objektů, posouzení kapacity při převádění kontrolní povodňové vlny, chování záhozu v prostoru vývaru, posouzení dispozičního uspořádání funkčních objektů a další úlohy z pohledu optimálního provozního režimu vodního díla.

**Abstract:** The plans for the realisation of the reservoir in the Mělčany profile above the town of Dobruška have existed since the 1920s. The reservoir is situated in the Dědina water catchment area under the management of the Povodí Labe (State Ent.). The paper introduces the history and development of the water management concept of the reservoir, which is currently being prepared as a dry reservoir. The motivation for a significant increasing of the retention function was the flood in 1997 and, in particular, the catastrophic flood in 1998, which caused extensive material damages and a loss of human lives. The technical design of the dam and functional structures is currently being prepared by the Sweco Hydroprojekt (JSC) at the stage of the construction permit documentation. The conception of the combined hydraulic structure was adapted to the requirement for migration throughput of water organisms and represents a unique technical solution. For this reason, at the beginning of 2018, the Faculty of Civil Engineering CTU in Prague completed a detailed hydraulic research on a physical model focused on: verifying and optimizing the hydraulic function of a combined structure; clarifying the specific curves of functional structures; assessing the capacity during the flood wave passing; stilling basin; assessment of layout of functional objects and other tasks from the viewpoint of the optimal operating regime of the waterwork.

**Klíčová slova:** vodní dílo Mělčany, suchá nádrž, sdružený objekt, tlumení kinetické energie

*Príspevok je uverejnený v časopise VODOHOSPODÁRSKY SPRAVODAJKA.*

#### AUTOR

doc. Dr. Ing. Pavel Fošumpaur

Ing. Tomáš Kašpar

Ing. Martin Králík, Ph.D.

Ing. Milan Zukal, Ph.D.

ČVUT v Praze, Fakulta stavební, Thákurova 7, 166 29 Praha 6

email: fosumpaur@fsv.cvut.cz

Ing. Petr Holý

Sweco Hydroprojekt a.s., Táborská 940/31, 140 16 Praha 4

email: petr.holy@sweco.cz

Ing. Pavel Řehák

Povodí Labe, státní podnik, Víta Nejedlého 951/8, 500 03 Hradec Králové

email: rehakp@pla.cz

# PREHODNOTENIE KAPACITY BEZPEČNOSTNÝCH PRIEPADOV VODNÝCH NÁDRŽÍ VYŠNÁ RYBNICA A BUKOVEC POMOCOU HYDRAULICKÉHO FYZIKÁLNEHO MODELOVANIA

## REASSESSMENT OF SPILLWAY CAPACITY OF WATER RESERVOIRS VYŠNÁ RYBNICA AND BUKOVEC USING HYDRAULIC PHYSICAL MODELING

*Marek Čomaj, Filip Rebenda*

**Abstrakt:** V Hydrotechnických laboratóriách VÚVH boli realizované viaceré výskumné úlohy prehodnotenia merných kriviek nehradených bezpečnostných priepadov vodných nádrží pomocou fyzikálneho hydraulického modelovania. Príspevok je zameraný na modelový výskum nehradených bezpečnostných priepadov na VN Vyšná Rybnica a Bukovec, ktorý bol realizovaný minulý rok. Kapacita týchto objektov bola v minulosti stanovená často iba teoretickým výpočtom, resp. posúdená numerickým modelom, čo sa ukázalo ako nedostatočné vzhľadom na zložité hydraulické pomery. Boli preukázané chyby pri návrhu objektov a v mnohých prípadoch, pri skúmaných vodných dielach, sa kapacita priepadu ukázala ako nedostatočná pre prehodnotené návrhové povodňové prietoky. Reálne dochádza v odtokových žľaboch pod priepadmi hlavne k zahlcovaniu prepadu hladiniu v odtokovom žľabe a tiež výraznému skrutkovitému pohybu vody vo vývare hate, keď dolná hladina v odtokovom žľabe pod priepadom vystúpi výrazne vyššie, no nerovnomerne po dĺžke. To spôsobuje odchýlku od výpočtov, ktoré sú realizované pomocou zjednodušených numerických modelov. Následne bolo nutné navrhnuť a otestovať vhodné konštrukčné úpravy daných priepadov, za účelom zvýšenia ich kapacity na požadovanú hodnotu.

**Abstrakt:** The experts of the Water Research Institute Hydraulic Laboratories performed several research tasks on the reassessment of rating curves of uncontrolled spillways of water reservoirs using physical hydraulic modeling. The paper focuses on the recent model research of uncontrolled spillways of the hydraulic structures Vyšná Rybnica a Bukovec. In the past, the capacity of these structures was often determined only by theoretical calculation or assessed using numerical model, which proved to be insufficient. The errors of structure design have been proved and in many cases of investigated hydraulic structures, the capacity of spillway has shown to be insufficient regarding the revised design flood discharges. There is a real helical motion of water in the discharge flumes under the spillways, as in the stilling pool of weir, where the lower water level below the spillway significantly increases and affects the overflow by backwater. This causes a deviation from calculations that are done using simplified numerical models. Subsequently, it was necessary to design and test appropriate construction design modifications of the given spillways in order to increase their capacity to reach the required value.

**Kľúčové slová:** bezpečnosť vodných diel, bezpečnostný priepad, povodňové prietoky, povodne, fyzikálny hydraulický model

### 1. ÚVOD

Výstavba vodných nádrží bola na Slovensku uskutočnená hlavne v 60. – 70. rokoch minulého storočia, s kapacitami objektov navrhnutými na vtedajšie hydrologické pomery. Odtedy ubehlo už cez 50 rokov, zmenili sa klimatické podmienky a prehodnotili sa návrhové povodňové prietoky. Hlavne v extrémne vodnom roku 2010 sa ukázalo, že mnohé staršie nádrže

majú problémy s kapacitou bezpečnostných priepadov a prevedením aktuálnych povodňových prietokov. Nezrovnalosti pri určovaní skutočne prevádzaného prietoku cez nehradené priepady a nedostatočný rozsah merných kriviek primäli správcu veľkých vodných nádrží zaoberať sa uvedenou problematikou podrobnejšie. Výsledkom bolo postupné zahájenie prehodnocovania kapacít jednotlivých bezpečnostných priepadov a v prípade zistených nedostatkov pri projektovaných parametroch aj hľadanie technických riešení na zvýšenie ich kapacity.

## 2. VN VYŠNÁ RYBNICA

Vodná nádrž Vyšná Rybnica bola vybudovaná v rokoch 1975 až 1978 na toku Okna v rkm 24,0. Účelom vodnej nádrže je akumulácia vody a jej dodávka pre závlahy, chov rýb a ochrana pred povodňami, rekreácia a v nedávnej dobe sa pridala aj výroba elektrickej energie v dobudovanej MVE. Stavba je zaradená ako vodné dielo II. kategórie. Zemná homogénna hrádza ma výšku 10,5 m a dĺžka hrádze je 434,50 m. Koruna hrádze je na úrovni 236,70 m n. m. Zásobný objem nádrže je 356 700 m<sup>3</sup>, retenčný objem je 46 000 m<sup>3</sup> a zatopená plocha je 9,5 ha.

Priehrada je vybavená vežovým objektom s hradeným dnovým výpustom s potrubím DN1200 s vtokovým uzáverom DN600 s kapacitou 3,0 m<sup>3</sup>/s a odberným potrubím DN200 kapacity 340 l/s. V súčasnosti je odoberaný prietok energericky využitý na MVE a následne delený na sanitárny prietok minimálne 52 l/s späť do toku a zvyšná väčšia časť ako odber úžitkovej vody na závlahy podľa potreby.

Bezpečnostný priepad (obr. 1) je nehradený, bočný, situovaný na ľavom svahu nádrže a zaviazaní hrádze. Konštrukcia sa skladá z veľmi nízkej priepadovej hrany výšky 0,1 m a dĺžky 87 m. S-kovito zatočený betónový odtokový žľab má šírku 6,0, hĺbku 3,35 m a pozdĺžny sklon 1%. Predná časť odtokového žľabu tvorí šikmá rampa v sklone 10% pre vstup vozidiel. Kapacita bočného priepadu bola stanovená výpočtom na 42,0 m<sup>3</sup>/s. Maximálna prevádzková hladina je zároveň aj úroveň priepadovej hrany priepadu je na kóte 235,65 m n.m. a maximálna retenčná hladina bola stanovená na 236,00 m n. m.

Odtok vody zo žľabu bezpečnostného priepadu prechádza popod premostenie na úrovni koruny hrádze a následne do odpadového kanála pri ľavom zaviazaní hrádze. Pozdĺžny sklon odpadového kanála klesá postupne z 8,7% na 1,17% na 251,8 m vyúsťuje do toku Oka.



Obr.1: Bočný priepad na VN Vyšná Rybnica.

Hydrologické údaje pre posúdenie kapacity priepadu sme prevzali z manipulačného poriadku vodnej nádrže Vyšná Rybnica na toku Oka v rkm 24,6 s triedou spoľahlivosti III. Priemerný ročný prietok je  $1,14 \text{ m}^3/\text{s}$ . Podľa výpočtov navrhovateľa by mal retenčný priestor nádrže znížiť povodňový prietok sto ročnej vody o  $2,0 \text{ m}^3/\text{s}$ .

N ročné prietoky

Roky	1	5	10	20	50	100
Prietok ( $\text{m}^3/\text{s}$ )	7	17	22	28	39	47

## 2.1. Popis fyzikálneho modelu VN Vyšná Rybnica

V apríly 2017 sme vykonali obhliadku a vlastné geodetické zameranie skutočného tvaru a vyhotovenia bezpečnostného priepadu a časti odtokového koryta po rekonštrukcii. Pomocou totálnej stanice bolo geodeticky zameraných cez 200 bodov v 24 priečných profiloch.

Pre preverenie kapacity bočného bezpečnostného priepadu VN Vyšná Rybnica bol v hydrotechnických laboratóriách VÚVH postavený zmenšený fyzikálny model daného objektu v modelovej mierke 1:10 podľa Froudovej modelovej podobnosti. Pre zachovanie požadovaných kritérií modelovej podobnosti pri modelovaní priepadov je limitná podmienka dodržania okolo 50 mm výšky prepádového lúča pre návrhový prietok, aby povrchové napätie nedeformovalo jeho tvar a neovplyvňovalo súčiniteľ prepádu. Prepočet mierok pre jednotlivé fyzikálne veličiny (M - modelový a R - reálny) je nasledovný:

$$\begin{aligned} \text{Dĺžka, výška:} & \quad L_M = L_R / M \\ \text{Rýchlosť:} & \quad v_M = v_R / M^{0,5} \\ \text{Prietok:} & \quad Q_M = Q_R / M^{2,5} \end{aligned}$$

Rozmery vybudovaného a utesneného modelového bazénu sú šírky 5,5 m a dĺžky 17,5 m. V modelovom bazéne (obr. 2) sa následne presne polohovo a výškovo vytýčia a osadia priečne vyrezané profily. Presnosť vyrezania a osadenia profilov je do 1 mm. Následne sa podľa

ukotvených priečných profilov vytvaruje betónový povrch priepadu a okolitého terénu. Povrch každého typu povrchu modelu sa upraví s požadovanou odpovedajúcou hydraulickou drsnosťou. Ostatné plochy a podklad sú nasypané zo zhutneného piesku.

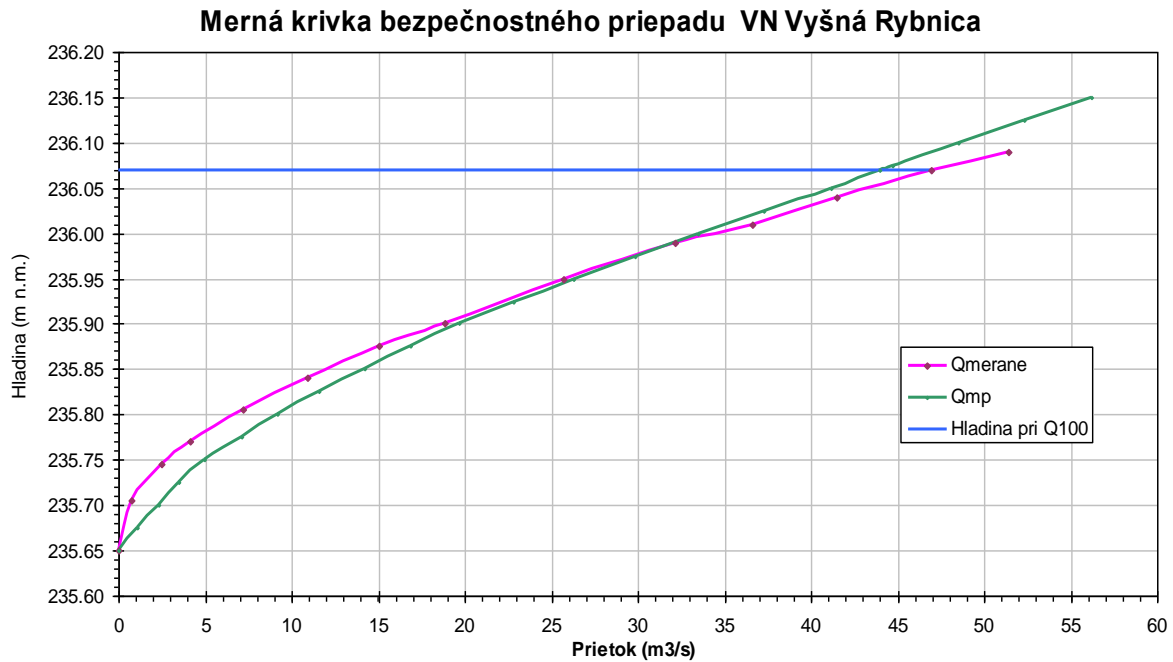


Obr.2: Výstavba fyzikálneho modelu bočného priepadu

Do modelového bazéna bol privedený prívod vody z rozvodného potrubia DN200 s kapacitou 165 l/s. Pre presné meranie prietoku bol na prívodnom potrubí do modelového bazéna osadený kalibrovaný elektromagnetický prietokomer E+H Promag s presnosťou merania max odchýlky 1%. Hladina v nádrži bola meraná presným hrotovým merítkom s čítaním po 0,1 mm osadený v sklenenom hrnci, ktorý bol prepojený s nádržou hadicou systémom spojených nádob.

## 2.2 Meranie kapacity priepadu VN Vyšná Rybnica

Priebeh merania pozostával v nastavení zvoleného prietoku na prívodnom potrubí do bazéna a následne odčítaní úrovne hladiny v nádrži po cca 15 minútovom ustálení. Celkovo bolo vykonaných 14 meraní prietok-hladina pre celý rozsah mernej krivky. Zo zameraných bodov prietokov a hladín bola vytvorená merná krivka priepadu až nad rozsah prietoku ako je udávaný  $Q_{100T}$ . Merná krivka je zostavená z prepočítaných hodnôt na reálne. Žiaľ vzhľadom na kapacitné možnosti sme na modeli dosiahli po prepočte maximálny prietok  $52 \text{ m}^3/\text{s}$ , čo odpovedá len približne 150 ročnému prietoku.



Obr.3: Kapacitné krivky priepadu (pôvodné stanovené krivky a zameraný stav z modelu ).

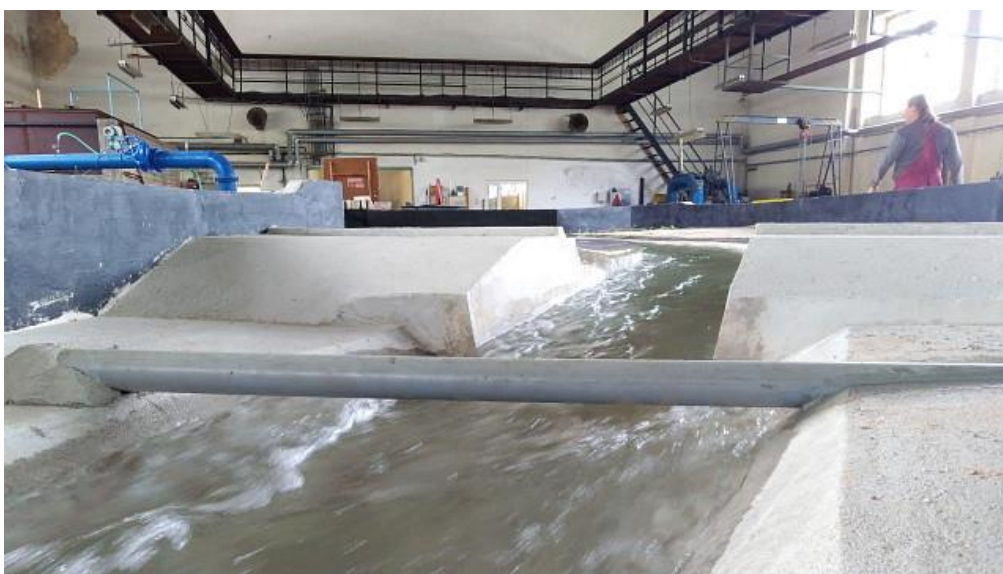
Z nameranej mernej krivky (obr. 3) a pôvodnej vypočítanej mernej krivky je vidno, že nemajú identický priebeh. Je to spôsobené tým, že bezpečnostný priepad nemá prevýšenú prepádovú hranu oproti dnu nádrže, tak že ide hydraulicky skôr o stupeň v dne pri prúde vody s výraznejšie premenlivým súčiniteľom priepadu. V dolnej časti krivky do  $30 \text{ m}^3/\text{s}$  je zameraná kapacita nižšia o  $2 \text{ m}^3/\text{s}$  ako vypočítaná a v hornej časti krivky je zase mierne vyššia ako výpočtom stanovená. Z nameraných údajov vyplýva, že transformovaný povodňový prietok  $Q_{100TR} = 45 \text{ m}^3/\text{s}$  sa prevedie prepádom pri hladine v zdrži na úrovni  $236,06 \text{ m n. m.}$ , čo je o  $6 \text{ cm}$  vyššie ako súčasná stanovená maximálna retenčná hladina, ale zároveň o  $2 \text{ cm}$  nižšie ako údaj z výpočtom stanovenej krivky. Prevýšenie koruny hrádze je od uvedenej max dosiahnutej hladiny  $64 \text{ cm}$ . Pri operatívnom zapojení dnového výpustu s kapacitou  $3 \text{ m}^3/\text{s}$  počas povodne sa dosiahne pri prietoku priepadom  $42 \text{ m}^3/\text{s}$  hladina v zdrži  $236,04 \text{ m n. m.}$



Obr.4: Priebeh merania na fyzikálnom modeli pri maximálnom prietoku.



Kapacita odtokového žľabu priepadu bola dostatočná pri testovaných prietokoch v rozsahu 0 - 52 m<sup>3</sup>/s, no pri maximálnom prietoku sa hladina na vrchu odtokového žľabu približovala k úrovni koruny priepadu (obr. 4). Pri vyšších prietokoch ako Q<sub>200</sub> by už postupne dochádzalo k miernemu zavzdúvaniu priepadu a ohybu kapacitnej krivky smerom hore. Odtokový žľab prechádza následne do užšieho ale strmšieho odpadového kanála popod premostenie koruny hrádze a o cca 10 m nižšie aj popod premostenie z rúrového prevodu. Hladina vody v odpadovom kanáli bola pri maximálnom meranom prietoku 52 m<sup>3</sup>/s približne o 50 cm pod rúrou v prepočte na reál, takže pri extrémnejších prietokoch alebo preplavovaní veľkých konárov bude rúrové premostenie ohrozené, a zároveň sa zahltí odtokový žľab (obr. 5).



Obr.5: Prietok vody cez mostný objekt a pod rúrový prevod

### 3. VN BUKOVEC

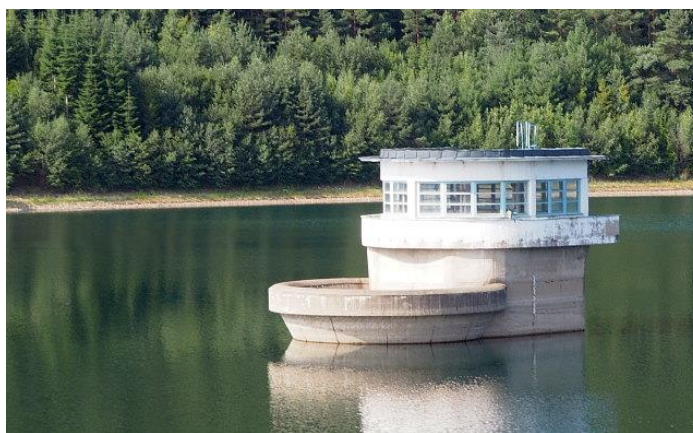
Vodárenská nádrž Bukovec (obr. 6) sa nachádza na toku Ida v rkm 37,675 v Košickom okrese. Bola vybudovaná v roku 1968. Úlohou nádrže je akumulácia vody pre zabezpečenie dodávok pitnej vody pre Košice a okolie v maximálnej kapacite 700 l/s, výpomoc pre nižšie položenú nádrž pri zvýšenom odbere chladiacej a technologickej vody pre USS Košice a tiež ako protipovodňová funkcia pre sploštenie povodňovej vlny.

Hrádza vodnej nádrže s výškou 56 m je tvorená ako kamenitá so stredovým hlinitým tesnením a sklonmi svahov od 1:1,6 – 1:2. Celkový objem nádrže je 23,4 mil. m<sup>3</sup>. Maximálna hĺbka vody je 48,75 m. Kóta koruny hrádze je na úrovni 420,00 m n. m.



Obr.6 Vodárenská nádrž BukovecI.

Združený funkčný objekt (obr. 7) je vežová železobetónová stavba, ktorá obsahuje nehradený šachtový priepad, štyri etážové vodárenské odbery, dva dnové výpusty a odtokovú štôľňu. Šachtový priepad má tvar kruhovej výseče s nehradenou priepadovou hranou na úrovni maximálnej prevádzkovej hladiny 416,75 m n. m. Dĺžka koruny priepadu je 25 m a polomer kruhovej výseče je 5,3 m. Výška lievikovitého prechodu šachtového priepadu je 7,56 m. Udávaná kapacita priepadu pri maximálnej retenčnej hladine 417,75 m n. m. je 52,5 m<sup>3</sup>/s. Prepad prechádza do zvislej kruhovej šachty priemeru 3,6 m a výšky 31,2 m. Následne v kolene prechádza z vertikálnej kruhovej šachty do horizontálnej obdĺžnikovej odtokovej štôľne.



Obr.7 Združený funkčný objekt so šachtovým priepadom

Odvádzania šachta dĺžky 210 m a pozdĺžneho sklonu 1% má šírku 3,6 m a výšku 2,9 m so skosenými hornými rohmi. V ohybe kolena sú vyústené dva dnové výpusty ako oceľové potrubie DN600 mm. Každé potrubie obsahuje kuželové a zasúvadlové elektricky ovládateľné uzávery. Udávaná kapacita dnových výpustov je  $2 \times 7,32 = 14,64$  m<sup>3</sup>/s pri maximálnej prevádzkovej vodnej hladine. Odvádzania štôľňa je ukončená divergentným vývarom dĺžky 28 m a rozrážачmi. Celková výška objektu šachtového priepadu od koruny po dno odtokovej štôľne je 48,75 m.

Vodárenská nádrž je dotovaná vodou z toku Ida a tiež z prevodu Myslavského potoka. Sumárne N ročné prietoky z oboch tokov boli v roku 2016 stanovené nasledovne:

Roky	1	5	10	20	50	100	1000
Prietok (m <sup>3</sup> /s)	5,9	12,3	17,5	24,5	31	37	62

Vplyvom retenčnej kapacity vodnej nádrže sa predpokladá sploštenia povodňovej vlny a kulminačný prietok vlny bude znížený nasledovne:

$Q_{100} = 37 \text{ m}^3/\text{s}$  bude transformovaný na  $Q_{100\text{TR}} = 24,85 \text{ m}^3/\text{s}$  pri hladine 417,34 m n. m.

$Q_{1000} = 62 \text{ m}^3/\text{s}$  bude transformovaný na  $Q_{1000\text{TR}} = 44,6 \text{ m}^3/\text{s}$  pri hladine 417,62 m n. m.

### 3.1 Stavba fyzikálneho modelu

Pred výstavbou fyzikálneho modelu bola vykonaná obhliadka vodnej stavby a objektov a urobené porovnanie s projektovými výkresmi o zhode realizácie s projektom. Počas obhliadky boli vykonané aj merania hlavných rozmerov objektov priepadu a odtokovej štólne.

Pre vybudovanie fyzikálneho modelu šachtového priepadu, bol v hale Hydrotechnických laboratórií VÚVH zrekonštruovaný vyvýšený bazén rozmerov 4,5 x 4,5 metra, hĺbky 1 m s úroveňou hladiny 2,5 m nad podlahou (obr. 8). V ocel'ovom bazéne sa nachádza stredový otvor pre osadenie zvislej štólne šachtového priepadu. Ďalší dnový otvor so zvislým potrubím DN100 predstavuje stĺpec vody v nádrži siahajúci až po úroveň dnových výpustov do odpadovej štólne. Slúži tiež pre vypustenie testovacieho bazéna. V testovacom bazéne sa nachádza okolo stredového otvoru kruhová ocel'ová stena a perforovaná stena, ktorá tlmí hladinu pritekajúcej vody.



Obr.8 Modelový bazén so šachtovým priepadom VN Bukovec

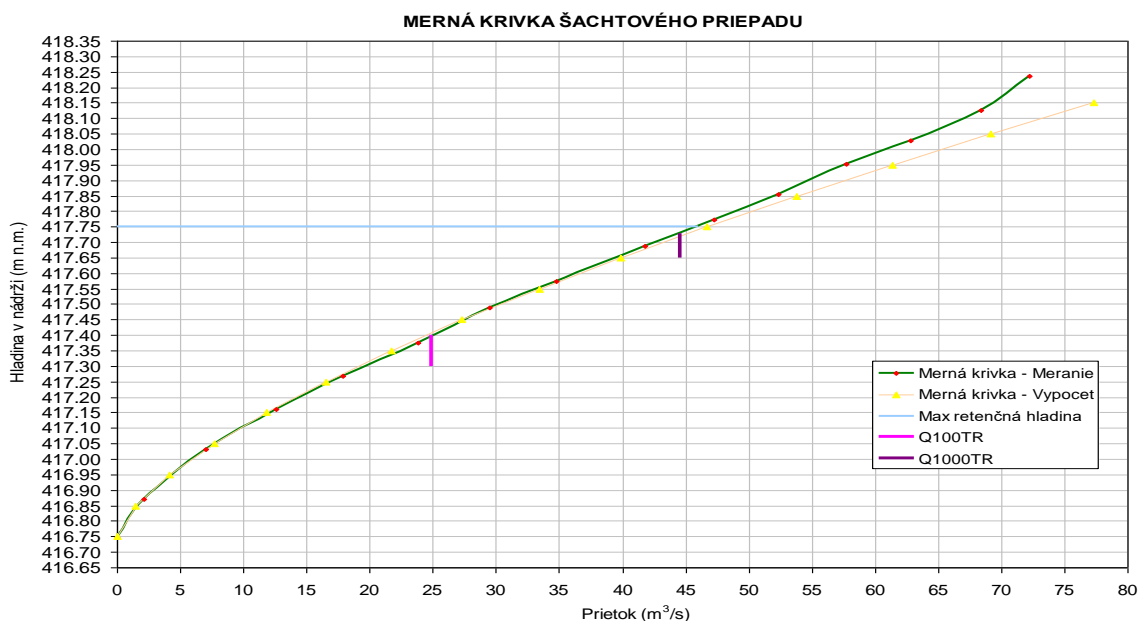
Do vyvýšeného bazéna bol urobený prívod vody cez potrubie DN200 s kapacitou 100 l/s. Na prívodnom potrubí je nainštalovaný elektroindukčný prietokomer s presnosťou merania 0,5% a rovnako aj na potrubí pre prívod vody na dnové výpusty je nainštalovaný elektroindukčný prietokomer rovnakej presnosti. Pre presné meranie hladiny vody v nádrži (bazéne) bol systémom spojených nádob pripevnený k nádrži sklenený merný valec vybavený hrotovým merítkom s presnosťou odčítania hladiny 0,1 mm.

Vzhľadom na rozmerové a prietokové kapacity testovacieho bazéna, bola zvolená modelová mierka fyzikálneho modelu šachtového priepadu na M 1:15 podľa Froudových zákonov modelovej podobnosti. V danej mierke má celková výška modelu 3,25 m a priemer priepadu je 760 mm a priemer zvislej štôlne bol 240 mm.

Samotný šachtový priepad rozmerov 0,76 x 0,78 x 0,50 m bol vyrobený z lepených MDF dosiek a vyfrézovaný na CNC stroji do zaobleného lievikovitého tvaru vysústružené s presnosťou frézovania na 0,5 mm podľa dodaného 3D výkresu. Výrobok bol následne natretý vode odolným lodným lakom. Zvislá kruhová šachta bola vyrobená z priehľadnej plexisklovej rúry dĺžky 2 m a vnútorného priemeru 240 mm. Prechodové koleno rozmerov 0,70 x 0,72 x 0,40 m medzi zvislou kruhovou rúrou a vodorovnou obdĺžnikovou štôľňou bolo vyrobené z dvoch dielov lepených MDF dosiek a vnútri presne vyfrézované na CNC fréze. Rúry dnových výpustov boli vyrobené z 1,5" oceľových vodovodných rúrok s guľovými ventilmi pre uzavretie. Rúry dnových výpustov boli vložené do prechodového kolena. Odtoková štôľňa dĺžky 2 m bola vyrobená z ohýbaného oceľového plechu.

### 3.2. Merania na fyzikálnom modeli šachtového priepadu Bukovec

Na fyzikálnom modeli šachtového priepadu resp. celého združeného funkčného objektu boli vykonané merania závislosti prietokovej kapacity priepadu a hladiny vody v nádrži. Boli urobené merania a testy pri prevádzke len šachtového priepadu, pri prevádzke dnových výpustov a tiež ich kombinácií. Z nameraných údajov 15 bodov bola zostavená tabuľka a graf.



Obr.9 Merná krivka šachtového priepadu VN Bukovec I.

Merná krivka šachtového priepadu (obr. 9) má plynulý priebeh zhodný s teoretickým výpočtom až do kapacity pri maximálnej prevádzkovej hladine 417,75 m n. m. Následne sa meraná krivka začína odchyľovať a nadobúda nižšiu ako teoretickú závislosť prepadaného prietoku. Prietok  $Q_{100TR}$  s hodnotou  $24,85 \text{ m}^3/\text{s}$  sa prevedie pri hladine v nádrži 417,40 m n. m. čo je o 6 cm vyššie ako predpokladal údaj v manipulačnom poriadku. Prietok  $Q_{1000TR} = 44,60 \text{ m}^3/\text{s}$  sa prevedie pri hladine 417,73 m n. m. čo je o 11 cm vyššie ako predpoklad z manipulačného

poriadku. Pri maximálnej retenčnej hladine 417,75 m n. m. sa šachtovým priepadom dokáže previesť prietok až  $46 \text{ m}^3/\text{s}$ .



Obr.10 Prepad vody na modeli šachtového priepadu nezahľtený a zahľtený vtok

Daný šachtový priepad je navrhnutý podľa presných prúdnicových kriviek a bezpečne prevedie aj vyšší povodňový prietok ako je prietok nezredukovaný zdržou pre  $Q_{1000TR}$ . Lievik šachtového priepadu (obr. 10) sa začne výraznejšie zahľcovať vírom až pri prietoku okolo  $68 \text{ m}^3/\text{s}$ , čo je viac ako 1,5 násobok  $Q_{1000TR}$ . Daný priepad neprevedie dvojnásobok  $Q_{1000TR}$  ako sa bežne predpokladá v návrhu šachtových priepadov. To je spôsobené tým, že aktívna prepádová plocha tvorí  $255^\circ$  výsek dĺžky 25 m z kruhového šachtového priepadu a uhol  $105^\circ$  je blokovaný budovou združeného objektu. Ak by bola aktívna celokruhová prepádová hrana, tak by mal šachtový priepad kapacitu presne 2 násobku tisíc ročného návrhového prietoku.

#### 4. ZÁVER

Bezpečnostné priepady vyzerajú na pohľad jednoducho, ale z pohľadu hydrauliky sú tu veľmi komplikované pomery prúdenia vody, kde je prepád vody cez priestorovo a prierezovo zaoblenú pevnú stenu. Vodný skok krútiacej sa vody v odtokovom žľabe je s mnohými pulzáciami, saním vzduchových vírov a zahľcovaním prepadu. Z tohto dôvodu sú takéto priepady dosť komplexné na posúdenie pomocou teoretických výpočtov alebo numerického modelovania, pretože takýto model by musel byť veľmi detailný, s presným výpočtom turbulencie a prechodu riečneho - bystrinného režimu, čo je stále problém pre aj 3D súčasné modely. Preto reálnou možnosťou ich správneho posúdenia je stále testovanie na trojrozmernom fyzikálnom hydraulickom modeli reálneho prúdenia vody pri správnom návrhu mierky a poznání limitov mierkovej podobnosti.

#### ZOZNAM LITERATÚRY

- [1] Rebenda F.: *Prehodnotenie kapacity bezpečnostného priepadu VN Vyšná Rybnica, VÚVH, 2017*  
 [2] Čomaj M.: *Prehodnotenie kapacity šachtového priepadu VN Bukovec, VÚVH, 2017*

#### AUTORI

Ing. Marek Čomaj,

Ing. Filip Rebenda,

Výskumný ústav vodného hospodárstva, Nábr. Arm. gen. L. Svobodu 5, Bratislava, e-mail: comaj@vuvh.sk, rebenda@vuvh.sk

## VODNÁ NÁDRŽ BREZOVÁ POD BRADLOM – REKONŠTRUKCIA TESNENIA HRÁDZE

### WATER SUPPLY RESERVOIR BREZOVÁ POD BRADLOM – RECONSTRUCTION OF DAM SEALING

*Pavel Frankovský*

**Abstrakt:** Vodná nádrž Brezová po Bradlom bola dobudovaná nad rovnomennou obcou v roku 1985 ako (malá) údolná akumulčná a retenčná nádrž pre Štátnu melioračnú správu s prioritnou funkciou pre dotáciu závlah a ochranu pred povodňami. Od roku 1994 je nádrž ako dielo III. kategórie v správe Slovenského vodohospodárskeho podniku, štátny podnik, Odštepny závod Bratislava, Správa povodia Malacky. Od začiatku prevádzky nádrže sa pozorovali nežiadúce javy – lokálne zamokrenia vzdušného svahu hrádze, neskôr výrony vody a nezávisle aj lokálne deformácie koruny hrádze. Na základe výsledkov inžiniersko-geologického prieskumu bol v roku 1997 spracovaný a následne realizovaný v roku 1998 prvý projekt rekonštrukcie hrádze pomocou dobudovania návodného fóliového tesnenia s kamenným opevnením v časti profilu, z koruny hrádze po lavičku. Nežiadúce javy touto rekonštrukciou neboli odstránené, a preto z dôvodu bezpečnosti bola nádrž v októbri roku 2009 vypustená. V roku 2010 bol spracovaný druhý projekt rekonštrukcie hrádze s celoprofilovým vnútorným tesnením – predmet tohto príspevku – toho času (rok 2018) už v realizácii. Medzičasom v roku 2012 prišlo aj ku povrchovému zosunutiu dobudovaného opevnenia so strhnutím fólie a následne ku čiastočnej tvarovej rekonštrukcii opevnenia, nie však funkčnej – tesniacej časti.

**Abstract:** Water supply reservoir Brezová pod Bradlom was built above the same named village in 1985 as (small) valley accumulation and retention reservoir for the State melioration administration with priority function of irrigation and flood protection. Since 1994 is the reservoir of category 3 under the supervision of the Slovak Water Management Enterprise, state enterprise, Branch Office Bratislava, Administration of the Morava, basin Malacky. Since the beginning of the operation of the reservoir, the unfavourable effects has been observed – the local leaking on the downstream slope of the dam, later the water outflows and independent and local deformation of the top of the dam. Based on the results of the engineering and geological research it was in 1997 elaborated and then realised in 1998 the first project of the reconstruction of the dam by the replacement of upstream slope insulating film with the stony fortification in the part of the profile, from the top of the dam to the bench. The unfavourable effects has been not removed by this reconstruction; therefore, in 2009 the reservoir was drained due to security reason. In 2010 was elaborated the second project of reconstruction of the dam with inside seal in overall profile – the subject of this report – that time ( in 2018 ) in realisation. Meanwhile in 2012 the surface landslides with completion fortification destroyed the insulating film and after that was made a shape reconstruction of the fortification, but not functional sealing part.

## 1. ZÁKLADNÉ ÚDAJE O NÁDRŽI

### 1.1. Stavba

**Rozhodnutie – Povolenie** na vodohospodárske dielo a nakladanie s vodami ZS KNV BA, 20.05.1983.

**Investor** - Štátna melioračná správa BA, 11.04.1983 žiadosť na nakladanie s vodami a zriadenie vodohospodárskeho diela. Ústne konanie s obhliadkou 18.05.1983. Stavba za účelom vytvorenia vodného zdroja pre závlahy (263 ha).

**Projekt** - Pôdohospodársky projektový ústav (PPÚ) BA, Jednostupňový projekt, december 1982.

Zemná homogénna hrádza z miestnych materiálov v otvorenom výkope s opevnením návodného svahu panelmi, drenážnym kobercom a pätným drénom v telese hrádze. Spevnená koruna s obojstrannými betónovými obrubníkmi a zábradlím na návodnej strane.

Monolitická odberná veža s dvomi výpustmi, odpadnou štôľňou, sklzom s rozrážачmi.

Bezpečnostný bočný priepad so sklzom a vývarom.

**Dodávateľ stavby** - Poľnohospodárske stavby BA.

Vodná nádrž Brezová pod Bradlom	
Kóta max. prevádzkovej hladiny	286,50 m n. m.
Maximálna hladina pri $Q_{100}$	287,00 m n. m.
Dĺžka zátopy	800 m
Dĺžka hrádze	153,00 m
Šírka koruny	4,0 m
Maximálna výška hrádze	12,0 m
Objem nádrže – užitkový	315 000 m <sup>3</sup>
Objem nádrže – retenčný	50 000 m <sup>3</sup>



## 1.2. Prevádzka po ukončení výstavby

Vodná stavba VN Brezová pod Bradlom bola delimitovaná do správy SVP š.p. OZ Bratislava v roku 1994 od bývalej ŠMS ako dielo III. kategórie. Tejto kategórii zodpovedá jej vybavenie zariadením na pozorovanie a meranie (projekt meraní pre VD Brezová pod Bradlom bol vypracovaný Povodím Dunaja v roku 1996).

Na VS sa pravidelne sleduje hladinový režim, poveternostné podmienky a priesakové pomery. Tieto merania zabezpečuje Správa povodia Moravy Malacky. Kontrolné merania vykonáva OZ Bratislava OTBD-243 a prostredníctvom OMM-242 zabezpečuje deformačné merania podľa Programu TBD.

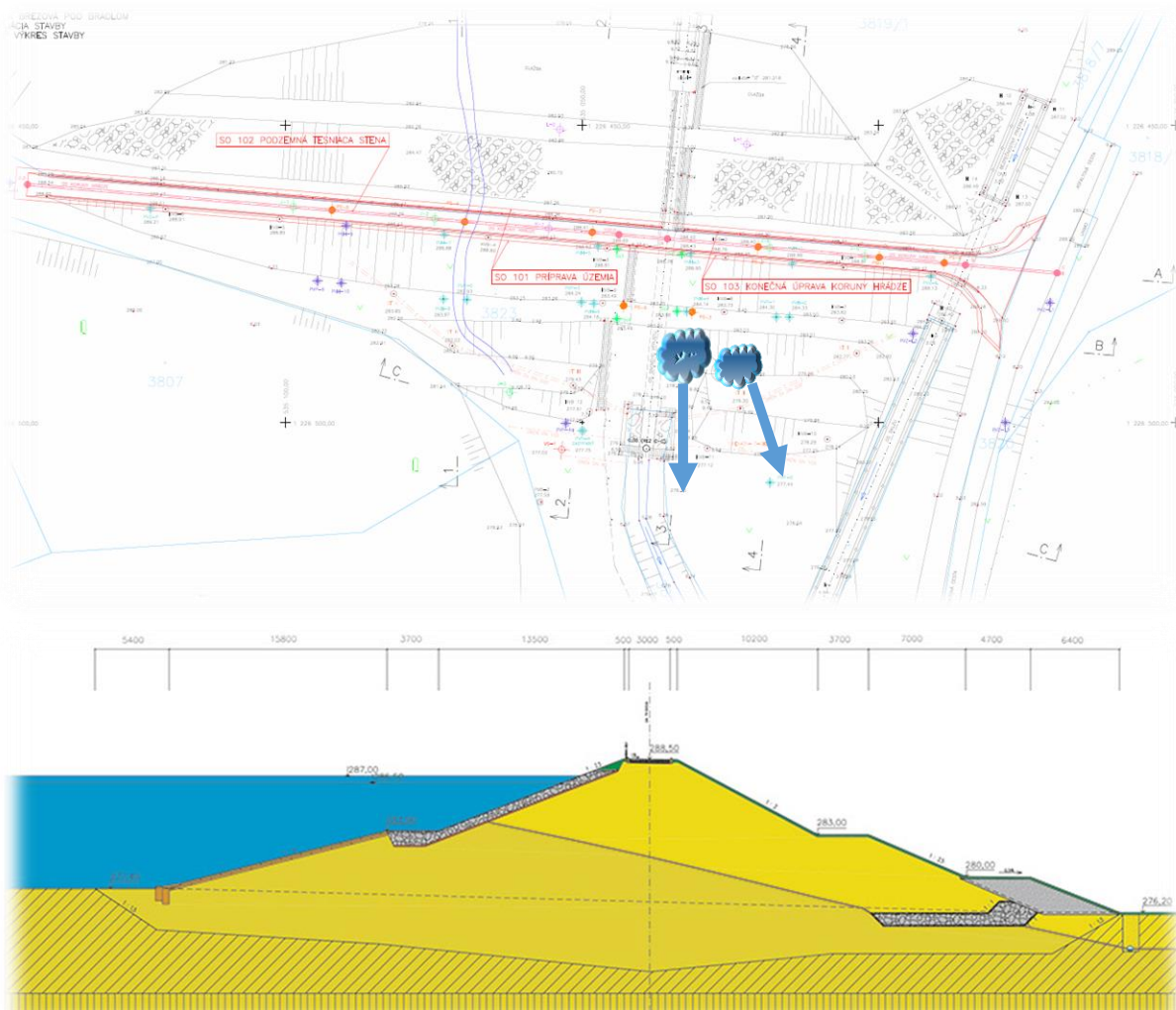
## 1.3. Rekonštrukcia hrádze (1.)

Kolaudačné rozhodnutie – Povolenie vydané KÚ TN, odbor životného prostredia, 2.7.1998

Investor – žiadateľ - Slovenský vodohospodársky podnik, štátny podnik, Odštepny závod. Povodie Dunaja, Bratislava, 07.07.1997. Rekonštrukcia jestvujúcej zemnej hrádze za účelom zabrániť vzniku zvýšených priesakov až sústredených výronov na vzdušnom svahu hrádze a zabezpečiť tak dlhodobú a bezpečnú prevádzku vodnej nádrže.

Projekt (1.) – V roku 1997 bola vypracovaná projektová dokumentácia [1] na rekonštrukciu hrádze

Na návodnej strane hrádze zabezpečuje vodotesnosť fólia PVC 803 hrúbky 2 mm, nasleduje geotextília Tatrutex PP 500, riečny štrkopiesok hrúbky 100 mm s max zrnom 32 mm a na povrch lomový kameň hrúbky 600 mm.





#### **1.4. Technicko-bezpečnostný dohľad**

**Prehliadka TBD** – Zápisnica z TBP z 29. septembra 2009, kde bolo konštatované že na vodnej stavbe **boli zistené skutočnosti, ktoré vzbudzujú obavy o jej bezpečnosť**. VN Brezová pod Bradlom nie je schopná trvalej prevádzky bez obmedzenia manipulácie s hladinou vody v nádrži, a preto bolo nariadené jej vypustenie do doby zabezpečenia rekonštrukcie vodnej stavby.

#### **1.5. Návrh rekonštrukcie hrádze (2.)**

**Projekt (2.)** - V roku 2010 bola vypracovaná projektová dokumentácia [2] na rekonštrukciu hrádze – pozri 2.5. Grafická časť rekonštrukcie (2.) hrádze.

Predmetom rekonštrukcie je vybudovanie zvislého tesniaceho prvku z koruny hrádze do podlažia v celom rozsahu dĺžky hrádze.

K rekonštrukcii sa následne nepristúpilo z dôvodu nezabezpečenia finančných prostriedkov na jej realizáciu.

#### **1.6. Porucha hrádze (pri vypustenej nádrži)**

V roku 2012 bola zaznamenaná a vlastnými silami a prostriedkami sanovaná ďalšia porucha – zosunutie návodného svahu hrádze aj so zábradlím vrátane jeho betónových základov a obrubníkov. Kamenné opevnenie a časť zatrávnenia návodného svahu pod korunou sa zošmyklo po tesniacej fólii až po lavičku na návodnej strane. Porucha sa vyskytla na ľavej strane od funkčného objektu, ale prasklina zasahuje aj na pravú stranu hrádze. Sanáciou sa odstránilo poškodené a nefunkčné zábradlie vrátane stĺpikov, betónových základov a obrubníkov; zabezpečila úprava kamenného priťaženia fólie do pôvodného stavu; úpravu návodného svahu hrádze nad kamenným opevnením; odstránenie obrubníkov na vzdušnej strane koruny; vyspádovanie koruny na zabezpečenie odtoku zrážkových vôd smerom na vzdušnú stranu hrádze.

#### **1.7. Proces obstarávania (pri vypustenej nádrži) do rekonštrukcie (2.)**

Od roku 2013 do polovice roku 2018 prebieha proces stavebného konania (formou ohlásenia stavebných úprav), verejného obstarávania dodávateľa, financovania a tým súvisiace činnosti s povinnými lehotami a so striedavým úspechom. ŽoNFP je Riadiacim orgánom schválená v 01/2018. Zmluva o NFP je podpísaná 20.2.2018 a zverejnená v CRZ dňa 23.2.2018. ZoD so zhotoviteľom je podpísaná 14.6.2018 (Váhostav-SK a.s.), zverejnená v CRZ dňa 25.6.2018, účinná je od 26.6.2018. Zhotoviteľ vykonáva na stavbe prípravu územia (na korune hrádze) a zabezpečenie zariadenia staveniska.

## **2. REKONŠTRUKCIA TESNENIA HRÁDZE (2.)**

### **2.1. Zhodnotenie stavby hrádze (z výsledkov dodatočného prieskumu)**

- homogénna hrádza bola nasýpaná na čiastočne zvetrané a neupravené podlažie mezozoika
- neboli dodržané vhodné pracovné postupy (objavujú sa nedostatočne prehutnené polohy násypu hrádze)

- bočné zaviazania hrádze boli nevhodne realizované vzhľadom na charakter delúvia pôvodného prostredia (vo svahoch ostali priepustnejšie polohy pôvodného materiálu náchylného na sufóziu)
- naviazania hutneného násypového materiálu na funkčné betónové objekty v telese hrádze neboli dostatočne konštrukčne alebo realizačne vyriešené
- nebola zohľadnená pravdepodobná tektonická porucha (ľavostranné zaviazanie)
- pre teleso násypu boli použité nevhodné plošné horizontálne drenážne prvky, miesta šikmých alebo zvislých
- jestvujúce drenážne prvky neboli vybudované v dostatočnej kvalite a rozsahu (na niektorých miestach chýbajú vodorovné vnútorné drenáže)

## 2.2. Zhodnotenie rekonštrukcie (1.) hrádze (zo skúseností z prevádzky)

- nebol realizovaný vhodný navrhovaný spôsob sanácie priesakov pre hrádzu ako celok (plášťové tesnenie návodného svahu nad určitým výškovým horizontom hrádze nezabezpečilo dostatočne tesný styk hrádze s čiastočne zvetraným podložím, bočným zaviazaním a previazaním s betónovými objektami)
- realizáciou čiastočného plášťového tesnenie návodného svahu neboli riešené prípadné nedostatočne prehutnené polohy násypu hrádze ani prípadné poruchy kontaktov materiálu sypanín hrádze s betónmi funkčných objektov (z bokov, zosponu a zhora)

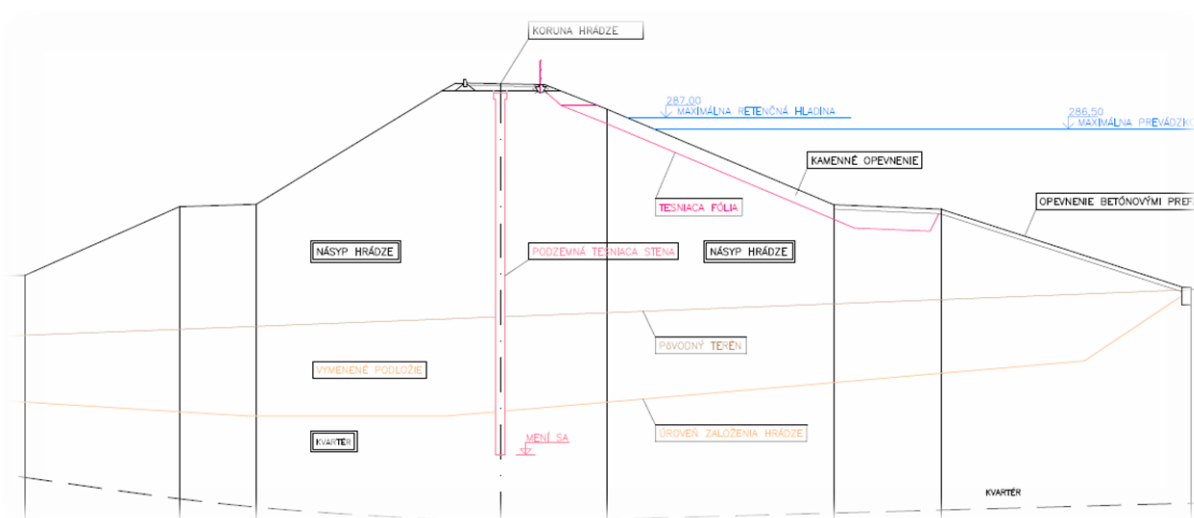
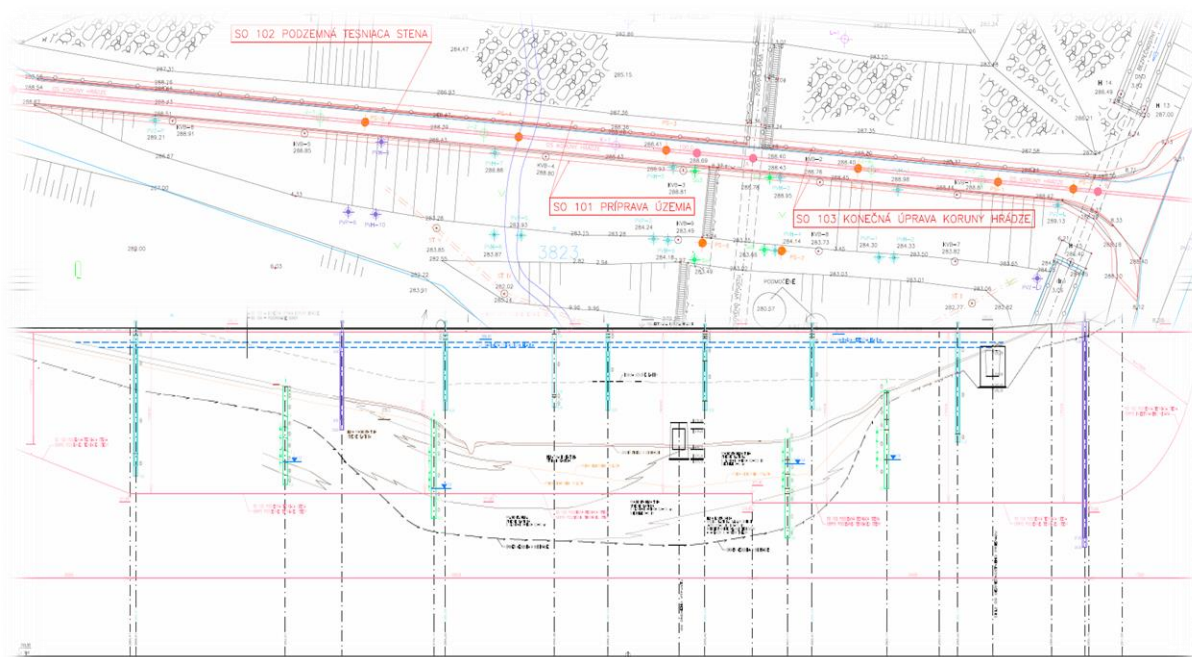
## 2.3. Návrh rekonštrukcie (2.) hrádze (po zhrnutí výsledkov dodatočného prieskumu a skúseností z prevádzky)

Predmetom zámeru rekonštrukcie hrádze je utesniť násyp hrádze v celom rozsahu od koruny až po styk s podložím a prepojiť ho aj s časťou doteseného podlažia hrádze (v rozsahu čiastočne zvetraného mezozoika) včítane dostatočného zaviazania do bočných svahov (s osobitným zreteľom na ľavú stranu zaviazania) a bezpečného napojenia na funkčné betónové objekty v telese násypu hrádze vybudovaním kontinuálneho zvislého tesniaceho prvku z koruny hrádze až do podlažia.

## 2.4. Cieľ rekonštrukcie (2.) hrádze

Stavba za účelom vytvorenia vodného zdroja pre závlahy (263 ha) už dlhodobo neplní svoju základnú funkciu pre ktorú bola navrhnutá aj s ohľadom na doterajšiu spoločenskú objednávku. To však nevyklučuje, čo s ohľadom na perspektívu vývoja klimatických podmienok možno aj oprávnene predpokladať, jej návrat ku plneniu základnej funkcie pri vzniku obnovenej spoločenskej objednávky. Tu je namieste pripomenúť, že už existujú aj súčasné aktuálne spoločenské požiadavky na rozšírenie funkcie nádrže. Takými sú najmä sekundárne funkcie pre ochranu pred povodňami, ochrana pred suchom - nadlepšovanie prietoku pod profilom, chov rýb, rekreáciu a turistiku.

## 2.5. Grafická časť rekonštrukcie (2.) hrádze



### ZOZNAM LITERATÚRY

- [1] VN Brezová pod Bradlom, rekonštrukcia hrádze, Ing. Miloš Kedrovič, Vodotika BA, PS, 4/1997.  
 [2] Vodná stavba Brezová pod Bradlom, rekonštrukcia, Ing. Ján Babečka, HCI Hydroconsulting, 12/2010

### AUTOR

Ing. Pavel Frankovský

Slovenský vodohospodársky podnik, štátny podnik, Odštepny závod Bratislava

## VÝZNAM VODNÝCH NÁDRŽÍ V KONTEXTE PREBIEHAJÚCICH ZMIEN INUNDÁCIE RIEKY VÁH

*Ing. Ladislav Glinda*

**Abstrakt:** Cieľom práce prezentovanej v príspevku je poukázať na význam vodných nádrží a ich retenčných účinkov pri prechode povodňových prietokov v povodí rieky Váh, v súvislosti s prebiehajúcimi zmenami vegetačného pokryvu inundácie. Práca má za cieľ aspoň čiastočne kvantifikovať možné dopady zvýšenia hydraulického drsnosti inundácie vplyvom jej zarastenosti s prihliadnutím na jej pôvodné návrhové parametre a projektovanú bezpečnosť ochranných hrádzí. Ako modelové územie bol zvolený úsek Trenčín – Kráľová, na ktorom boli modelom spracované údaje vychádzajúce z digitálneho modelu reliéfu a zameraných profilov rieky Váh, v kombinácii s empirickými poznatkami dosiahnutých výšok hladín pri posledných povodňových prietokoch. Na základe modelového výpočtu z takto získaných údajov s následným porovnaním výšky pôvodných návrhových parametrov Vážskych hrádží v tejto oblasti, bolo možné orientačne stanoviť negatívny príspevok zarastenosti inundácie k schopnosti bezpečne previesť povodňový prietok a poukázať na konkrétne úseky hrádží, ktoré z výpočtu vychádzajú ako potenciálne rizikové. Príspevok zároveň uvádza niektoré prevádzkové aspekty a legislatívne rámce obhospodarovania inundačných území, tiež predkladá niektoré návrhy riešenia tohto problému.

**Kľúčové slová:** retenčná schopnosť vodných nádrží, inundačné územie, modelovanie prietokov, hydraulická drsnosť

### ÚČEL NÁDRŽÍ A ICH VPLYV NA SPRAVOVANÉ VODNÉ TOKY

Ak si položíme otázku úlohy vodných nádrží na spravovaných tokoch, natíska sa v odpovediach množstvo encyklopedických poznatkov týkajúcich sa ich prínosu pre každodenný život a zvládanie extrémnych javov v povodí. V extrémne suchom roku 2018 je zrejme aj laikovi jasná ich nezastupiteľná úloha pri udržiavaní biologicky prijateľného množstva vody v korytách vodných tokov tak potrebného pre udržanie života rýb, spoločentiev vodných organizmov, či vegetácie. Akumuláciou vody a stabilizáciou prietoku v korytách umožňujú nádrže strategické odbery vody pre poľnohospodárstvo, priemysel, vytvárajú pre spoločnosť vhodné podmienky pre oddych a rekreáciu. Z pohľadu správcu toku zohrávajú kľúčovú úlohu pri prevedení povodňových prietokov, keď ich správne manažované retenčné objemy dokážu chrániť zdravie a majetky občanov pred prírodnou katastrofou.

Stredné Považie, ktorému je tento príspevok venovaný, je v tomto smere vo veľkej miere závislé práve od mohutných objemov vrcholových nádrží VN Orava a VN Liptovská Mara. Do doby vybudovania kaskády sa masívne povodne na riešenom úseku Váhu objavovali pomerne pravidelne, pričom v mnohých prípadoch sa nezaobišli bez strát na životoch a veľkých hospodárskych škôd. Najznámejšou zaznamenanou je povodeň z roku 1813 popísaná v Medňanského Malebnej ceste dolu Váhom, či vo veršoch Jána Hollého, ktorý ju prežil počas svojho pôsobenia v Hlohovci. O jej rozsahu vypovedá odhadovaný prietok na úrovni 3900 m<sup>3</sup>/s a bohužiaľ, ešte viac uvádzaný počet 287 obetí. Veľké povodne v tejto lokalite prežívali ľudia aj v nasledovných rokoch 1876, 1888, 1894, 1903, 1925, 1958 a v r. 1960 (obr.1).



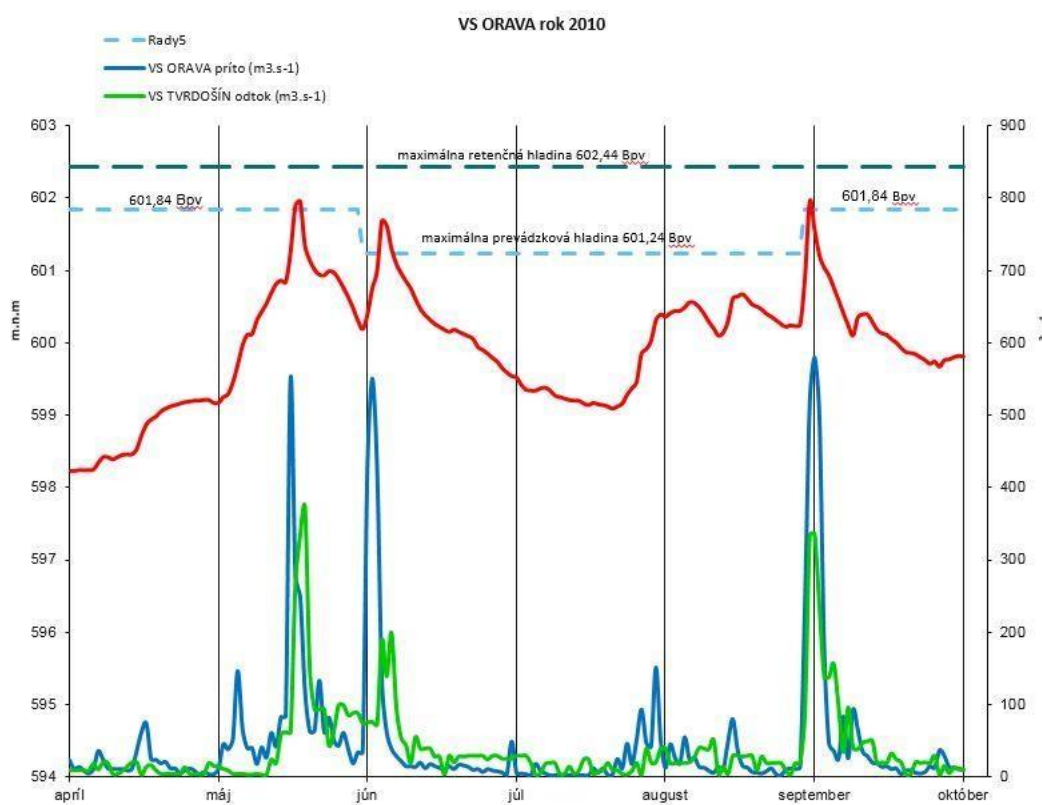
*Obr.1 Hlohovec – Povodeň v roku 1958 (zdroj Vlastivedné múzeum v Hlohovci, autor: Kamil Strnisko)*

*Za doby existencie dobudovanej Vážskej kaskády je smerodajná najmä povodeň z roku 1997, ktorá ju „preskúšala“ prietokom na úrovni  $2112\text{m}^3/\text{s}$  (MP Drahovce) a vyformovala tak celú jednu generáciu vodohospodárov, pričom ich naplnila poznatkami o prínosoch i slabinách spravovaných vodných stavieb. Môžeme konštatovať, že tie svoju úlohu zvládli, zvládajú a ak im dožičíme potrebnú starostlivosť, tak i zvládať budú.*

*Prínos vrcholových nádrží je dobre zdokumentovaný kolegami zo Správy horného Váhu na príklade roku 2010, kedy sa povodím po extrémnych zrážkach v rozmedzí mája až septembra prehrali 3 povodňové vlny (obr.2, 3, 4, 5).*



Obr.2 VN Orava

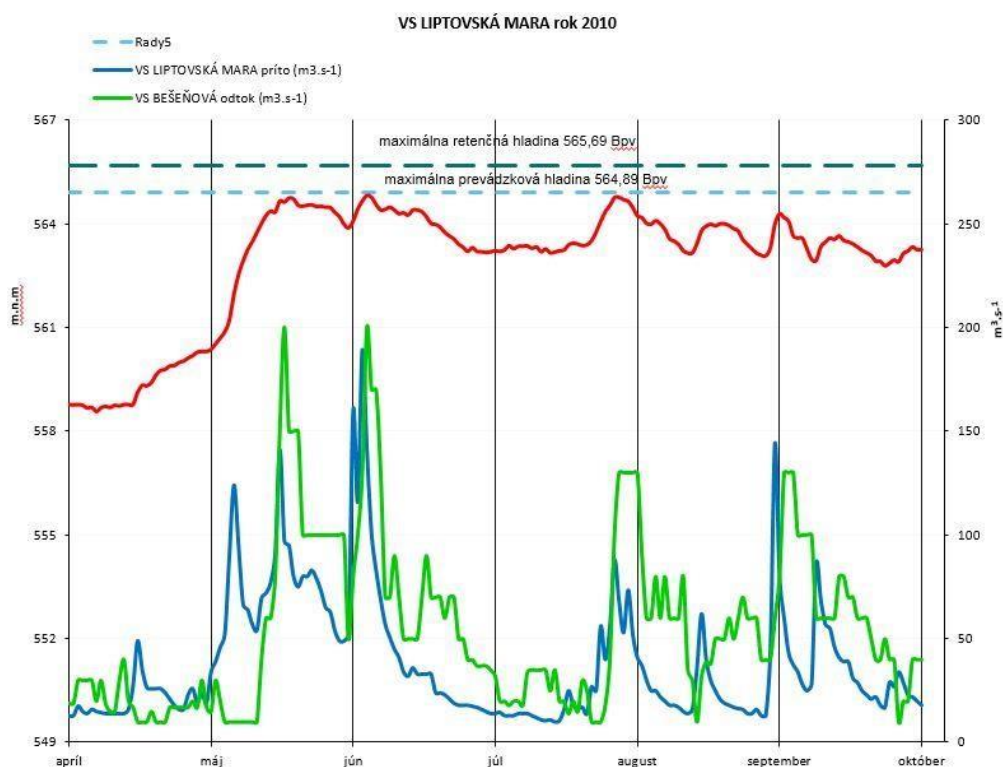


Obr.3 VN Orava – priebeh hladín v nádrži v roku 2010

Celkové akumulované množstvo vody vo VN Orava počas prechodu 3 povodňových vln dosiahlo úroveň 213,5 mil. m<sup>3</sup>



Obr. 3 VN Liptovská Mara



Obr.4 VN Liptovská Mara – priebeh hladín v nádrži v roku 2010.

Celkové akumulované množstvo vody vo VN Liptovská Mara počas prechodu 3 povodňových vln dosiahlo úroveň 199 mil. m<sup>3</sup>

Priebeh hladín VN Orava a VN Liptovská Mara v ďalších rokoch (2011 – 2017) dokumentujú obr. 5 a 6.



Obr.5 VN Orava – priebeh hladín v rokoch 2011 – 2017



Obr.6 VN Liptovská Mara – priebeh hladín v rokoch 2011 – 2017



## VÁŽSKA INUNDÁCIA- KEDYSI A DNES

Jedným zo základných elementov, ktoré majú vplyv na schopnosť previesť povodňový prietok rieky Váh a majú ho správcovia tokov a vlastníci pobrežných pozemkov na strednom Považí vo vlastných rukách, je stav ochranných hrádzi a stav inundačného územia, ktoré hrádze svojimi líniami popri koryte Váhu určujú. Ochranné hrádze v tejto lokalite boli spravidla budované z miestnych materiálov, prevažne hlinitých štrkov s následných ohumusovaním a dopestovaním trávneho porastu, pričom ich výšky sú vyprojektované na úroveň hladiny Q100 resp. Q1000 s bezpečnostným prevýšením 50 – 100cm. Vďaka pravidelnej údržbe a starostlivosti je možné považovať stav hrádzi za uspokojivý. Koruny Vážskych hrádzi v súčasnosti na mnohých miestach prechádzajú rekonštrukciou, získavajú zároveň nové funkcie v podobe budovanej siete cyklotrás a chodníkov.

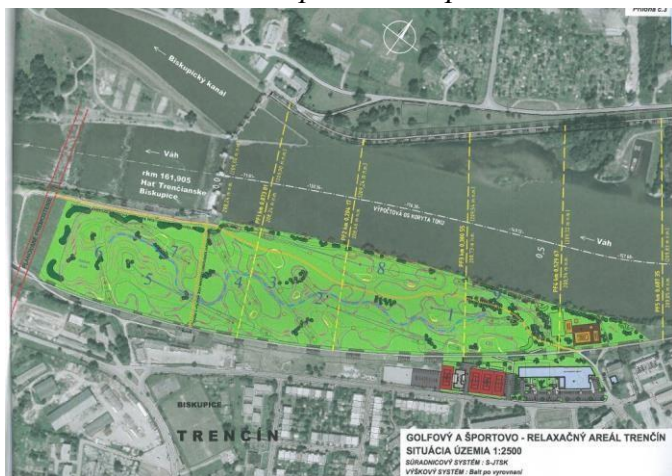
Z dochovaných záznamov, dobových fotografií a rozprávání je zrejmé, že zmenami prechádzajú aj Vážske inundácie. Z rozsiahlych lúk a pasienkov doplnených o účelovo sadený a pestovaný porast drevín ako sú hlavové vrby či topole sa na mnohých miestach stal nepreniknuteľný porast vytvorený z náletových drevín, rozsiahle inžinierske stavby na Považí dali zasa podnet vzniku rôznym ťažbám štrkopieskov, objavili sa nové využitia priestoru pre relax ako Golfové ihriská či motokrosovú dráhu( obr.7,8,9,10).



Obr.7 Inundácia Váhu pri obci Koplotovce



Obr.8 Hlavová vrba



Obr.9 Situácia golfového ihriska v meste Trenčín



Obr.10 Hlohovec (foto: Kamil Strnisko)

## POSÚDENIE STAVU INUNDÁCIE A MODELOVÝ VÝPOČET HLADÍN

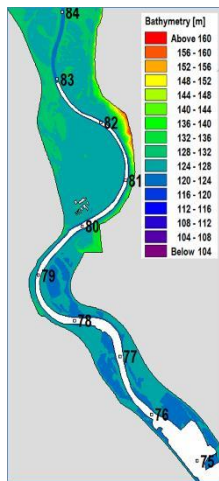
V snahe kvantifikovať dosah takýchto zmien na pôvodný – projektovaný stav objednal SLOVENSKÝ VODOHOSPODÁRSKY PODNIK š.p., Odštepny závod Piešťany modelový výskum zameraný na stanovenie rozsahu aktuálneho vegetačného krytu inundácie a jeho hydraulickej drsnosti s cieľom jeho porovnania so stavom „pôvodným“, ktorý bol pre účel výpočtu idealizovaný do podoby lúk a pasienkov. Za modelované územie bolo v dvoch etapách vybrané územie od hate Trenčianske Biskupice po VS Kráľová.

Riešiteľom úlohy bol kolektív DHI spol s.r.o., ktorý pre výpočet použil hydrodynamický model MIKE 21FM FM-dvojrozmerný matematický model neustáleného prúdenia s flexibilnou výpočtovou sieťou.

Ako vstupy pre výpočet slúžili údaje z Manipulačných poriadkov vodných stavieb:

Drahovce (rkm 162,80 Váh),  $Q_{100}=2100 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$

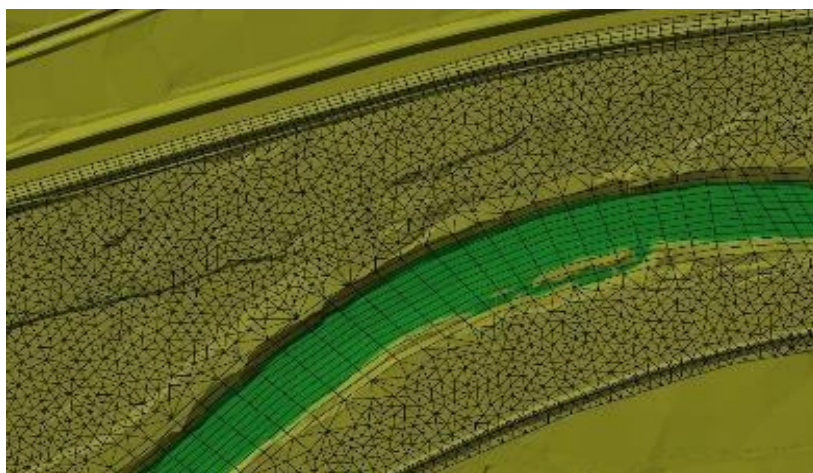
Kráľová: (rkm 79,80 Sereď Váh),  $Q_{100}=1990 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$



Topografia modelu (obr.11) vznikla prenesením údajov výšky terénu z digitálneho modelu terénu (ďalej DTM) do výpočtovej siete a zamerania z prielomovej vlny VN Liptovské Mara. DTM obsahuje koryto Váhu po hladinu minimálneho prietoku, ktorý v dobe snímkovania DTM tiekol v koryte Váhu. Časť koryta pod hladinou sa tak vo výpočte nepodieľa na prevedení povodňového prietoku.

Obr.11 Topografia modelu

Schematizácia modelu prebehla stanovením výpočtovej siete tvorenej trojuholníkovými a štvoruholníkovými prvkami, ktorá pokrýva modelované územie v plnom rozsahu (obr.12).



Obr.12 Schematizácia modelu do výpočtovej siete

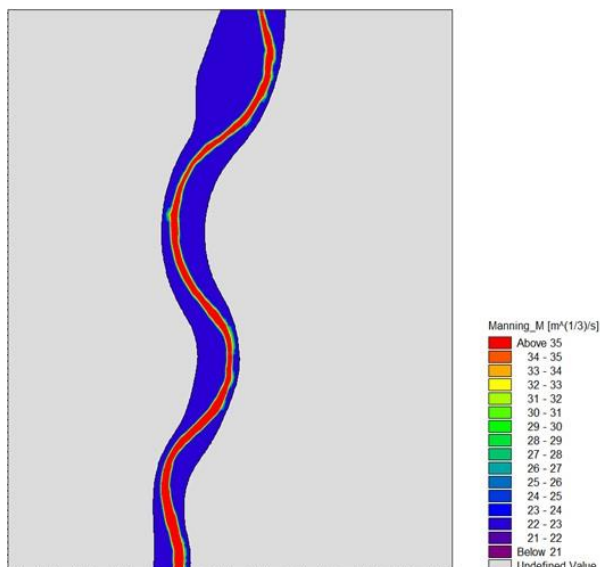
Použité hydraulické drsnosti zohľadňovali zadané scenáre. V prvom prípade išlo o idealizovaný (hladký) projektovaný stav zahrňajúci predpokladané lúky a pasienky, druhý „reálny“ stav bol navrhnutý na základe podkladov z ortofotomáp, fotografií a poznámok získaných pri rekognoskácii terénu (tab.1, 2).

Kategória	POPIS ÚZEMIA	n	M
1	koryto	0,027	36
2	lúky	0,043	23

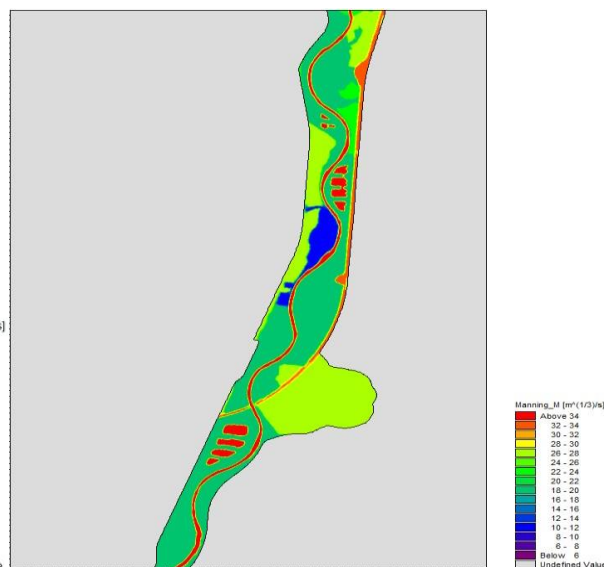
Tab.1 Odporové súčinitele vo forme Manningovho stupňa drsnosti pre „Projektovaný stav“ (lúky a pasienky)

Kategória	POPIS ÚZEMIA	n	M
1	koryto	0,027	36 - 25
2	lúky	0,043	23 - 19
3	hustý les	0,083	12 - 8
4	stredne hustý les	0,052	19 - 13
5	vysoká tráva	0,043	23 - 16
6	nízka tráva	0,035	28 - 19
7	cesta	0,030	33,33 - 23

Tab.2 Odporové súčinitele vo forme Manningovho stupňa drsnosti pre „súčasný stav“ Mapy drsností pre oba scenáre(obr.13, 14):



Obr.13 Projektovaný stav



Obr.14 Súčasný „reálny“ stav

Kalibrácia modelu prebehla na zameranú výšku hladín z 29.4.2017 (prietok haťou Tr. Biskupice =  $900\text{m}^3$ ). Pri kalibrácii modelu boli nastavované odporové súčinitele modelu tak, aby sa modelom vypočítaná hladina pri prietoku  $900\text{ m}^3/\text{s}$  blížila hladine reálne zameranej (obr.15, 16).



Obr.15, 16 Hladina na LOH Váhu V novom Meste nad Váhom 29.4.2017 a jej zameranie

Modelované boli oba výpočtové scenáre, ktoré sa líšili len nastavením hodnôt odporových súčiniteľov drsnosti územia. Výstupom modelovania je vypočítaná hladina vody pre 100 ročný prietok a identifikácia rizikových miest, kde sa vypočítaná hladina dostáva na korunu ochrannej protipovodňovej hrádze. Rizikové miesta sú v grafických prílohách označené farebne (obr.17,18).

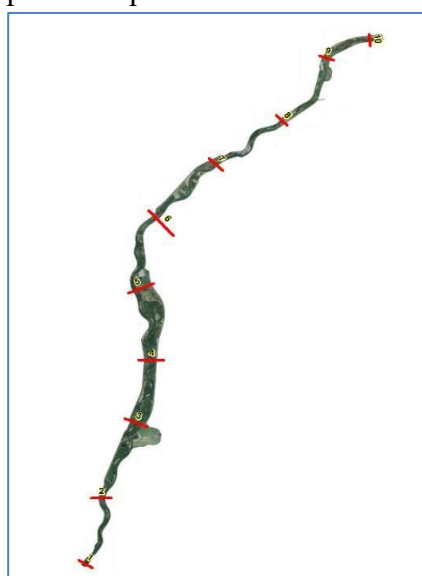


Obr.17 Dotyk modelovanej hladiny  $Q_{100}$  z korunou ochrannej hrádze – Koplotovce



Obr.18 Dotyk modelovanej hladiny  $Q_{100}$  z korunou ochrannej hrádze – Hlohovec

Ďalšou z úloh dvojrozmerného hydrodynamického matematického modelovania bolo určiť, pri akom prietoku sa voda začína vybrežovať z hlavného koryta do inundácie (obr.19).



Profil	rkm	prietok ( $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ )
9	159	306
8 - 9	155	308
7 - 8	150,3 - 151,4	297
6 - 7	147	407
5	139,30	241
4 - 5	135,00	208
3 - 4	131 - 132	247
2 - 3	128	330

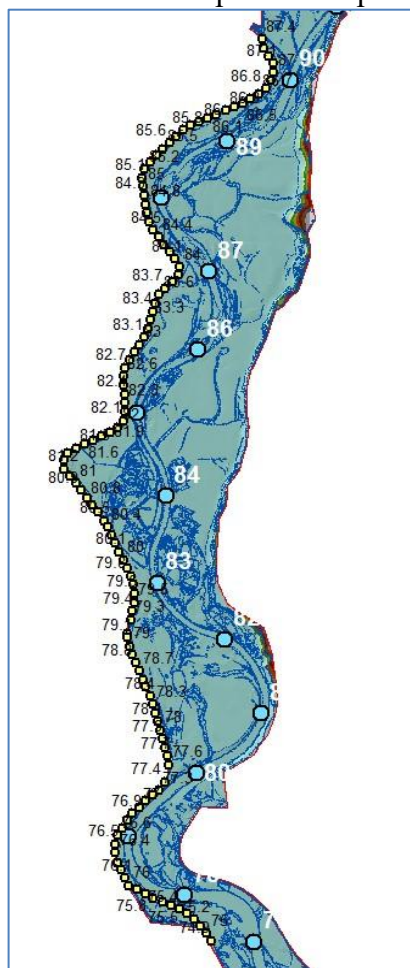
Obr.19 Odhad prietoku pri vybrežení z koryta do priestoru inundácie

## MODELOVANÉ SCENÁRE A ICH ZÁVERY

Pomocou matematického modelovania boli vypočítané priebehy povodňovej hladiny Q100 pre súčasný a projektovaný stav, z ktorých boli následne určené kritické miesta protipovodňových ochranných hrádzí. Toto vyhodnotenie sa týkalo len súčasného stavu koryta a inundačného územia, keďže pri projektovanom stave výška hladiny nedosiahla výšku koruny ochranných hrádzí. Vyhodnotenie, resp. porovnanie výšky hladiny, bolo vykonané nad DTM, ktoré neobsahovalo geodetické zameranie ochranných hrádzí. Výška povodňovej hladiny pri súčasnom stave územia a teda pri reálnej vegetácii inundácie oproti modelovanému scenáru predpokladanej projektovanej (hladšej) drsnosti inundácie je miestami vyššia o 35 až 85 cm (úsek Piešťany – Kráľová), resp. 50 až 100 cm (úsek Trenčín – Piešťany).

## VERIFIKÁCIA ZÍSKANÝCH ÚDAJOV - POROVNANIE VÝŠKY KORUNY HRÁDZE S ÚDAJOM Z DTM

Ďalším krokom práce bolo porovnanie získaných údajov s reálnym geodetickým zameraním s cieľom eliminovať prípadné chyby výpočtu, ktorý prebehol nad digitálnym modelom terénu. V úseku Siladice – Dolná Streda bolo pre verifikáciu použité zameranie výšky pravostrannej ochrannej hrádze, ktoré poskytla Správa povodia dolného Váh (obr.20, tab.3).

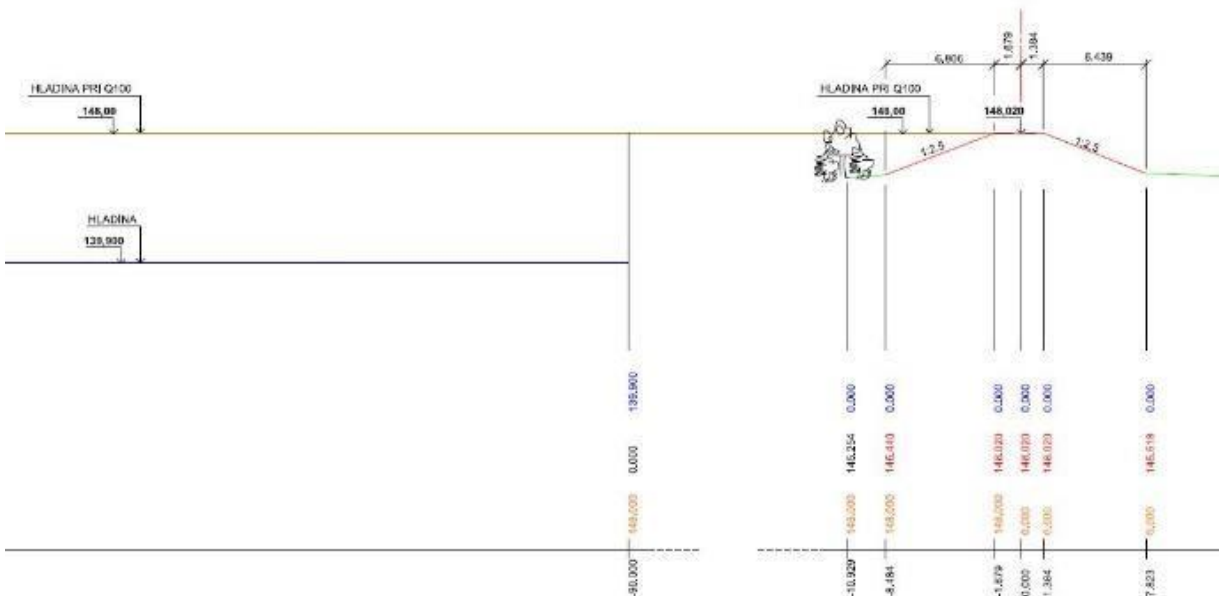
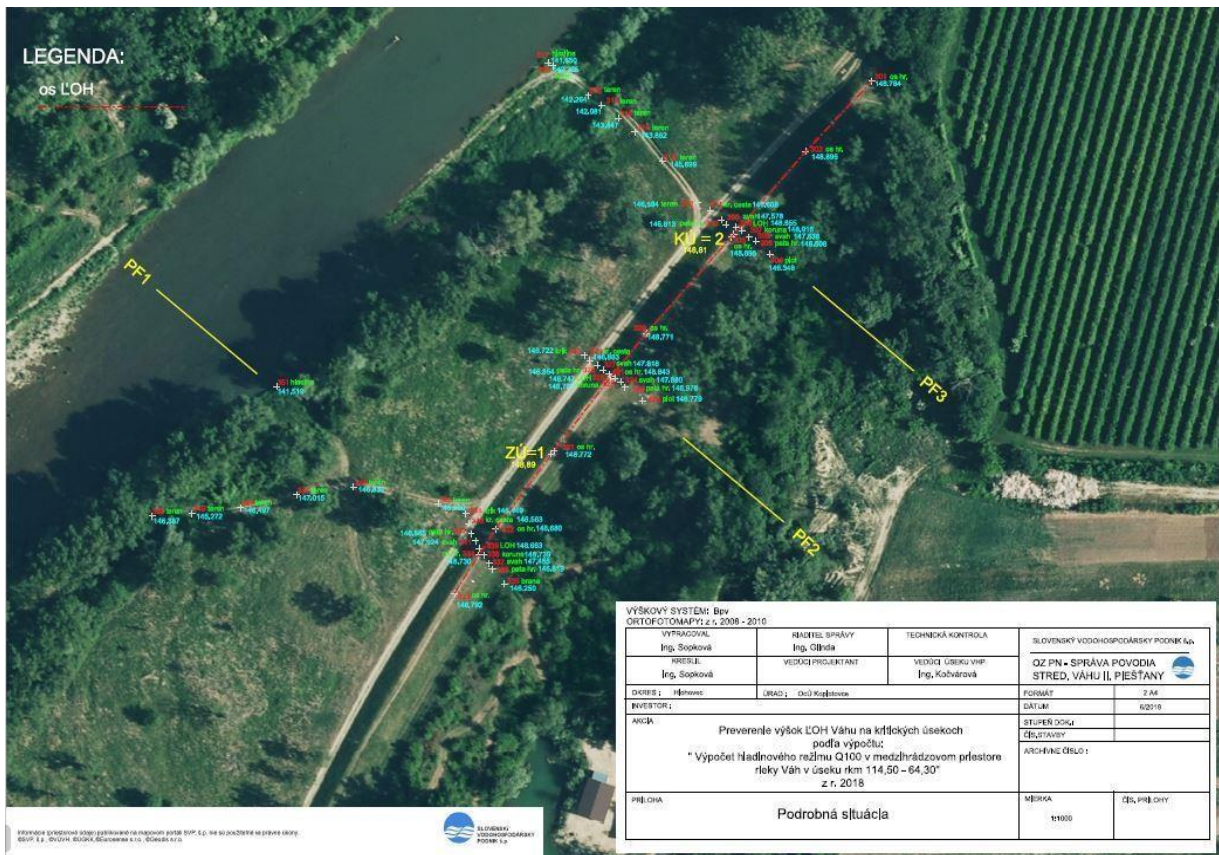


č.bodu	staničenie	Y	X	Z	hladina Q100	rozdiel výšky hrádze - hladiny
merané	(km)			(m n. m.)	(m n. m.)	(m)
hm	87.400	523885.051	1261256.542			
os		523884.204	1261256.421	136.517	134.937	1.58
hm	87.300	523870.632	1261355.892			
os		523868.782	1261355.180	136.663	134.931	1.73
hm	87.200	523822.787	1261443.967			
os		523820.881	1261443.038	136.626	134.82	1.81
hm	87.100	523776.482	1261532.194			
os		523774.789	1261531.253	136.593	134.571	2.02
hm	87.000	523765.667	1261629.810			
os		523763.837	1261630.102	136.777	133.971	2.81
hm	86.900	523799.681	1261722.553			
os		523797.827	1261723.497	136.681	133.815	2.87
hm	86.800	523852.593	1261805.930			
os		523851.071	1261807.283	136.737	133.618	3.12
hm	86.700	523930.582	1261867.890			
os		523929.358	1261869.523	136.369	133.44	2.93
hm	86.600	524010.933	1261926.943			
os		524009.626	1261928.849	136.107	133.418	2.69

Tab.3 Ukážka tabuľkového výstupu porovnania modelovanej hladiny Q100 a zameranej pravostrannej ochrannej hrádze.

Obr.20 – mapa zameraných bodov

Rovnako s cieľom odhaliť prípadné nedostatky DTM prebehlo zameranie vybraných profilov koruny hrádzí, ktoré model označil za rizikové. Konkrétne išlo o 2 úseky ľavostrannej ochrannej hrádzy Kopltovcu (obr.21) a zameranie koruny ochranného povodňového múrika v meste Hlohovec (obr.22.)



Obr.21 Zameranie koruny L'OH Kopltovcu s vynesenu modelovanou hladinou Q100





## ZÁVER

Cieľom zadanej úlohy nebolo exaktne posúdiť schopnosť ochranných hrádzí zabezpečovať deklarovanú povodňovú bezpečnosť územia na úrovni Q100. Skúsenosti z posledných rokov podporené výsledkami modelového výskumu však jednoznačne poukazujú na skutočnosť, že zmeny hospodárenia na plochách v inundačnom území môžu mať v kritických profiloch za následok výrazné zmeny veličín prúdenia s dosahom na stratu projektovanej bezpečnosti na ochranných hrádzach (50 – 100cm). O to viac by mal byť cenený každý prínos k protipovodňovej ochrane, osobitne tak prínos vodných nádrží.

Hľadať riešenia vzniknutej situácie v inundácii, teda tam, kde sa samotné zmeny odohrávajú, nebude jednoduché. Správca vodného toku vo väčšine prípadov ani nie je vlastníkom takýchto pozemkov čo sťažuje možnosť akýchkoľvek zásahov v tomto území. Masívne výruby drevín zároveň nie sú všeobecne aplikovateľným a vhodným riešením, nakoľko okrem odborných argumentov, ako je zvyšovanie teploty vody na nezatielených úsekoch vodného toku, hniezdenie vtáctva a pod. zo strany zaangažovaných zložiek orgánov ochrany prírody a krajiny, narážajú častokrát na odpor odbornej a laickej verejnosti.

Riešením preto musia byť premyslené zásahy do vegetácie podporené osvetou a dialógom kompetentných strán pri využití legislatívnych nástrojov ako sú povodňové prehliadky, povodňové komisie a pod... Pri investičných zámeroch či ťažbách v takomto území, je zasa potrebné zaväzovať investora výpočtom preukazovať mnohokrát deklarované nezhoršenie schopnosti inundácie prevádzať povodňové prietoky v súlade s legislatívou (§20 Zákona o ochrane pred povodňami 7/2010 Z.z v znení neskorších predpisov).

Okrem samotnej regulácie voľne rastúceho náletového porastu je potrebné smerovať využitie inundačných plôch k činnostiam, ktoré nie sú v rozpore s jej primárnou funkciou previesť povodňový prietok (obnoviť pasienky, pestovať porasty v projektovaných sponoch a a pod.) a zároveň sú pre všetky relevantné zložky spoločnosti prijateľné (obr.23).



*Obr.23 Príklady využitia inundačného územia*

## AUTOR

Ing. Ladislav Glinda

Slovenský vodohospodársky podnik š.p., OZ Piešťany, Správa povodia stredného Váhu II.,  
Nábregie Ivana Krasku 834/3, 92180 Piešťany

e-mail: ladislav.glinda@svp.sk

## PREVÁDZKA VODNEJ NÁDRŽE TEPLÝ VRCH PRED A PO POVODNI 2010

### WATER RESERVOIR TEPLÝ VRCH – OPERATION AFTER FLOOD SITUATION IN 2010

*Tomáš IČ*

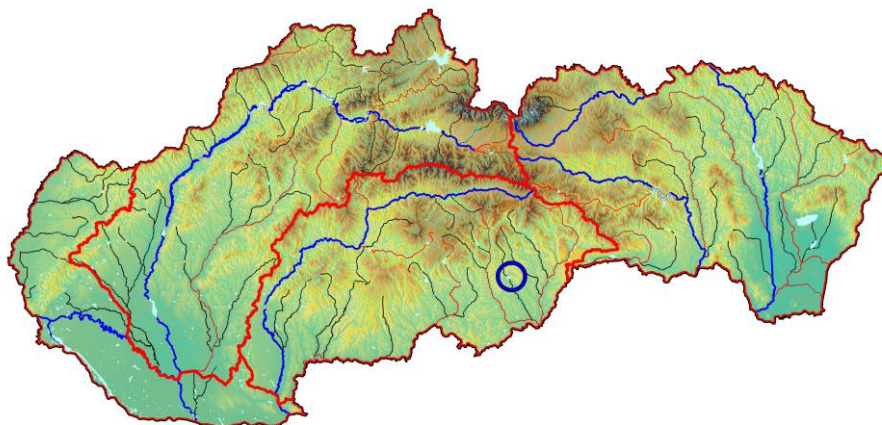
**Abstrakt:** Vodná nádrž Teplý Vrch bola uvedená do prevádzky v roku 1986. Jedná sa o jedinú vodnú nádrž vybudovanú na vodnom toku Blh s viacúčelovým využitím. Vodná nádrž a jej okolie sa vyznačuje špecifickou mikroklímou s vplyvom na vznik povodňových situácií. Do roku 2010 sa prevádzka vodnej stavby javila ako bezproblémová. V tomto hydrologicky významnom roku s extrémnou zrážkovou činnosťou bola vodná stavba zaťažená povodňovou situáciou, ktorá preukázala nedostatočnú kapacitu bezpečnostného priepadu. V ďalšom období došlo na vodnej stavbe k rekonštrukcii tohto objektu a následným významným opravám. V nadväznosti na vykonanú rekonštrukciu bezpečnostného priepadu došlo aj k zmene manipulačného poriadku vodnej stavby, a to pre účel vytvorenia jej retenčnej schopnosti.

**Abstract:** Water reservoir Teplý Vrch was given into operation in 1986. It's the only water reservoir built on the water flow Blh with multifunctional use. Water reservoir and its surrounding area is characterized by specific microclimate with an impact of the emergence of flood situations. By 2010, the operation of the water structure seemed to be as hassle free. In this caused by hydrological important year with extreme rainfall activity was water structure loaded flood situation which demonstrated lack of capacity safety spillway. In the next period, has been the water structure to the reconstruction of this object and subsequent significant repairs. Following to the completed reconstructions of the safety spillway there was also a change to the handling regulations of the water structures, and for the purpose of creating its retention ability.

**Kľúčové slová:** VN Teplý Vrch, prevádzka, rekonštrukcia, retencia.

## 1. ÚVOD

Vodná nádrž Teplý Vrch je jediná vodná nádrž vybudovaná na vodnom toku Blh nad obcou Teplý Vrch ako ľavostrannom prítoku rieky Rimava. Tok Blh pramení na juhozápadnom okraji Slovenského Rudohoria, v Stolických vrchoch, pod vrcholom Trstie (1133 m). Tok má dĺžku 50 km, pričom priehrada VS Teplý Vrch sa nachádza približne v polovici jeho dĺžky, v riečnom kilometri 24,26. Plocha povodia po priehradovom profile je 105,1 km<sup>2</sup>. Priemerný ročný prietok v priehradovom profile je 0,555 m<sup>3</sup>/s a špecifický odtok je 4,68 l/s z km<sup>2</sup> (zdroj SHMÚ). Z tohto hľadiska patrí Blh v rámci Slovenska medzi podpriemerne vodnaté toky.



Obr. 1 Situovanie vodnej nádrže Teplý Vrch v rámci Slovenskej republiky

Výstavba priehrady Teplý Vrch prebiehala v období rokov 1975 (október) – 1981 (jún), kedy bola uvedená do skúšobnej prevádzky, pričom bola vybudovaná prioritne pre účely dodávky závlahovej vody do závlahovej sústavy Teplý Vrch – Rimavská Seč na zavlažovanie poľnohospodárskych pozemkov rozprestierajúcich sa na ploche takmer 4 tisíc hektárov. Ďalším účelom vodnej nádrže je sploštenie povodňovej vlny z  $Q_{100} = 42,0 \text{ m}^3/\text{s}$  na prietok  $Q_{\text{red}} = 38 \text{ m}^3/\text{s}$ . Pokiaľ z uvedených čísiel nevyplýva významný vplyv na redukciiu povodňového prietoku, nádrž má pomerne veľký význam práve v období opačných extrémov – sucha, ktoré sa prejavuje v posledných rokoch v povodí Blhu čoraz častejšie, pričom vodná nádrž priamo zabraňuje jeho vysychaniu aj minimálnym zostatkovým prietokom  $0,087 \text{ m}^3/\text{s}$ .

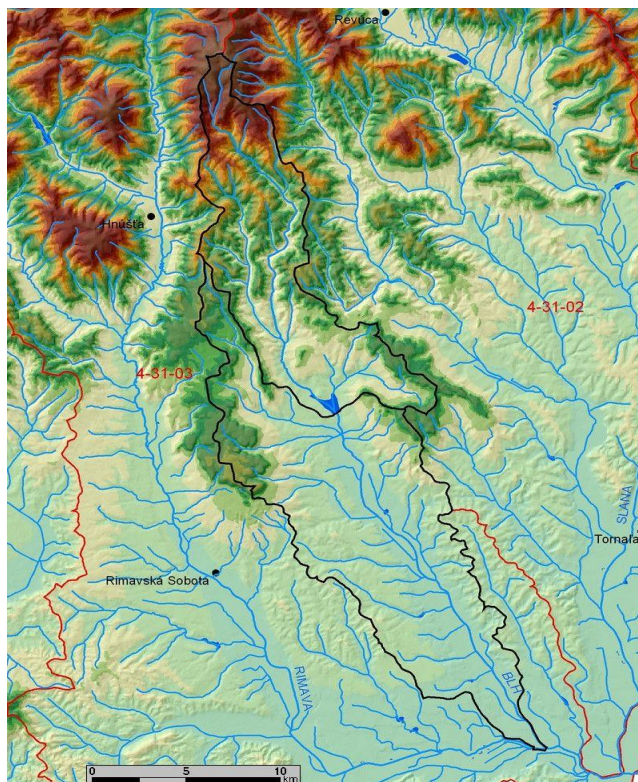
Ďalšími účelmi nádrže sú chov rýb a využitie hydroenergetického potenciálu v malej vodnej elektrárni vybudovanej počas prevádzky vodného diela pod nádržou s inštalovaným výkonom 46 kW.

Nevyhnutné je spomenúť aj rekreačné využitie priehrady, pričom voda v nádrži je Úradom verejného zdravotníctva určená ako vhodná na kúpanie. Teplota vody v samotnej nádrži dosahuje z dlhodobého hľadiska pravidelne najvyššie hodnoty v rámci celého Slovenska.

Kým v období rokov 1961 – 1980 sa v povodí Blhu vyskytovali prevažne nadpriemerné prietoky, s dvoma extrémnymi vrcholmi v rokoch 1965 a 1977, od roku 1981 potom nasledovalo 18 rokov s prevažne podpriemernou vodnosťou, s absolútnym minimom v roku 1993. Paradoxné je, že k tomu došlo práve po uvedení vodnej stavby Teplý Vrch do prevádzky.

## 2. MORFOLÓGIA POVODIA BLHU

Pre názornosť priestorovej interpretácie odtokových pomerov je na obr. uvedená morfológická schéma povodia Blhu, na ktorej je zreteľne vidieť prechod od horskej časti povodia do nížinnej práve v oblasti VS Teplý Vrch. Toto morfológické špecifikum povodia Blhu, kde sa na pomerne krátkom úseku, dlhom zhruba len 5 km, radikálne mení morfológia krajiny, má najvýraznejší vplyv na povodňový režim toku.



Obr. 2 Morfológia povodia vodnej nádrže Teplý Vrch

Horská časť povodia, s relatívne vyrovnaným odtokovým režimom, končí približne na hornom konci obce Drienčany, približne 1 km nad koncom vzduťia nádrže Teplý Vrch. V tejto časti má povodie aj výrazne perovitý tvar, čo zmiernuje koncentráciu odtoku počas povodňových situácií. K tomu prispieva aj vysoký index lesnatosti, ktorý dosahuje zhruba 70 %.

Kritický úsek z hľadiska koncentrácie odtoku je medzi Drienčanmi, resp. vodnou nádržou a Veľkým Blhom, kde zaústujú do Blhu hneď štyri prítoky takmer na jednom mieste. K tomu treba ešte prirátat' Hostišovský potok, zaústujúci zľava do nádrže, ktorý už má rovnako extrémny charakter odtoku ako ďalšie pod nádržou. Tok a jeho riečna niva sa tu nachádzajú uprostred širokého a plytkého úvalu s nízkym, prevažne trávnatým alebo poľným porastom. To naopak, oproti hornej časti toku, podmieňuje extrémnu koncentráciu veľkých vôd ako morfológickým tvarom, tak aj vegetačným pokryvom. Pre takéto oblasti je typický tzv. ron svahových vôd, ktorého mohutnosť exponenciálne narastá s intenzitou dažďa, a ktorý má veľmi krátku dobu koncentrácie a vysokú postupovú rýchlosť.

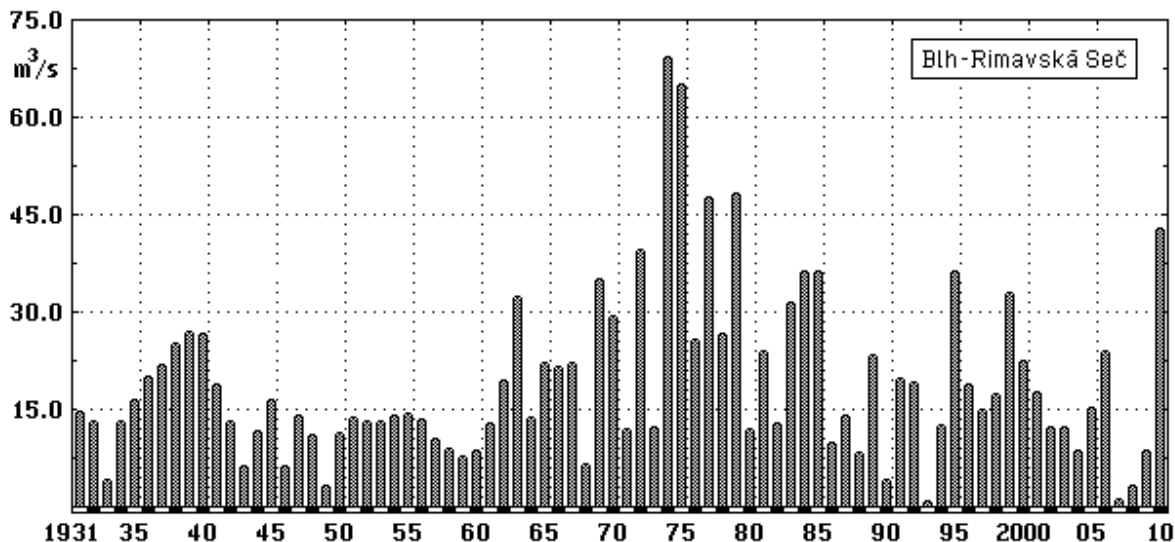
Potoky, zaústujúce do Blhu medzi Teplým Vrchom a Bátkou, majú všetky tento odtokový režim a predstavujú vlastne len zbernice ron z okolitých svahov. Za normálnych okolností sú prakticky „neviditeľné“ a v teplejších obdobiach vysychajú. Mierne dažde, padajúce do ich povodí, na 90 % infiltrujú alebo sa vzápätí vyparia. Dôsledkom toho je nízka špecifická vodnosť toku v tejto oblasti.

Počas intenzívnych búrkových dažďov je ale odozva úplne opačná – zhruba 80 % zrážok sa dáva okamžite do rýchleho pohybu. Nasvedčujú tomu aj úzke a hlboké korytá týchto potokov, ktoré takto „vybagrujú“ len časté prívalové vody. Z hľadiska vzniku a vývoja povodňových vln na Blhu potom vznikajú kuriózne situácie, keď kulminačné prietoky týchto potokov, s plochami

rádovo 10 až 20 km<sup>2</sup>, dosahujú väčšie hodnoty, ako na hlavnom toku nad touto oblasťou, s niekoľkonásobne väčšou plochou povodia. Typickým príkladom je situácia v októbri 1974, ale aj v júni 2010 v obciach Veľký Blh a Uzovská Panica [1].

### 3. POVODŇOVÉ SITUÁCIE NA BLHU

Dlhodobé charakteristiky povodňového režimu Blhu vo forme súhrnného chronologického prehľadu ročných kulminačných prietokov v profile Rimavská Seč od roku 1931 znázorňuje nasledujúci graf.



Obr. 3 Ročné kulminačné prietoky Blhu v Rimavskej Seči v období 1931-2010

V grafe možno pozorovať veľmi výraznú kumuláciu extrémnych situácií v 70-tych rokoch, s absolútnymi maximami v rokoch 1974, 1975, 1977 a 1979.

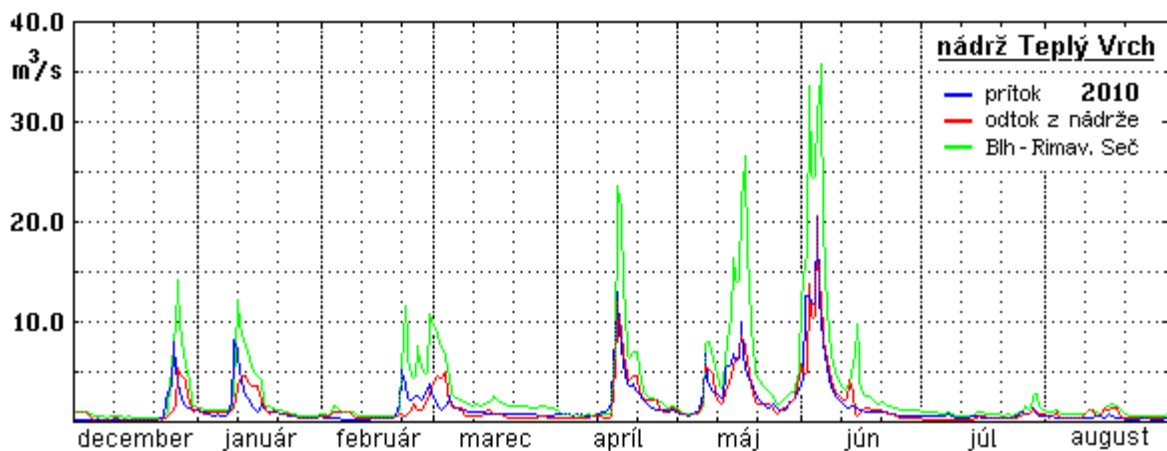
Na prvý pohľad sa kumulácia výskytu štyroch najväčších prietokov v priebehu 6-tich po sebe nasledujúcich rokov javí ako podozrivá, avšak v roku 1975 je uvedený prietok, ktorý sa vyskytol ešte v decembri 1974, zhruba 6-7 týždňov po októbrovej veľkej vode, kedy povodie bolo ešte presýtené a v chladnom medziobdobí sa nestihlo skonsolidovať. Príchod tzv. zimného európskeho monzónu, známeho aj ako typický „vianočný“ odmäk, potom inicioval vznik takmer rovnako veľkej povodňovej vlny.

Taktiež nasledujúca veľká voda v roku 1977 je preukázateľná a vyskytla sa aj v širokom okolí – v povodiach Ipl'a, Slanej a Hrona vo februári počas náhleho oteplenia s topením snehu a výdatnými zrážkami [1].

Je prekvapujúce, že prietok v roku 2010, ktorý sa javil ako katastrofálny 100-ročný, je v tomto historickom prehľade až na 5. mieste. Avšak jeho dôsledky naštartovali proces posúdenia funkčných objektov vodnej stavby – bezpečnostného priepadu a dnových výpustov.

#### 4. POZNATKY A SKÚSENOSTI Z POVODNÍ V ROKU 2010

Súhrnný prehľad hydrologickej situácie v uvedenom období poskytuje nasledovný graf.



Obr. 4 Vývoj odtokových pomerov na Blhu od decembra 2009 do augusta 2010

V období od decembra 2009 do augusta 2010 sa na Blhu pri Teplom Vrchu vyskytlo až 5 situácií s priemerným denným prietokom viac ako  $7,5 \text{ m}^3/\text{s}$ , čo je nad úrovňou 2-ročného prietoku a ďalšie dve s prietokom nad  $5,0 \text{ m}^3/\text{s}$ , čo presahuje 1-ročný prietok.

Celý proces začal už počas Vianoc 2009 po typickom odmäku s výdatnými zrážkami. Táto prvá vlna v podstate zlikvidovala bežnú zimnú objemovú rezervu v nádrži, hoci ešte nie celkom – hladina vystúpila z kóty  $218,66 \text{ m n. m. (Bpv)}$  22.12.2009 na kótu  $220,26 \text{ m n. m.}$  26.12.2009. Zvyšok rezervy vyčerpala nasledujúca vlna 9.-11.1.2010.

Po týchto dvoch vlnách nasledovalo ochladenie, ale s intenzívnym snežením, takže zásoby snehu v povodí sa nielenže doplnili na stav pred decembrovým odmäkom, ale dosiahli takmer 3-násobok pôvodnej hodnoty. Nasledoval bežný jarný odtok, pričom sa hladina postupne zvyšovala ako každoročne v tomto období a do 13. apríla dosiahla takmer maximálnu prevádzkovú úroveň –  $220,50 \text{ m n. m.}$ , t.j. 20 cm pod maximom.

Do tohto stavu prišla náhle prvá zo série zvlášť nebezpečných povodňových vln a hladina vystúpila na  $220,92 \text{ m n. m.}$ , teda do retenčného priestoru a do 1. stupňa povodňovej aktivity (PA). V nasledujúcom období sa ju už ani zvýšeným odtokom nepodarilo výraznejšie znížiť a v zmysle platného MP k tomu ani nebol dôvod, skôr naopak. Úroveň  $220,20 \text{ m n. m.}$  sa ešte považovala za úplne bezpečnú a z hľadiska nadchádzajúceho letného obdobia azda aj nízku (požiadavka na rekreáciu).

V období mája prešli nádržou ďalšie dve významné povodňové vlny a pri druhej z nich bola opäť prekročená max. prevádzková hladina, ktorá sa prakticky (takmer) udržiavala až do konca mája. Do tohto stavu prišla vzápätí 1. júna tretia a najsilnejšia veľká voda, s mimoriadne dramatickým priebehom – o čo sa výrazne pričínila najmä nedostatočná kapacita výpustných zariadení. Pritom svahový „ron“ a priamy spád dažďa do nádrže môžu krátkodobo vyprodukovať rovnaký odtok, ako celý Blh po nádrži – čím sa pochopiteľne celkový prítok zdvojnásobí [1]!



*Obr. 5 Zaplnený bezpečnostný priepad 4.6.2010 pri hladine 221,25 m n. m.*



*Obr. 6 Kritický prechod od bezpečnostného priepadu do sklzu po povodni 2010*

## **5. PREVÁDZKA VODNEJ NÁDRŽE PO ROKU 2010**

Po povodni v roku 2010 a vypracovaní podrobných analýz zraškovo-odtokových povodňových režimov, Výskumný ústav vodného hospodárstva v Bratislave riešil projekt, ktorého úlohou bolo riešenie problematiky protipovodňovej ochrany vo vzťahu k činnosti vodných stavieb –

nádrží. Zameriaval sa najmä na posúdenie vplyvu nádrží na efektívnosť retencie (transformácie) povodňových vln v ich spádovej oblasti, ale spätne aj posúdením bezpečnosti samotných VS počas povodňových situácií z hľadiska kapacity prepúšťacích zariadení a vhodnosti manipulačných postupov, určených pre príslušné vodné stavby v ich manipulačných poriadkoch. Hlavným cieľom riešenia celej predmetnej projektovej úlohy bolo všeobecné systematické prehodnotenie a aktualizácia manipulačných poriadkov vybraných (najvýznamnejších) vodných stavieb na Slovensku z hľadiska meniacich sa odtokových pomerov v ich povodiach a návrh zmien ich manipulačných poriadkov, zameraných na posilnenie ich retenčných (t.j. ochranných) účinkov počas povodní.

Z uvedenej projektovej úlohy bola v decembri 2011 spracovaná podrobná správa pod názvom „Prehodnotenie a aktualizácia MP vybraných vodných stavieb – VS Teplý Vrch na Blhu“, ktorú vypracoval Ing. Jozef Benický (VÚVH Bratislava), zaoberajúca sa posúdením prevádzky VS Teplý Vrch na toku Blh [1].

Vzhľadom na zistenie, že skutočné kapacitné parametre jednotlivých výpustných objektov VS Teplý Vrch neboli toho času totožné s projektovanými, ako aj to, že táto skutočnosť nebola reálne preverená až do doby vzniknutej povodňovej situácie v júni 2010, boli v predmetnom projekte kapacitné funkcie týchto objektov prekalibrované a na základe vykonaných meraní na VS a hydrotechnických výpočtov bola stanovená ich skutočná kapacita, čím následne boli jednotlivo prehodnotené postupy v súvislosti s manipuláciou hladiny.

V zmysle vyššie uvádzaných skutočností sa v prípade VS Teplý Vrch ukázala špecifická potreba nielen prehodnotenia manipulačných postupov, ale aj reálnych parametrov výpustných objektov s možnosťou prerozdelenia jednotlivých úrovní prevádzkových hladín, a s tým spojených objemov nádrže, ako aj stanovenie jednotlivých stupňov povodňovej aktivity.

Potreba aktualizácie manipulačného poriadku vyplynula z nutnosti revidovať vplyv vodnej nádrže na efektívnosť retencie povodňových vln. Ďalej posúdením bezpečnosti samotnej vodnej stavby počas povodňových situácií z hľadiska kapacity vypúšťacích zariadení do doby realizácie rekonštrukcie bezpečnostného priepadu a nadobudnutia platnosti nového MP pre trvalú prevádzku vodnej stavby.

Na základe týchto analýz správca vodnej stavby vypracoval dočasný manipulačný poriadok [2], ktorý mal platiť do doby zrealizovania rekonštrukcie bezpečnostného priepadu, ktorú správca vodnej nádrže začal po povodni 2010 pripravovať. Dočasným MP schváleným v r. 2012 došlo k úprave maximálnej prevádzkovej hladiny z úrovne 220,70 m n. m. na kótu 219,10 m n. m. počas letných mesiacov jún až august, ktoré je pre dolinu Blhu nutné považovať za najviac rizikové z hľadiska zrážkových extrémov.

## 6. OBDOBIE REKONŠTRUKCIE BEZPEČNOSTNÉHO PRIEPADU

V roku 2015 došlo k realizácii rekonštrukcie bezpečnostného priepadu na vodnej stavbe Teplý Vrch. Samotné rekonštrukčné práce prebehli bez výraznejších problémov. Samotná rekonštrukcia pozostávala z obojstranného rozšírenia priepadu (3,5 m v maxime) v kombinácii s prehĺbením časti spádiska (sklon 3,4 %) a sklzu o 0,2 – 1,1 m v dĺžke 94,6 m. Dĺžka prepadovej hrany zostala zachovaná. Súčasťou rekonštrukcie bolo aj vybudovanie nového ľavostranného múru bezp. priepadu zo strany nádrže.

Obdobie realizácie: 5/2015 – 9/2015



Náklady na stavebné práce: 1 055 454 €

Použité množstvo: - betón: cca 2 707 t

- oceľ 2,0 t

rozšírenie BP si vyžiadalo záber 5 parciel, celkový záber v rámci obvodu 3 697 m<sup>2</sup>.



*Obr. 7 Pohľad na bezpečnostný priepad a zátopu nádrže od sklzu*



*Obr. 8 Pohľad na zrekonštruovaný prechod od BP do sklzu*

## **7. OBDOBIE PO REKONŠTRUKCII BEZPEČNOSTNÉHO PRIEPADU**

Po realizácii rekonštrukčných prác správca vodnej stavby pristúpil k vypracovaniu nového manipulačného poriadku [3]. Do MP boli zapracované aktuálne a prepočítané parametre

výpustných zariadení. Nový manipulačný poriadok bol schválený Okresným úradom Rimavská Sobota dňa 15.12.2015.

#### Parametre VS Teplý Vrch po rekonštrukcii

kapacita bezpečnostného priepadu (pri dosiahnutí max. dovolenej hladiny 221,20 m n. m.):

42 m<sup>3</sup>/s s výškou prepádového lúča 57 cm

pôvodne do 25 m<sup>3</sup>/s

kapacita dnových výpustov (podľa nového zamerania a hydrotechnických výpočtov):

DN 1000 a DN 600 – 8,07 m<sup>3</sup>/s

pôvodne 14,00 m<sup>3</sup>/s

maximálna prevádzková hladina:

letné obdobie: 220,63 m n. m.

zimné obdobie: 220,13 m n. m.

pôvodne – 220,70 m n. m.

objem retenčného priestoru:

(letné obdobie): 0,595 mil. m<sup>3</sup>

(zimné obdobie): 1,085 mil. m<sup>3</sup>

pôvodne – 0,525 mil. m<sup>3</sup>

Po vykonaní rekonštrukcie bezpečnostného priepadu, ako aj odpadového koryta so sklzom, sa pristúpilo v jesenných mesiacoch k opätovnému a postupnému plneniu nádrže. Samotné plnenie prebiehalo plynule bez podstatných problémov s vykonávaním pravidelných kontrolných meraní.

Vzhľadom na nutnosť postupného plnenia a stúpania hladiny v nádrži došlo k úplnému naplneniu nádrže až v mesiaci máj 2016, kedy bola dosiahnutá úroveň 220,63 m. n. m, čo predstavuje súčasnú kótu bezpečnostného priepadu.

Od povodne v roku 2010 boli okrem vyššie uvedenej rekonštrukcie na vodnej stavbe Teplý Vrch vykonané ďalšie opravy, ktoré prispeli k zabezpečeniu plnohodnotnej funkčnosti a prevádzkyschopnosti tohto vodného diela:

- 2013 oprava vývaru pod sklzom a odpadného koryta  
utesnenie dilatácií betónových blokov ZFO v odpadnej chodbe
- 2014 oprava vývaru
- 2016 oprava asphaltovej komunikácie na korune hrádzového telesa
- 2017 oprava betónových objektov (komunikačná chodba a ďalšie objekty)

Na základe poslednej technicko-bezpečnostnej prehliadky konanej dňa 8.8.2018 na VS Teplý Vrch je zo strany Vodohospodárskej výstavby, š.p. konštatované, že stavba je bezpečná a prevádzkyschopná bez podstatných problémov, respektíve obmedzení.

**ZOZNAM LITERATÚRY**

- [11] *Ing. Jozef Benický, Prehodnotenie a aktualizácia MP vybraných vodných stavieb, VS Teplý Vrch na Blhu, VÚVH 2011*
- [12] *Dočasný manipulačný poriadok pre vodnú stavbu Teplý Vrch 2012.*
- [13] *Manipulačný poriadok pre vodnú stavbu Teplý Vrch 2015*

**AUTOR**

Ing. Tomáš Ič

SVP, š. p., OZ Banská Bystrica, Partizánska cesta 69, 974 98 Banská Bystrica

e-mail: tomas.ic@svp.sk

## VD ŠANCE – TBD PŘI ZMĚNĚ STAVBY

### ŠANCE DAM – DAM SAFETY SUPERVISION DURING REHABILITATION WORKS

*Tomáš Kantor, Jiří Hodák*

**Abstrakt:** Vodní dílo Šance na Ostravici prošlo v letech 2015 - 2018 celkovou změnou stavby. Obsahem stavby byl soubor opatření na VD Šance, jež měl zajistit zejména bezpečné převedení extrémních povodní. V jeho rámci byl realizován nový, kapacitnější bezpečnostní přeliv, skluz a vývar. Současně s tím byla provedena celková obnova injekční clony ve skalním podloží. V rámci stavby byl dále vybudován nový stabilizační přísyp vzdušního svahu hráze a nově provedena koruna hráze.

Náplní technickobezpečnostního dohledu v průběhu změny stavby bylo zejména zajištění měření a pozorování ve vymezeném rozsahu v souladu s Programem TBD pro změnu stavby, vyhodnocování jevů a skutečností na základě měření a dat z automatického monitoringu, zajištění informací o TBD pro účely kontrolních dní stavby a zpracování zpráv o dohledu v průběhu změny stavby ve vazbě na platné předpisy.

Příspěvek také popisuje provedené zásahy z pohledu technickobezpečnostního dohledu. Jsou popsány stávající i nově instalovaná měření pro sledování deformací a průsakového režimu hráze. Dále jsou prezentovány výsledky měření a diskutováno porovnání s předpoklady a mezemi TBD stanovenými pro změnu stavby. V závěru jsou shrnuty zkušenosti a doporučení pro změny staveb obdobného charakteru.

**Abstract:** The Šance dam on the Ostravice river underwent a general rehabilitation in 2015-2018. The content of the reconstruction was a set of measures to ensure especially the safe passage of extreme floods. Within this framework, a new, more efficient safety spillway was constructed. At the same time, a total renewal of the grout curtain in the bedrock was performed. As part of the construction, a new stabilization slope of the dam was built and a new dam crest was performed as well.

The task of the dam safety supervision during the rehabilitation was to ensure the measurement and observation to the defined extent, the evaluation of the data measured and data from the automatic monitoring. The aim was also to provide the dam safety actual information for the construction site management in relation to the valid regulations and authorities.

The paper also describes the actions taken from the dam safety point of view. Existing and newly installed measurements for deformation and leakage monitoring are described. Furthermore, the results of the measurements and the comparison with the assumptions and safety limits established for the rehabilitation period are presented. In conclusion, the experience and recommendations for similar upcoming dam rehabilitations are summarized.

**Klíčová slova:** VD Šance, TBD, změna stavby, kontrolní povodeň, stabilita.

## ÚVOD

Na začátku 09/2015 byl započat významný stavební zásah do VD Šance, zahrnující provedení stavebních úprav zajišťujících bezpečné převedení extrémních povodní ( $Q_{10\ 000}$ ) přes vodní dílo (VD), dále související a vyvolané činnosti a další stavební úpravy zajišťující bezpečný a spolehlivý provoz VD v budoucím období. To bylo plánováno především proto, aby VD bylo schopno ve smyslu vyhlášky Ministerstva zemědělství o technických požadavcích pro vodní

díla č. 590/2002 Sb. z 12/2002 (novelizované vyhláškou Ministerstva zemědělství č. 367/2005 Sb. z 09/2005) bezpečně převést i kontrolní povodňovou vlnu (KPV). Celá tato rozsáhlá akce měla název „VD Šance – převedení extrémních povodní“.

Základem záměru bylo zvětšení kapacity přelivu a skluzu. V místech původního (délka přelivné hrany 16,5 m na kótě 504,20 m n.m.) byl vybudován zcela nový bezpečnostní přeliv s pevnou přelivnou hranou (délky 12,9 / 35,7 m), členěnou na dvě výškové úrovně (504,20 / 505,90 m n.m.) a se společným spadištěm (max. šířky 15,9 m). Současný skluz se z velké části nahradil novou konstrukcí s jiným šířkovým uspořádáním dna (nový cca 13,0 m, původní cca 6,5 m), osa nového skluzu oproti původnímu je o cca 3° pootočena směrem vlevo. [1]

Z důvodu půdorysných rozměrů nového přelivu a spadiště bylo nutné přemístit provozní středisko. V rámci výše uvedené akce bylo provedeno i dílčí zvýšení úrovně koruny hráze. Součástí úpravy koruny bylo rovněž zvýšení úrovně těsnicího jádra za pomoci těsnicí fólie a jejího napojení na nový prefabrikovaný vlnolam.

Podloží hráze bylo v celém přehradním profilu dotěsněno z původní injekční chodby. [1]

Z důvodu současných přísnějších normových požadavků na stabilitu vzdušního svahu hráze VD Šance, bylo přistoupeno k vybudování stabilizačního přísypu z místních (kamenitých) materiálů, tak aby případné smykové plochy měly stupeň stability větší než 1,5 (tak jak je požadováno v normě).

Byla provedena kompletní modernizace systému měření a pozorování TBD vycházející z technického stavu původního zařízení, výsledků měření z období před změnou stavby i ze zjištění a doporučení dokumentovaných v etapových zprávách TBD.

Požadavkem po celou dobu výstavby bylo, aby veškerá zařízení, která mají vliv na zajištění vodárenského odběru a schopnost vypouštění vody z nádrže, spolehlivě mohla v této době plnit svou funkci.

Již v době výstavby VD Šance na přelomu 60. a 70. let minulého století bylo známé sesuvné území v údolí toku Řečice. V rámci výše uvedené stavby byla provedena částečná sanace sesuvu v údolí Řečice. Cílem prací bylo částečné snížení rychlosti případného sesuvu do nádrže VD Šance a tím rizika pro vodní dílo. Tato sanace tak zajišťuje zvýšení bezpečnosti samotného vodního díla. Sesuvné území na pravém břehu údolí Řečice, je systematicky monitorováno cca od roku 1967. Jedná se o rozsáhlý aktivní sesuv, jehož rychlost pohybu je závislá především na úrovni hladiny spodní vody a intenzitě srážek. Některé sledované body vykazují za sledované období celkové pohyby větší než 4 m. [1]

VD Šance

Zemní sypaná hráz VD je umístěna v Moravskoslezském kraji, okres Frýdek-Místek na řece Ostravici v říčním km 45,770 – nad městem Ostravice. Z hlediska regionálního leží v Moravskoslezských Beskydech. Voda v nádrži zaplavuje vlastní údolí řeky Ostravice v délce 7,60 km, údolí pravostranného přítoku Řečice v délce 2,20 km a levostranného přítoku Velkého potoka v délce cca 1,25 km. Největší šířka zátopy na řece Ostravici je cca 750 m. [2] VD bylo vybudováno v letech 1965 až 1969. Jedná se o sypanou kamenitou hráz se šikmým středním hlinitým těsněním. Návodní svah je rozdělen po úsecích ve sklonu 1:1,5, 1:2,0 a 1:2,5, vzdušný svah je poté rozdělen po úsecích ve sklonu 1:2,4, 1:1,6, 1:1,6 a 1:1,4. Hráz byla sypána z místních materiálů. Stabilizační kamenité zóny hráze byly sypány po vrstvách 1,5 m a hutněny

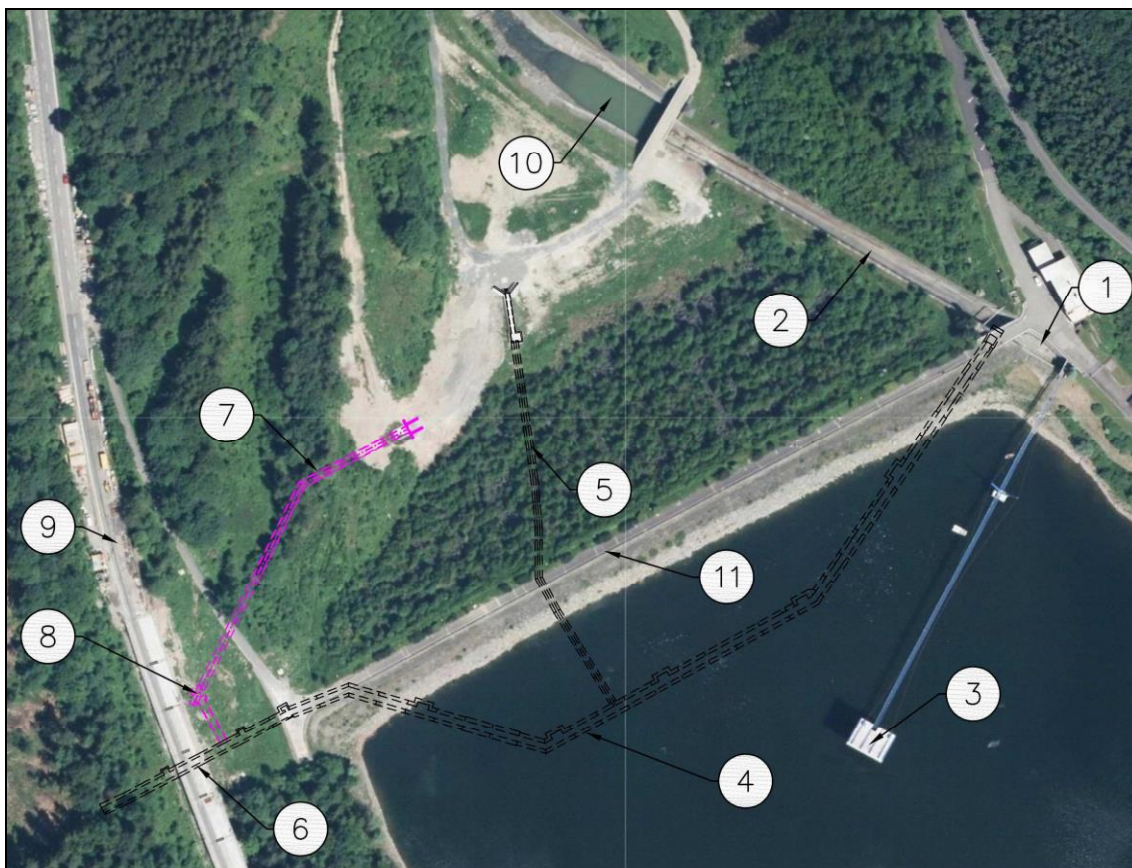
vibračním válcem. Hlinitokamenité sutě v zóně při návodní straně hráze byly sypány po vrstvách 0,4 m a byly hutněny statickým válcem nebo vibračním válcem. V podloží hráze od injekční chodby ke vzdušnému svahu byly ponechány údolní šterky. Svahy hráze tvoří neupravená kamenitá sypanina, na návodní straně při koruně je kámen urovnán. Nově provedený stabilizační přísyp vzdušního svahu je nasypán z kamenitého materiálu získaného z prostoru sesuvu Řečice. Patka přísypu je poté tvořena z přebytečného materiálu, který nesplňoval smykové parametry pro uložení do kamenité konstrukce stabilizačního přísypu. Podloží hráze je těsněno injekční clonou navázanou na injekční chodbu. Injekční chodba má vnitřní profil 2,5x3,5 m. Chodba byla prováděna po blocích délky běžně do 12,7 m. V levobřežním zavázání injekční chodby přechází v úrovni těsně pod korunou do horizontální ražené tzv. průzkumné štoly délky cca 90 m. Původní injekční clona má hloubku 20 až 113 m a byla prováděna ve čtyřech pořadích s výslednou roztečí vrtů 1,25 m. Injektáže v rámci výstavby díla byly ukončeny v roce 1972. V průběhu osmdesátých let byla injekční clona systematicky obnovována do hloubek 11 až 12 m. V rámci výše uvedené stavby byla provedena obnova injekční clony do hloubky cca 17 až 23 m. V nejhlubším místě údolí je vybudována odvodňovací chodba délky 163,75 m. Odvedení průsaků z injekční štoly a odvodňovací chodby je zajištěno gravitačně potrubím s vyústěním do koryta pod hrází. Koruna hráze byla kompletně zrekonstruována v rámci stavby „VD Šance – převedení extrémních povodní“. Koruna hráze má šířku 6 m, na návodní straně je prefabrikovaný železobetonový vlnolam výšky cca 80 cm. Po koruně hráze vede účelová komunikace, která umožňuje správci VD kontrolu a údržbu a přístup z pravého břehu (provozní středisko) na levý břeh (k státní silnici I/56). [1], [2], [3].

Před výše uvedenou stavbou byla v nedávné době (2012/2013) provedena v levém svahu drenážní štola a šachta za účelem zmenšení přítoku svahových vod z levého svahu do tělesa hráze, a to jak při bezdeštném stavu, ale zejména za srážkových epizod v době zvýšeného přítoku ze svahu. Drenážní štola má za cíl snížit riziko poškození napojení těsnícího jádra na injekční chodbu v levobřežním zavázání.

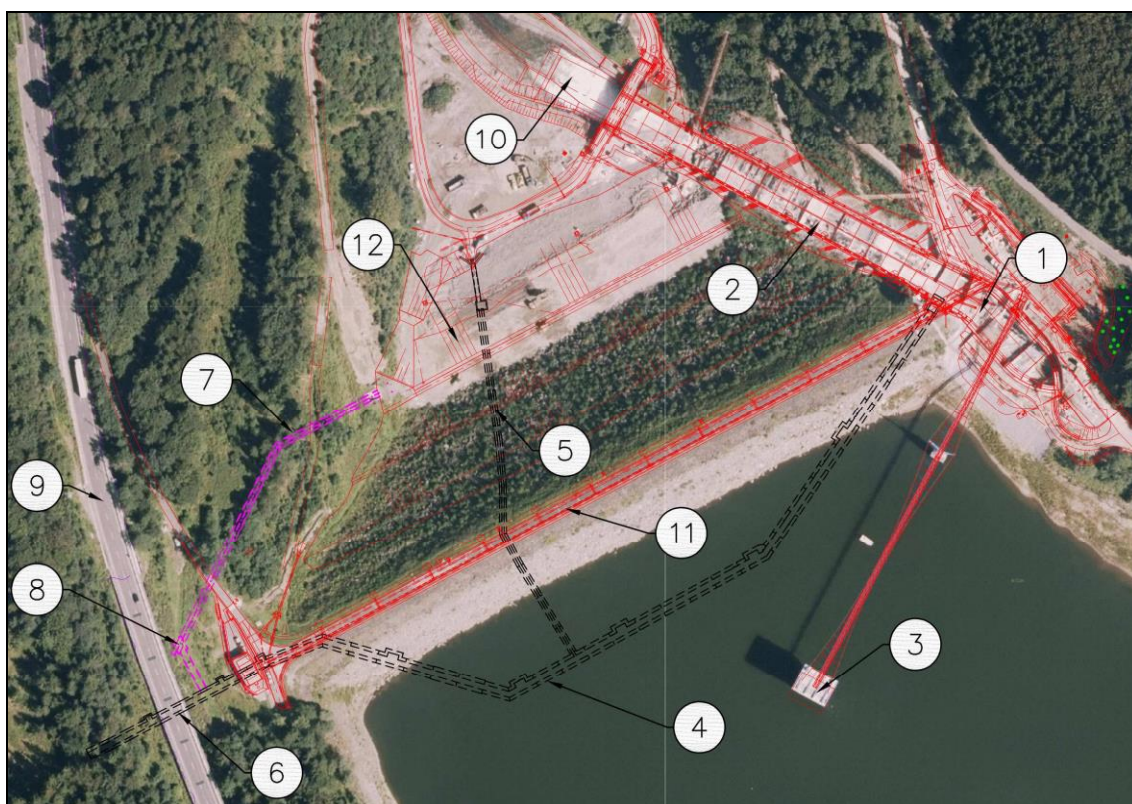
VD Šance je pro účely TBD zařazeno do I. kategorie ve smyslu (§ 7) Vyhlášky ministerstva zemědělství č. 471/2001 Sb. [4]

Účel a využití: [2]

- Zajištění dodávky surové vody pro úpravnu vody v Nové Vsi v množství  $2,2 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$
- Zajištění minimálního průtoku v toku pod nádrží v množství  $MQ = 0,3 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$
- Nadlepšování průtoku v profilech níže na tocích pro zajištění odběrů pro průmysl a pro zajištění minimálního průtoku  $MQ=0,57 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ .
- Snížení kulminací povodňových průtoků
- Účelný chov ryb v nádrží.
- Energetické využití průtoků v elektrárně umístěné v hrázi.



Obrázek 1: Situace VD Šance se schematickým zákresem objektů před změnou stavby (rok 2014).



Obrázek 2: Situace VD Šance se schematickým zákresem objektů při změně stavby (rok 2016).

Legenda: 1. boční bezp. přeliv, 2. skluz, 3. odběrná věž, 4. injekční chodba, 5. odvodňovací chodba, 6. průzkumná štola, 7. drenážní štola, 8. drenážní šachta, 9. silnice I.třídy č.56 (Ostravice-Bílá), 10. vývar. 11. koruna hráze, 12. stabilizační přísyp

## TECHNICKOBEZPEČNOSTNÍ DOHLED

Obsluha díla i pracovníci pověřené organizace prováděli veškerá periodická měření a sledování v celém průběhu změny stavby dle platného Programu TBD pro změnu stavby. Během celého sledovaného období bylo také ve funkci automatické měření průsaků, měření HPV v pozorovacích vrtech, náklonů betonových objektů a sledování násypu hráze za pomoci inklinometrických vrtů.

Předávání výsledků všech automaticky snímaných měření pro zpracování na brněnském pracovišti VODNÍ DÍLA–TBD a.s. probíhalo z Povodí Odry, s.p. prostřednictvím serveru se systémem TBD v dávkových souborech. Předávání výsledků měření a pozorování zajišťovaných klasicky obsluhou díla bylo prováděno obvykle jednou týdně elektronickou poštou (v případě potřeby častěji).

Pracovníci naší společnosti v průběhu výstavby připravovali podklady (operativní zprávu o provedených měření s aktuálními grafy) pro jednání pracovní skupiny na stavbě s četností 1x za 14 dní. Dále se zástupci naší společnosti zúčastňovali pravidelných týdenních kontrolních dnů stavby s četností 1x za měsíc (v případě potřeby častěji). V průběhu těchto dnů dále prováděli kontrolní měření a celkové prohlídky VD vč. technického stavu zařízení TBD. Jednalo se především o manuální měření HPV ve venkovních vrtech a kontrolní měření průsaků a tlaků v podloží hráze s vizuální kontrolou. Po odpojení a vytažení automatických inklinometrů z vrtů umístěných na koruně hráze bylo poté prováděno manuální měření.

Z geodetického měření bylo provedeno v období 09/2015 – 07/2018 [3]:

- 27 etap trigonometrického zaměření vodorovných posunů kontrolních bodů na vzdušném svahu hráze (s četností 1x za měsíc),
- 37 etap vodorovných posunů kontrolních bodů umístěných na koruně hráze metodou záměrné přímky (s četností 1x za měsíc, při intenzivních stavebních pracích poté častěji),
- 25 etap zaměření sedání kontrolních bodů na koruně hráze metodou nivelace (s četností 1x za měsíc),
- 39 etap zaměření sedání kontrolních bodů v injekční a odvodňovací chodbě metodou nivelace (s četností 1x za 14 dní, při intenzivních stavebních pracích poté častěji),
- 53 etap zaměření sedání kontrolních bodů v přístupové chodbě umístěné pod stabilizačním přísypem metodou nivelace (s četností 1x za 14 dní, při intenzivních stavebních pracích poté častěji).

### Bezpečnostní přeliv, spadiště, skluz

Z důvodu potřeby vybudování zcela nových konstrukcí bezpečnostního přelivu, spadiště a skluzu bylo nutné tyto odstranit (s výjimkou části skluzu). U spadiště došlo k razantnímu zahloubení a rozšíření oproti původní konstrukci, skluz byl taktéž rozšířen a osa mírně pootočena. Bohužel v těsné blízkosti těchto konstrukcí se nacházelo bývalé provozní středisko obsluhy VD. Toto muselo být tedy odstraněno, ale i tak v tomto prostoru nebyly zajištěné dostatečné volné plochy. Spadiště s bezpečnostním přelivem bylo tedy nutné vybudovat pod ochranou mikropilotové stěny doplněnou ocelovými převážky a kotvami. Mikropiloty



dosahovaly délky cca 12 m, dno základové spáry spadiště se poté pohybovalo cca 10 m pod terénem v pravém zavázání. [1]

V předstihu před bouracími pracemi na přelivu, spadišti a skluzu byl vybudován nejen za rubem pravé mikropilotové stěny systém inklinometrických vrtů sloužících pro kontrolu případných deformací skalního masivu. Vybraná zhlaví kotev u ocelových převázek byly navíc osazeny automatickým dynamometrem měřícím napětí.

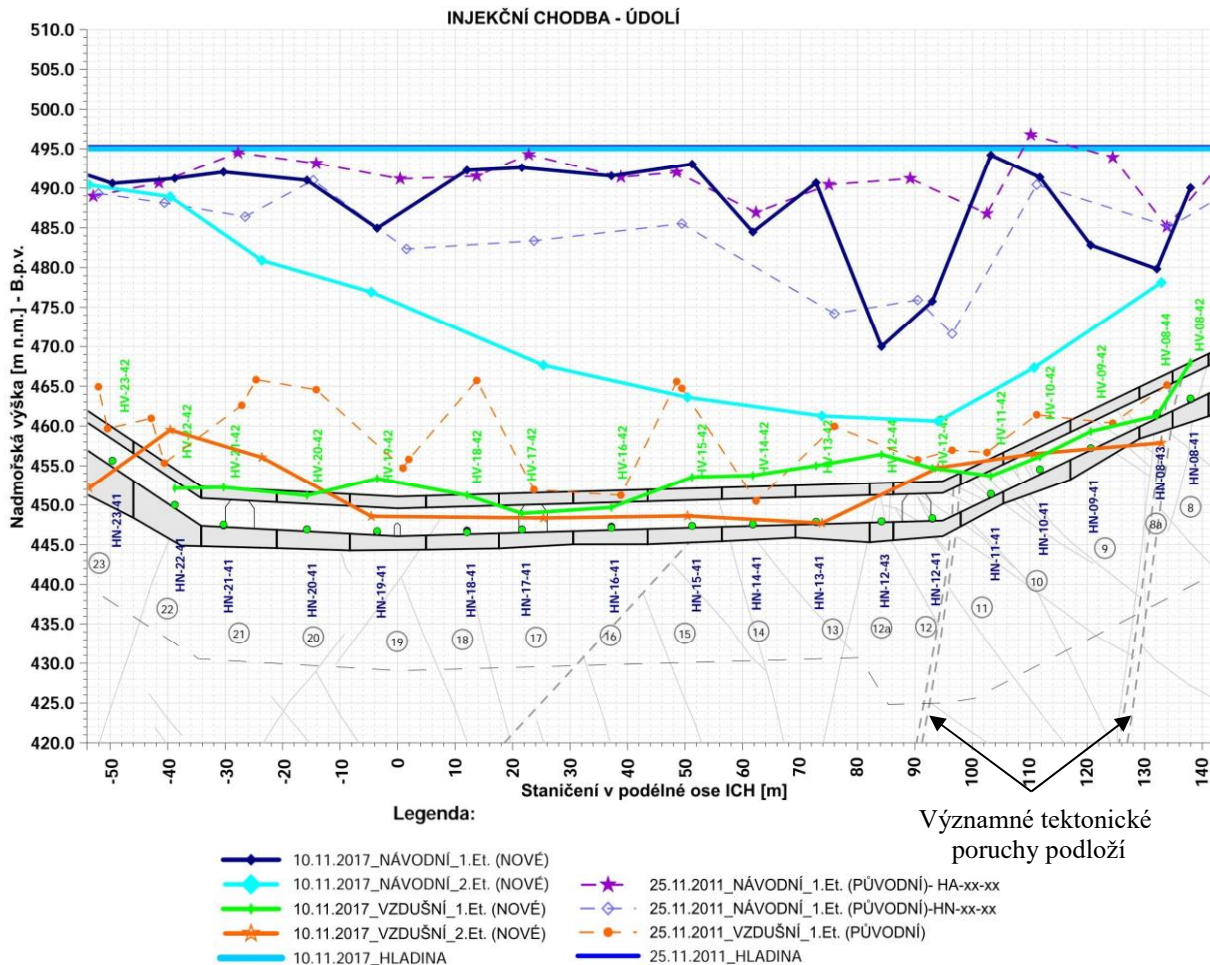
Měření a vyhodnocování výsledku na výše uvedených zařízeních si zhotovitel stavby zajišťoval prostřednictvím externí firmy.

### **Obnova injekční clony**

U obnovy injekční clony byly především sledovány deformace podloží a vlastní deformace betonových objektů injekční chodby. Na kontrolních bodech umístěných v podlaze chodby byly za pomoci nivelace měřeny svislé posuny. Dále mezi jednotlivými beton. bloky injekční chodby resp. průzkumné štoly byly měřeny svislé a vodorovné posuny na deformetrických základnách. S postupujícím průběhem prací na obnově injekční clony byly původní tlakoměrné vrty rušeny a po provedení injekčních prací v patřičném úseku nahrazeny zcela novými. Tyto byly vystrojeny automatickým strunovým snímačem, který byl zapojen do systému sběru dat s dálkovým přenosem.

Při bouracích pracích blízkých objektů (přelivu, spadiště a skluzu) v pravém zavázání bylo navíc prováděno na vybraných stanovištích seizmické měření s následným vyhodnocením vůči objektům hráze dle normových požadavků.

Z výsledku měření na nově provedených tlakoměrných vrtech byly následně vyhodnocovány potencionální oblasti clony, ve kterých se neprojevil dostatečný efekt zatěsnění podloží hráze. V těchto místech bylo poté doporučováno provedení kontrolních vrtů s vodní tlakovou zkouškou. Takováto místa se dle předpokladů nacházela v oblasti tektonických poruch podloží, jež byly známy z doby výstavby VD. [3]



Obrázek 3: Porovnání hydrodynamických tlaků v podloží injekční chodby – průběh tlaků před a po provedení obnovy clony [3].

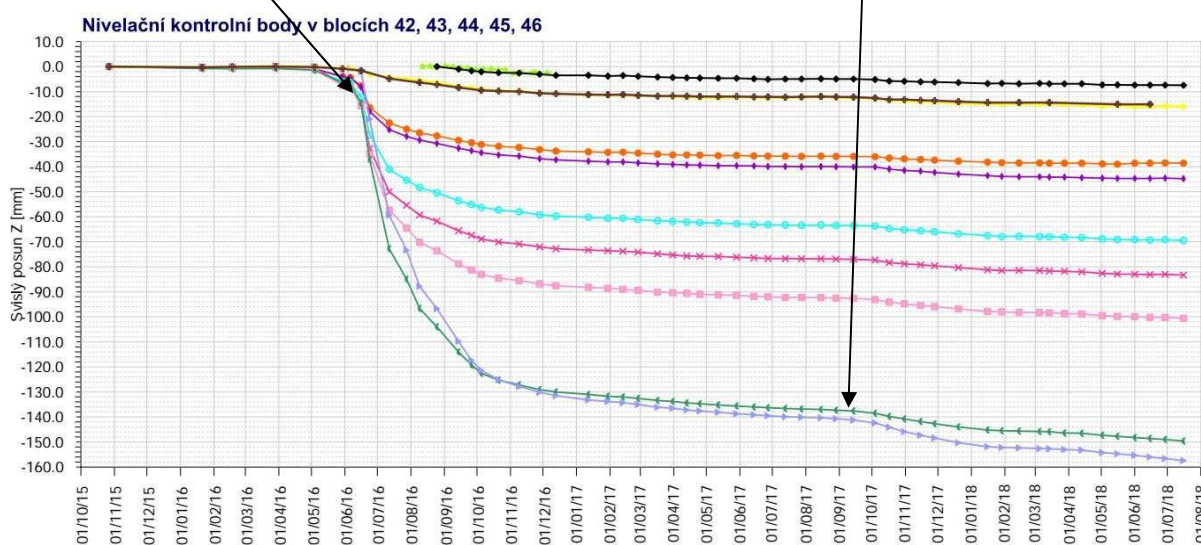
### Stabilizační přísyp

VD Šance před změnou stavby nebylo pro jednu ze čtyř výsledných smykových ploch z do té doby provedených studií stability hráze dodržen normový požadavek minimálního stupně bezpečnosti novelizované ČSN 73 23 10 „Sypané hráze“. Byly proto v minulosti (2011) vybudovány 3 ks inklinometrických vrtů vedených z koruny hráze do vzdušné strany těsnícího jádra pro indikaci případných smykových ploch. Dva vrty blíže k levému břehu byly vystrojeny řetězcem automatických in-place inklinometrů pro sledování potencionální smykové plochy.

Na základě výše uvedeného se investor rozhodl zahrnout v rámci stavby provedení i stabilizačního přísypu vzdušného svahu hráze, který má zajistit zvýšení stupně bezpečnosti pro případné smykové plochy procházející těsnící částí hráze. Objem stabilizačního přísypu byl odhadnut na cca 116 000 m<sup>3</sup>, objem patky přísypu poté na cca 16 200 m<sup>3</sup>. [1]

průběhu sypaní stabilizačního přísypu bylo prováděno geodetické měření na stávajících kontrolních bodech za pomoci trigonometrie (k.b. na umístěné na vzdušném svahu), záměrné přímky (k.b. na koruně hráze) a nivelace (k.b. umístěné v podlaze odvodňovací chodby v podloží a na koruně hráze). S postupující výškou přísypu docházelo k plánovanému rušení původních kontrolních bodů a následně byly nahrazovány zcela novými na úrovních nových laviček. Pro měření vlivu sedání vlivem přitížení původního násypu hráze byly na povrch instalovány dva měrné profily automatických výškoměrných krabic.

Vlivem stavebních prací na novém stabilizačním přísypu došlo k sedání nové přístupové chodby v podhráží, jež byla vybudována s předstihem vč. nového patního drénu v roce 2012.



Obrázek 4: Svislé posuny měřené na kontrolních bodech v přístup. chodbě – časový průběh



Obrázek 5: Přístupová chodba v podhráží (původní stav, stav před zahájením sypání)

Z výsledků měření (inklinometrické vrty, nivelace, záměrná přímka) lze usuzovat, že stavební práce na novém stabilizačním přísypu vzdušního svahu hráze neměly zásadní vliv na

bezpečnost a provozuschopnost VD Šance. Jedinou výjimkou se tak jevily zvýšené posuny bloků nové přístupové chodby. [3]

### **Koruna hráze**

Součástí stavby s názvem „VD Šance – převedení extrémních povodní“ bylo provedení nové koruny hráze s navýšením těsnícího prvku za pomoci fólie zavázané do těsnícího jádra. Koruna hráze byla oproti původnímu stavu mírně navýšena. Toto navýšení zohledňovalo celkové výškové řešení a vytváří rezervu pro budoucí sedání hráze, jež se v současnosti pohybuje cca 0,6 m od výstavby konce VD v první polovině 70. let. Původní koruna hráze vč. vlnolamu byla rozebrána, došlo k odstranění cca 1,5 m násypu, tak aby bylo možné provést navýšení těsnícího prvku a vybudování nového vlnolamu z ŽB prefabrikátů. Nejen během stavebních prací na koruně hráze bylo prováděno geodetické měření za pomoci 2 profilů. Na těchto profilech bylo měření prováděno metodou záměrné přímky (vodorovné posuny) a za pomoci nivelace (svislé posuny). V průběhu intenzivních stavebních prací na koruně hráze bylo prováděno toto měření s vyšší četností. Další měření bylo prováděno na 3 ks inklinometrických vrtů. [3]

Během výstavby se jako nevyhovující ukázalo umístění kontrolních bodů a inklinometrických vrtů. Tyto byly v těsné blízkosti pojezdu stavební techniky a docházelo tak k častému ovlivnění naměřených hodnot. Další nevýhodou umístění kontrolních bodů v těsné blízkosti stavby bylo nutné odtěžení části koruny hráze. Některé kontrolní body se tak staly nepřístupnými pro geodety, jež nemohly zajistiti stabilizaci nivelační latě během měření. [3]



*Obrázek 6: Pohled na kontrolní bod, pohled na korunu hráze při ukládání těsnící fólie*

### **Instalace měřicího zařízení TBD**

Součástí výše uvedené stavby bylo doplnění a modernizace měřicího zařízení TBD na stávající technickou úroveň. Pokud to stavební práce umožňovaly a nedošlo by ke kolizi s dalším průběhem stavebních prací, bylo měřicí zařízení TBD (např. tlakoměrné vrty, pozorovací vrty atd.) provedeno a vystrojeno v co nejkratším termínu, tak aby mohl být systém automatického monitoringu doplněn o další zařízení sloužící ke sledování nejen vlivu stavebních činností na VD. Z obavy o poškození zařízení bylo nutné některé zařízení TBD dočasně odstranit, než byly provedeny hlavní práce na stavebním objektu. Takto bylo nutné odpojit a odstranit např. in-place (řetězec automatických snímačů) inklinometry umístěné ve vrtech na koruně hráze. V průběhu odpojení automatických snímačů bylo poté prováděno manuální měření s vyšší četností. [3]

Nové měřicí zařízení nainstalované v rámci změny stavby [3]:

- 103 ks automaticky sledovaných tlakoměrných vrtů v injekční a odvodňovací chodbě v blocích č. 01 až 26 a 31 až 39,
- 16 ks nových pozorovacích vrtů v blízkosti hráze,
- 1 ks měrného přelivu pro automatické sledování průsaků vedle strojovny spodních výpustí,
- kontrolní body pro sledování svislých posunů na koruně hráze, násypu stabilizačního přísypu a nových betonových objektů,
- kontrolní body pro sledování vodorovných posunů na koruně hráze a nového stabilizačního přísypu,
- doplnění 1 ks inklinometrického vrtu o in-place automat a 3 ks inklinometrických vrtů o měření HPV.
- zřízení 14 ks automatických extenzometrů na koruně hráze pro sledování deformací násypu hráze,
- 4 ks nových stabilizačních bodů pro měření vodorovných a svislých posunů,
- 2 ks profilů pro automatické měření svislých posunů původního násypu hráze v důsledku přitížení novým stabilizačním přísypem,
- 6 profilů po 2 ks automatických snímačů (dvě výškové úrovně) pórových tlaku v těsnicím jádře hráze. Snímače doplněny na základě doporučení zástupců TBD.



Obrázek 7: Nový tlakoměrný vrt a extenzometr

## ZÁVĚR

V České republice se jednalo o unikátní stavbu na stávajícím a provozovaném VD, která co do rozsahu prací, tak i objemu financí nebyla realizována. Získané zkušenosti jak v oblasti projekčních prací, samotné realizace i provádění TBD jsou cenné pro další plánované úpravy stávajících VD v ČR, které tyto zásahy teprve čekají na základě nejen přísnějších legislativních požadavků, tak i celkovému pohledu na bezpečnost a provozuschopnost vodních děl.

V průběhu změny stavby v letech 2015-2018 (rekonstrukce) VD Šance docházelo k ovlivňování měření TBD, jež nelze nikdy vyloučit. Ať už se jednalo o zvýšené tlakové úrovně v důsledku provádění injekční clony, zanášení měrných profilů vrtným kalem a tím k měření vyššího průsakového množství, než bylo ve skutečnosti. Další ovlivňování měření bylo způsobováno jak pohybem samotné stavební techniky, tak i ukládáním stavebního materiálu (či deponování) v těsné blízkosti zařízení TBD.

Pokud došlo k překročení stanovených mezí bdělosti (mezních hodnot) z Programu TBD, jednalo se vždy o souhrn více faktorů, kdy rozhodující vliv byl pohyb stavební techniky (kontrolní body pro sledování deformací) nebo práce v těsné blízkosti (tlakoměrné vrty). Dalším překročením výše uvedených mezí bylo způsobeno chybným měřením (automatický odečet).

Z výsledků měření TBD lze usuzovat, že probíhající stavební práce neměly zásadní vliv na bezpečnost a provozuschopnost VD Šance. Rozhodující vliv prací bude možné stanovit až na základě ověřovacího provozu, který bude zahájen, jakmile budou dokončeny veškeré práce na akci s názvem „VD Šance – převedení extrémních povodní“.



Obrázek 8: VD Šance, foto z 12/2015, foto z povodně 05/2010.

## SEZNAM LITERATURY

- [1] PÖYRY ENVIRONMENT a.s.: VD Šance – převedení extrémních povodní. Projektová dokumentace pro provádění stavby – revize 2013. Srpen 2013. Brno.
- [2] AQUATIS a.s.: Prozatímní manipulační řád - VD Šance - pro období výstavby. Srpen 2008, aktualizace září 2015. Brno.
- [3] VODNÍ DÍLA-TBD, a.s.: VD Šance – 2. Dílčí zpráva TBD při změně stavby (11/201610/2017). Listopad 2017. Brno.
- [4] VODNÍ DÍLA-TBD, a.s.: VD Šance – Program TBD pro změnu stavby. Srpen 2015. Brno.

## AUTOR

Ing., Tomáš, Kantor

VODNÍ DÍLA-TBD, a.s., Studená 2, 638 00, Brno e-mail: kantor@vdtbd.cz

Ing., Jiří, Hodák, Ph.D.

VODNÍ DÍLA-TBD, a.s., Studená 2, 638 00, Brno e-mail: hodak@vdtbd.cz

## **REKONŠTRUKCIA VODOHOSPODÁRSKÝCH OBJEKTOV. PROTIPOŽIARNE NÁDRŽE NA ŽELEZNEJ STUDIENKE č. 3 A 4.**

### **THE RECONSTRUCTION OF WATER MANAGEMENT OBJECTS OF FIRE FIGHTING WATER RESERVOIRS AT ŽELEZNÁ STUDIENKA No. 3 AND 4.**

*Michaela Macková*

**Abstrakt:** Protipožiarné nádrže na Železnej studienke č. 3 a 4, nazývané aj ako Štvrtý rybník a Tretí rybník na Železnej studienke (ďalej už len ako 4. a 3. rybník), sú dvomi z celkovo siedmich nádrží situovaných v povodí potoka Vydrica, v rekreačnej zóne bratislavského lesoparku Mestských lesov v Bratislave. 4. a 3. rybník, sú zároveň spolu s Prvým rybníkom a Druhým rybníkom evidované ako nehnuteľné národné kultúrne pamiatky.

Nefunkčnosť, alebo len obmedzená prevádzkyschopnosť funkčných objektov oboch rybníkov, zapríčinená dlhým obdobím nepretržitej prevádzky a následnej korózie materiálov, vyvolali potrebu ich rekonštrukcie. Návrh zrealizovaných rekonštruovaných objektov bol výsledkom skĺbenia požiadaviek investora - prevádzkovateľa na komfortnosť prevádzky a požiadaviek Krajského pamiatkového úradu Bratislava na zachovanie historických častí konštrukcií. Zároveň bolo potrebné dodržať technické parametre vodnej stavby spĺňajúce súčasné kritériá kladené na vodné stavby. Rekonštrukcia vodohospodárskych objektov na 4. a 3. rybníku bola čiastkovým projektom, v rámci projektu „Bratislava sa pripravuje na zmenu klímy – Bratislava, zelenaj sa“, ktorý bol finančne odmenený z grantu Finančného mechanizmu EHP a Nórska a zo štátneho rozpočtu Slovenskej republiky.

**Abstract:** The fire fighting water reservoirs at Železná studienka no. 3 and 4, also known as the Fourth fishpond and the Third fishpond at Železná studienka (thereinafter the 4th and 3rd fishpond), are two of the seven reservoirs situated in the Vydrica River basin, in the recreational zone of the Bratislava Forest Park of the Municipal Forests company in Bratislava Town. The 4th and 3rd fishpond, together with the First fishpond and the Second fishpond are registered as immovable national cultural monuments. The malfunctioning or only limited operational capability of the functional objects of both fishponds, caused by a long period of continuous operation and subsequent corrosion of the materials, caused the need of their reconstruction. The design of the reconstructed structures was the result of combination of the requirements of the investor - operator for the operation comfort and the requirements of the Regional Monuments Protection Authority in Bratislava to preserve the historical parts of the structures. At the same time it was necessary to observe the technical parameters of the water structure, meeting the contemporary criteria for water structures. The reconstruction of water management objects on the 4th and 3rd fishponds was a partial project, as part of the "Bratislava is preparing for climate change - Bratislava, the greening" project, financially rewarded by the EEA and Norway grants and the State Budget of the Slovak Republic.

**Kľúčové slová:** Protipožiarna nádrž, rybník, Železná studienka, rekonštrukcia

## 1. ÚVOD

Povodie potoku Vydrica v úseku od vrchu Bukovec po Červený most je súčasťou rekreačnej zóny bratislavského lesoparku. V tomto úseku povodia je celkovo sedem vodných nádrží, ktorých správcom je mestská príspevková organizácia Mestské lesy v Bratislave. Tri vyššie situované nádrže boli vybudované v 70. a 90. rokoch 20. storočia, za účelom:

- obnovenia a zlepšenia pomerov prirodzeného prostredia,
- zachytávania dažďovej vody,
- zabezpečenia dostatku vody pre lesnú zver,
- zdroja vody pre protipožiarné účely, k haseniu požiarov lesných porastov
- rekreáciu.

Realizácia štyroch nižšie situovaných nádrží (v Hornej Mlynskej doline) sa viaže k podstatne skoršiemu dátumu, k polovici 19. storočia. Počas svojej histórie sa menil aj účel využitia týchto nádrží. Ich umiestnenie v Hornej Mlynskej doline napovedá, že boli budované za účelom zabezpečenia akumulácie vody v období dostatočných prietokov v potoku Vydrica a následného nadlepšovania týchto prietokov v suchom období tak, aby bola zaistená prevádzka mlynov na potoku Vydrica. Neskôr, po zániku mlynov bolo účelom nádrží ich využitie pre rybné hospodárstvo a rekreáciu. Dnes sú tieto štyri nádrže - Protipožiarna nádrž na Železnej studienke č. 1 až 4., nazývané aj ako Prvý rybník, Druhý rybník, Tretí rybník a Štvrtý rybník na Železnej studienke (ďalej už len ako 1., 2., 3. a 4. rybník), viacúčelové a zabezpečujú všetky účely ich využitia, rovnako ako tri vyššie situované nádrže, s pridruženým účelom výkonu rybárskeho práva.

1., 2., 3. a 4. rybník sú zároveň národnými kultúrnymi pamiatkami „Nádrže vodné – sústava“, evidovanými v Ústrednom zozname pamiatkového fondu pod evidenčným číslom 816/1 až 4. Ich poloha v Hornej Mlynskej doline v Bratislave je na území Ochranného pásma nehnuteľných národných kultúrnych pamiatok.

## 2. HISTORICKÉ SÚVISLOSTI

Mlynárske remeslo má v histórii Bratislavy dlhú tradíciu. Prírodné podmienky a vhodná poloha Bratislavy priam predurčovali jeho rozvoj. O existencii mlynov v Mlynskej doline sa zmieňujú historické záznamy už v 13. storočí. Z roku 1288 pochádza žiadosť historicky prvého známeho prešporského richtára Jakuba, ktorou sa obrátil na kráľa Ladislava IV. O donáciu na územie Vydrice [2]. Až do roku 1844 bolo v Mlynskej doline celkovo deväť mlynov označených číslom a prívlastkom mena ich aktuálneho majiteľa, správcu. V dolnej časti Mlynskej doliny (od ústia Vydrice do Dunaja po tzv. Lamačský prielom) to boli mlyny I. až IV., v strednej časti (od tzv. Lamačského prielomu po Červený most) sa nachádzali mlyny V. až VII. a v hornej časti Mlynskej doliny (od Červeného mostu po Železnú studienku) dodnes existujúce objekty mlynov VIII. a IX..

Zásadný obrat vo využití mlynov nastal v roku 1844. Vtedy mlyny odkúpila Mlynskodolinská účastinná spoločnosť, ktorá však iba dvom z mlynov – VII. a IX. – plánovala ponechať ich pôvodnú funkciu a k tomuto účelu ich zariadila súdobou modernou technológiou. Ostatné mlyny spoločnosť predala alebo dala do prenájmu a ich noví majitelia či nájomníci ich využívali na poľnohospodárske účely alebo ich prerobili na pohostinstvá. Definitívny koniec mlynskej



činnosti na Vydrici prišiel na konci 19. a začiatku 20. storočia. Z viacerých objektov sa stali letoviská či pohostinstvá. Vplyvom zásadnej zmeny charakteru Mlynskej doliny (približne po Vojenskú nemocnicu), vzniku jej hustého osídlenia, industrializácie a dopravného zaťaženia (vybudovanie mostu Lafranconi a diaľnice) sa objekty mlynov I. až IV. dodnes nezachovali. Prvým mlynom po ktorom je možné nájsť fyzickú stopu je:

- V. mlyn, ktorého základy tvoria základy súčasného domu na Mlynskej doline 9.
- VI. mlyn bol od roku 1870 začlenený do komplexu továrne na muníciu (patróny), viedenského podnikateľa Georga Rotha (1834-1903).
- VII. mlyn sa zmenil na výrobný objekt Kühmayerovej továrne, v ktorej sa vyrábali doplnky k vojenským uniformám a v zmenenej podobe sa zachoval dodnes, kedy v jeho budove sídli Pamiatkový úrad Slovenskej republiky.
- VIII. a IX. mlyn prešli nedávnou kompletnou rekonštrukciou a teda sú dodnes zachované v takmer identickej podobe. VIII. mlyn slúži pre rekreačné a reštauračné účely návštevníkov lesoparku a IX. mlyn je vlastníctvom Lesov Slovenskej republiky, š. p..

V období keď mlyny slúžili svojmu účelu, ich funkčnosť priamo závisela od prietoku vody vo Vydrici. V dôsledku jeho kolísania bolo rozhodnuté vybudovať nádrž, ktorá mala zachytávať a kumulovať zrážkovú vodu. ňou sa mali v suchšom období zásobovať vydrické mlyny. Nádrž mala podľa plánov zhromaždiť množstvo vody schopné zásobovať mlyny po dobu tridsiatich dní. V priebehu rokov 1761 – 1762 bola na lokalite zvaná Volská lúka (Ochsenwiese), podľa projektu Wolfganga Reintelera, vybudovaná nádrž z rozlohou 1,81 hektára (rozmer 213 x 85 metrov). Existovala však iba necelý rok. 25. mája 1763 došlo následkom prudkej privalovej vlny k pretrhnutiu hrádze, pričom vytekajúca voda napáchala značné škody [2].

Na ďalších osemdesiat rokov myšlienka vybudovania nádrže zapadla prachom. K jej oživeniu prišlo až v roku 1844 a stála za ňou Mlynskodolinská účastinná spoločnosť, ktorá plánovala kúpu vydrických mlynov. Podľa projektu maďarského vodohospodárskeho inžiniera Józsefa Beszédeša (1787 – 1852) tu bola okolo roku 1846 postavená sústava štyroch vodných nádrží [2], ako funkčná súčasť mlynov. Už od roku 1863, kedy prestali mlyny v doline fungovať, sa o nádrže, v súčasnosti známe ako 1., 2., 3. a 4. rybník na Železnej studienke (číslované od vrchu v smere toku Vydrice), nikto nestaral. Až v roku 1901 sa uskutočnila ich veľká rekonštrukcia, za účelom prečistenia pre potreby rybného hospodárstva a rekreácie. Neskôr v 80. rokoch 20. storočia sa uskutočnila rekonštrukcia funkčných objektov 1. a 2. rybníka a na základe súčasného technického stavu odvádzacieho potrubia zo 4. rybníka, pravdepodobne aj jeho realizácia. K týmto rekonštrukciám žiaľ správca nádrží neviduje žiadnu projektovú dokumentáciu, len čiastkovú právnu dokumentáciu. Žiadne iné rekonštrukčné práce na nádržiach nie sú správcovi známe a ani technický stav, predovšetkým funkčných objektov 3. a 4. rybníka nezodpovedal možným rekonštrukčným zásahom. Kým v roku 2007 revízia technického stavu 1. až 4. rybníka na Železnej studienke, vykonaná Vodohospodárskou výstavbou š.p., preukazovala ešte prevádzkyschopnosť funkčných objektov všetkých nádrží, dlhé obdobie nepretržitej prevádzky a následná korózia materiálov na objektoch 3. a 4. rybníka spôsobili ich nefunkčnosť, alebo len obmedzenú prevádzkyschopnosť, avšak bez zaistenia prevádzkovej bezpečnosti vodnej stavby. Náhle tak vznikla potreba rekonštrukcie týchto objektov.

### 3. REKONŠTRUOVANÉ OBJEKTY 3. A 4. RYBNÍKA

3. a 4. rybník sú bočné nádrže potoka Vydrice. Počas bežného prevádzkového stavu pracujú s vyrovnanou vodnou bilanciou, to znamená, že koľko vody je do nádrže privádzané z Vydrice a z vlastného povodia nádrže počas zrážkových úhrnov, toľko je súčasne do Vydrice vypúšťané. Rybníky odberajú vody z potoka Vydrice, akumulujú ju a následne ju vypúšťajú do koryta potoka Vydrice. Uvedené prevádzkové úkony zabezpečujú funkčné objekty rybníkov, ktorých potreba rekonštrukcie nastala.

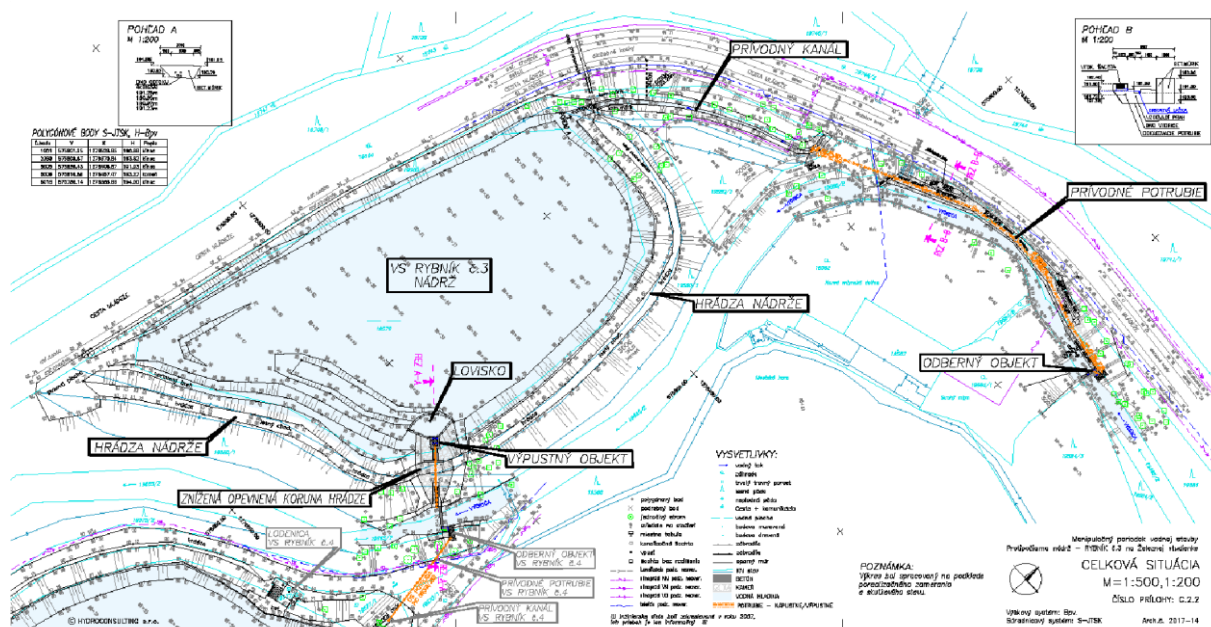
Keďže sú 3. a 4. rybník pamiatkovo chránené, musel byť návrh zrealizovaných rekonštruovaných objektov rybníkov výsledkom skĺbenia:

- požiadaviek Krajského pamiatkového úradu Bratislava (KPÚ BA) na zachovanie historických častí konštrukcií,
- požiadaviek investora – prevádzkovateľa na komfortnosť prevádzky,
- dodržania technických parametrov vodnej stavby spĺňajúcich súčasné kritériá kladené na vodné stavby.

#### 3.1 Objekty 3. rybníka

Funkčné objekty 3. rybníka pred rekonštrukciou aj po rekonštrukcii sú:

- Odborný objekt
- Prívodné potrubie a prívodný kanál
- Výpustný objekt □ Lovisko □ Hrádza nádrže
- Znížená opevnená koruna hrádze



Obr. č.1 Celková situácia 3. rybníka na Železnej studienke [3]

Odborný objekt, ktorým sa cez hrablicovú komoru a nájupnú šachtu odoberá voda z Vydrice do prívodného potrubia a ďalej do nádrže 3. rybníka sa nachádza v koryte Vydrice v meste vzdúvacieho betónového prahu pri areály VIII. mlynu Klepáč. Vzdúvací prah tvorí súčasť odberného objektu. V strede prahu je otvor hradený drevenými latkami, ktorý zabezpečuje

prepúšťanie zostatkového prietoku vo Vydrici na úrovni  $Q_{330d}$ . Konštrukcia betónového prahu bola stabilná a zachovalá, preto ostala ponechaná v svojej pôvodnej forme.

Betónová konštrukcia hrablicovej komory a náпустnej šachty boli značne poškodené a preto boli nahradené novou železobetónovou konštrukciou šachty pôdorysného tvaru L. Nová konštrukcia má vtokový prah a vtokovú šachtu, ktorá slúži aj ako usadzovacia šachta. Na vtoku do šachty sú osadené odnímateľné oceľové hrablice a oceľová sklopná platňa pre možnosť uzavretia vtoku do šachty. Šachta je opatrená odkalovacím potrubím hradeným ručným stavidielkom.



Obr. č.2,3,4 Odberný objekt – pôvodný stav, počas výstavby, nový stav [6]

Prívodné potrubie, bolo od pôvodnej náпустnej šachty trasované do svahu pod Cestu mládeže a ďalej v neznámej trase až po jeho vyústenie do otvoreného prívodného kanála. Prívodné potrubie bolo nefunkčné a vzhľadom na jeho polohu (rozkopávka Cesty mládeže) sa riešila jeho náhrada novým prívodným potrubím situovaným na pravom brehu potoka Vydrice. Nové prívodné potrubie je oceľové pred izolované, svetlého priemeru 275 mm. Potrubie je uložené v objímkach privarených na oceľových nosníkoch, ktoré sú osadené na šiestich betónových podperách. Potrubie je v trase vedenej korytom potoka prekryté masívnou kamennou rovnatinou. Celková dĺžka prívodného potrubia je 89,43 m, sklon potrubia 0,53%.

Prívodný kanál je vedený od vyústenia prívodného potrubia po breh nádrže. Má lichobežníkový profil s priemernou šírkou dna 0,6 m, sklonom svahov 1:1 bez opevnenia a priemernú hĺbku 1 m. Celková dĺžka kanála je 52 m a priemerný sklon dna 0,6 %. Prívodný kanál je v dobrej prevádzkovej kondícii a preto nebola potrebná žiadna jeho úprava.



Obr. č.5,6,7 Prívodné potrubie – pôvodný stav terénu, počas výstavby, nový stav[6]; Obr. č.8 Prívodný kanál [6]

Pôvodný výpustný objekt reguloval hladinu vody v nádrži pomocou drevených hradidiel a slúžil aj ako dnový výpust cez vretenové stavidlo. Veža objektu bola spojená s brehom betónovou lávkou, na brehu bol betónový múr slúžiaci ako opora svahu a zároveň ako opevnená návodná hrana zníženej hrádze. Výpust nemal dostatočnú kapacitu a ani nedisponoval bezpečnostným priepadom. Za týmto účelom mala podľa všetkého v prípade núdze slúžiť znížená koruna hrádze. Preto objekt nebol opatrený ochranným zábradlím, Takéto riešenie v súčasnosti nezodpovedá platným normám. Na vzdušnej strane hrádze bolo v teréne identifikovateľné dnové vypúšťacie liatinové potrubie DN200 a o čosi vyššie betónové prevádzkové potrubie DN300 s pozostatkami kamenného koryta od prevádzkového potrubia. Vzhľadom na zlý technický stav veže, značne skorodované vystrojenie veže, zablendované a zdevastované prevádzkové potrubie bol pôvodný výpustný objekt len čiastočne funkčný, čím nezabezpečoval úplnú prevádzku a preto bol plne nahradený novým výpustným objektom s funkciou bezpečnostného priepadu.

Pri čistení dna nádrže pred vtokom do výpustného objektu bolo odhalené existujúce betónové lovisko v pôdoryse štvrtkruhového tvaru, s opornými krídlami napojenými na vežu výpustného objektu. Lovisko ostalo po rekonštrukcii zachované vo svojom pôvodnom stave. Časť oporných múrov v mieste napojenia bola odšrámovaná a opätovne cez kotvy a novú betónovú konštrukciu napojená na vežu nového výpustného objektu.

Nový výpustný objekt zohľadňuje pôvodný koncept, ktorý vznikol aj vplyvom morfológie terénu. Výpustný objekt je realizovaný ako jeden dilatačný celok s vtokovou vežou, dvomi nezávislými obetónovanými potrubiami – nehradeným prevádzkovým oceľovým potrubím DN400, hradeným dnovým vypúšťacím oceľovým potrubím DN350, oporným blokom a samostatným železobetónovým premostením. Vtoková veža je vystrojená priepadovou drevenou hradidlovou stenou, dvomi kompozitnými prístupovými rebríkmi, vretenovým uzatváracím šupátkom, hrablicami z kompozitu a nornou hradidlovou stenou. Veža je z vrchu uzavretá uzamykateľnými kompozitnými poklopmi. Výtok z nehradeného prevádzkového potrubia je do koryta Vydrice odvedený otvoreným korytom murovaným z kameňa. Návodná aj vzdušná strana hrádze v okolí výpustného objektu je opevnená dlažbou z lomového kameňa. Nový výpustný objekt má združenú funkciu, reguluje hladinu v nádrži pomocou úrovne priepadovej fošňovej steny, hradeným vypúšťacím potrubím zabezpečuje úplné vyprázdnenie nádrže a nehradeným prevádzkovým potrubím s priepadovou fošňovou stenou kapacitne nadimenzovanými tak, aby pri maximálnej hladine v nádrži bezpečne previedli maximálny prietok nádržou, plní aj funkciu bezpečnostného priepadu. Maximálny prietok nádržou je pritom určený ako suma maximálneho možného prítoku do nádrže cez odberný objekt pri prítoku  $Q_{100}$  vo Vydrici a neriadeného prítoku  $Q_{100}$  z vlastného povodia nádrže.



Obr. č.8,9,10 Pôvodný výpustný objekt a odhalené lovisko[6]; Obr. č.11,12 Nový výpustný objekt počas výstavby s pôvodným loviskom a nový stav po napustení nádrže [6]



Obr. č.13,14,15 Výpustný objekt –vzdušná strana hrádze - pôvodný stav, počas výstavby, nový stav [6]

Nádrž tvorí z troch strán obvodová hrádza nádrže. Záznamy o tom čo tvorí hrádzu konštrukčne sa nezachovali. Hrádzu nebolo potrebné rekonštruovať. Rekonštrukcia výpustného objektu si však vynútila otvorenie hrádze na dĺžke cca 18 m. Materiál sa deponoval a následne bola geológom posúdená jeho vhodnosť do spätného zásypu hrádze s tesniacou vrstvou. Hrádzu tak podľa predpokladov tvorí tesniaca časť íl piesčitý F4 CS – sivohnedá, a stabilizačná časť F4 CS – hnedá.

Skladba funkčných objektov 3. rybníka bola po ich rekonštrukcii zachovaná. Funkciu bezpečnostného priepadu zabezpečuje novorealizovaný výpustný objekt. Komfortnosť prevádzky zabezpečuje vtoková šachta odberného objektu, riešená podľa požiadaviek investora, široký betónový prístupový mostík, ľahké kompozitné poklopy a veľkosť vtokovej veže výpustného objektu vystrojenej dvomi prístupovými rebríkmi. Požiadavky KPÚ BA sú zohľadnené v zachovaní pôvodného objektu loviska a pôvodného vzdúvacieho prahu odberného objektu, rovnako v zachovaní pôvodného tvaru pri nových objektoch (znížená koruna hrádze), použitia požadovaného kameňa pre pohľadové časti stavby a dodržania farebnosti konštrukcií (zábradlie, poklopy).

### 3.2 Objekty 4. rybníka

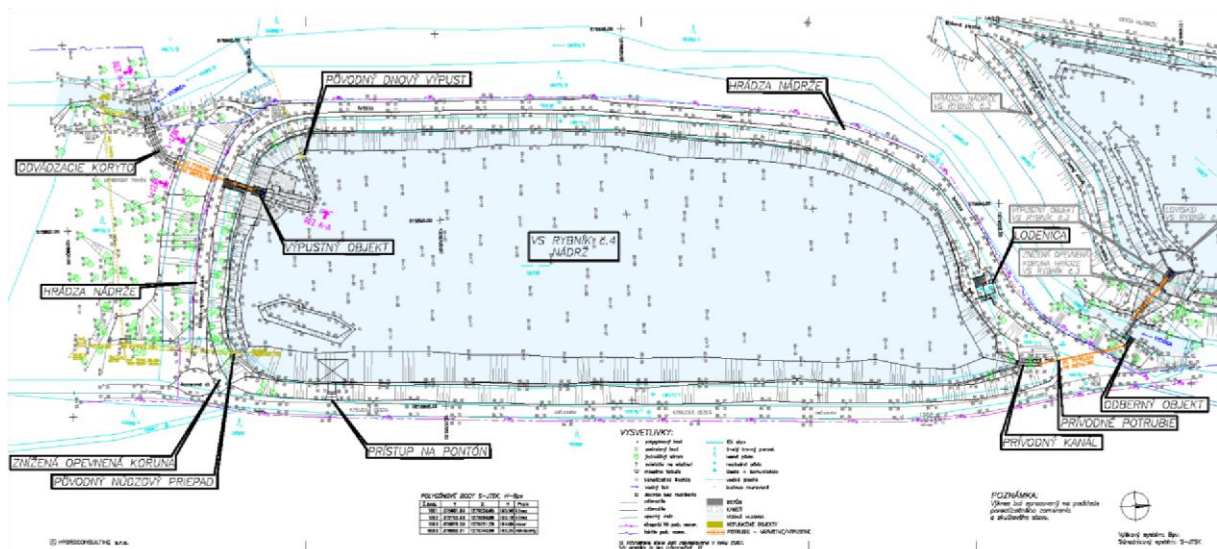
Funkčné objekty 4. rybníka sú:

## Súčasný objekt po rekonštrukcii

- Odberný objekt
- Prívodné potrubie a prívodný kanál
- Výpustný objekt
- Odvádzacie koryto
- Hrádza nádrže
- Znížená koruna hrádze

## Objekty pred rekonštrukciou

- Odberný objekt
- Prívodné potrubie a prívodný kanál
- Núdzový priepad
- Dnový výpust
- Hrádza nádrže
- Znížená koruna hrádze



Obr. č. 16 Celková situácia 4. rybníka na Železnej studienke [3]

Pôvodný odberný objekt bol konštrukčne rovnaký ako pri 3. rybníku. Situovaný bol v koryte Vydrice v mieste vyústenia výtokov z potrubí vypúšťacieho objektu 3. rybníku. Vzdušný prah tohto objektu rovnako ako vtoková šachta boli značne poškodené a preto bol pôvodný odberný objekt kompletne rekonštruovaný a nahradený novým odberným objektom. Nová železobetónová konštrukcia odberného objektu je rovnaká ako pri 3. rybníku.



Obr. č. 17, 18, 19 Odberný objekt – pôvodný stav, počas výstavby, nový stav [6]

V trase pôvodného prívodného potrubia bolo osadené nové prívodné potrubie PVC korugovaná rúra ID300. Trasa potrubia križuje svah napojenia obvodovej hrádze nádrže 4. rybníka na cestu

Kysucká. Potrubie je v celej svojej trase uložené pod terénom. Celková dĺžka je 24,5 m a sklon 2,2%.

Prívodný kanál je len 6,7 m dlhé kameňom na sucho opevnené koryto s pozdĺžnym sklonom 1,94%. Má obdĺžnikový profil s priemernou šírkou dna 0,8 m a priemernú hĺbku 0,6 m. Prívodný kanál je v dobrej prevádzkovej kondícii a preto nebola potrebná žiadna jeho úprava.

Udržiavanie úrovne hladiny v nádrži, prepúšťanie bežných aj povodňových prietokov nádržou a úplné vypúšťanie nádrže pôvodne zabezpečovali na nádrži dva samostatné objekty. Prvé dve funkcie zabezpečoval núdzový priepad umiestnený na ľavej strane zníženej koruny hrádze. A vypúšťanie nádrže dnový výpust riešený ako uzáverová šachta umiestnená v strede telesa hrádze, v juhozápadnom rohu nádrže. V šachte je armatúra na potrubí vyvedenom z jednej strany šachty smerom do nádrže, bez bližšej znalosti dimenzie, či materiálu potrubia, a z druhej strany šachty smerom ku korytu Vydrice, ako betónové potrubie dimenzie DN200. Vtok do potrubia zo strany nádrže bol opatrený mrežou a za plnej prevádzky nádrže pod vodou – neprístupný.

Konštrukcia núdzového priepadu je riešená z betónovej vtokovej časti s pevným prahom, na ktorej boli osadené hrablice. Ďalej na vtokovú časť nadväzuje pôvodný odtokový kanál murovaný z kameňa – kamenný žľab, prekrytý betónovými hranolmi a zeminou. Kamenný žľab je dlhý cca 29 m a výtok z neho je zaústený do lomovej šachty umiestnenej pod hrádzou. Na lomovú šachtu je v smere predĺženia kamenného žľabu napojené odvádzacie potrubie neznámej dimenzie, neznámej dĺžky a neznámeho miesta jeho zaústenia do koryta Vydrice (predpoklad za amfiteátrom na Partizánskej lúke). Toto bolo rekonštrukciou v 80. rokoch 20. storočia nahradené odpadným potrubím, ktoré je na lomovú šachtu napojené pod uhlom 90° voči trase kamenného žľabu. Potrubie DN 400 je dlhé cca 64 m a v strede dĺžky je opatrené kontrolnou šachtou a na konci ústi do Vydrice. Trasa potrubia od lomovej šachty je približne rovnobežná s južnou časťou hrádze.

Núdzový priepad a dnový výpust svojim technickým stavom nespĺňali podmienky prevádzky v zmysle súčasných noriem a požiadaviek. Preto boli rekonštrukciou nahradené novo vybudovaným výpustným objektom a odvádzacím korytom podľa požiadavky investora.



Obr. č.20 Núdzový priepad, dnový výpust a výpustný objekt vo výstavbe – umiestnenie v nádrži; Obr. č. 21 Núdzový priepad - pôvodný stav; Obr. č. 22 Dnový výpust - pôvodný stav; Obr. č. 23 Zamurovaný núdzový priepad v popredí, výpustný objekt s mrežou núdzového priepadu na výmurovke v pozadí – nový stav [6]

Nový výpustný objekt je realizovaný ako vtoková veža s jedným obetónovaným oceľovým nehradeným potrubím DN600, vyvedeným do lichobežníkového odvádzacieho koryta. Odvádzacie koryto je opevnené dlažbou z lomového kameňa a zaústené do koryta Vydrce. Šírka v dne je 0,6 m a sklon brehov 1:1,4. Celková dĺžka odvádzacieho koryta je 13,7 m a má pozdĺžny sklon 0,88%. Vtoková veža je vystrojená priepadovou drevenou hradidlovou stenou osadenou na pevnej železobetónovej stienke s krátkym vypúšťacím potrubím hradeným vretenovým šupátkom. Ďalej sú tu dva kompozitné prístupové rebríky, hrablice z kompozitu a normá hradidlová stena. Veža je z vrchu uzavretá uzamykateľnými kompozitnými poklopmi. Návodná strana hrádze v okolí výpustného objektu je po lavičku hrádze opevnená dlažbou z lomového kameňa. Návodný svah hrádze po korunu a vzdušná strana hrádze sú zatrávnené. Prístup na objekt je zabezpečený prístupovými schodmi a železobetónovou lávkou. Na lávke a na pochvôdznej ploche veže je inštalované uzamykateľné ochranné zábradlie. Nový výpustný objekt má, rovnako ako výpustný objekt na 3. rybníku, združenú funkciu. Reguluje hladinu v nádrži pomocou úrovne priepadovej fošňovej steny, hradeným vypúšťacím potrubím zabezpečuje úplné vyprázdnenie nádrže a nehradeným prevádzkovým potrubím s priepadovou fošňovou stenou kapacitne nadimenzovanými tak, aby pri maximálnej hladine v nádrži bezpečne previedli maximálny prietok nádržou, plní aj funkciu bezpečnostného priepadu. Maximálny prietok nádržou je pritom určený ako suma maximálneho možného prítoku do nádrže cez odberný objekt pri prítoku  $Q_{100}$  vo Vydrici a neriadeného prítoku  $Q_{100}$  z vlastného povodia nádrže.



Obr. č.24, 25, 26 Výpustný objekt a odvádzacie koryto na vzdušnej strane hrádze - nový stav [6]

Nádrž tvorí z troch strán obvodová hrádza nádrže. Záznamy o tom čo tvorí hrázu konštrukčne sa rovnako ako pri 3. rybníku nezachovali. Hrázu nebolo potrebné rekonštruovať. Výstavba nového výpustného objektu si však vynútila otvorenie hrádze a geológom sa potvrdili rovnaké druhy zemín ako pri 3. rybníku. Na južnej strane nádrže je koruna hrádze na dĺžke cca 7 m znížená o 1,25 m, čo malo v minulosti pravdepodobne ako bezpečnostný priepad.

Skladba funkčných objektov 4. rybníka bola rekonštrukciou mierne pozmenená. Z dôvodu nutnosti vyradenia objektov núdzového priepadu a dnového výpustu z prevádzky, pribudol novobudovaný výpustný objekt založený na princípe prevádzky so združenou funkciou. Komfortnosť prevádzky zabezpečuje vtoková šachta odberného objektu, riešená podľa požiadaviek investora, široký betónový prístupový mostík, ľahké kompozitné poklopy a veľkosť vtokovej veže výpustného objektu vystrojenej dvomi prístupovými rebríkmi. Požiadavky KPÚ BA sú zohľadnené použitím požadovaného kameňa pre pohľadové časti stavby, dodržania farebnosti konštrukcií (zábradlie, poklopy) a v zachovaní pôvodných



objektov vypúšťania, ale ich znefunkčnenia zabetónovaním. Časti, ktoré bolo potrebné na základe tejto stavebnej úpravy odstrániť sú zachované na novom výpustnom objekte. Z núdzového priepadu sú to hrablice upevnené na vzdušnej strane vtokovej veže novovybudovaného výpustného objektu, na výmurovke z lomového kameňa, ako pamätný artefakt a z dnového výpustu sú to kamenné hranoly z prekrytia vtokovej časti osadené ako bočnice kamennej časti prístupových schodov novovybudovaného výpustného objektu.

#### 4. ZÁKLADNÉ PARAMETRE 3. A 4. RYBNÍKA

Typ, účel a ani základné parametre vodohospodárskych objektov 3. a 4. rybník sa rekonštrukciou ich funkčných objektov nijako nezmenili. Počas rekonštrukcie bolo odbahnené celé dno 3. rybníka a geodeticky zamerané kompletne obidve nádrže. Súhrnne je možné uviesť ich základné parametre:

##### 3. rybník na Železnej studienke

- Najnižšie dno nádrže 188,19 m n. m.
- Maximálna hladina v nádrži 191,05 m n. m.
  - hĺbka vody 2,86 m
  - celkový objem nádrže 11 270 m<sup>3</sup>
  - zatopená plocha 5 624 m<sup>2</sup>
- Maximálna prevádzková hladina 190,80 m .n. m.
  - hĺbka vody 2,61 m
  - zásobný priestor 9 877 m<sup>3</sup>
  - zatopená plocha 5 521 m<sup>2</sup>
- Neovládateľný retenčný priestor 190,80 m n. m. až 191,05 m n. m. 1 394 m<sup>3</sup>
- Znížená opevnená koruna hrádze 191,40 m n. m.
- Kóta koruny obvodovej hrádze 193,05 m n. m.
  - výška nad terénom 4,3 m
  - šírka v korune 2,5 až 2,6m
  - celková dĺžka 200 m
- sklon návodného svahu - na výške cca 1,2 m od päty 1:3  
- 1 m prekovaný kolmým laťovým plôtikom, v súčasnosti ako krovinatý porast  
- od porastu po korunu na výške cca 1,5 m 1:2
- sklon vzdušného svahu 1:2 až 1:2,5
- Maximálny výpočtový riadený + neriadený prietok nádržou 194 l.s-1

##### 4. rybník na Železnej studienke

- Najnižšie dno nádrže 184,00 m n. m.
- Maximálna hladina v nádrži 187,40 m n. m.
  - hĺbka vody 3,40 m
  - celkový objem nádrže 27 662 m<sup>3</sup>
  - zatopená plocha 12 802 m<sup>2</sup>
- Maximálna prevádzková hladina 187,08 m .n. m.
  - hĺbka vody 3,08 m
  - zásobný priestor 23 613 m<sup>3</sup>
  - zatopená plocha 12 528 m<sup>2</sup>
- Neovládateľný retenčný priestor 187,08 m n. m. až 187,40 m n. m. 4 049 m<sup>3</sup>
- Znížená opevnená koruna hrádze 188,90 m n. m.

- Kóta obvodovej koruny hrádze 190,15 m n. m. - výška nad terénom 5,46 m
  - šírka v korune 2,7 m
  - celková dĺžka 330 m
- sklon návodného svahu - na výške cca 1,2 až 1,9 m od päty 1:2,5 až 1:3,5
  - 0,8 m prekonaný kolmým laťovým plôtikom
  - od plôtika po korunu na výške cca 2,6 až 3 m 1:2
- sklon vzdušného svahu 1:2
- Maximálny výpočtový riadený + neriadený prietok nádržou 309 l.s-1

## 5. ZÁVER

Rekonštrukcia vodohospodárskych objektov 4. a 3. rybník na Železnej studienke prebehla v období október 2016 až jún 2017. Po ročnej overovacej prevádzke bola stavba rozhodnutím vydaným koncom mája 2018 skolaudovaná. Pri konečnej cene za dielo 198 699 € bez DPH [4], boli práce realizované v rámci projektu „ACC02003 – Bratislava sa pripravuje na zmenu klímy – pilotná aplikácia opatrení v oblasti zadržiavania zrážok v urbanizovanom prostredí“ spolufinancovaného z Finančného mechanizmu Európskeho hospodárskeho priestoru a Nórska, štátneho rozpočtu Slovenskej republiky a rozpočtu objednávateľa [5].

## ZOZNAM LITERATÚRY

- [1] „Rekonštrukcia vodohospodárskych objektov. Protipožiarna nádrže na Železnej studienke č. 3 a 4.“ Dokumentácia zmeny stavby pred dokončením a podrobnosťami realizačnej dokumentácie, Hydroconsulting s.r.o., Bulharská 70, 821 04 Bratislava, 01/2016.
- [2] „Technické pamiatky Mlynskej doliny“- zdroj: [https://sk.wikipedia.org/wiki/Technické\\_pamiatky\\_Mlynskej\\_doliny](https://sk.wikipedia.org/wiki/Technické_pamiatky_Mlynskej_doliny)
- [3] „Protipožiarna nádrž – Rybník č. 3 na Železnej studienke“; „Protipožiarna nádrž – Rybník č. 4 na Železnej studienke“ Manipulačný poriadok pre vodnú stavbu, Hydroconsulting s.r.o., Bulharská 70, 821 04 Bratislava, 06/2018
- [4] „Rekonštrukcia vodohospodárskych objektov. Protipožiarna nádrže na Železnej studienke č. 3 a 4.“ Detaily obstarávania – zdroj: [www.uvostat.sk](http://www.uvostat.sk)
- [5] „Zmluva o dielo č. MAGSP 1600021“ - zverejnené <https://zverejnovanie.bratislava.sk>, 10/2016
- [6] Fotodokumentácia projektanta

## AUTOR

Ing. Michaela Macková, PhD.  
 Hydroconsulting s.r.o., Bulharská 70, 821 04 Bratislava  
 e-mail: [hydroconsulting@stonline.sk](mailto:hydroconsulting@stonline.sk)

## REKONSTRUKCE VODNÍHO DÍLA ŠANCE

### REHABILITATION OF ŠANCE DAM

*Lumír Peterek*

**Abstrakt:** Vodní dílo Šance bylo vybudováno v letech 1964-69 jako vodárenská nádrž s rockfillovou sypanou hrází výšky 65m a objemem nádrže 62 mil.m<sup>3</sup>. Kromě zásobování pitnou vodou zajišťuje povodňovou ochranu obcí pod nádrží, především pak Ostravice, Frýdku-Místku a také Ostravy. V září 2015 byla zahájena celková rekonstrukce vodního díla. V rámci rekonstrukce vodního díla se podařilo realizovat celou řadu opatření, které zajistí bezpečné převedení desetitisícileté povodně s kulminací 720m<sup>3</sup>/s a bezpečný a spolehlivý provoz vodního díla v budoucím období. Rekonstrukce byla dokončena v říjnu 2018. Stavba s celkovým nákladem téměř 20 mil.Euro byla z větší části financována ze státního rozpočtu.

**Abstract:** Šance Dam was built in 1964-69 as a water supply reservoir. The rockfill dam is 65m high and reservoir capacity is 62mil.m<sup>3</sup>. Apart from drinking water supply, the dam serves for flood control. It protects town and cities below, namely Ostravice, Frýdek-Místek and Ostrava. The rehabilitation work started in September 2015. There were done several necessary measures for safety of the dam during ten thousand years flood discharge (720m<sup>3</sup>/s). Safety and reliability are the most important issue for the dam in the future. Rehabilitation was finished in October 2018. The cost of the structure was nearly 20mil.Euro and was covered by state budget mostly.

### ÚVOD

Vodní nádrž Šance leží v centrální části Moravskoslezských Beskyd a vznikla přehrazením údolí vodního toku Ostravice mezi horskými masivy Lysé Hory a Smrku. Nádrž je součástí Vodohospodářské soustavy povodí Odry.



*Obr.1 Vodní nádrž Šance*

## ÚČEL VODNÍHO DÍLA

- Dodávka surové vody pro úpravu na vodu pitnou
- Zajištění minimálních průtoků pod přehradou
- Nalepšování průtoků pro průmyslové odběry
- Ochrana před povodněmi
- Účelový chov ryb
- Energetické využití

## ÚČEL REKONSTRUKCE VODNÍHO DÍLA

Účelem rekonstrukce vodního díla Šance bylo realizovat opatření na vodním díle pro bezpečné převedení extrémních povodní podle nově zavedených evropských standardů a souvisejícími stavebními úpravami zajistit bezpečný a spolehlivý provoz vodního díla v budoucím období. Vodní dílo zajistí po rekonstrukci bezpečné převedení návrhové tisícileté povodňové vlny a odolá účinkům kontrolní desetitisícileté povodňové vlny.

### Základní technické údaje vodního díla:

Povodí nádrže	146,4 km <sup>2</sup>
Délka hráze v koruně	342 m
Max. výška hráze	65,0 m
Celkový objem nádrže	61,8 mil. m <sup>3</sup>
z toho zásobní	43,1 mil. m <sup>3</sup>
retenční	16,2 mil. m <sup>3</sup>
stálý	2,5 mil. m <sup>3</sup>
Délka záplavy	7,6 km
Šířka záplavy	600 m
Zatopená plocha	337 ha
Zaručený odtok	2,3 m <sup>3</sup> /s
Transformační účinek nádrže	Q <sub>100</sub> = 313 m <sup>3</sup> /s
	Q <sub>100transf</sub> = 70 m <sup>3</sup> /s
	Q <sub>10 000</sub> = 730 m <sup>3</sup> /s
	Q <sub>10 000transf</sub> = 390 m <sup>3</sup> /s

### Hlavní stavební objekty rekonstrukce:

- přeliv, skluz, vývar a odpadní koryto
- úpravy na koruně hráze
- zajištění sesuvu v údolí Řečice
- stabilizační přísyp hráze

### Související stavební objekty:

- Rekonstrukce injekční clony
- Výstavba nové provozní budovy
- Úpravy odběrné věže

- Úpravy obslužných komunikací
- Modernizace řídicího systému vodního díla
- Modernizace elektronického zabezpečovacího systému vodního díla
- Modernizace systému měření, přenosu a vyhodnocování TBD (technicko-bezpečnostního dohledu)

## REKONSTRUKCE PŘELIVU, SKLUZU, VÝVARU A ODPADNÍHO KORYTA

Betonové konstrukce bočního přelivu, spadiště a skluzu s kapacitou  $120 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$  byly vybourány prakticky v celém rozsahu, aby uvolnily místo vybudování nových konstrukcí s kapacitou  $390 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$  zajišťujících bezpečné převedení extrémních povodňových vodním dílem. Ze stejného důvodu pak bylo nutné částečně odbourat stávající konstrukce vývaru a na něj navazujícího odpadního koryta za účelem zvýšení jejich kapacity k utlumení energie vodního proudu za výtoku ze skluzu a ze spodních výpustí a bezpečného převedení povodňových průtoků přes nově vybudované konstrukce do navazujícího koryta řeky Ostravice. Nové konstrukce přelivu a skluzu jsou řešeny jako železobetonový polarám.

Zvláštní pozornost při provádění bouracích a výkopových prací v prostoru nově budovaných konstrukcí přelivu, spadiště a skluzu byla věnována zajištění stability stěn výkopů. Nutný rozsah výkopů v blízkosti stávajících i nových konstrukcí vodního díla si vyžádal nutnost zabezpečení zejména pravé stěny stavební jámy pomocí mikropilotové stěny, lanových a tyčových kotev a stříkaného betonu. Z důvodu zajištění bezpečnosti při provádění prací byly případné pohyby ve skalním masívu za stěnami výkopu pravidelně monitorovány pomocí instalovaných inklinometrů, dynamometrů a pevných pozorovacích bodů.

V rámci stavebních prací bylo vybouráno více než  $5\,000 \text{ m}^3$  původních betonových konstrukcí. V rámci výstavby nových bezpečnostních objektů přehrady pak bylo použito více než  $10\,000 \text{ m}^3$  betonu.

### Hlavní technické parametry původní konstrukce přelivu:

kapacita přelivu	$120 \text{ m}^3/\text{s}$
délka přelivné hrany	16,5 m kóta
koruny přelivné hrany	504,20 m .m.
délka spadiště	26 m
šířka dna spadiště	5,50 – 3,25 m

### Hlavní technické parametry nové konstrukce přelivu:

kapacita přelivu při hladině mezní bezpečné 507,91 m n.m.	$390 \text{ m}^3/\text{s}$
kapacita přelivu při hladině maximální 506,91 m n.m.	$215 \text{ m}^3/\text{s}$
délka přelivné hrany 1 s kótou koruny 504,20 m n.m.	12,90 m
délka přelivné hrany 2 s kótou koruny 505,90 m n.m.	35,70 m
délka spadiště	47,44 m
maximální šířka spadiště ve dně	15,90 m
podélný sklon dna spadiště	2 %



Obr.2 Původní konstrukce přelivu



Obr.3 Nová konstrukce přelivu

**Hlavní technické parametry původní konstrukce skluzu:**

kapacita skluzu	120 m <sup>3</sup> /s
délka skluzu v ose	170 m
šířka skluzu ve dně	6,5 m
podélný sklon dna	3,0; 27,0; 45,0; 2,0 %

**Hlavní technické parametry nové konstrukce skluzu:**

kapacita skluzu při hladině mezní bezpečné 507,91 m.n.m.	390 m <sup>3</sup> /s
délka skluzu v ose	184,93 m
šířka skluzu ve dně maximální/běžná	15,9/13,0 m
podélný sklon dna	2,0; 27,30; 45,0; 6,0 %



Obr.4 Původní konstrukce skluzu



Obr.5 Nová konstrukce skluzu

**Hlavní technické parametry původní konstrukce vývaru:**

délka vývaru	42,4 m
šířka vývaru ve dně	11,0 – 16,0 m
hloubka vývaru	3,7 m

Pro realizaci betonové konstrukce dna skluzu bylo na stavbě zkonstruováno zařízení fungující jako bednění s horní posuvnou vibrační lištou, které umožnilo provádění betonáže i ve sklonech dosahujících 45°.

Protipovodňovou ochranu staveniště zajišťovala po dobu výstavby betonová stěna vybudovaná v prostoru před nově budovaným objektem bočního přelivu. Protipovodňová stěna zajišťovala po dobu výstavby v kombinaci se sníženou hladinou vody v nádrži ochranu staveniště před účinkem povodňových stavů v nádrži až do výše tisícileté povodně.



Obr.6 Zařízení pro betonáž dna skluzu



Obr.7 Protipovodňová ochrana staveniště

#### Hlavní technické parametry nové konstrukce vývaru:

délka vývaru	42,4 m
šířka vývaru ve dně	16,0 – 20,15 m
hloubka vývaru	3,7 m

#### Hlavní technické parametry nového odpadního koryta:

celková délka upravovaného koryta	63,45 m
šířka koryta ve dně	20,15 – 11,0 m
podélný sklon koryta	0,35 %
návrhový průtok	120 m <sup>3</sup> /s



Obr.8 Vývar a odpadní koryto po rekonstrukci

## ÚPRAVY NA KORUNĚ HRÁZE

Zvýšené požadavky na bezpečnost hráze si vyžádaly navýšení její koruny o 0,5 m nad úroveň stanovené mezní bezpečné hladiny v nádrži, která by mohla být dosažena při výskytu tzv. desetitisícileté povodně. Součástí rekonstrukce koruny hráze tak bylo i navýšení úrovně její těsnicí části propojením vnitřního těsnicího jádra hráze s konstrukcí vlnolamu pomocí těsnicí fólie. Osazení nové konstrukce vlnolamu pak eliminuje riziko možného přelítí koruny hráze povodňovou vlnou vzniklou v souvislosti s možným sesuvem svahu v bočním údolí Řečice. S korunou hráze byla provedena i rekonstrukce přemostění skluzu.



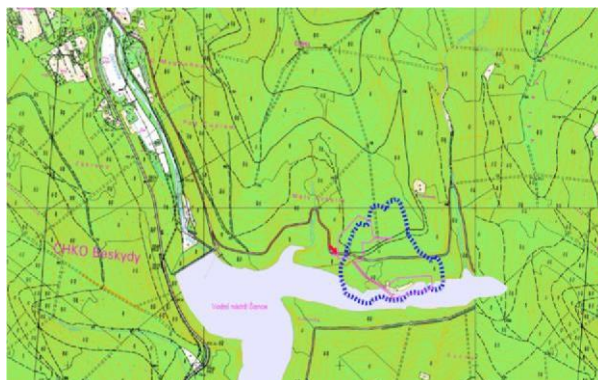
Obr.9 Původní koruna hráze



Obr.10 Koruna hráze po rekonstrukci

## ZAJIŠTĚNÍ SESUVU V ÚDOLÍ ŘEČICE

Sesuv Řečice se nachází na pravém údolním svahu potoka Řečice. Historické inženýrskogeologické průzkumy zjistily, že jižní svah Čupelu, tvořící pravý břeh nádrže Šance v bočním údolí Řečice, byl v minulosti porušen rozsáhlým sesuvem s mocností 14–20 metrů, který byl nazván podle své lokalizace sesuv „Řečica“. Předpoklad oživení svahového pohybu po naplnění vodní nádrže Šance se potvrdil a od té doby probíhá kontrolní sledování pohybu sesuvu. Částečným odtěžením pravé strany sesuvu s vytvořením přítěžovací lavice v patě jeho střední části se snížilo riziko vzniku ničivé povodňové vlny. V kombinaci s provedenými úpravami na koruně hráze pak toto opatření zajistí, že při zmírněném rozsahu sesuvu do zátopy při probíhající tlumení kontrolní povodňové vlny PV10 000 nedojde k přelítí hráze.



Obr.11 Místo sesuvu v údolí vodního toku Řečice



Po vykácení dotčeného prostoru a provedení skrývky vrstvy hlinitokamenitých sutí o mocnosti cca 2,8 m byly postupně odtěžovány vrstvy sesuvu až po úroveň smykové plochy. Celkový rozsah odtěžovaných vrstev byl v průběhu prací upřesňován na základě výsledků z průběžného provádění inženýrsko-geologických měření. Celková mocnost odtěžených vrstev v prostoru sesuvu nakonec dosáhla více než 5 m v horní části sesuvu a téměř 13 m ve spodní části sesuvu.

Odtěžovaný materiál sesuvu byl deponován v jeho spodní části, kde z něj byl za pokynů geologa separován a následně namíchán vhodný materiál pro stabilizační přísyp přehradní hráze vodního díla Šance. Ostatní odtěžený materiál nevhodný pro přísyp hráze byl uložen do stabilizačního přísypu sesuvu nad úroveň maximální hladiny vody v nádrži. V prostoru sesuvu bylo odtěženo celkem cca 250 000 m<sup>3</sup> zeminy.

Na závěr byl pod odtěženou částí sesuvu vybudován odvodňovací systém zajišťující bezpečné odvedení srážkových vod z obnažené smykové plochy sesuvu mimo prostor sesuvného území.



Obr.12 Zajištění sesuvu a příprava materiálu pro stabilizační přísyp hráze

## STABILIZAČNÍ PŘÍSYP HRÁZE

Stabilizační přísyp hráze je situován na ploše podél vzdušné paty hráze a na vzdušném líci hráze a jeho účelem je zvýšení stability současného tělesa sypané hráze (původní stupeň stability hráze neodpovídal normě) tak aby byla nově hodnota stupně stability vyšší než 1,5 a byly tak splněny požadavky normy pro sypané hráze ČSN 75 2310. Celková výška přísypu hráze dosahuje 43 m. Těleso přísypu bylo prováděno po hutněných vrstvách o mocnosti 60 – 90 cm. Na vybudování přísypu bylo použito cca 132 tis. m<sup>3</sup> zeminy.



*Obr.13 Stabilizační přísyp hráze*

## ÚPRAVA ODBĚRNÉ VĚŽE

Strojovnu odběrné věže spojuje se břehem vodní nádrže závěsná ocelová lávka, kterou bylo nutné v rámci rekonstrukce přelivu a spadiště prodloužit o cca 15 m. V rámci rekonstrukce strojovny odběrné věže byl v plném rozsahu demontován stávající skleněný obklad a nahrazen novým skleněným systémovým opláštěním. Součástí rekonstrukce byla i oprava poškozených částí betonových konstrukcí věže a výměna hydroizolace ploché střechy. Rekonstrukce se dočkalo i vnitřní opláštění strojovny. Všechny práce pak bylo nutné naplánovat tak, aby byl po celou dobu rekonstrukce zachován provoz veškerého strojního, technologického a elektro zařízení umístěného ve strojovně odběrné věže.



*Obr.14 Původní opláštění strojovny*



*Obr.15 Nové opláštění strojovny*

## VÝSTAVBA NOVÉ PROVOZNÍ BUDOVY

Původní provozní budova musela ustoupit nově budované konstrukci spadiště, což si vynutilo její celkovou demolicí. Na přibližně stejném místě více zahloubeném do přílehlého svahu pak vyrostla budova nová, jejíž konstrukce je provedena převážně z železobetonu, avšak jejím

opláštěním z přírodních materiálů jako je dřevo a kámen se podařilo tuto technickou stavbu vhodně začlenit do rázu okolní krajiny. Součástí provozní budovy je i moderní informační centrum, které bude po většinu roku přístupné veřejnosti a kromě zajímavostí o historii i současnosti vodního díla Šance zde budou moci zájemci získat například nové informace o fungování dalších vodních děl, které jsou součástí vodohospodářské soustavy ve správě Povodí Odry.



Obr. 16 Původní provozní budova



Obr. 17 Nová provozní budova

## ORGANIZACE A FINANCOVÁNÍ REKONSTRUKCE

- Investorem stavby bylo Povodí Odry, státní podnik s částí dotačního programu MZE „Prevence před povodněmi II“.
- Projektant: AQUATIS a.s.
- Rozpočtové náklady: cca 730 mil. Kč.
- Skutečné náklady: cca 473 mil. Kč
- Zhotovitel: OHL ŽS a.s.
- Výstavba : září 2015 – říjen 2018

## ZÁVĚR

Více jak tři roky trvající rekonstrukce vodního díla zakončila dlouholetý proces návrhů a přípravy opatření na jeho bezpečný provoz, který započal již po povodních v roce 1997. Přehrada je nyní připravena bezpečně plnit všechny požadované účely, zejména pak zásobování obyvatel kvalitní pitnou vodou a tlumení povodňových vln.

Poděkování patří všem, kteří se na přípravě a rekonstrukci vodního díla Šance podíleli.

## LITERATURA

[1] Pöyry Environment a.s., VD Šance - převedení extrémních povodní, Brno 2013

## AUTOR

Ing. Lumír Peterek

Povodí Odry, státní podnik, závod Frýdek-Místek, Horymírova 2347

peterek@pod.cz

# RIEŠENIE PROTIPOVODŇOVEJ OCHRANY OBCÍ V RÔZNYCH HYDROLOGICKÝCH PODMIENKACH

## FLOOD PROTECTION DESIGN FOR MUNICIPALITIES IN VARIOUS HYDROLOGICAL CONDITIONS

*Andrej Šoltész, Lea Čubanová, Adam Janík, Dana Baroková*

**Abstrakt:** Príspevok poukazuje na zvýšenú potrebu protipovodňovej ochrany obcí ako dôsledok zmeny hydrologických parametrov, nekontrolovanej výstavby v blízkosti tokov ako aj zanesenia koryta, či už nánosmi, odpadkami alebo náletovým porastom. Komplexný prístup spočíval vo vzájomnej integrácii výsledkov viacerých matematických modelov. Podľa nasimulovaných výsledkov boli navrhnuté vhodné preventívne protipovodňové opatrenia a následne niektoré z nich realizované na území, napr. záchytné nádrže (poldre) v horskej oblasti nad mestskými sídlami, hrádze a ich navýšenie, regulácia a úprava toku spolu s jeho vyčistením. Navrhované protipovodňové opatrenia by mali pomôcť pri zmiernení vplyvu bleskových povodní na obývané oblasti malých a dokonca i väčších miest.

**Abstract:** The contribution highlights the need of flood protection of municipalities as a consequence of changes in hydrological parameters, uncontrolled build-up near the streams as well as the sedimentation of the river bed by deposits, rubbish or vegetation. The complex approach consisted of mutual integration of results of several mathematical models. According to the simulated results, appropriate preventive flood protection measures have been proposed and subsequently some of them implemented into the territory, e.g. detention reservoir in the mountain area above the urban regions, dikes and their increase, regulation and training of the river bed together with its dredging and cleaning. Proposed flood protection measures should help to mitigate the impact of flash floods on the urban regions of small and even larger cities.

**Kľúčové slová:** povodeň, protipovodňová ochrana, hydraulické simulácie, opatrenia. **Key words:** flood, flood protection, hydraulic simulations, measures.

### 1. ÚVOD

V súčasnosti je právnym predpisom k problematike povodní Zákon č. 7/2010 Z. z. o ochrane pred povodňami. Ten definuje povodeň ako dočasné zaplavenie zvyčajne nezaplaveného územia v dôsledku pôsobenia prírodných činiteľov, ktorými sú najmä zrážky, topenie sa snehu, zátarasy vytvorené ľadovými kryhami, ľadové zápchy, rôzne prekážky obmedzujúce plynulý odtok vody, pričom je jedno, či sa prekážky brániace odtoku vody vytvorili v koryte vodného toku alebo na teréne, a pod. Jedinou príčinou povodne, ktorú môže spôsobiť zlyhanie technického zariadenia, je porucha na vodnej stavbe, pričom záplavu územia musí spôsobiť voda, ktorá sa vyliala z koryta vodného toku. To znamená, že za povodeň nemožno považovať zaplavenie územia ako následok poruchy vodovodného potrubia, zapchania kanalizačných vpustov alebo nedostatočnej prietokovej kapacity kanalizačného zberača [1].

Povodeň je pomerne zriedkavý fenomén s mimoriadnymi prejavmi v odtokovom procese.

Vznik ničivej povodne, okrem vysokých zrážok, spoločne podmieňujú mnohé ďalšie činitele. Okrem jestvujúcich orografických, hydrogeologických, pedologických a vegetačných pomerov, sú to nasýtenosť povodia predchádzajúcimi zrážkami, akumulovaný sneh, činnosť človeka (napríklad hospodárenie v lesoch a na poľnohospodárskej pôde, vývoj miest, vidieckeho osídlenia a krajiny, výstavba retenčných priestorov, úpravy vodných tokov a pod.), ale napríklad aj výskyt kladných teplôt vzduchu v zime. Každá povodeň je, čo do svojho vzniku, rozsahu a priebehu jedinečný prírodný úkaz, ktorý sa takmer všade, nielen na území Slovenska vyskytoval odpradáva. Túto skutočnosť potvrdzujú aj historické záznamy a historické značky po povodniach [1].

Zjednodušene, ale pre podmienky na Slovensku dostatočne výstižne, možno uviesť tri základné cesty vody, po ktorých povodne zaplavujú územie [1]:

povrchovým odtokom spôsobeným zrážkami, intenzívnym topením sa snehu a ich vzájomnou kombináciou:

- a) pritekaním vody po teréne zo svahov,
- b) zamedzením alebo obmedzením odtoku vody z územia do vodných tokov, 2. vystúpením vody z koryt vodných tokov na brehy:
  - a) pri zväčšení prietoku vody nad prietokovú kapacitu koryta,
  - b) po vzniku prekážky v koryte vodného toku aj pri relatívne malom prietoku,
3. vystúpením hladiny podzemnej vody nad povrch terénu
  - a) v dôsledku dlhotrvajúceho vysokého vodného stavu v okolitých tokoch,
  - b) po vysokom alebo úplnom nasýtení pôdy vodou v predchádzajúcom období, keď ďalšia voda z atmosférických zrážok už nemôže vsakovať, pretože zóna nasýtenia vyplnila celý pôdny profil.

Podľa definície v smernici 2007/60/ES sú pre povodeň charakteristické tri základné znaky [1]:

1. Povodeň musí zaplaviť územie, ktoré zvyčajne nie je zaliate vodou.
2. Povodeň zvyčajne spôsobuje voda vyliata z vodných útvarov – z riek, bystrín, dočasných vodných tokov alebo z mora.
3. Záplava územia spôsobená poruchou technického zariadenia môže, ale nemusí byť považovaná za povodeň.

## 2. PRÍSTUP K PROTIPOVODŇOVÝM OPATRENIAM

Väčšina obyvateľstva a priemyslu sa nachádza vo veľkých mestských oblastiach, takže sa musí venovať zvýšené úsilie o riešenie protipovodňových opatrení práve v týchto miestach. Rieky pretekajúce cez mestá nie vždy spôsobujú záplavy; povodne môžu byť spôsobené aj vysokou intenzitou dažďa v kombinácii s nevhodne navrhnutými kanalizačnými systémami. Zvláštna pozornosť by sa mala v súčasnosti venovať odtoku dažďovej vody, t. j. kapacite kanalizačných systémov našich miest. Stratégia ekologického manažmentu povodní by mala byť založená na zlepšení využívania pôdy v povodí, predchádzaní rýchleho odtoku vo vidieckych a mestských oblastiach a zvýšenom úsilí o obnovu prírodných záplavových oblastí riek. Mala by zabezpečiť opätovné aktivovanie prírodných mokradí a záplavových oblastí, a tým zmierniť povodne. Je tiež vhodné navrhovať ovládateľné poldre, ktoré by sa mali prednostne využívať ako rozsiahle

pastviny alebo obnoviť aluviálne lesy na vybraných miestach bývalých záplavových oblastí, aby sa znížili povodňové špičky. V obytných oblastiach s obmedzeným priestorom sa odporúča doplniť protipovodňovú ochranu protipovodňovými múrmi, mobilnými zábranami a uzávermi alebo jednoduchými pieskovými vreckami. Použitie mobilných (dočasných) bariér protipovodňovej ochrany môže poskytnúť potrebnú flexibilitu a zvýšiť možnosti efektívneho riadenia a zvládnutia širokej škály povodňových udalostí [2].

Rozmanitosť prírody neumožňuje uplatňovať všade a bez rozdielu jeden spôsob ochrany pred povodňami. Túto skutočnosť zákon č. 7/2010 Z. z. o ochrane pred povodňami rešpektuje tým, že ustanovuje päť základných skupín preventívnych technických a netechnických opatrení na ochranu pred povodňami [1]:

1. Opatrenia, ktoré zvyšujú retenčnú schopnosť povodia alebo vo vhodných lokalitách podporujú prirodzenú akumuláciu vody, spomaľujú odtok vody z povodia do vodných tokov, a ktoré chránia územia pred zaplavením povrchovým odtokom, napríklad úpravy v lesoch, na poľnohospodárskej pôde a urbanizovaných územiach.
2. Opatrenia, ktoré znižujú maximálne prietoky povodní, napríklad vodohospodárske nádrže (priehrady), zdrže (hate) a poldre.
3. Opatrenia, ktoré chránia územia pred zaplavením vodou z vodných tokov, napríklad úpravy vodných tokov, ochranné hrádze alebo protipovodňové línie.
4. Opatrenia, ktoré chránia územia pred zaplavením vnútornými vodami, napríklad sústavy odvodňovacích kanálov a čerpacích staníc.
5. Opatrenia, ktoré zabezpečujú prietokovú kapacitu korýt vodných tokov, napríklad odstraňovanie nánosov z korýt a porastov z ich brehov.

## 2.1 Postup návrhu protipovodňových opatrení

Postup navrhovania opatrení protipovodňovej ochrany spája do jedného komplexu technické znalosti, hydraulické výpočty a simulácie, požiadavky záujmovej oblasti a priestorové možnosti. Každá riešená mestská oblasť je jedinečná, a preto je návrh obmedzený rôznymi okrajovými podmienkami, napr. mostami, priepustami priamo v toku, novou výstavbou domov na brehoch v tesnej blízkosti tokov, nedostatočným priestorom na vytvorenie záplavových oblastí, atď. Existuje určitý všeobecný postup pri návrhoch protipovodňových opatrení, ale vlastný návrh bude závisieť od konkrétnej situácie.

Na začiatku sú predovšetkým potrebné základné údaje. Ich platnosť (aktuálnosť, presnosť) je najdôležitejšia pre riešenie predbežného návrhu. Z týchto údajov získa projektant relevantné informácie a hodnoty pre návrh opatrení protipovodňovej ochrany, pretože nie je možné používať štandardizované schémy protipovodňovej ochrany, ale každý návrh potrebuje individuálny prístup. Vodohospodárske dáta obsahujú informácie o hydrologickej situácii v povodí toku (denné a ročné prietoky, zrážky, návrhová povodňová vlna, jej vrchol a trvanie). Geomorfologické údaje predstavujú údaje o teréne získané prieskumom in situ a geodetické merania v záujmovej oblasti, okrem toho je vhodné použiť dostupné mapy pre predbežný návrh. Z týchto údajov by sa mala zistiť oblasť, ktorá má byť chránená ako aj jej problémové časti. Na základe geologických dát je možné navrhnuť stabilný priečny profil toku, vybrať vhodný profil poldra, atď. Projektant by si mal urobiť podrobnú rekognoskáciu terénu, toku a jeho okolia.

Geodetickými meraniami získa podrobnú topografiu pôvodného toku – zamerané priečne profily, pričom zároveň je potrebné zmerať hladiny v meraných profiloch a prietok v toku v tom istom čase. Tieto údaje slúžia na neskoršiu kalibráciu matematického modelu. Takto sa získa prehľad o hĺbkach toku, pozdĺžnych sklonoch dna, koeficientoch drsnosti a objektoch na toku.

Nasleduje vytvorenie matematického modelu súčasného stavu s cieľom identifikovať kritické oblasti, ktoré majú byť chránené protipovodňovými opatreniami, čiže sa zisťuje prietoková kapacita toku, ktorý ohrozuje priľahlé oblasti záplavami. Na to slúžia 1-D alebo 2-D hydraulické matematické modely (1-D model je postačujúci pre predbežný návrh), ktorých vypovedacia schopnosť sa zvyšuje kalibráciou. V praxi sa často takýto model neverifikuje, pretože nie je možné vykonávať súčasne meranie hladiny a prietoku v toku počas povodňových situácií (keďže sú často riešené malé povodia, nie sú tam k dispozícii žiadne údaje z meracích staníc).

Za tým nasleduje samotný návrh protipovodňových opatrení v závislosti od konkrétnej situácie v záujmovej oblasti a existujúcich podmienok. Tento návrh sa potom vloží do matematického modelu súčasného stavu, v ktorom sa zistia účinky navrhovaných opatrení. Na základe analýzy stavu bez navrhnutých opatrení (súčasný stav) a s nimi možno zhodnotiť ich vhodnosť, či nevhodnosť, resp. účinnosť.

Na základe predchádzajúcich informácií a údajov možno konštatovať, že každá záujmová oblasť ohrozená povodňami si vyžaduje individuálny prístup pri navrhovaní protipovodňových opatrení. Ako príklady možného riešenia protipovodňovej ochrany povodí tokov s rozdielnymi podmienkami sú v nasledujúcej kapitole uvedené rôzne štúdie riešené za posledných niekoľko rokov.

### **3. PRÍKLADY RIEŠENIA PROTIPOVODŇOVÝCH OPATRENÍ**

Nasledujúce štúdie (v niektorých prípadoch už aj realizované) ukazujú možnosti návrhu opatrení protipovodňovej ochrany pre obce s relatívne malými povodiami, ale s veľkými povodňovými prietokmi. Každý návrh sa citlivo pokúša využiť možnosti danej lokality s ohľadom na maximálnu ochranu pred povodňami, funkčnosť a ekologickú stránku.

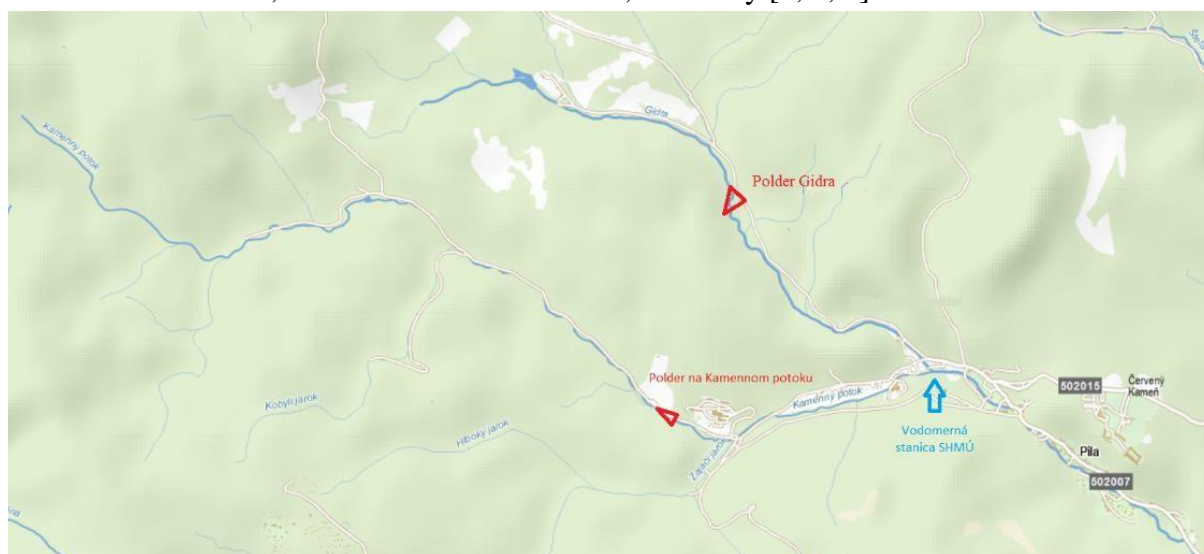
#### **3.1 Prípadová štúdia Píla**

Obec Píla bola v roku 2011 postihnutá ničivou povodňou. Po tejto povodni museli byť opravené mnohé budovy, cesty a chodníky, ale protipovodňová ochrana stále neexistovala. Spracovaním geodetických a hydrologických podkladov bol vytvorený model povodia toku Gidra v obci Píla a v oblasti bezprostredne nad obcou. Na základe vytvoreného modelu v programe HEC – RAS bol stanovený kapacitný prietok toku Gidra v obci Píla, ktorý má hodnotu  $15,3 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ . Kritickým profilom je lávka v obci nad vodným tokom v rkm 32,006. Po simulácii povodne bez navrhovaných opatrení sa navrhli záchytné nádrže kvôli priestorovým možnostiam a existujúcim objektom (mosty a priepusty) na toku. Simulované poldre boli navrhnuté s

ohľadom na prírodnú krajinu údolí v Malých Karpatoch nad dedinou. Preto sa uvažovalo so zemnými hrádzami kvôli ich prirodzenému začleneniu do terénu.

Pri navrhovaní poldra je najdôležitejšou hodnotou kapacita koryta toku, ako aj kapacita existujúcich objektov na toku pod poldrom. Zvyčajne majú mosty alebo priepusty menšiu kapacitu než samotné koryto, ako to bolo aj v tomto prípade. V rámci modelovania bolo vytvorených šesť variantov návrhov poldrov v lokalite nad obcou Píla s konkrétnymi parametrami. Tie boli následne preverené návrhovou povodňovou vlnou s pravdepodobnosťou opakovania raz za 100 rokov. Modelovanie bolo následne zhodnotené a bola posúdená účinnosť návrhu na dostatočnú protipovodňovú ochranu obce.

Najlepší variant predstavoval návrh 2 poldrov – na Kamennom potoku a na toku Gidra. (obr. 1, tab. 1). Spolupôsobením zásobných objemov sa kulminačný prietok znížil z pôvodných  $24,6 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  na hodnotu  $11,10 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  a oneskoril sa o 1,25 hodiny [3, 4, 5].



Obr. 1: Miesta navrhovaných poldrov – vľavo Kamenný potok, vpravo Gidra

Tab. 1: Rozmery navrhovaných poldrov [3, 4, 5]

Tok	Koruna hrádze	Výška hrádze	Priemer výtokového otvoru	Dĺžka hrádze v korune	Záchytný objem
	(m n. m.)	(m)	(m)	(m)	( $\text{m}^3$ )
Kamenný	306,2	5,6	1,10	80	50 000
Gidra	300,5	5,5	1,00	140	108 000

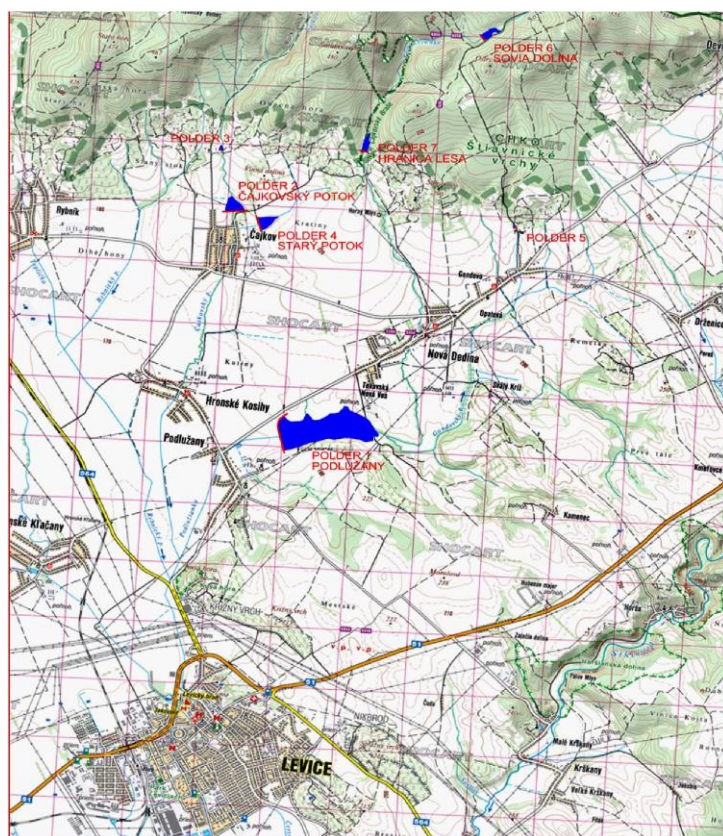


### 3.2 Prípadová štúdia Levice

Slovenské nížiny trpia záplavami. Povodne sa vytvárajú v súvislosti s dažďovými zrážkami, zvyšujúcou sa hladinou v riekach, ako aj hladinou podzemnej vody vystupujúcou nad terén. Rieka, ktorá preteká okresom Levice, sa nazýva Podlužianka s pravostrannými prítokmi Čajkovský a Rybnický potok. Táto oblasť je často prirodzene zaplavovaná zo všetkých tokov počas povodní. Súčasnú podmienku protipovodňovej ochrany v okrese Levice nie sú dostatočné. V prípade, že protipovodňová ochrana nebude v tejto lokalite realizovaná, povodňové prietoky spôsobia značné škody na majetku. Úprava toku rieky Podlužianka v centrálnej časti mesta Levice bola realizovaná v roku 2004. Mesto je chránené stenami, ktoré sa nachádzajú pozdĺž koryta rieky a v oblastiach, kde sú mosty, boli postavené posuvné bariéry. Pre dostatočnú ochranu mesta je potrebné zabezpečiť zvýšenie kapacity koryta, odstrániť z neho prekážky, upraviť brehy rieky a zachytiť povodňovú vlnu do zádržného priestoru poldra. Boli preskúmané rôzne alternatívy (v jednom z modelovaných scenárov matematického modelu bolo navrhnutých a simulovaných až 7 poldrov) a na základe zhodnotenia, z ekonomického a vodohospodárskeho hľadiska, bola zvolená alternatíva s 3 poldrami (obr. 2, tab. 2) [6, 7].

Tab. 2: Rozmery navrhovaných poldrov [6, 7]

Tok	Koruna hrádze	Výška hrádze	Priemer výtokového otvoru	Dĺžka hrádze v korune	Záchytný objem
	(m n. m.)	(m)	(m)	(m)	(m <sup>3</sup> )
Podlužianka (rkm 12,6)	174,5	5,5	2 x 1,60	550	670 506
Podlužianka (rkm 19,9)	248,5	9,4	1,5	80	84 158
Čajkovský	202,4	6,9	1,3	365	181 907



Obr. 2: Miesta navrhovaných poldrov v povodí toku Podlužianka (Minárik, [7])

### Prípadová štúdia Bardejov

Analýza protipovodňovej ochrany mesta Bardejov bola vykonaná kvôli nedostatočnej protipovodňovej ochrane centra mesta. Kapacita koryta rieky Topľa v centrálnej časti mesta Bardejov je nedostatočná, čo spôsobuje opakované záplavy. Pretože je to centrum s hustou zástavbou, nebolo možné navýšiť ochranné hrádze (čo by spôsobilo aj ich rozšírenie), ani nebolo možné rozšíriť alebo inak upraviť koryto. Preto bola protipovodňová ochrana strednej časti mesta realizovaná výstavbou betónových múrikov na korune existujúcej hrádze (obr. 3). Tento návrh bol posudzovaný jednorozmerným hydraulickým matematickým modelom rieky Topľa pre nerovnomerný ustálený režim prúdenia. Výsledky matematického modelovania ukázali, že protipovodňové steny navrhnuté a realizované v centrálnej časti mesta (I. etapa) musia byť doplnené v úsekoch po aj proti prúdu (etapy II a III) s cieľom zabezpečiť protipovodňovú ochranu v celom vyriešenom úseku. Odporúčané opatrenia zvýšia povodňovú ochranu mesta Bardejov [8, 9].



Obr. 3: Realizované betónové protipovodňové steny na rieke Topľa v centrálnej časti mesta Bardejov (Etapa I.) [8, 9]

### Prípadová štúdia Veľká Lúka

Potok Lukavica preteká dedinou Veľká Lúka (nachádza sa medzi mestami Sliac a Zvolen). Počas bežných hydrologických situácií tečie voda v toku len pri minimálnej hladine (niekoľko centimetrov). Úprava koryta toku Lukavica bola vykonaná iba čiastočne v rôznych časových obdobiach a pre rôzne kapacity. Okrem toho sú na toku vybudované dva cestné mosty a železničný most (priepust), pričom priamo v dedine je na potoku aj brod. Problémom je nová výstavba domov v centrálnej časti obce, ktorá bola už postihnutá záplavami (silné búrky a rýchle topenie snehu – 2009, 2013, 2016). Koryto toku je zanesené sedimentami a zarastené kríkmi a vrbinami. Hydraulickými analýzami a simuláciami, uskutočnenými na základe geodetických meraní záujmovej oblasti, sa preukázalo, že ani vyčistenie koryta toku (bagrovanie sedimentov) nezabezpečí dostatočnú protipovodňovú ochranu obce. Rozšírenie, či úprava koryta, ani výstavba hrádzí nie je možná, preto bol nad obcou navrhnutý polder (obr. 4).

Objem povodňovej vlny je však taký veľký, že bol navrhnutý pomerne veľký polder (tab. 3), pričom koryto toku v obci musí byť pravidelne prečisťované a zbavované nánosov. V časti obce s novoplánovanou výstavbou rodinných domov boli navrhnuté nízke múriky, aby ani pri extrémnom vypúšťaní z poldra pri povodňových situáciách nedochádzalo k vybrežovaniu vody z koryta v obci a potok nespôsobil materiálne škody [10].

Tab. 3: Rozmery navrhovaného poldra [10]

Tok	Koruna hrádze	Výška hrádze	Priemer výtokového otvoru	Dĺžka hrádze v korune	Záchytný objem
	(m n. m.)	(m)	(m)	(m)	(m <sup>3</sup> )
Lukavica	326	11,5	1,50	142	640 000



Obr. 4: Ortofoto mapa s umiestnením plánovaného poldra nad dedinou Veľká Lúka [10]

#### 4. ZÁVER

Keďže povodne nás ohrozujú stále viac, pričom je to viac menej neočakávaný fenomén, je potrebné zabezpečiť ochranu ľudí a majetku vhodnými protipovodňovými opatreniami, ktoré budú spĺňať ako ekologické, tak aj ekonomicko-prevádzkové hľadiská.

Prívalové povodne sú špecifickým prípadom ničivých povodní, ktoré spôsobujú dažde charakteristické krátkym časom trvania, pomerne veľkou a značne premenlivou intenzitou; pričom zvyčajne zasahujú malé územia. Účinky prívalových povodní, pokiaľ nie sú spôsobené sériou búrok alebo postupujúcim prívalom, po niekoľkých desiatkach kilometrov zanikajú. Od roku 1995 doteraz sa na území Slovenska vyskytlo viac než 100 prívalových povodní a zdá sa, že frekvencia ich výskytu narastá. Analýzy objemu zrážok, odtoku, ich časového priebehu a stavu zasiahnutých povodí potvrdzujú, že katastrofálne prípady povodní – ako veľkého plošného rozsahu, tak aj v malých povodiach – sú zapríčinené jednoznačne veľkým úhrnom zrážok vysokej intenzity, ktoré spadli na povodia takmer úplne nasýtené predchádzajúcimi zrážkami [1].

Bleskové povodne sa stávajú fenoménom, ktorý čoraz častejšie znepokojuje ľudí v mnohých slovenských podhorských oblastiach. Bleskové, alebo aj prívalové povodne sú spôsobené intenzívnym dažďom a ich typickým prejavom je náhle zvýšenie hladiny v toku v krátkom časovom období (zvyčajne niekoľko hodín). Väčšinou sú to povodne na malých tokoch v horných častiach povodí a vyvolávajú ich extrémne dažďové zrážky. Intenzitu dažďa, ako aj jeho trvanie nie je možné presne určiť, pretože závisia od mnohých faktorov, ako je typ a tvar krajiny, nasýtenia pôdy a samozrejme aj od antropogénnych aktivít (neadekvátne zásahy do krajiny). Vzhľadom na extrémne krátky čas vzniku takejto povodne je veľmi ťažké zalarmovať obyvateľov a vykonať operatívne protipovodňové opatrenia, ako napr. osadenie mobilných protipovodňových bariér, je väčšinou príliš neskoro. To je dôvod, prečo je nutné pripraviť také dostatočne účinné protipovodňové opatrenia, ktoré nepotrebujú náročnú logistiku ich osadenia, resp. prevádzky a začnú fungovať automaticky [3].

Rieky nepoznajú štátne hranice - skúsenosti ukázali, že miestne protipovodňové opatrenia môžu mať negatívne následky po aj proti prúdu. Preto je dôležité pri takýchto návrhoch zohľadniť celé povodie toku. Na cezhraničných riekach je dokonca nevyhnutná medzinárodná spolupráca [2].

## POĎAKOVANIE

Príspevok vznikol s podporou projektu VEGA 1/0800/17 "Optimalizácia protipovodňovej ochrany sídiel v povodí horských tokov" a s podporou projektu APVV-14-0735 "Nové možnosti využitia odvodňovacích kanálov s ohľadom na biodiverzitu krajiny".

## ZOZNAM LITERATÚRY

- [1] (Príloha č. 1. Analýza stavu protipovodňovej ochrany na území Slovenskej republiky).
- [2] *Best practices on flood prevention, protection and mitigation (2003)*. [online]. [cit. 2018-06-20]. Available at: [https://www.floods.org/PDF/Intl\\_BestPractices\\_EU\\_2004.pdf](https://www.floods.org/PDF/Intl_BestPractices_EU_2004.pdf)
- [3] Janík, A., Šoltész, A. (2017): *Flash flood mitigation modeling - Case Study Small Carpathians*. *Pollack Periodica*, Vol. 12, no. 2, s. 103-116.
- [4] Pindjaková, T., Kelčík, S., Šoltész, A. (2016): *Simulation of flood progress on the river Gidra*. *Pollack Periodica*, Vol. 11, no. 1, s. 25-34.
- [5] Šoltész, A., Janík, A. (2017): *Návrh protipovodňových opatrení v povodí Gidry*. *SvF STU v Bratislave*, 36 s.
- [6] Kelčík, S., Pindjaková, T., Šoltész, A. (2016): *Assessment and design of the flood protection measures in the district of Levice (Slovakia)*. *Pollack Periodica*, Vol. 11, no. 1, s. 35-41.
- [7] Šoltész, A., Bednárová, E., Minárik, M., Gramblička, M. a kol. (2014): *Podlužany – Gondovo, ochranné opatrenia v povodí toku Podlužianka - poldre*. *SvF STU v Bratislave*, 71 s.
- [8] Šoltész, A., Janík, A., Čubanová, L. (2018): *Štúdia protipovodňovej ochrany Bardejova*. In: *Vplyv antropogénnej činnosti na vodný režim nížinného územia, zborník recenzovaných príspevkov*, 1. vyd. Bratislava: Ústav hydrológie SAV, 281-289. ISBN 978-80-89139-41-5.
- [9] Kupa, J., Šoltész, A., Kolesárová, E., Janík, A. (2017): *Hydraulické posúdenie protipovodňovej ochrany mesta Bardejov*. In: *Manažment povodí a extrémne hydrologické javy, Vyhne*. Zborník recenzovaných príspevkov, VÚVH Bratislava, ISBN 978-80-89740-16-1.
- [10] Šoltész, A., Čubanová, L., Janík, A., Živčicová, K. (2018): *Veľká Lúka - protipovodňové opatrenia v povodí toku Lukavica*. *SvF STU v Bratislave*, 39 p.

**AUTOR**

Prof. Ing. Andrej Šoltész, PhD.,

Katedra hydrotechniky, Stavebná fakulta, STU v Bratislave, Radlinského 11, 810 05  
Bratislava,

andrej.soltesz@stuba.sk

Ing. Lea Čubanová, PhD.,

Katedra hydrotechniky, Stavebná fakulta, STU v Bratislave, Radlinského 11, 810 05 Bratislava,  
lea.cubanova@stuba.sk

Ing. Adam Janík

Katedra hydrotechniky, Stavebná fakulta, STU v Bratislave, Radlinského 11, 810 05  
Bratislava, adam.janik@stuba.sk

Doc. Ing. Dana Baroková, PhD:

Katedra hydrotechniky, Stavebná fakulta, STU v Bratislave, Radlinského 11, 810 05  
Bratislava, dana.barokova@stuba.sk

## ZHODNOTENIE VYBRANÝCH OPATRENÍ NA PREVENCIU PRED POVODŇAMI A SUCHOM V POVODÍ HORNEJ NITRY.

### EVALUATION OF CHOSEN ARRANGEMENTS FOR PREVENTION AGAINST FLOODING AND DROUGHT IN BASIN OF UPPER NITRA.

*Marián Jursa*

**Abstrakt:** Autor sa v príspevku zameria na spôsob výberu lokalít na realizáciu opatrení na základe skúsenosti z doterajších prevádzkových problémov s dôrazom na povodne z roku 2010. Zhodnotí výber vhodného technického riešenia pre dané územie. Poukáže na proces prípravy stavieb. Zhodnotí proces realizácie výstavby s poukázaním na problémové etapy výstavby a na záver vyhodnotí problematiku doterajšej prevádzky stavieb s poukázaním na možné problémy v budúcnosti.

**Abstract:** In this paper author will focus on the way of selection of localities for execution of arrangements, based on previous experiences with service problems, with an emphasis on 2010's floods. Author will evaluate the choice of appropriate technical solution for given localities. He will point out to the process of building's preparation. Author will evaluate the process of construction's realisation, highlight difficult phases and as a conclusion there will be an evaluation of current service of buildings with point out to possible future issues.

#### ÚVOD

V súčasnej dobe, pri nepriaznivom vnímaní výstavby vodných diel na území Slovenskej republiky „VEREJNOSŤOU“, je veľmi dôležité v prípade vzniku nepriaznivých udalostí /povodeň, sucho/ promptne reagovať na čo i len minimálnu podporu postihnutého obyvateľstva a v krátkom časovom období navrhnuť konkrétne odborné riešenia v predmetnom území. Tento prípravný proces je potrebné priebežne komunikovať s predstaviteľmi samosprávy a aj občanmi v primeranom časovom horizonte. Je dôležité aby stále rezonovali negatívne skúsenosti a zážitky širokej verejnosti. V tomto období aj neprijatí „betónovej lobby“ radšej nereagujú na navrhované riešenia a poctivo čakajú na pre nich priaznivé obdobie s podporou verejnosti. Pri rozumnom a primeranom návrhu opatrení sú nepochybne aj rokovania s nadriadenými orgánmi jednoduchšie, s priaznivou prognózou kladného výsledku.

Príklad takéhoto procesu so „šťastným“ zakončením sa Vám pokúsim popísať na realizácii akcie :POVODIE HORNEJ NITRY – opatrenia na prevenciu pred povodňami a suchom“.

Horeuvedená akcia bola realizovaná ako priamy dôsledok „Handlovskej povodne august 2010“.Napriek viacnásobnému vyhodnocovaniu povodne 2010 si v rámci tohto príspevku aj v súvislosti s dlhším časovým odstupom dovoľm stručne zhodnotiť celkovú situáciu v roku 2010 ako východiska na realizáciu horeuvedenej akcie. Verím, že toto zhodnotenie v budúcnosti pomôže našej organizácii k realizácii podobných a určite potrebných vodohospodárskych zásahov v postihnutých lokalitách.

## ZHODNOTENIE KLIMATICKÝCH POMEROV

V roku 2010 na základe údajov SHMU môžem konštatovať že na Slovensku boli zaznamenané v celoročnom úhrne zrážky 1255 mm, čiže nadpriemerný úhrn +493 mm, čo v percentuálnom vyjadrení predstavuje 165 % dlhodobého normálu. Z hydrologického hľadiska bol zaujímavý predovšetkým zrážkovo mimoriadne nadnormálny mesiac máj a aj mesiac júl. V máji bol z celoslovenského hľadiska zaznamenaný úhrn zrážok 235 mm, t.j. 309 % mesačného normálu a s nadbytkom 159 mm, a s tým súvisel aj vznik významných povodňových situácií takmer na celom území Slovenska. Druhý, zrážkovo najbohatší, nasledoval mesiac júl, ktorý mal celoslovenský ročný úhrn 153 mm s nadbytkom +63 mm a mesačný normál tvoril v porovnaní s dlhodobým normálom 170 %. S týmto nadnormálnym množstvom zrážok taktiež súvisí letná povodňová aktivita.

Súhrnne je nutné skonštatovať, že rok 2010 bol z hľadiska spadnutých zrážok mimoriadne nadpriemerný, s výrazne nerovnomerným rozdelením zrážok jednotlivých mesiacoch a lokalitách.

### Povodňová situácia na Nitre a jej prítokoch v roku 2010

Povodňové situácie s dosiahnutím stupňov PA sme počas roku 2010 zaznamenali prakticky v každom mesiaci, či už povodne z trvalého dažďa, ale aj prívalové povodne. Prvé vzostupy vodných hladín, s dosiahnutím stupňov povodňovej aktivity, nastali už v decembri 2009. Následne :

10.1. kulminovala Bebrava v Biskupiciach na úrovni zodpovedajúcej 3. stupňu PA. Na Bebrave v Nadliciach a Handlovke v Prievidzi prebehli kulminácie na úrovni zodpovedajúcej 1. stupňom PA.

19.2. dve vlny, s prvou kulmináciou 20.2. a s druhou kulmináciou od 27.2. Zaznamenané kulminácie z povodia hornej Nitry dosiahli na Bebrave úroveň zodpovedajúcu 2. stupňu PA a na Handlovke a Nitre v Chalmovej, úroveň 1. stupňa PA.

12.4. kulminácie na hornej Nitre a jej prítokoch boli zväčša na úrovni zodpovedajúcej 1. stupňu PA, na Bebrave bola dosiahnutá úroveň 2. stupňa PA.

6.5. kulminácie na prítokoch Handlovky na úrovni 3. stupňa PA

1.6. kulminácie na strednej a dolnej Nitre zodpovedali 20 až 50 – ročnému prietoku

26.7. kulminácie vodných hladín na hornej Nitre a jej prítokoch, pričom hladina Handlovky v Prievidzi dosiahla úroveň zodpovedajúcej 2. stupňu PA a hladina Nitry v Chalmovej úroveň 1. stupňa PA.

6.8. kulminovala Handlovka v Prievidzi pri vodnom stave 143 cm čo zodpovedá 2 – ročnému prietoku.

15.8. Handlová a Prievidza boli zaznamenané kulminačné prietoky na Handlovke opakujúce raz za 1000 rokov / 414 cm dosiahnutá hladina, 3. stupeň PA 120 cm /

15.8. Nitra v Chalmovej kulminácia pri Q 50 – 100 R

16.8. Handlová a Prievidza boli zaznamenané kulminačné prietoky na Handlovke opakujúce raz za 100 rokov / 288 cm /

1.9. kulminačné vodné stavy dosiahli na Nitre v Chalmovej úroveň zodpovedajúcu 2. stupňu PA. Hladina Handlovky v Prievidzi kulminovala pár centimetrov pod úrovňou 2. stupňa PA.

11.9. došlo opäť k vzostupu hladín na tokoch v povodí hornej Nitry, pričom boli na Handlovke a Bebrave zaznamenané 1. stupne PA.

25. až 27.9. došlo k výraznejším vzostupom vodných hladín v povodí Nitry to bol 3. stupeň PA v Prievidzi na Handlovke, 2. stupeň PA v Chalmovej na Nitre.

20.11 Bebrava kulminovala na úrovni 3. stupňa PA. Na hornej Nitre a Handlovke sme zaznamenali 1. stupeň PA

21. až 23.12. kulminácia na úrovni 1. stupňa PA na hornej Nitre a Bebrave. / zdroj : SHMU a SVP /

Horeuvedené fakty v obraze.

Počas prechodu povodňových vĺn v júni a auguste – povodňové vlny rieky Nitra a Handlovka spôsobili vybreženie na viacerých miestach a to obci Nedožery Brezany



*Prievidza*





*Nováky*



*Partizánske vplyvom vysokej hladiny v r. Nitra vzdúva hladinu toku Nitrica v časti ich sútoku.*



*Handlová hlavná cesta*



*Račí potok Handlová*



*Na toku Bebrava došlo k ľavostrannému vybreženiu toku a zaplavenie obce Rybany.*



Toto je stručný popis priebehu PA počas roka 2010 zameraný na záujmové územie predmetného projektu. V rámci správy povodia sme zaznamenali aj viaceré bleskové povodne spôsobené prívalovými zrážkami a počas roka 2010 boli stupne PA vyhlásené 108 krát. Je potrebné podotknúť, že vzhľadom k sklonitosti územia a objemom povodňovej vlny mali povodňové epizódy obrovské devastačné účinky. Bolo odplavené kamenné opevnenie, panelové úpravy a vytvorili sa nové korytá tokov v zastavanom území. Boli poškodené a zrútené mostné telesá, pretrhané vedenia inžinierskych sietí. Po celej dĺžke toku Handlovka vznikli zátarasy z popadaných stromov, automobilov a rôznych predmetov unášanými tokom počas povodne.

V povodí toku Handlovka boli len za povodňové udalosti v auguste roku 2010 realizované zabezpečovacie práce vo výške 3,7 mil. EUR.

Práve v tomto období, po voľbách do NR SR v roku 2010, sa vyskytla pomerne „priaznivá“ povodňová situácia na získanie podpory pre riešenie problematiky povodní. Následne po zmene koncepcie však boli financie na riešenie protipovodňovej ochrany poskytnuté samosprávam a začali sa „riešiť“ lokálne problémy jednotlivých obcí a riešenie regiónu ako celku nebolo možné. Regionálni politici však sústavne vznášali požiadavky na predstaviteľov najmä Úradu Vlády SR a postupne získavali priestor a pochopenie na realizáciu projektu protipovodňových opatrení v regióne hornej Nitry. Po dohode a spracovaní návrhu rámcových pravidiel na riešenie uvedenej problematiky sa však konali predčasné voľby a celý projekt sa ocitol opäť na začiatku. Po voľbách v roku 2012 nová vládna garnitúra prijala rozpracovaný návrh akcie :“POVODIE HORNEJ NITRY – opatrenia na prevenciu pred povodňami a suchom“ a po jeho dopracovaní bola v marci roku 2013 vyhlásená Úradom Vlády SR výzva na predloženie žiadostí o predmetný projekt v ktorom bolo stanovené územie dotknuté projektom.

## POPIS ÚZEMIA DOTKNUTÉHO PROJEKTOM

Región „hornej Nitry“ je z hydrologického hľadiska čiastkovým povodím Váhu – číslo hydrologického poradia 4-21-11. Rieka Nitra pramení pod Fačkovským sedlom a dĺžka toku je 169 km. V rámci povodia Hornej Nitry sa jedná o úsek v dĺžke

76 km. Celková plocha čiastkového povodia 4-21-11 je 1885,3 km<sup>2</sup>. Rozloha lesov predstavuje plochu 943 km<sup>2</sup>, čo predstavuje cca 50% územia.

Hlavnými prítokmi v rámci posudzovaného územia sú pravostranné prítoky – Bebrava (s prítokom Radiša), Nitrica a ľavostranné prítoky – Handlovka a Vyčoma.

Handlovka 4-21-11-1877 – plocha povodia 176,490 km<sup>2</sup> – dĺžka 30,54 km

Vyčoma 4-21-11-1234 – plocha povodia 102,784 km<sup>2</sup> – dĺžka 22,55 km

Bebrava 4-21-11-924 – plocha povodia 630,540 km<sup>2</sup> – dĺžka 46,68 km

Radiša 4-21-11-1003 – plocha povodia 111,551 km<sup>2</sup> – dĺžka 24,43 km

Nitrica 4-21-11-1330\_ plocha povodia 319,073 km<sup>2</sup> – dĺžka 50,08 km

Oprávnené územie hornej Nitry je prezentované okresmi Prievidza, Partizánske a Bánovce nad Bebravou.

Ciele projektu prezentujú riešenia za účelom zníženia nepriaznivých dôsledkov na ľudí Hornej Nitry, na ľudské zdravie, životné prostredie, kultúrne dedičstvo a hospodársku činnosť,

vplyvom prejavujúcich sa klimatických zmien. S ohľadom na predlžovanie obdobia nízkych vodnatostí je dôležité aj vytvorenie podmienok na zadržiavanie väčšieho objemu vody v horných častiach povodí, aby bolo možné počas suchých období nadlepšovať prietoky. Nakoľko súčasná možnosť akumulácie vody je skoro nulová, majú extrémny negatívny dopad na celý región. Znižovanie prietokov počas dlhších období nízkych vodnatostí tokov má za následok aj zhoršenie kvality vody. Projekt bol zameraný na oblasti s existujúcim výskytom významného povodňového rizika. Vychádza sa z analýzy povodia hornej Nitry, pričom opatrenia sa navrhujú v najrizikovejších lokalitách povodia, z hľadiska záplav a súvisiacich škôd počas uplynulých rokov, ako aj z hľadiska potreby prerozdelenia prietokov v období sucha. Hodnotenie jednotlivých ucelených úsekov povodí vychádzalo zo správy MŽP – „Predbežné hodnotenie povodňového rizika v čiastkovom povodí Váhu“ a mapa predbežného hodnotenia povodňového rizika čiastkového povodia Váhu, do ktorého spadá aj povodie hornej Nitry. Významným aspektom pri hodnotení a výbere oblastí s pravdepodobnosťou výskytu povodňového rizika boli aj poznatky o stave a reálnej účinnosti objektov a zariadení existujúcej protipovodňovej infraštruktúry na vodných tokoch. Výber jednotlivých opatrení vychádzal z predpokladov na zmiernenie dopadov zmeny klímy. Základným prvkom prevencie pred povodňami a suchom je zadržiavanie vody v krajine, resp. spomalenie odtoku. V analýze sa vychádzalo z materiálov spracovaných na základe skúseností a poznania územia pracovníkmi Správy povodia Hornej Nitry ako správcu dotknutých tokov v regióne hornej Nitry. V rámci výzvy na predkladanie žiadosti o projekt opatrenia museli obsahovať:

Najmenej tri rôzne typy vodozádržných opatrení

Najmenej dva typy iných adaptačných opatrení

Merania kľúčových výsledkov realizovaných opatrení.

SVP, š. p., OZ Piešťany, Správa povodia hornej Nitry Topoľčany pristúpilo k výberu vhodných typov lokalít, ktorých profily jednotlivých návrhov boli fyzicky v teréne obhliadnuté: Prvý návrh obsahoval:

1. Existujúce prehrádzky vhodné na rekonštrukciu – 8 lokalít
2. Navrhované – kamenné prehrádzky – 16 (betónové obložené kam. dlažbou)
3. Navrhované – drevené prehrádzky – 11 lokalít
4. Navrhované poldre – 2 lokality
5. Navrhované stavby – 9 (+ochranné hrádze)

Následne sa z navrhovaných lokalít na pracovnom stretnutí na OZ Piešťany vybralo 32 lokalít spolu s partnermi: mestom Nováky a Handlová, ktoré boli naďalej posudzované tak, aby vyhoveli daným kritériám. Po skompletizovaní potrebných podkladov (majetkovo-právnych a iných potrebných na predloženie žiadosti) sa OZ Piešťany – oddelenie investičných činností rozhodlo predložiť v žiadosti o projekt 11 navrhovaných stavieb:

Žitná Radiša - Rakovec, prehrádzka a stabilizácia koryta

Rybany - Bebrava, vodozádržné objekty

Nadlice - Nadlický potok - sfunkčnenie existujúceho poldra

Nováky - vodozádržné opatrenia na toku Nitra

Lehota pod Vtáčnikom - Lehotský potok, oprava prehrádzky

Veľké Uherce - Drahožica, oprava vodnej nádrže

Handlová – stabilizačné opatrenia na toku Handlovka Opatrenia  
 na prítokoch Handlovky -Račí potok  
 Opatrenia na prítokoch Handlovky - Jalovský potok  
 Opatrenia na prítokoch Handlovky - potok Horeňovo  
 Protipovodňové opatrenie v Meste Nováky – lokalita Brod (mesto Nováky)

Každá z vybraných lokalít bola atakovaná povodňovými udalosťami a vyžadovala si osobitý prístup projektantov. Jednalo sa hlavne o zastavenie transportu splavenín nad zastavaným územím, stabilizáciu zosunu svahu do koryta toku Handlovky, sfunkčnenie jestvujúcich morálne a fyzicky zastaraných objektov a dobudovanie protipovodňovej línie s umožnením dočasnej akumulácie vôd. Hospodárenie s vodou v krajine za účelom vyrovnávania odtoku sa navrhuje pomocou vodozádržných opatrení ako prehrádzky a poldre. Do opatrení sú zahrnuté aj aktivity spojené s existujúcimi vodnými nádržami – obnovenie prevádzkyschopného stavu. Na zníženie resp. spomalenie odtoku z väčších sídelných útvarov boli medzi opatrenia zahrnuté aj aktivity miest, postihovaných povodňovými udalosťami. Jedná sa o znižovanie povrchového odtoku cez vsak do podzemných vôd ako aj zadržiavanie vody v lokalitách s retenčným potenciálom.

Dňa 28.6.2013 bola predložená žiadosť o projekt a po schvaľovacom procese dňa 30.4.2014 bol projekt predložený našou organizáciou schválený poskytovateľom grantu – Úradom vlády SR. Projektová zmluva bola podpísaná dňa 13.8.2014 následne bolo potrebné dodržať nasledovné termíny: zabezpečiť vypracovanie projektových dokumentácií a získanie vyjadrení dotknutých organizácií k územnému rozhodnutiu : do 10/2014 získať územné rozhodnutia : do 01/2015

zabezpečiť vypracovanie projektových dokumentácií a získanie vyjadrení dotknutých organizácií k stavebnému konaniu : do 02/2015 získať stavebné povolenia : do 04/2015  
 Obstarávanie stavebných prác: 05 – 08/2015

Realizácia projektu do 30.4.2017

Z horeuvedeného časového harmonogramu je pri poznaní reálneho stavu procesov povoľovacích konaní a majetkoprávnej situácie na Slovensku zrejmé, že pracovníci Investičného oddelenia neoddychovali a „užili“ si počas prípravy a realizácie projektu problémov viac ako dosť.

## **PROBLÉMY PRI VÝSTAVBE**

Jedným z prvých problémov bol termín zahájenia prác – jeseň 2015 a väčšinu stavebných prác znemožňoval rozmočený terén, pomalé vysychanie pôdy a následne zimné obdobie, čo spôsobilo časový sklz ihneď po zahájení realizácie jednotlivých stavebných objektov. Väčšina objektov sa nachádza v neprístupnom respektíve na rozvinutie staveniska nevhodnom teréne /veľká sklonitosť územia a nedostatok priestoru pre techniku a dovoz potrebného materiálu /. Aj u skúsených firiem sa preukázal nedostatok technicky zdatných pracovníkov a následne realizácia projektov nebola dostatočne kvalitná a práce sa museli realizovať odznova. Je potrebné už v procese verejného obstarávania zvážiť pri vyhodnocovaní ponúk záujemcov, či cenové relácie umožnia víťazovi zákazky zrealizovať práce v požadovanej kvalite, nakoľko

skutočnú kolaudáciu urobí povodeň. Pri projekčných prácach je časový stres zodpovedný za nedostatočné riešenie detailov, ktoré by mohli byť „vychytané“ pri absolvovaní viacerých pripomienkových konaniach medzi investorom a projektantom. Taktiež dozor investora musí mať dostatočný časový priestor na preberanie jednotlivých etáp prác. Tu ešte existuje priestor na nápravu možných nedostatkov a po dohode s projektantom a dodávateľom prác dielo zrealizovať v potrebnej kvalite. Foto poukazuje na nesprávne navrhnuté a realizované opevnenie svahu.



*Riešenie sanácie zosuvu svahu Handlovky inovatívnou metódou TUBOSIDRA pred*



*Po realizácii*





*Koryto Račieho potoka pred budovaním prehrádzky*



*Po realizácii*



*Jestvujúca prehrádzka v Lehote pod Vtáčnikom pred rekonštrukciou*



*Po rekonštrukcii*



*VN Velké Uherce pred rekonštrukciou*

*po rekonštrukcii*



Na zopár horeuvedených fotografiách je čiastočne zobrazený záverečný výsledok dlhodobého úsilia zamestnancov OZ Piešťany, projektantov a dodávateľov prác.

### **SKÚSENOSTI Z PREVÁDZKY**

Na komplexné hodnotenie jednotlivých technických riešení je zatiaľ priskoro, nakoľko neboli atakované „veľkou vodou“. Z doterajších skúseností / aj z posúdenia funkčnosti protipovodňových opatrení budovaných samosprávami v roku 2010 – 2012 / je však zrejmé, že najmä u prehrádzok je potrebné už teraz odstraňovať usadené sedimenty, odstraňovať nežiadúce náletové dreviny a tak zachovať ich funkčnosť. Musím však konštatovať, že aj vykonávanie týchto základných udržiavacích prác je najmä z kapacitných dôvodov / ľudia, technika / je už v súčasnosti nepostačujúce a keď sa tento problém spojí s rozporuplnou legislatívou / zákon o ochrane prírody a krajiny, zákon o odpadoch /, ktorá výrazne obmedzuje výkon správcovstva mám do budúcnosti funkčnosť vybudovaných pomerne veľké obavy. Aj bývalá ŠMS budovala, neudržiavala majetok v dostatočnom rozsahu a napokon stratila v spoločnosti opodstatnenie.

## **ZÁVER**

Záverom musím skonštatovať, že realizácia aj takýchto projektov je pre spoločnosť potrebná. Na podrobné oboznámenie sa s jednotlivými stavbami projektu a ich technickými parametrami by možno bola potrebná samostatná konferencia. Napriek prvotnému odporu obyvateľstva sa realizované objekty stali krajínovými prvkami a pri ich „zafungovaní“ budú považované obyvateľmi ochraňovaného územia za prínosné a potrebné pre pokojný život. Nevieť aké extrémny musí priniesť „klimatická zmena“, aby laická verejnosť pochopila, že jedným z mála účinných opatrení na ochranu pred povodňami a suchom je budovanie vodných nádrží s viacročným vyrovnávaním prietokov. Aj z pohľadu zmeny klímy by bolo vhodné systematicky realizovať opatrenia v povodiach zamerané na všeobecné a trvalé zlepšenie podmienok odtoku a na zadržanie vody v krajine, zníženie možných negatívnych prejavov extrémnych prietokov a zlepšenie kvality vôd.

Položme si otázku : Kde by dnes bolo Považie bez existencie VD Orava a VD Liptovská Mara?  
Ďakujem za pozornosť.

## **AUTOR**

Ing. Marián Jursa

Slovenský vodohospodársky podnik, štátny podnik

Odštepny závod Piešťany, Správa povodia hornej Nitry, Topoľčany

# VD KLABAVA – ZABEZPEČENÍ PŘED ÚČINKY EXTRÉMNÍCH POVODNÍ A MOŽNOSTI EFEKTIVNĚJŠÍHO VYUŽÍVÁNÍ RETENČNÍHO PROSTORU NÁDRŽE

## KLABAVA WATERWORK – PROTECTION AGAINST THE EFFECTS OF EXTREME FLOODS AND POSSIBILITIES OF EFFICIENT USE OF THE RESERVOIR RETENTION SPACE

*Petr Vicenda, Ondřej Hrazdira*

**Abstrakt:** Příspěvek představuje dosavadní postup přípravy a realizace zabezpečení VD Klabavy před povodněmi nutného dle normy ČSN (dříve TNV) 75 2935 – Posuzování bezpečnosti vodních děl při povodni. Kontrolní povodňová vlna  $Q_{1000} = 459 \text{ m}^3/\text{s}$  a WPV 1000 = 41,7 mil.  $\text{m}^3$ , mezní bezpečná hladina s úrovní 1,21 m pod maximální kontrolní hladinou. Ohrožení stability přelitím zemní sypané hráze. Zvýšení retenčního účinku nádrže doplněním původního pevného bezpečnostního přelivu o dva zdvižné segmenty a tím zvětšení retenčního účinku o 155 %. Součástí stavby je zkapacitnění bezpečnostního přelivu jeho rozšířením, výstavba nového vlnolamu na koruně hráze vč. jeho propojení s těsnícím jádrem, realizace segmentových uzávěrů vč. ovládání.

**Klíčová slova:** ČSN 75 2935,  $Q_{1000}$ , mezní bezpečná hladina, maximální kontrolní hladina, zemní hráz.

### 1. ÚVOD

Vodní dílo Klabava (viz. foto 1. a foto.2), uvedené do provozu v roce 1957, leží na stejnojmenném vodním toku v západních Čechách asi 10 kilometrů východně od krajského města Plzně. Vodní tok Klabava pramení v pohoří Brdy v nadmořské výšce cca 760 m n.m. Hráz vodního díla leží na dolní části toku, plocha povodí k hrázi činí  $329,87 \text{ km}^2$  a průměrný průtok je  $2,04 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ . Základní parametry vodního díla, účely a předpisy pro manipulace jsou shrnuty v manipulačním řádu [1].

Původním účelem VD Klabava bylo chránit, železnorudný povrchový lom Ejpovice před jeho zatopením. Přes prostor lomu, původní přirozenou trasu koryta Klabavy, ani při velkých povodních neměla voda vůbec téci, aby mohla i za zvýšených průtoků nebo povodní pokračovat plynule těžba. Návrh soustavy byl proveden tak, aby povodňové průtoky, částečně transformované nádrží VD Klabava, bylo následně možno provést mimo prostor lomu pomocí dvou obtokových tunelů. Kapacita tunelů byla  $140 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  v beztlakovém režimu a až  $210 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  v tlakovém režimu. Teoreticky měla soustava provést okolo lomu, dle tehdejších hydrologických údajů, tlakově i transformovanou povodňovou vlnu s kulminací  $Q_{1000}$  a beztlakově  $Q_{100}$ . V roce 1972 byla těžba v lomu Ejpovice definitivně ukončena a soustava (VD Klabava + tunely) tak přestala plnit svůj původní účel. Lom byl postupně zatopen a koryto Klabavy bylo navráceno do přibližně původní trasy. Na základě pozdějších historických zkušeností (povodně 1980, 1981, 1995, 2002 a 2006) je nutné konstatovat, že soustava byla navržena tak, že by skutečně dokázala prostor lomu ochránit. Pouze při katastrofální povodni v

srpnu 2002 by kapacita tunelů nepostačovala, tato povodeň však výrazně překročila návrhové parametry soustavy.



*foto 1: celkový pohled na hráz z levého břehu*

*foto 2: celkový pohled na hráz z nádrže*

### 1.1. Hlavní účely vodního díla Klabava v současnosti:

- zajištění minimálního asanačního průtoku o hodnotě  $0,39 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  ( $Q_{330d}$ ) v profilu pod hrází,
- částečné snížení velkých vod vymezeným neovladatelným retenčním prostorem,
- individuální rekreace a sportovní rybolov.

Vzhledem k poměrně malému zásobnímu prostoru nádrže, který činí  $0,492 \text{ mil. m}^3$ , může být v případě mimořádného sucha asanační průtok v profilu pod hrází VD zajišťován pouze po dobu několika málo týdnů. Stávající transformační možnosti nádrže jsou také velmi omezené. Vlivem nižší kvality povrchové vody v nádrži není rekreace téměř možná. Ze současných hlavních účelů, které vodní dílo Klabava spolehlivě zajišťuje, je tak pouze možnost sportovního rybolovu. V současné době správce vodního díla připravuje projekt doplnění malé vodní elektrárny.

### 1.2. Konstrukce vodního díla:

Hráz je přímá zemní sypaná, se šikmým těsnícím jílovým jádrem na návodní straně, s maximální výškou nad terénem  $12,60 \text{ m}$ . Vodní dílo je podle významu a potenciálního rizika ohrožení území pod vodním dílem zařazeno z pohledu technickobezpečnostního dohledu do III. kategorie. Požadovaná míra ochrany, vyjádřená teoretickou dobou opakování kontrolní povodňové vlny (KPV), je  $N=1000 \text{ let}$ .

Stávající bezpečnostní přeliv vodního díla Klabava se skládá z pevného přelivného tělesa o výšce  $4,40 \text{ m}$ , které je středovým pilířem rozděleno na dvě pole po  $15 \text{ m}$ , s kótou přelivné hrany  $350,10 \text{ m n.m.}$  Celková délka přelivné hrany je  $30 \text{ m}$ . V dolní části přelivného bloku je 6 otvorů o rozměrech  $2,76 \times 1,50 \text{ m}$ . Úroveň vtoku do otvorů je na kótě  $345,70 \text{ m n.m.}$  Boční i horní stěny otvorů na vtoku i na výtoku jsou hydraulicky zaobleny. Návodní líc přelivu je svislý, vzdušný líc je proveden jako tlaková přelivná plocha dle křivky akademika J. Smetany pro přepadovou výšku paprsku  $h=1,0 \text{ m}$ . Celková kapacita bezpečnostního přelivu při max. hladině  $351,10 \text{ m n.m.}$  je  $249 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ . Na těleso bezpečnostního přelivu navazuje spadiště, skluz, vývar

a odpadní koryto (bezpečnostní přeliv a jeho funkce jsou patrné z fotografií viz foto 3. a foto 4.).



*foto 3 a foto 4: bezpečnostní přeliv s okny pro převádění menších povodní*

## 2. VÝZKUMY NA HYDRAULICKÉM MODELU

Po katastrofální povodni z roku 2002, kdy hladina v nádrži vystoupala 10 cm nad úroveň maximální retenční hladiny (351,10 m n.m.), bylo nutné vodní dílo přešetřit z pohledu bezpečnosti při povodních. Kapacita bezpečnostního přelivu VD Klabava byla v roce 2004 ověřena na fyzikálním hydraulickém modelu v laboratořích ČVUT v Praze v rámci diplomové práce Ing. Stanislava Plecíteho [2]. Zároveň byla stanovena kontrolní maximální hladina v nádrži při průtoku  $Q_{1000}$  (kontrolní povodňová vlna - KPV). Bylo prokázáno, že při průchodu KPV s teoretickou dobou opakování  $N=1000$  by došlo nejen k překročení maximální retenční hladiny, ale i kóty koruny hráze. K přelévání koruny hráze by však díky stávajícímu vlnolamu nedocházelo, ten však není na tento stav staticky navržen. Ke stejnému závěru následně dospěl i posudek bezpečnosti VD Klabava při povodních [3], který vypracovala společnost VODNÍ DÍLA – TBD a.s.. V rámci posudku byla navržena nápravná a nouzová opatření, a to navýšení nivelety koruny hráze a zvýšení úrovně těsnícího prvku, nebo odstranění jezového tělesa bezpečnostního přelivu a zkapacitnění skluzu rozšířením jeho profilu či navýšením bočních zdí. Třetí možností bylo odstranění pevného jezového tělesa přelivu a jeho nahrazení pohyblivou hradicí konstrukcí.

V rámci další studentské práce [4] byla na hydraulickém modelu posuzována kapacita bezpečnostního přelivu vybaveného dvěma pohyblivými klapkami. Navržená úprava spočívala v odstranění stávajícího pevného přelivného tělesa a jeho nahrazení pohyblivými klapkovými uzavěry osazenými na přelivném prahu. Na doporučení posudku bezpečnosti byly navýšeny boční zdi skluzu, aby nedocházelo při průchodu KPV k jejich přelévání. Ačkoliv se návrh úpravy bezpečnostního přelivu opíral o základní hydraulické poznatky, doporučené koeficienty a výsledky předchozího modelového výzkumu, nedošlo touto úpravou k dosažení dostatečné kapacity bezpečnostního přelivu.

### 3. NÁVRH ZABEZPEČENÍ VODNÍHO DÍLA PŘED ÚČINKY VELKÝCH VOD Z ROKU 2009

Veškeré tehdy dostupné výzkumy a poznatky byly zahrnuty v projektové dokumentaci „VD Klabava – Zabezpečení vodního díla před účinky velkých vod“ [5], spočívající zejména v rozšíření bezpečnostního přelivu o jedno přelivné pole, rozšíření spadiště a skluzu, navýšení bočních zdí skluzu a výstavbě nového vlnolamu na koruně hráze, který bude propojen s těsnícím jádrem tělesa hráze. Těmito opatřeními dojde ke zvětšení kapacity bezpečnostního přelivu a skluzu a možnosti zvýšení kóty mezní bezpečné hladiny. Následně bude vodní dílo Klabava vyhovovat požadavkům bezpečnosti při povodních. Návrh zkapacitnění bezpečnostního přelivu dle projektu na zabezpečení vodního díla Klabava při povodních [5] byl v roce 2010 ověřen na ČVUT v Praze hydrotechnickým výzkumem na fyzikálním modelu přelivu vč. skluzu a vývaru [6].

### 4. MOŽNOSTI TRANSFORMACE POVODŇOVÝCH VLN – STUDIE 2014

Stávající transformační možnosti nádrže vodního díla Klabava jsou velmi omezené. Vymezený zásobní prostor nádrže je vzhledem k ploše povodí a objemu teoretických povodňových vln velmi malý, a to pouze 0,492 mil. m<sup>3</sup>. Pro srovnání je objem teoretické povodňové vlny s teoretickou dobou opakování  $N=5$  let celých 8,05 mil. m<sup>3</sup> vody. Nad hodnotu dlouhodobého průměrného průtoku ( $Q_a$ ) se pak jedná o objem povodně 7,46 mil. m<sup>3</sup>. Míra transformace povodňové vlny v nádrži je tedy při povodňových epizodách s vyšší četností opakování, i v případě operativního předvypuštění zásobního prostoru, závislá především na využití retenčního prostoru. Retenční prostor je pouze neovladatelný a nelze jej při povodních efektivně a řízeně využívat. S možností ovladatelného využití části retenčního prostoru nepočítá ani úprava v rámci výše uvedené projektové dokumentace [5]. Neovladatelný retenční prostor, který je vymezen mezi kótami 345,70 m n.m. a 351,10 m n.m., má objem 4,472 mil. m<sup>3</sup>. Zvýšení transformačních možností nádrže bylo posuzováno ve studii „VD Klabava – posouzení transformačních možností nádrže VD Klabava v kombinaci s hrazeným bezpečnostním přelivem a jejich vliv na Berounku“ [7]. Ve studii bylo uvažováno s úpravami bezpečnostního přelivu zajišťující bezpečnost vodního díla před účinky velkých vod z roku 2009 v parametrech upřesněných v projektu [5] z roku 2012, které spočívají zejména v rozšíření bezpečnostního přelivu o jedno pole šířky 15 m s přelivnou hranou na kótě 350,07 m n.m., a tím zvýšení celkové kapacity bezpečnostního přelivu. Aby bylo možné ovladatelně využívat retenční prostor nádrže, byl zaveden fiktivní předpoklad instalace hradících zařízení stávajících šesti oken v přelivném bloku. Dále byla pro potřeby této studie uvažována varianta zvýšení neškodného průtoku v profilu pod vodním dílem na hodnotu 50 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup> ze současných 35 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>. Cílem studie nebylo detailně rozebrat varianty technických řešení úpravy bezpečnostního přelivu, ale ukázat transformační schopnosti nádrže při navýšení plně ovladatelné retence a to včetně možných negativních dopadů. Pro posouzení výsledného transformačního efektu jako takového není podstatné jak a čím bude přeliv hrazen (stavidla, segmenty, klapky...). Pro potřeby studie se pracovníě uvažovalo s instalací fiktivních hradících zařízení na okna v tělese bezpečnostního přelivu.



V rámci studie [7] byly posuzovány transformační možnosti nádrže vodního díla Klabava pro tři teoretické povodňové vlny, kontrolní povodňovou vlnu ( $PV_{1000}$ ) a čtyři empirické povodně. V případě skutečných povodňových vln se jednalo o dvě extrémní situace z let 2002 a 2006, dále pak o významnou epizodu z června 2013 a v neposlední řadě o povodňovou vlnu z června 1995, jejíž průběh je pro povodí Klabavy typický, tedy štíhlá vlna s rychlým průběhem a vysokým kulminačním průtokem.

Pro jednotlivé povodňové vlny byly testovány transformace při dvou odlišných způsobech manipulace s hrazením přelivu a také ve variantě bez využití hradícího zařízení. Pro účely simulace průběhu povodňových vln nádrží a stanovení transformačních efektů nádrže vodního díla Klabava byl sestaven jednoduchý bilanční výpočetní nástroj. Charakteristiky nádrže a konzumní křivky spodních výpustí byly převzaty z manipulačního řádu [1], konzumní křivka bezpečnostního přelivu byla převzata z hydrotechnického výzkumu [6]. Konzumní křivka bezpečnostního přelivu při zahrazených oknech byla stanovena základními hydrotechnickými výpočty [8].

Ve variantě A nebylo hrazením manipulováno, okna přelivu byla po celou dobu plně průtočná, a výsledky simulace tak odpovídají stavu po provedení nápravných opatření pro zajištění bezpečnosti vodního díla při povodni podle projektové dokumentace [5]. Při nástupu povodně tak byly po dosažení neškodného odtoku postupně uzavírány spodní výpusti až do úplného uzavření. Po jejich uzavření je voda převáděna již pouze nehrazeným bezpečnostním přelivem a nastává neovladatelný odtok z nádrže.

Varianta B simuluje manipulace s hrazením oken přelivu za účelem maximálního oddálení okamžiku překročení neškodného odtoku z vodního díla. Po dosažení neškodného odtoku jsou postupně přivírány spodní výpusti a následně i hradící uzávěry oken přelivu. K neovladatelnému odtoku dochází až v momentě úplného uzavření spodních výpustí i všech oken v přelivném tělese. Z důvodu bezpečnosti hráze, aby nedošlo při extrémních povodních k překročení úrovně nově navrhované mezní bezpečné hladiny, muselo být při simulacích přistoupeno u některých povodňových vln ( $PV_{100}$ ,  $PV_{1000}$ ,  $PV_{08/2002}$ ,  $PV_{05/2006}$ ) k opětovnému částečnému otevření oken přelivu. Tato manipulace má za následek částečné zhoršení situace. U těchto povodňových vln je tedy efekt oddálení překročení neškodného odtoku vykoupen vyšším kulminačním odtokem z vodního díla.

Varianta C taktéž využívá hrazení oken bezpečnostního přelivu, ale se snahou o dosažení co nejvyššího transformačního účinku, a tedy maximální snížení kulminačního odtoku. Neškodný odtok je na nástupní větvi povodňové vlny udržován jen přivíráním spodních výpustí až do jejich úplného uzavření. Hradící zařízení oken přelivu jsou otevřena. K jejich přivírání dochází až v okamžiku, kdy lze zajistit udržení stávajícího průtoku po celou zbývající dobu trvání povodně. Toto je v praxi jen velmi obtížně realizovatelné z důvodu nejistoty přesné hydrologické předpovědi budoucího vývoje situace (výsledných parametrů povodňové vlny) v povodí Klabavy. Výsledky této varianty představují maximálně teoreticky dosažitelný efekt transformace povodňové vlny při realizaci hrazení oken přelivu, využití disponibilního retenčního prostoru nádrže a daném průběhu manipulací s technologickým zařízením vodního díla.

Z výše uvedeného vyplývá, že nejvyšší míry transformace povodňových vln v nádrži vodního díla Klabava lze dosáhnout při využití hrazení bezpečnostního přelivu dle varianty C. Aplikace tohoto scénáře manipulací se však z pohledu dispečerské praxe jeví z výše uvedených důvodů

jako velmi komplikovaná (nejistota predikace přesných parametrů povodňových vln v povodí Klabavy). Uvedené výsledky varianty C představují maximální teoreticky možný efekt snížení kulminačního odtoku z nádrže VD Klabava, a to díky teoretické znalosti budoucího vývoje testovaných povodňových vln a ideálního načasování manipulací. Při operativním řízení manipulací v průběhu samotné povodně budou dosažené transformační efekty nižší, tzn. bude dosaženo vyššího kulminačního odtoku i hladiny vody v nádrži, a budou se více či méně přibližovat výsledným efektům varianty B nebo C dle toho, jak budou manipulace vhodně zvoleny a načasovány. Je potřeba počítat s faktem, že po odeznění povodňových stavů při zpětné znalosti vývoje situace bude možné, tak jako u většiny přehradních nádrží, téměř vždy nalézt rezervy ve využití retenčního prostoru nádrže.

Na základě výstupů simulací lze konstatovat, že disponibilním retenčním prostorem nádrže VD Klabava lze výrazně pozitivně ovlivnit průběh povodně s teoretickou dobou opakování maximálně 20 let resp. povodňových vln s celkovým objemem max. 10-15 mil.m<sup>3</sup>.

## **5. DEFINITIVNÍ NÁVRH ZABEZPEČENÍ VODNÍHO DÍLA PŘED ÚČINKY VELKÝCH VOD**

Na základě výše uvedených podkladů byla v roce 2014 zpracována studie řešící kombinaci zabezpečení vodního díla na převedení povodně  $Q_{1000}$  a zvětšení retenčního účinku nádrže. Výsledná níže popsaná varianta pak byla dopracována do dokumentace pro provádění stavby. Zabezpečení vodního díla je řešeno částečně snížením max. kontrolní hladiny a částečně zvýšením mezní bezpečné hladiny. To zajišťuje rozšíření bezpečnostního přelivu vč. skluzu a výstavba nového vlnolamu na koruně hráze. Zvýšení retenčního účinku je docíleno doplněním původního pevného bezpečnostního přelivu o dvě pohyblivá přelivná pole, hrazená segmentovými uzávěry.

Vznikla tak projektová dokumentace s následujícím členěním:

### **5.1. Rozšíření nad přelivným objektem**

Prostor v nádrži před bezpečnostním přelivem bude rozšířen tak, aby nátok na rozšířený přeliv byl hydraulicky efektivní. Rozšíření do levého břehu je navrženo s opevněním dlažbou do betonu a opěrnou zdí.

### **5.2. Úprava přelivného objektu**

Stávající přelivný objekt bude rozšířen na levé straně o jedno pole šířky 15m. Kóta přelivné hrany bude zachována stávající 350,07 m n. m., přelivná plocha bude provedena dle původního návrhu jako Smetanova tlaková přelivná plocha s návrhovou přepadovou výškou 1,0 m. Střední část stávajícího přelivu s dělicím pilířem bude vybourána a na jejím místě budou zbudovány dvě železobetonové polorámové konstrukce umožňující instalaci hradících segmentů. Konstrukce bude složena ze dvou polí po 6 m na okrajích s pilíři šířky 2,0 m a dělicím pilířem šířky 3,0 m uprostřed. Na střední pilíř bude umožněn přístup za účelem kontroly, údržby a ovládnutí.

### **5.3. Přemostění přelivu**

Přes stávající přelivný objekt je vedena lávka pro pěší o dvou polích. Nosná konstrukce je z hlediska statického působení řešena jako prostý nosník. Celá lávka bude v rámci stavby rekonstruována. Budou využity stávající nosníky a doplněny novou mostovkou z železobetonu.

Nové pole přelivu bude přemostěno navazující novou lávkou tvořenou stejnými ocelovými nosníky jako lávky stávající, na něž se nabetonuje železobetonová deska.

#### **5.4. Rozšíření skluzu**

Rozšíření skluzu naváže na nové přelivné pole. Přírůstek šířky 15m se bude plynule zužovat až k zaústění skluzu do vývaru. Nová levá zeď bude v maximálním rozsahu budována pod ochranou staré zdi skluzu. Výška zdi se po délce skluzu mění tak, aby při minimální výšce spolehlivě zajistila svah a neumožnila proudící vodě při průchodu KPV vybřezit. Poloha zdi byla ověřena výzkumem na fyzikálním modelu.

Nové dno bude prováděno od vývaru směrem proti vodě po jednotlivých dilatačních deskách. Hlavní dnová deska bude tl. 50 cm, vyztužená při obou površích dle statického výpočtu. Pro její vytvoření bude použit beton C30/37-XC4-XF4-XA2, který zohledňuje všechny parametry agresivity prostředí, kterému bude vystaven. Deska bude po šířce a délce rozdělena dilatačními spárami na 10 samostatných celků.

#### **5.5. Úprava stávající levé zdi**

Stávající levá zeď vývaru bude rekonstruována z důvodu špatné kvality betonu. Sanace bude spočívat v odbourání 50 cm tloušťky zdi z vnitřní strany vývaru a následném přibetonování proarmované desky z kvalitního betonu. Přibetonávka bude přikotvena ke zbytku stávající zdi.

#### **5.6. Úprava stávající pravé zdi**

Úprava pravé zdi se skládá z navýšení zdi, reprofilace poškozených povrchů betonu. Oprava bude zahrnovat i objekt výtoku ze spodních výpustí.

#### **5.7. Navýšení terénu pod hrází**

V rámci tohoto objektu bude provedeno navýšení terénu pod hrází na kótu 341,00 m n.m., které bude chránit patu vzdušního svahu hráze a zároveň umožní využití přebytečného výkopku z ostatních stavebních objektů.

#### **5.8. Úprava vlnolamu na koruně hráze**

Nový vlnolam na koruně hráze umožní navýšení mezní bezpečné hladiny na úroveň 352,13 m n.m., která je třeba pro provedení KPV.

Nový vlnolam je navržen hydraulicky zaoblený s kótou koruny 353,20 m n.m. Výška železobetonové konstrukce vlnolamu nad terénem je 1,1m (splňuje tak zároveň funkci zábradlí). Konstrukce vlnolamu je uzpůsobena hydrotechnickému výpočtu výběhu vlny na návodní líc (viz. podklad [1]), ve kterém jsou zohledněny údaje o síle větru v zájmové lokalitě. Za vlnolamem bude na koruně hráze zbudována těsnící ostruha do hloubky dané geologickými sondami tak, aby byla zaručena těsnost hráze. Bude tvořena zataženou plastovou fólií přikotvenou jednostranně ke vzdušní straně vlnolamu. Vzniklý výkop bude zalit jílocementovou směsí a nad ním bude obnoven povrch koruny hráze.

Průchod vlnolamem v místě lávky z koruny hráze k věžovému objektu vtoku do spodních výpustí bude řešen plnými ocelovými vrátky na výšku vlnolamu.

#### **5.9. Přeložka kabelů na koruně hráze**

Po celé délce hráze je pod stávajícím vlnolamem veden elektrický kabel veřejného osvětlení a přívodní kabel elektrické energie k funkčním objektům. Kabel bude po dobu stavby přepojen na provizorní vedení po koruně hráze a následně bude přeložen do kabelovodu uloženého za novým vlnolamem. Kabelovod bude tvořen třemi kabelovými chráničkami (2 + 1 rezervní) se zatahovacími šachticemi v maximální osově vzdálenosti 50m.

### 5.10. Zábradlí

Z důvodu výrazných úprav a v některých případech úplného nahrazení konstrukcí bočních zdí skluzu bezpečnostního přelivu je nutné demontovat velkou část zábradlí na vodním díle. Vzhledem ke konstrukci zábradlí, která nesplňuje aktuální předpisy pro bezpečnost a ochranu zdraví bude nahrazeno novým zábradlím výšky 1,1m navrženým podle aktuálních předpisů.

### 5.11. Hrazení přelivu

Pro hrazení bezpečnostního přelivu nádrže Klabava byl zvolen segmentový uzávěr o dvou hrazených polích o šířce 6 m a hrazené výšce 4,8 m. Pohyblivou konstrukcí je jednoduchý zdvižný segment s montovanými tlačnými šikmými rameny s ložisky nad hladinou stoleté vody.

Díky celkové tuhosti segmentu, je tento ovládán jednostranně pomocí cévové tyče. Pohonným mechanismem je pak elektromotor s převodovkou umístěný na koruně nabetonovaného pilíře. Ovládání bude umístěno na pilíři na snadno přístupném místě u pochozí lávky. Pohyb segmentu usnadňují dvě a dvě stavitelná kola na jeho bocích, která pojíždí po hladkých svislých drahách. Boční a prahové těsnění je realizováno pomocí tzv. notové gumy, které je konstrukčně umožněna rektifikace. Zabudovanými prvky jsou dvě ložiska, dvě těsnící šavle na bocích pilířích a dosedací práh ve dně. Povrchová ochrana ocelové konstrukce se předpokládá zinkováním a nátěrem.

Výše popsané úpravy na vodním díle jsou nejlépe patrné z vizualizace (viz. obr. 1 až obr. 4), která byla pořízena investorem akce – Povodím Vltavy, státní podnik.



obr. 1 až obr. 4: vizualizace úprav na bezpečnostním přelivu

## 6. REALIZACE

Pro výše popsaný projekt opatření bylo v r. 2015 zajištěno stavební povolení a zahájeno výběrové řízení na dodavatele stavby. Vzhledem k průtahům ze strany jednoho z vyloučených uchazečů byl zhotovitel vybrán až ve druhé polovině roku 2016 a vlastní stavební práce byly zahájeny až na jaře r. 2017 přípravou území, realizací provizorního přemostění a kácením. Bylo provedeno převedení vody ze spodních výpustí obtokovým potrubím do koryta řeky pod vodní dílo. Práce byly následně v zimních měsících přerušeny. Vzhledem k nízké kapacitě obtokového potrubí rozhodl investor o úpravě projektu a pro převádění vody za stavby byla do vývaru vodního díla, který je společný pro spodní výpusti i pro bezpečnostní přeliv, doplněna podélná jímka z nastražených štětovnic, která umožňuje převést odtok ze spodních výpustí až  $10 \text{ m}^3/\text{s}$  bez přerušování prací.

V současné době je stavba v cca dvoutřetinové prostavěnosti s termínem dokončení na jaře 2019.

Stavba je realizována společností firem SMP CZ, a.s. a EUROVIA CS, a.s., náklady stavby jsou cca 95 mil Kč (3,694 mil €) bez DPH, z toho 70,6 mil. Kč je hrazeno z dotačního programu ministerstva zemědělství Prevence před povodněmi III.

Není lepší způsob, jak popsat realizaci stavby, než výběrem z fotodokumentace jejího průběhu (viz. foto 5. až 36).



*foto 5 až foto 7: realizace obtoku pro převedení vody mimo vývar bezpečnostního přelivu*



*foto. 8 a foto 9: příprava staveniště – provizorní přemostění*



*foto. 10 až foto 13: bourací práce původní přelivné plochy a betonových konstrukcí (pro omezení nežádoucích jevů realizováno frézováním)*



*foto. 14 a foto 15: realizace nového vlnolamu na koruně hráze*



*foto. 16 a foto 17: realizace jímky pro možnost převádění vody vývarem od spodních vypustí*



*foto. 18 a foto 19: kotvená přibetonávka na rekonstruované pravé zdi skluzu přelivu*



*foto. 20 a foto 21: podkladní beton pod betonovou desku skluzu od přelivu chránící před škodami při případném převádění povodní za stavby, do něj kotvy pro vyvážení výztuže samotné železobetonové desky skluzu*



*foto. 22 a foto 23: výztuž železobetonové desky dna skluzu před betonáží*



*foto. 24 a foto 25: bourání přelivné plochy – patrný původní tvar na zbytku pravé stěny a odběry vzorků při betonážích*



*foto. 26 a foto 27: celkový pohled na rekonstrukci skluzu – rozšíření realizací nové levé stěny skluzu při ochraně staveniště původní zdi skluzu, vlevo převádění zvýšených průtoků*

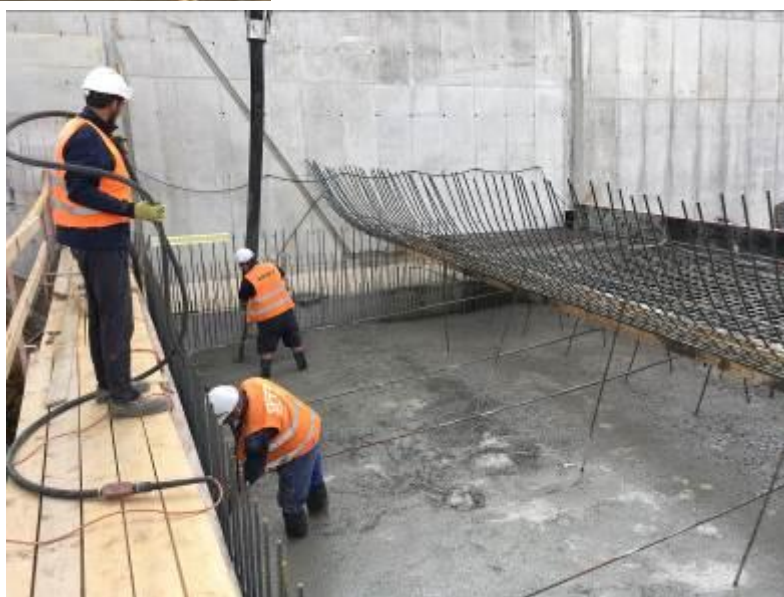




*foto. 28 a foto 29: rozšíření skluzu realizací levé zdi skluzu ve svahu. Na levém snímku patrná původní levá zeď skluzu*



*foto. 30 až foto 33: objekt nového přelivu – pilíře dvou segmentových polí*



*foto 34: betonáž prvého pracovného postupu pevnej časti nového prelivného poľa*

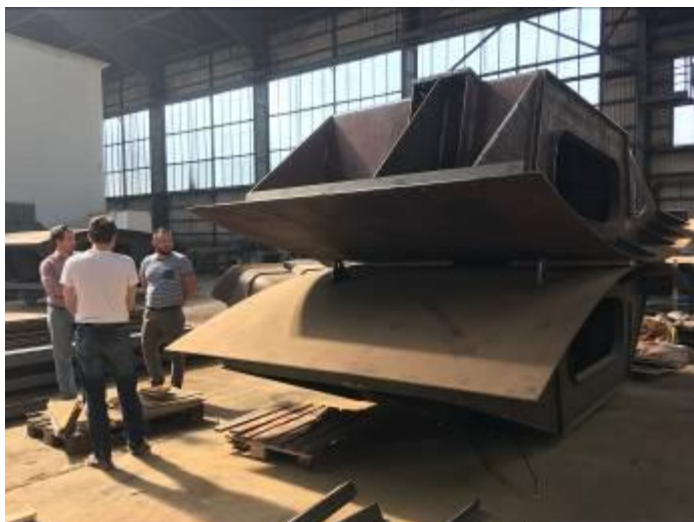


foto 35 a foto 36: výroba ocelové konstrukce segmentů bezpečnostního přelivu

## 7. Závěr

Realizací stavby dojde k zabezpečení vodního díla Klabava proti negativním účinkům kontrolní povodně. Současně, doplněním ovladatelných uzávěrů do původně pevného bezpečnostního přelivu, dojde ke zlepšení možnosti manipulací při běžných povodních a tím zlepšení transformačního a retenčního účinku vodního díla. Dojde tak ke zvýšení ochrany území pod vodním dílem.

## LITERATURA

- [1] VICENDA P., BLÁHA J.: *Manipulační řád pro vodní dílo Klabava na Klabavě. Povodí Vltavy, státní podnik, závod Berounka, oblastní vodohospodářský dispečink. 2008. Plzeň.*
- [2] PLECITÝ S.: *Fyzikální model přelivu Klabava s vyhodnocením. České vysoké učení technické v Praze, Fakulta stavební, Katedra hydrotechniky, diplomová práce. 2005. Praha.*
- [3] PLECITÝ S., SMRŽ P.: *VD Klabava – Posudek bezpečnosti při povodních. VODNÍ DÍLA – TBD a.s. 2005. Praha.*
- [4] ZELENKA K.: *Ověření plánované úpravy bezpečnostního přelivu VD Klabava pomocí hydraulického modelu. České vysoké učení technické v Praze, Fakulta stavební, Katedra hydrotechniky, bakalářská práce. 2008. Praha.*
- [5] TUČEK H. A KOL.: *VD Klabava – Zabezpečení vodního díla před účinky velkých vod. Souhrnná technická zpráva. Dokumentace pro stavební povolení. Sweco Hydroprojekt a.s. 2012. Praha.*
- [6] SATRAPA L. A KOL.: *Hydrotechnický výzkum VD Klabava – Modelový výzkum pro ověření kapacity bezpečnostního přelivu, skluzu a popis proudění vody ve skluzu, ve vývaru a odpadním korytě. Zpráva o provedeném výzkumu. České vysoké učení technické v Praze, Fakulta stavební, Katedra hydrotechniky. 2010. Praha.*
- [7] ZELENKA K.: *VD Klabava - posouzení transformačních možností nádrže VD Klabava v kombinaci s hrazeným bezpečnostním přelivem a jejich vliv na Berounku. Povodí Vltavy, státní podnik, závod Berounka, oblastní vodohospodářský dispečink. 2014. Plzeň.*

- [8] ČIHÁK F., MEDŘICKÝ V.: *Hydrotechnické stavby 20 – Navrhování jezů. České vysoké učení technické v Praze. 2001. Praha.*
- [9] *Generel území chráněných pro akumulaci povrchových vod a základní zásady využití těchto území. Ministerstvo zemědělství České republiky, Ministerstvo životního prostředí České republiky. 2011. Praha.*
- [10] VESELÝ R.: *Zhodnocení možností ovlivnění průběhu povodní na Berounce. Návrh retenčního objemu na Klabavě. České vysoké učení technické v Praze, Fakulta stavební, Katedra hydrotechniky, diplomová práce. 2005. Praha.*
- [11] KABELE J. A KOL.: *Studie odtokových poměrů v povodí Klabavy. Hydroprojekt CZ, a.s. 2007. Praha.*

#### **AUTOŘI**

Ing. Petr Vicenda

Povodí Vltavy, státní podnik, Holečkova 3178/8, 150 00 Praha 5 – Smíchov, Česká republika  
petr.vicenda@pvl.cz

Ing. Ondřej Hrazdira

Povodí Vltavy, státní podnik, Holečkova 3178/8, 150 00 Praha 5 – Smíchov, Česká republika  
ondrej.hrazdira@pvl.cz

# XXXVI. PRIEHRADNÉ DNI 2018

## ORGANIZÁTORI:

*Slovenský vodohospodársky podnik, štátny podnik, Odštepný závod Bratislava – Mgr. Zoltán Lajos  
Slovenský priehradný výbor – prof. Ing. Emília Bednárova, PhD.*

## PRESEDAJÚCI TÉMATICKÝCH OKRUHOV:

prof. Ing. Emília Bednárova, PhD.

prof. Ing. Jaromír Říha, PhD., Ing. Pavel Virág

Ing. Marián Miščík

Doc. Ing. Ladislav Satrapa, PhD.

prof. Ing. Andrej Šoltész, PhD.

ISBN 978-80-570-0381-6

